
**Levantamiento de Planos y Estudio de Cargabilidad
del Sistema Eléctrico de la UPB**

Camilo Andrés GIRALDO, Juan David OSSA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

*Director
Armando Bohórquez Cortázar
Msc Ingeniero electricista*

**Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Ingeniería Eléctrica
Medellín
2015**

Dedicatoria

A Dios, por acompañarnos y permitirnos alcanzar este logro tan especial en nuestras vidas. A todas las personas que nos han ayudado directa e indirectamente en este largo camino de aprendizaje. En especial, queremos dedicarles esta tesis a nuestros padres, Claudia Patricia Ortiz y Jesús Ignacio Giraldo (padres de Camilo), María Doris Hoyos y Jose Albeiro Ossa (padres de Juan David), quienes durante este largo proceso nos han brindado su apoyo incondicional y nos han alentado a dar lo mejor de nosotros para culminar las metas trazadas.

Agradecimiento

Agradecemos a todas las personas e instituciones que con su apoyo incondicional y sus aportes a este trabajo hicieron posible el desarrollo de este proceso:

A Jose Armando Bohórquez Cortázar, Msc. Ingeniero Electricista, docente y director del laboratorio de ingeniería eléctrica y electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana por su guiarnos y asesorarnos durante el desarrollo de este trabajo.

A todo el personal del laboratorio de energía eléctrica y electrónica por el tiempo dedicado en nosotros para la instalación de los analizadores de redes en cada una de las subestaciones de la universidad.

Al grupo de transmisión y distribución de energía eléctrica de la UPB por brindarnos la oportunidad de trabajar en este trabajo de grado.

A la Universidad Pontificia Bolivariana y mención especial a todos los docentes de la facultad IEEE por su apoyo y asesorías cuando fueron necesarias.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	13
1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	14
1.1. Bloque administrativo	15
1.2. Bloque 12, derecho.....	16
1.3. Bloque 7, ciencias sociales	17
1.4. Bloque 8.....	19
1.5. Bloque Biblioteca	23
1.6. Bloque polideportivo	24
1.7. Bloque parqueaderos	24
1.8. Bloque 11, ingeniería.....	26
1.9. Bloque 9, postgrados	27
1.10. Bloque 10, arquitectura y diseño	29
1.11. Bloque Bachillerato	31
1.12. Bloque Garajes	33
1.13. Bloque Medicina	34
1.14. Red de distribución.....	36
2. REDISEÑO DE LA FRONTERA COMERCIAL	40
2.1. Frontera Comercial Actual	40
2.2. Selección de Punto de Medición	40
2.3. Clase de exactitud y precisión para medidores y transformadores de medida.	41

2.4.	Ley 1715 de 2014	42
3.	METODOLOGÍA PARA TRANSMITIR DE MANERA REMOTA LA MEDIDA DE CADA SUBESTACIÓN.....	44
4.	ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE TRANSFORMADORES.....	45
5.	METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA CARGABILIDAD DE LOS TRANSFORMADORES Y LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS Y NO TÉCNICAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA UPB.....	47
6.	CONCLUSIONES	50
	REFERENCIAS	51
	AUTORES.....	52

Lista de Figuras

Figura 1. Bloque administrativo, marcación conductores	15
Figura 2. Bloque administrativo, marcación aviso riesgo eléctrico.....	15
Figura 3. Bloque administrativo, falencias técnicas	16
Figura 4. Bloque 12, falencias técnicas en subestación.....	16
Figura 5. Bloque 11, adaptador en entrada de cajas	16
Figura 6. Bloque 12, almacenamiento de materiales no permitidos en una subestación.....	17
Figura 7. Bloque 12, marcación riesgo eléctrico	17
Figura 8. Bloque 7 ascensores, elementos no permitidos en una subestación	18
Figura 9. Bloque 7 ascensores, marcación conductores y breakers	19
Figura 10. Bloque 8, Transformador 112,5 kVA	20
Figura 11. Bloque 8, transformador 150 kVA.....	20
Figura 12. Bloque 8, transformador 110 kVA.....	20
Figura 13. Bloque 8, planta eléctrica	21
Figura 14. Bloque 8, tablero laboratorio mecánica	21
Figura 15. Bloque, tablero distribución CPA	21
Figura 16. Bloque 8, tablero de distribución transformador 150 kVA	21
Figura 17. Bloque 8, tablero de distribución aires acondicionados	22
Figura 18. Bloque 8, cuarto aires acondicionados, elementos ajenos a la instalación eléctrica	22
Figura 19. Bloque 8, transformador 300 kVA.....	23
Figura 20. Bloque Biblioteca, marcación protecciones	23
Figura 21. Bloque Biblioteca, marcación conductores	24
Figura 22. Bloque polideportivo, marcación conductores	24
Figura 23. Bloque Parquaderos, gabinete de transferencia, correcta marcación conductores	25
Figura 24. Bloque Parquaderos, gabinete principal, correcta marcación conductores	25
Figura 25. Bloque parquaderos, iluminación de emergencia y barra anti pánico.....	25
Figura 26. Bloque 11, falencias técnicas en subestación	26
Figura 27. Bloque 11, ubicación del poste de la subestación	26
Figura 28. Bloque 11, adaptador en la entrada de cajas	26
Figura 29. Bloque 11, almacenamiento de elementos no permitidos en una subestación	27
Figura 30. Bloque 9, correcta marcación tableros eléctricos	28
Figura 31. Bloque 9, sistema contra incendio	28
Figura 32. Bloque 9, correcta marcación barraje y conductores.....	28

Figura 33. Bloque 9, almacenamiento de materiales no permitidos en una subestación.....	28
Figura 34. Bloque 9, almacenamiento de materiales ajenos a la subestación	29
Figura 35. Bloque 9, planta eléctrica	29
Figura 36. Bloque 10, no conformidades en subestación tipo poste	29
Figura 37. Bloque 10, protecciones eléctricas del cuarto eléctrico baño damas	30
Figura 38. Bloque 10, tablero eléctrico del cuarto electrico baño damas	30
Figura 39. Bloque 10, marcación y señalización tablero eléctrico cuarto eléctrico fotocopiadora	31
Figura 40. Bloque 10, almacenamiento de materiales ajenos a la subestación	31
Figura 41. Bloque Bachillerato, ML principal, marcación conductores	32
Figura 42. Bloque Bachillerato, tablero de distribución Bloque B, marcación conductores.....	32
Figura 43. Bloque Bachillerato, puerta de acceso subestación principal	32
Figura 44. Bloque Bachillerato, tablero de distribución Bloque A.....	33
Figura 45. Bloque Garajes, almacenamiento de materiales no permitidos en una subestación.....	33
Figura 46. Bloque Garajes, avisos de riesgo eléctrico.....	33
Figura 47. Bloque Garajes, marcación y señalización.....	34
Figura 48. Tablero alimentado desde el transformador de 75 KVA	34
Figura 49. Tablero de bloque medicina en el exterior	35
Figura 50. Tablero medicina ubicado en el exterior de la instalación.....	35
Figura 51. Tablero sin empaque.....	35
Figura 52. Subestación tipo poste bloque medicina	35
Figura 53. Tablero zonas comunes contiguo a la morgue	36
Figura 54. Poste de suspensión, al frente bloque 11	36
Figura 55. Poste aisladero, glorieta virtual bloque 11	37
Figura 56. Grietas en poste aisladero, glorieta virtual bloque 11	37
Figura 57. Incorrecta instalación DPS, Poste aisladero glorieta virtual bloque 11.	37
Figura 58. Poste aisladero, bloque administrativo.....	38
Figura 59. Poste en ángulo, cafetería primaria	38
Figura 60. Poste aisladero, cancha de cemento bloque 6.....	39
Figura 61. Poste aisladero, cancha de cemento bloque 6, falencia técnicas.....	39
Figura 62. Poste derivación, cancha de tenis.....	39
Figura 63. Medidor eléctrico de la frontera comercial	40
Figura 64. Medidor eléctrico recomendado para frontera comercial	43
Figura 65. Medidor DMG800 a instalar en subestaciones.....	44
Figura 66. Porcentaje de cargabilidad de transformadores.....	47

Lista de Tablas

Tabla1. Selección de puntos de medición	41
Tabla 2. Requisitos de exactitud para medidores y transformadores de medida.....	41
Tabla 3. Equipos recomendados en el rediseño de la frontera comercial	42
Tabla4. Alternativa límites de pequeña escala	43
Tabla 5. Referencia de medidores SL 700	43
Tabla6. Capacidad instalada Transformadores UPB.....	45
Tabla 7. Intervalos de tiempo escogidos para seleccionar los datos de potencia y factor de potencia de cada transformador	46
Tabla 8. Pérdidas típicas en carga y en vacío de transformadores refrigerados en aceite	48
Tabla 9. Pérdidas típicas en carga y en vacío de transformadores con refrigeración natural	48
Tabla 10. Pérdidas técnicas de los transformadores	49

Glosario

Micro Red: Es una red eléctrica integrada, que utiliza fuentes de energía distribuidas (en su mayoría renovables), así como dispositivos de almacenamiento de energía para suministrar la demanda en forma local dentro de una región de cobertura establecida. Esta red está conectada al sistema eléctrico del operador de red, pero tiene la capacidad de auto-abastecerse y operar de forma aislada cuando se requiere, lo cual incrementa la confiabilidad del suministro de energía.

Pérdidas Técnicas: Son las pérdidas de energía que son debidas a los conductores, transformadores, malas conexiones, entre otros.

Pérdidas No Técnicas: Son pérdidas de energía debido a erros técnicos y/o administrativos como el robo de energía por parte de los usuarios, mala calibración de los medidores, error en la lectura de los medidores por parte del operador de red, mala facturación de la energía, entre otros.

Ley 1715: Ley por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.

RETIE: Reglamento técnico de instalaciones eléctricas. Reglamento de cumplimiento obligatorio, por medio del cual, se establecen las medidas a garantizar la seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico.

EPM: Empresas Públicas de Medellín, es una empresa prestadora de servicios públicos en energía, agua y gas.

Fuentes No Convencionales de Energía Renovables-FNCER: Son fuentes que utilizan recursos ambientales sostenibles y que están disponibles para la generación de energía, en estas fuentes están la eólica, solar, biomasas entre otros.

Medidor Bidireccional: Este dispositivo es un contador de energía eléctrica que permite registrar tanto el consumo energético de la red de distribución, así como la entrega de excedentes de energía producto de la autogeneración.

AutoCAD: Software utilizado para diseño, dibujo y modelado en 2D y 3D para dibujo arquitectónico e ingeniería, actualmente es distribuido por Autodesk.

Resumen

En este proyecto se pretende realizar un levantamiento de información del sistema eléctrico de la UPB desde la frontera comercial hasta los gabinetes principales de cada subestación, un estudio de cargabilidad de todos los transformadores y un rediseño de la frontera comercial. Dicho proyecto busca obtener una información clara y precisa y observar las falencias en las que se estén incurriendo para así poder tomar las medidas correspondientes en el menor tiempo posible.

Copyright © UPB 2015

Palabras clave: Levantamiento de información, cargabilidad, frontera comercial.

Abstract

Throughout this project is pretended to make a gathering of the electrical system UPB information from the cross-border trade to the principal electrical cabinets of the substation, the chargeable study of all the transformers and a cross-border trade redesign. It is sought for a clear and accurate information, observing the falls that is been incurring, so take the measures in the less time possible. *Copyright © UPB 2015*

Keywords: Gathering information, chargeable study, cross-border trade.

INTRODUCCIÓN

En la UPB se está llevando a cabo un megaproyecto a largo plazo como es la construcción de la micro-red inteligente, que pretende integrar nueve subsistemas básicos gestionables centralmente, para el uso racional y eficiente de los recursos energéticos, a través de energías renovables. Los subsistemas básicos son, generación solar fotovoltaica, generación eólica, esquema híbrido de generación para zonas no interconectadas, sistemas para la gestión de vehículos eléctricos, estación de carga modular, alumbrado público de alta eficiencia, alumbrado público auto sostenible, sistemas para la gestión de la demanda y corredor verde UPB Laureles

Durante este proyecto se han encontrado falencias en la parte técnica como en lo documental, debido a la construcción de bloques nuevos y remodelación de algunos bloques existentes. Además la documentación existente del sistema eléctrico de la UPB se encuentra muy desactualizada y los planos existentes no se encuentran digitalizados.

Por lo tanto, para suplir mencionadas falencias, se requiere realizar un estudio y un levantamiento de datos al sistema eléctrico actual. Para esto se necesita hacer un análisis del comportamiento de la red, digitalizar y actualizar los planos de la universidad en AutoCAD [1], además de verificar el satisfactorio cumplimiento de las normas técnicas de la actualidad.

Para realizar un correcto sistema de gestión de la demanda se necesita centralizar el consumo eléctrico que se encuentra separado por bloques y unificarlo en un centro de control, lo cual se puede

hacer instalando un medidor eléctrico en cada subestación que contenga un puerto de red o que tenga algún sistema que permita leerlo de manera remota.

Igualmente, este sistema de lectura remota admitiría visualizar el comportamiento y el consumo de la red eléctrica en tiempo real, permitiendo trazar una curva de demanda y observar los tiempos de mayor consumo tanto en cada subestación como el de la universidad completa.

En las subestaciones se instalaron analizadores de redes eléctricas para registrar la carga que tienen asociados los transformadores de cada subestación, pretendiendo realizar un análisis de las pérdidas técnicas y así, presentar un reporte con sugerencias significativas que ayuden a mejorar la red del sistema eléctrico de la UPB.

Debido a que la Universidad es un cliente no regulado, perteneciendo al mercado de energía mayorista, tiene como obligación cumplir todas las normas del nuevo código de medida, por lo que la Universidad se ve en la necesidad de realizar un rediseño de la frontera comercial para no incurrir en fallas de frontera y poder seguir perteneciendo a este tipo de mercado.

1. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Para realizar un levantamiento de información, se hizo un recorrido por todas las subestaciones eléctricas y la red de distribución del campus universitario, incluyendo la subestación ubicada en la sede de medicina. Con este recorrido, se logró elaborar un diagrama unifilar de cada subestación. Asimismo, se pudo visualizar que falencias presentaba cada una de éstas.

Para un mayor entendimiento, las subestaciones van a quedar relacionadas con los nombres de las edificaciones a las que pertenecen. En total se visitaron 14 subestaciones.

En el anexo 1, se hace entrega del diagrama unifilar de toda la universidad en el programa AutoCAD, especificando los seccionadores, transformadores, medidores eléctricos, protecciones eléctricas, plantas de emergencia, calibre de conductores, resistencia y reactancia de los conductores [2], transferencias automáticas, entre otros. Además se precisa si la acometida que alimenta la subestación es subterránea o aérea, con el calibre y tipo de cable.

En el anexo 2, se hace entrega del trayecto de toda la red de distribución del campus universitario de laureles en el programa Google Earth [3]. En este se especifica la distancia aproximada de las líneas de distribución y la ubicación de cada una de las subestaciones. Además se evidencia en cuales subestaciones hay planta eléctrica. Asimismo en cada ícono, ya sea línea de distribución, planta eléctrica o subestación, se especifican los parámetros más relevantes de éstos.

En el anexo 3, se suministra un manual, en el que se especifica como ingresar la información de cada ícono desde un archivo en Excel al archivo KMZ de Google Earth. También se proporciona el archivo de Excel en el anexo 4, en donde está toda la información de las subestaciones, líneas de transmisión y plantas eléctricas recopiladas en tablas.

Para evaluar el estado de las subestaciones se tomaron como referencia el reglamento técnico de instalaciones eléctricas-RETIE [4], la norma técnica colombiana 2050 y las normas técnicas utilizadas por EPM. A continuación se describen algunas a groso modo [5].

RA8 – 014, ítem 4.11. Los cuartos de las subestaciones solo deben ser utilizados para equipos eléctricos y no deberán ser utilizados como cuartos de aseo, almacenamiento o depósito de materiales.

RA8 – 014, ítem 5.1. Dimensiones de trabajo alrededor de los equipos eléctricos en las subestaciones

Artículo 10.4, RETIE. Dimensiones de trabajo alrededor de los equipos eléctricos.

RA8 – 014, ítem 11. Marcación y señalización en el cuarto de subestación.

RA8 – 014, ítem 6.11. Zonas de acceso a la subestación tipo interior.

RA8 – 014, ítem 6.8. Apertura de las puertas de acceso.

RA8 – 014, ítem 8.4. Iluminación de emergencia.

RA8 – 014, ítem 4.12. Cruce de ductos o tuberías ajenos a las instalaciones eléctricas.

Artículo 6.3, RETIE. Código de colores en la marcación de los conductores.

RA8 – 014, ítem 12: Seguridad contra incendios.

1.1. Bloque administrativo

Esta subestación está ubicada en el sótano, en el área de parqueaderos. Posee un transformador en aceite de 400 kVA marca Sierra, una planta eléctrica de 156 kVA marca Cummins. Además cuenta con un contador de medida semi indirecta.

La subestación presenta diferentes falencias que se deben de corregir.

No tiene iluminación de emergencia, la puerta de acceso no tiene una manija o barra anti pánico para una fácil salida de emergencia. Tiene ductos de agua cruzando por la subestación. Además no hay aviso de riesgo eléctrico en la puerta de acceso. Los conductores no se encuentran debidamente marcados, ni existe señalización para la ruta de evacuación.

En caso de incendio, hay la posibilidad de quedar atrapado en el cuarto sin poder salir y no cuenta con un extintor o con un sistema de seguridad contra incendio.



Figura 1. Bloque administrativo, marcación conductores



Figura 2. Bloque administrativo, marcación aviso riesgo eléctrico



Figura 3. Bloque administrativo, falencias técnicas

1.2. Bloque 12, derecho

La subestación es de tipo poste. Tiene un transformador de 75 kVA en aceite marca Sierra y un contador de medida semi indirecta. Además posee una planta de emergencia marca Cummins de 63 kVA ubicada en un cuarto técnico con el ML principal.

La subestación y el cuarto eléctrico están incumpliendo algunas normas técnicas.

No se evidencia un adaptador o boquilla en la entrada de las cajas. Además no se evidencia símbolo de riesgo eléctrico ni marcación de las tuberías con color naranja de al menos 10 centímetros de anchas.

Asimismo no se observa la instalación de los DPS según la normatividad del RETIE.



Figura 4. Bloque 12, falencias técnicas en subestación



Figura 5. Bloque 11, adaptador en entrada de cajas

En el cuarto eléctrico la puerta de acceso no tiene la señalización de riesgo eléctrico y no cuenta con una barra antipánico. Además carece de iluminación de emergencia.

En caso de incendio está la posibilidad de quedar atrapado en el fuego sin poder salir del cuarto y no posee un sistema contra incendio.

El cuarto eléctrico está siendo utilizado para el almacenamiento de material ajeno a la instalación eléctrica, lo cual, está impidiendo tener un espacio adecuado para el mantenimiento de los diferentes equipos eléctricos, además de poder causar un accidente dentro del cuarto.



Figura 6. Bloque 12, almacenamiento de materiales no permitidos en una subestación



Figura 7. Bloque 12, marcación riesgo eléctrico

1.3. Bloque 7, ciencias sociales

El bloque 7 tiene dos subestaciones, una subestación dedicada al centro de tecnologías de información y telecomunicaciones, Ctic, y otra para los ascensores. El resto del bloque, es decir, tomas e iluminación de las aulas, oficinas y demás se encuentran alimentadas desde la subestación de bachillerato en un circuito bifásico 220 voltios.

Ctic. La subestación es de tipo interior. Tiene un transformador seco marca Suntec de 225 kVA y un contador de medida semi indirecta. Además posee una planta eléctrica marca Olympian de 250 kVA.

Las celdas y puertas cuentan con la señalización adecuada, los conductores se encuentran debidamente señalizados y el transformador posee DPS en el buje del primario.

La subestación no cumple con las dimensiones correctas alrededor de los equipos eléctricos. Además no posee iluminación de emergencia ni sistema de seguridad contra incendios. Las puertas de acceso no tienen manija anti pánico.

Ascensores. La subestación se encuentra ubicada en un sótano, y para poder acceder a ella es necesario bajar unas escaleras. Esta subestación cuenta con un transformador en aceite de 45 kVA. No posee medidor.

La subestación presenta algunas falencias que deben corregirse.

El cuarto está siendo utilizado como vestier de los celadores, ingresando permanentemente personas no calificadas, además de tener una mesa en la que ingieren comida y bebidas. La puerta de acceso no posee barra anti pánico y se encuentra ubicada de tal manera que no facilita una rápida evacuación, por lo cual, en caso de incendio el personal que se encuentre adentro de la subestación podría quedar atrapado. Igualmente no cuenta con un extintor o con algún sistema contra incendio.

Aunque la subestación tiene una luminaria de emergencia, esta no se encuentra funcionando. Asimismo, los tableros eléctricos y los conductores no presentan la marcación y señalización correspondiente. Las protecciones se encuentran marcadas con el

nombre del circuito, sin embargo se realizó con cinta de enmascarar.

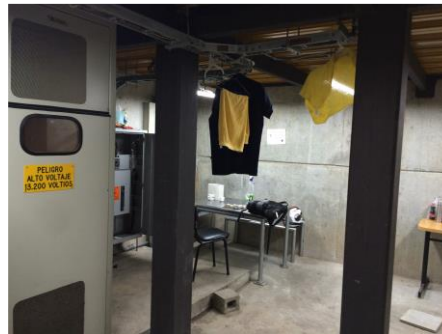


Figura 8. Bloque 7 ascensores, elementos no permitidos en una subestación



Figura 9. Bloque 7 ascensores, marcación conductores y breakers

1.4. Bloque 8

El bloque 8 cuenta con tres transformadores de 110 kVA, 112,5 kVA marca Magnetron y 150 kVA marca Rymel, ubicados en una subestación tipo interior. En un cuarto eléctrico contiguo se encuentran los tableros principales de distribución y una planta eléctrica de 62,5 kVA marca Cummins. Estos dos cuartos eléctricos se llamarán subestación 1.

Además el Bloque 8 tiene un transformador de 300 kVA marca Rymel tipo pad mounted, dedicado a las cargas de aire acondicionado de todo el bloque. El gabinete de distribución correspondiente a este transformador se encuentra en un cuarto eléctrico al interior del bloque, el cual se nombrará subestación 2.

Subestación 1. Los tres transformadores no se encuentran instalados en celdas, por ende, las líneas de 13,2 kV están expuestas generando un alto riesgo de arco eléctrico. Asimismo los transformadores no cumplen con las distancias mínimas de seguridad alrededor de los equipos.

La puerta de acceso no tiene marcación de riesgo eléctrico, ni posee una manija anti pánico. En caso de incendio, está la posibilidad de quedar atrapado en el fuego, debido a la ubicación de la zona de acceso.

El cuarto no posee iluminación de emergencia y la iluminación normal no se encuentra funcionando. Además hay un transformador que no está en uso, el cual, debería ser removido de la subestación. Todo esto hace que el riesgo eléctrico sea muy elevado tanto para el personal que ingresa al cuarto como para la instalación misma.

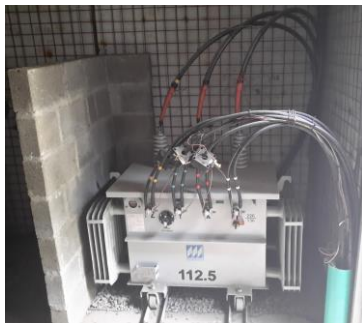


Figura 10. Bloque 8, Transformador 112,5 kVA



Figura 11. Bloque 8, transformador 150 kVA



Figura 12. Bloque 8, transformador 110 kVA

En el cuarto eléctrico donde están ubicados los tableros de distribución se está almacenando materiales ajenos a la instalación eléctrica. La puerta de acceso no posee señalización de riesgo eléctrico y tampoco cuenta con una manija anti pánico para su fácil apertura en caso de emergencia.

Además el cuarto no cuenta con iluminación de emergencia, los conductores y protecciones no se encuentran debidamente marcados y señalizados. No se cumple con la ubicación de las zonas de acceso para una evacuación en caso de emergencia.

El tablero de distribución CPA, el cual es alimentado con el transformador de 112,5 kVA es el único que cuenta con sistema de medición.



Figura 13. Bloque 8, planta eléctrica



Figura 14. Bloque 8, tablero laboratorio mecánica



Figura 15. Bloque, tablero distribución CPA

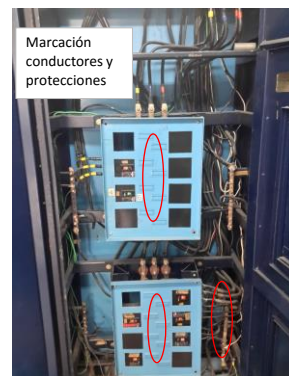


Figura 16. Bloque 8, tablero de distribución transformador 150 kVA

Subestación 2. El cuarto eléctrico donde se encuentra ubicado el tablero de distribución de aires acondicionados cuenta con las dimensiones adecuadas alrededor de los equipos eléctricos. Los conductores y protecciones eléctricas se encuentran debidamente marcadas y señalizadas. Posee sistema de medida

El cuarto cuenta con una lámpara de emergencia pero ésta no se encuentra funcionando. Asimismo el cuarto está siendo utilizado para guardar materiales ajenos a la instalación eléctrica. La puerta de acceso no cuenta con una manija anti pánico para una salida de emergencia, ni posee un sistema de seguridad contra incendio.



Figura 17. Bloque 8, tablero de distribución aires acondicionados



Figura 18. Bloque 8, cuarto aires acondicionados, elementos ajenos a la instalación eléctrica

El transformador que alimenta estas cargas de aires acondicionados es de 300 kVA y se encuentra ubicado afuera de la edificación en una subestación tipo pad mounted.



Figura 19. Bloque 8, transformador 300 kVA

1.5. Bloque Biblioteca

La subestación es de tipo interior, posee un transformador seco de 350 kVA marca Siemens y un contador de medida semi indirecta.

Los equipos eléctricos cuentan con las dimensiones de trabajo correctas alrededor de estos.

Los tableros eléctricos, los conductores y las protecciones eléctricas no cuentan con la adecuada marcación y señalización. La puerta de acceso no posee manija anti pánico para una fácil salida de emergencia. Asimismo no se posee iluminación de emergencia

En caso de incendio, hay la posibilidad de quedar atrapado en el cuarto sin poder salir, además no se cuenta con un extintor o con un sistema de seguridad contra incendio.

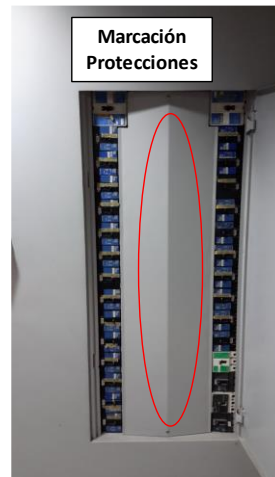


Figura 20. Bloque Biblioteca, marcación protecciones

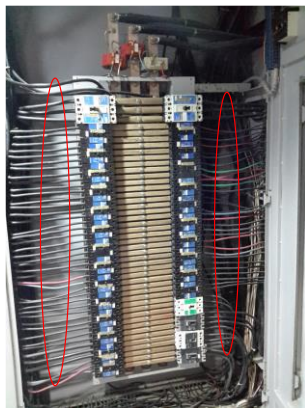


Figura 21. Bloque Biblioteca, marcación conductores

1.6. Bloque polideportivo

Esta subestación es de tipo interior, posee un transformador en aceite marca Siemens de 75 kVA y no posee sistema de medida.

La subestación cuenta con un buen espacio para trabajos de mantenimiento en los equipos eléctricos y cumple con las dimensiones necesarias para una salida de emergencia, no obstante incumple algunas normas técnicas.

La puerta de acceso no posee manija anti pánico. El tablero eléctrico ni los conductores tienen la marcación y señalización pertinente.

El cuarto no tiene iluminación de emergencia ni cuenta con un sistema de red contra incendio.

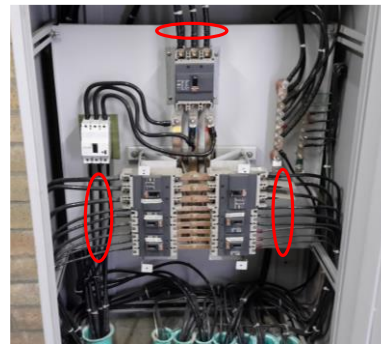


Figura 22. Bloque polideportivo, marcación conductores

1.7. Bloque parqueaderos

La subestación es de tipo interior, tiene un transformador seco de 300 kVA marca Suntec. Además posee un transformador en aceite de 100 kVA marca Suntec. Este último es un transformador elevador de voltaje de 220 a 440 Voltios destinado para cargas de bombas residuales y de iluminación. La subestación no posee sistema de medida.

Asimismo cuenta con una planta de emergencia de 63 kVA, marca Cummins, la cual sirve de respaldo para las cargas de las bombas de aguas lluvias y de los torniquetes de la portería.

La subestación cuenta con las dimensiones de trabajo alrededor de los equipos eléctricos, posee una puerta de acceso lo suficientemente amplia para una salida de emergencia, además de tener barra anti pánico. Los tableros y los conductores se encuentran marcados y señalizados correctamente. También cuenta con iluminación de emergencia y seguridad contra incendios.

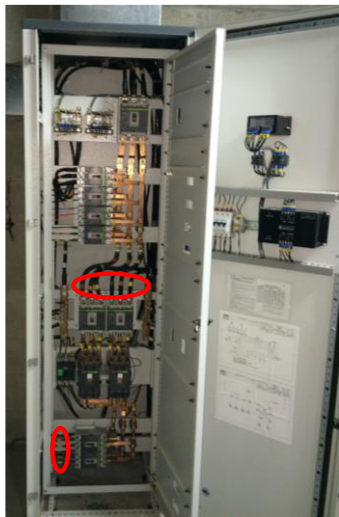


Figura 23. Bloque Parqueaderos, gabinete de transferencia, correcta marcación conductores



Figura 24. Bloque Parqueaderos, gabinete principal, correcta marcación conductores



Figura 25. Bloque parqueaderos, iluminación de emergencia y barra anti pánico

1.8. Bloque 11, ingeniería

La subestación cuenta con dos transformadores de 86 y 45 kVA instalados en poste. Asimismo posee un contador de medida semi indirecta para cada transformador.

En la subestación y en los cuartos eléctricos se observaron falencias técnicas que se deben corregir lo más pronto posible.

Los postes se deben ubicar en las zonas de acceso peatonal y no en la calzada de tráfico vehicular. No se evidencia un adaptador o boquilla en la entrada de las cajas. Además no se evidencia símbolo de riesgo eléctrico ni marcación de las tuberías con color naranja de al menos 10 centímetros de anchas [4].



Figura 26. Bloque 11, falencias técnicas en subestación

Asimismo, no se observan las distancias mínimas de seguridad con respecto a la edificación y tampoco se evidencia la instalación de los DPS según la normatividad del RETIE.



Figura 27. Bloque 11, ubicación del poste de la subestación



Figura 28. Bloque 11, adaptador en la entrada de cajas

El cuarto está siendo utilizado como almacenamiento de equipos ajenos a la instalación eléctrica, lo cual impide tener el espacio exigido por la norma para realizar maniobras en los tableros eléctricos.

Si bien el cuarto posee dos puertas de acceso a la subestación, una por la parte interna de la edificación y otra por la parte externa, ninguna cuenta con barra anti pánico. Sin embargo ese no es el único problema para evacuar la subestación en caso de emergencia, ya que para poder salir de la subestación por la puerta que linda con la parte interna de la edificación, es necesario cruzar una reja que se encuentra cerrada con candado. Asimismo, la puerta ubicada por la parte externa se encuentra cerrada con candados.

Igualmente el cuarto eléctrico no tiene iluminación de emergencia, ni cuenta con un sistema de seguridad contra incendios



Figura 29. Bloque 11, almacenamiento de elementos no permitidos en una subestación

1.9. Bloque 9, postgrados

Esta subestación es de tipo interior y posee dos transformadores de 225 kVA tipo aceite marca Rymel y de 400 kVA tipo seco marca Suntec. El primero alimenta las cargas de aire acondicionado y el segundo alimenta el resto de cargas del bloque, incluyendo los ascensores. No tiene sistema de medida

También posee una planta de emergencia ubicada afuera de la subestación, tipo pad mounted de 375 kVA marca Standford, que respalda la carga de los dos transformadores.

La subestación cuenta con las dimensiones de trabajo alrededor de los equipos eléctricos y posee iluminación de emergencia. La puerta de acceso posee manija anti pánico y es lo suficientemente amplia para una salida de emergencia. En caso de incendio, la subestación tiene un sistema de extinción por medio de rociadores de agua. Los conductores y los tableros eléctricos se encuentran marcados y señalizados correctamente.

La única falencia que se percibe es el almacenamiento de materiales que no hacen parte integral de la subestación.



Figura 30. Bloque 9, correcta marcación tableros eléctricos



Figura 31. Bloque 9, sistema contra incendio

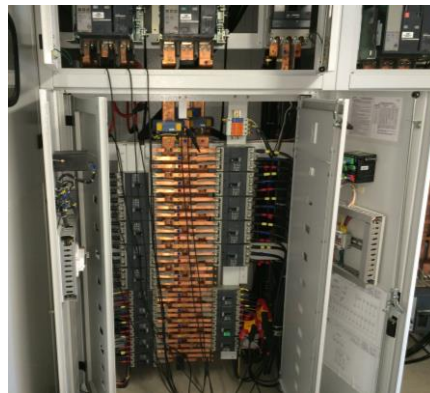


Figura 32. Bloque 9, correcta marcación barraje y conductores



Figura 33. Bloque 9, almacenamiento de materiales no permitidos en una subestación



Figura 34. Bloque 9, almacenamiento de materiales ajenos a la subestación



Figura 35. Bloque 9, planta eléctrica

1.10. Bloque 10, arquitectura y diseño

La subestación es tipo poste y cuenta con dos transformadores en aceite de 45 kVA y 75 kVA marca Sierra y marca Rymel respectivamente. Los dos transformadores poseen sistema de medida semi indirecta.

En la subestación se están incumpliendo algunas normas que deben ser corregidas. El templete con el aislador tensor no cumple con las distancias mínimas de seguridad, ya que se encuentra muy cerca a los bornes secundarios del transformador y al mismo tiempo está accesible a las personas. Además las tuberías no cuentan con la marcación con una franja naranja mínima de 10 centímetros ni las conexiones equipotenciales de los tubos de la acometida

Se evidencia correcta instalación de los DPS's según RETIE 24.3 numeral d.



Figura 36. Bloque 10, no conformidades en subestación tipo poste

La acometida del transformador de 75 kVA alimenta un tablero eléctrico ubicado dentro de un salón de clases. Además alimenta otras protecciones eléctricas que no poseen tablero de distribución ubicadas en un cuarto contiguo al baño de damas

Este cuarto no cumple con ningún tipo de normatividad. Algunos cables se encuentran expuestos y no están empalmados de acuerdo a la norma.



Figura 37. Bloque 10, protecciones eléctricas del cuarto eléctrico baño damas



Figura 38. Bloque 10, tablero eléctrico del cuarto eléctrico baño damas

La acometida del transformador de 45 kVA alimenta un tablero eléctrico ubicado en un cuarto eléctrico próximo a la fotocopiadora del bloque.

Dicho cuarto está siendo utilizado para almacenar materiales ajenos a la instalación eléctrica. El tablero, los conductores y las protecciones eléctricas no tienen la debida marcación y señalización. Asimismo el cuarto no posee iluminación de emergencia y la puerta de acceso no posee manija antipánico ni cuenta con la marcación de riesgo eléctrico.

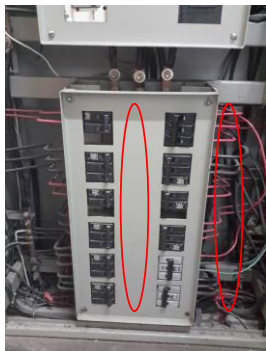


Figura 39. Bloque 10, marcación y señalización tablero eléctrico cuarto eléctrico fotocopiadora



Figura 40. Bloque 10, almacenamiento de materiales ajenos a la subestación

1.11. Bloque Bachillerato

La subestación es de tipo interior, posee un transformador en aceite de 225 kVA, marca Sierra y tiene un contador de medida semi indirecta. Este transformador alimenta las cargas de dos bloques de bachillerato, el bloque A y el bloque B. El tablero de distribución del bloque B se encuentra ubicado dentro de la subestación principal, al lado de la celda del transformador. El tablero de distribución del bloque A se encuentra ubicado en un cuarto eléctrico diferente.

La subestación principal no cuenta con las dimensiones de trabajo alrededor de los equipos eléctricos. Los tableros, las protecciones y los conductores eléctricos no se encuentran debidamente marcados y señalizados. No posee iluminación de emergencia. La puerta de acceso no cuenta con el aviso de riesgo eléctrico ni posee una manija anti pánico para una fácil salida de emergencia.

En caso de incendio, hay la posibilidad de quedar atrapado en el cuarto sin poder salir, además no se cuenta con un extintor o con un sistema de seguridad contra incendio.



Figura 41. Bloque Bachillerato, ML principal, marcación conductores

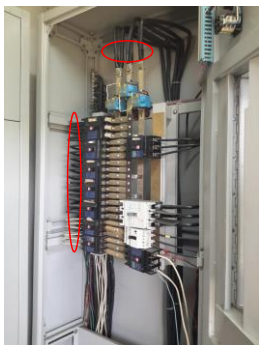


Figura 42. Bloque Bachillerato, tablero de distribución Bloque B, marcación conductores



Figura 43. Bloque Bachillerato, puerta de acceso subestación principal

El tablero de distribución del Bloque A, ubicado en un cuarto eléctrico diferente al de la subestación principal no cumple con la adecuada marcación del tablero, de los conductores y de las protecciones eléctricas. No se cuenta con iluminación de emergencia. La puerta de este cuarto no posee manija anti pánico.

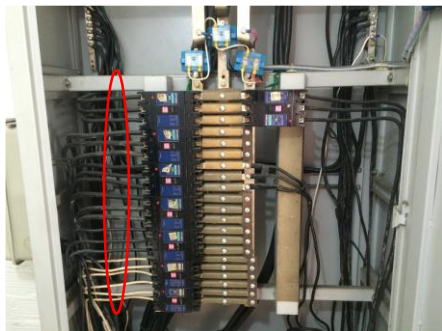


Figura 44. Bloque Bachillerato, tablero de distribución
Bloque A

1.12. Bloque Garajes

La subestación es de tipo interior. Tiene un transformador de 150 kVA refrigerado en aceite, marca Sierra y un contador de medida semi indirecta. Además posee una planta de emergencia de 62,5 kVA, marca Cummins.

El cuarto está siendo utilizado para almacenar materiales y equipos ajenos a la instalación eléctrica. El tablero, los conductores y las protecciones eléctricas no están cumpliendo con la marcación y señalización apropiada. Asimismo la subestación no cumple con las distancias mínimas de seguridad para acceder o salir de la misma. No hay iluminación de emergencia y la puerta de acceso no cuenta con una manija anti pánico para una fácil salida de emergencia.

En caso de incendio no se cuenta con ningún sistema de extinción que permita protegerse ante una emergencia



Figura 45. Bloque Garajes, almacenamiento de materiales no permitidos en una subestación



Figura 46. Bloque Garajes, avisos de riesgo eléctrico

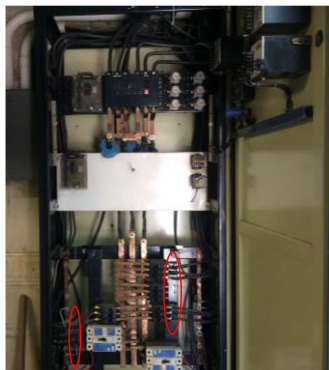


Figura 47. Bloque Garajes, marcación y señalización

1.13. Bloque Medicina

El bloque de medicina cuenta con dos tableros de distribución los cuales están alimentados desde transformadores diferentes. El primer tablero de distribución se encuentra ubicado en el exterior de las oficinas administrativas, cerca de la entrada principal, el cual está alimentado por un transformador tipo poste y cuenta con medidor de medida semidirecta. Debido a la antigüedad del transformador no se puede apreciar las características técnicas de éste. Se recomienda instalar corta-goteras y empaque para mantener la hermeticidad del tablero mitigando así la filtración de agua.

El otro tablero posee una transferencia automática por contactores con enclavamiento mecánico, se encuentra ubicado en las zonas comunes, contiguo a la morgue. Este es alimentado desde un tablero de distribución principal de la clínica universitaria para el circuito de red normal y para el circuito de emergencia se alimenta desde una planta eléctrica de 100 KVA ubicada en los parqueaderos.



Figura 48. Tablero alimentado desde el transformador de 75 KVA

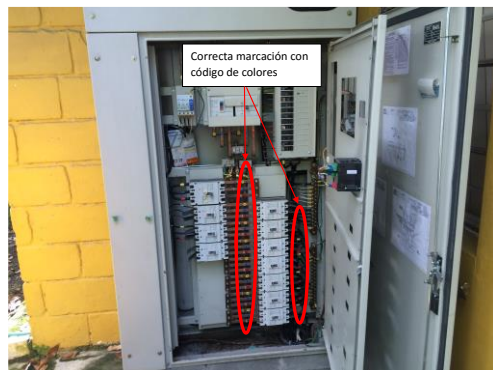


Figura 49. Tablero de bloque medicina en el exterior

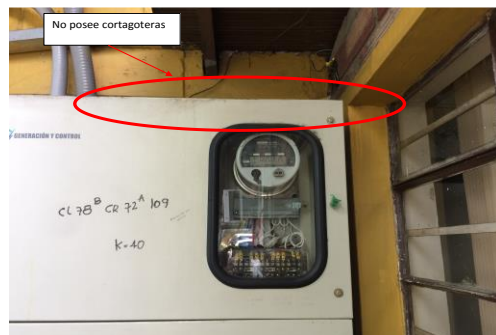


Figura 50. Tablero medicina ubicado en el exterior de la instalación.



Figura 51. Tablero sin empaque.



Figura 52. Subestación tipo poste bloque medicina



Figura 53. Tablero zonas comunes contiguo a la morgue

1.14. Red de distribución

Como se mencionó anteriormente, en el anexo 2 se hace entrega de un archivo en Google Earth especificando el recorrido de la red de distribución y evidenciando los parámetros más significativos de las subestaciones eléctricas, las plantas eléctricas y las líneas de distribución.

A continuación se evidencian las fallencias que se observaron durante el recorrido del campus universitario.

En la Figura 54, se observa un poste de suspensión de la red de distribución ubicado al frente del bloque de ingenierías. En este

poste se evidencia el incumplimiento de normas técnicas como las distancias mínimas de seguridad, ya que hay accesibilidad de personas, sea para el mantenimiento de la luminaria como para el corte de las ramas del árbol que se encuentra cercano al poste.



Figura 54. Poste de suspensión, al frente bloque 11

En la Figura 55 se muestra un poste tipo aisladero ubicado en la glorieta virtual cerca al bloque de ingeniería. En este se puede apreciar algunas fallas técnicas como la no marcación y conexión equipotencial de la tubería metálica. El poste no cuenta con señales de seguridad, el cable aislado utilizado para la conexión de puesta a tierra no se encuentra señalizado con cinta de color verde y tampoco posee conexión de puesta a tierra. También falta la identificación de fases utilizando el código de colores para cables de media tensión. Además en la Figura 56 se puede notar fisuras o grietas en el poste. El DPS no se encuentra instalado en la posición

correcta ya que estos elementos deben ir aguas debajo de la caja primaria.



Figura 55. Poste aisladero, glorieta virtual bloque 11



Figura 56. Grietas en poste aisladero, glorieta virtual bloque 11



Figura 57. Incorrecta instalación DPS, Poste aisladero glorieta virtual bloque 11.

En la Figura 58 se observa un poste tipo aisladero, en donde se deriva la red de distribución para el bloque administrativo, el colegio y para la universidad. En este poste se evidencia el incumplimiento de normas técnicas como la falta de marcación y señalización tanto de bajantes con la franja naranja como del poste con el símbolo de riesgo eléctrico. El poste carece de conexiones equipotenciales de los bajantes de la red eléctrica y no se observa conexión de puesta a tierra del poste.



Figura 58. Poste aisladero, bloque administrativo

En la Figura 59 se aprecia un poste con cambio de dirección de la red de distribución ubicado al lado de la cafetería de primaria. En este poste no se evidencia señalización de riesgo eléctrico y no se observa conexión de puesta a tierra. Además las ramas del árbol contiguo al poste se encuentran muy próximas a las líneas de distribución, lo cual no cumple con las distancias mínimas de seguridad.



Figura 59. Poste en ángulo, cafetería primaria

En la Figura 60 se observa un poste de tipo aisladero ubicado detrás de la cancha de cemento que se encuentra al lado del bloque 6. En este poste se realiza una derivación para alimentar de manera subterránea la subestación de garajes ubicada en el colegio y continúa de forma aérea hacia otro poste. En la Figura 60 y en la Figura 61 se observan falencias técnicas como la falta de marcación y señalización tanto de la tubería metálica con la franja naranja como del poste con el símbolo de riesgo eléctrico. La tubería no cuenta con las conexiones equipotenciales y en el poste no se evidencia conexión de puesta a tierra. Además se puede apreciar

una parte de tubería pvc expuesta, lo cual no es permitido por el reglamento RETIE.



Figura 60. Poste aisladero, cancha de cemento bloque 6



Figura 61. Poste aisladero, cancha de cemento bloque 6, falencia técnicas

En la Figura 62 se aprecia un poste ubicado cerca a las canchas de tenis. En este se realiza una derivación para alimentar la subestación eléctrica del bloque de bachillerato. El poste presenta algunas falencias técnicas.

La tubería metálica no tiene las conexiones equipotenciales y en el poste no se evidencia conexión de puesta a tierra. Tampoco se observa marcación y señalización de la tubería ni del poste con el símbolo de riesgo eléctrico.



Figura 62. Poste derivación, cancha de tenis

2. REDISEÑO DE LA FRONTERA COMERCIAL

2.1. Frontera Comercial Actual

Con el fin de cumplir la normatividad vigente que rige a las fronteras comerciales tanto nuevas como en funcionamiento, se realizó una inspección de la frontera comercial de la Universidad Pontificia Bolivariana en base en el nuevo código de medida CREG 038 de 2014 [7] decretado por el ministerio de minas y energía.

La frontera comercial de la Universidad Pontificia Bolivariana actualmente posee un medidor Landis ZMD405CT44000 con especificaciones técnicas, CL 0.5s para medida de potencia activa y CL 1 [6] para medida de potencia reactiva, también posee CT's y PT's tipo exterior instalados en poste. Debido a lo antiguo y a la altura en que se encuentra estos elementos es muy difícil la lectura de la placa.



Figura 63. Medidor eléctrico de la frontera comercial

2.2. Selección de Punto de Medición

Para la selección del punto de medición se tomó como referencia el nuevo código de medida resolución CREG 038 de 2014.

Según el artículo 6 del nuevo código de medida, indica que el punto de medición se clasifica según el consumo o transferencia de energía por la frontera comercial, o por la capacidad instalada.

De la información anterior el consumo o transferencia de energía por la frontera comercial se define como el promedio de los doce meses anteriores a la fecha de entrada del nuevo código de medida. Para este caso el promedio de consumo o transferencia de energía es de 329.8 Mwh/mes [8], por lo cual el tipo de punto de medición es 3 según la Tabla1.

La capacidad instalada de la UPB se calculó como la suma de la potencia nominal de los transformadores instalados dentro del campus. Ésta capacidad es de 2.79 MVA, por lo cual el tipo de punto de medición sería el 2 según la Tabla1.

Según los dos parámetros de selección del tipo de punto de medición, conlleva a elegir dos valores diferentes. Por tal motivo se escoge el punto de medición 2, ya que el artículo 6 especifica que en presentarse este caso se debe elegir el tipo de punto de medición de mayores especificaciones.

Tabla1. Selección de puntos de medición

Tipo de puntos de medición	Consumo o transferencia de energía, C, [MWh-mes]	Capacidad Instalada, CI, [MVA]
1	$C \geq 15.000$	$CI \geq 30$
2	$15.000 > C \geq 500$	$30 > CI \geq 1$
3	$500 > C \geq 50$	$1 > CI \geq 0,1$
4	$50 > C \geq 5$	$0,1 > CI \geq 0,01$
5	$C < 5$	$CI < 0,01$

Resolución CREG 038 de 2014 [7]

2.3. Clase de exactitud y precisión para medidores y transformadores de medida.

De acuerdo al tipo de punto de medición encontrado, para este caso el 2, se especifica la clase de contador eléctrico y el tipo de transformadores de corriente y de tensión que se deben instalar en la frontera comercial.

Según la Tabla 2, extraída de la resolución CREG 038, se selecciona el valor de exactitud de los dispositivos de medida.

Medidores de energía activa: 0.5s

Medidores de energía reactiva: 2

Transformadores de corriente: 0.5

Transformadores de potencial: 0.5 [7]

Para este caso la frontera comercial de la Universidad Pontificia Bolivariana debe contar con un medidor eléctrico de respaldo, el cual debe tener las mismas señales de tensión y de corriente y las mismas especificaciones del contador eléctrico principal. Además el desfase máximo permitido en el reloj interno del contador principal como de respaldo debe ser de 30 segundos según el tipo de punto de medición

El medidor que actualmente posee la frontera comercial cumple con las especificaciones técnicas que exige la norma. Dado el caso que los CT's y PT's no cumplan con las especificaciones aquí mencionadas, se deberán reemplazar por elementos que cumplan tanto las especificaciones técnicas como con certificado de conformidad de productos expedido por una entidad acreditada por la ONAC.

Tabla 2. Requisitos de exactitud para medidores y transformadores de medida

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		

Resolución CREG 038 de 2014

Después de realizar el rediseño de la frontera comercial según lo establecido por el nuevo código de medida se recomienda instalar los dispositivos presentados en la tabla 3. En el anexo 8 se puede observar una comparación entre la frontera comercial existente y la frontera comercial rediseñada.

Tabla 3. Equipos recomendados en el rediseño de la frontera comercial

Equipo	Marca	Referencia	Modelo
Medidor Bidireccional	Itrón	SL7000	SL762B
Transformador de corriente	RITZ	GIFS	GIFS 17,5
Transformador de potencial	RITZ	VZF	VZF 17,5

Itrón [6] - Ritz[9]

2.4. Ley 1715 de 2014

El objetivo de la ley 1715 [10] es fomentar e incentivar la generación de energía eléctrica mediante fuentes de energías renovables no convencionales e integrarlo al sistema energético nacional. Con esto se busca un desarrollo económico sostenible, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y seguridad del abastecimiento energético. Además el gobierno por medio de esta ley otorga beneficios fiscales a quienes autogeneren por medio de estas FNCER tales como como reducción de su renta hasta el cincuenta por ciento del valor total de la inversión realizada, los equipos que se adquieran para la producción de energía estarán excluidos del pago del IVA, estarán exentos de pagar derechos

arancelarios de importación de materiales para tal fin, entre otros [10].

Con el proyecto de la micro-red que se viene desarrollando en la Universidad, se está autogenerando energía eléctrica a través de energías renovables no convencionales como la eólica y la solar con las cuales se está supliendo energía eléctrica a pequeñas cargas propias como la iluminación en algunos bloques y en un sendero peatonal en la entrada de la avenida nutibara, además próximamente se va a potencializar esta autogeneración con la entrada en funcionamiento de un biodigestor el cual entrará a inyectarle más energía a la micro red.

Dado el caso que la Universidad tenga la capacidad de abastecer su demanda y además pueda inyectarle energía a la red de EPM, es necesario contar con un medidor bidireccional que pueda registrar los consumos en ambos sentidos. Este contador deberá cumplir con las especificaciones técnicas del tipo de punto de medición seleccionado anteriormente. El medidor Itrón SL 7000 referencia SL 762B cumple con los requisitos mencionados [6].

Según la UPME de 2015 en la Tabla4, del presente documento, se definen los límites de autogeneración a pequeña escala.

En este caso los excedentes que se entreguen a la red de distribución se reconocerán mediante un esquema bidireccional como créditos

Tabla4. Alternativa límites de pequeña escala

Alternativa	Criterio		Capacidad
1	Aplica para todas las fuentes de generación definidas en la ley 1715: Biomasa, PCH, Eólica, Geotérmica, Solar, Mares		< 1 MW
2	Tipo de Usuario	Regulado	< 100 kW
		No Regulado	< 1 MW
3	Tipo de Usuario y nivel de tensión	Regulado residencial unifamiliar	< 100 kW NT1
		Regulados Residencial conjunto multifamiliar Microred	< 100 kW NT1 o NT2
		Regulado comercial e Industrial	NT1 o NT2: < 100 kW
		No Regulado	NT2: < 100 kW
			NT2: 100 kW < P < 1 MW

UPME [11]



Figura 64. Medidor eléctrico recomendado para frontera comercial Itrón [6]

Tabla 5. Referencia de medidores SL 700

Por tipo de cliente	
SL761D ó SL761E	Clientes a tarifa, conexión directa
SL761C	Clientes a tarifa, conexión a transformadores de medida
SL762A	Clientes cualificados tipo 1: Clase 0.2S Protocolo de comunicaciones IEC 870-5-102
SL762B	Clientes cualificados tipo 2: Clase 0.5S. Protocolo de comunicaciones IEC 870-5-102
SL762C	Clientes cualificados tipo 3: Clase 1. Protocolo de comunicaciones IEC 870-5-102

Itrón [6]

3. METODOLOGÍA PARA TRANSMITIR DE MANERA REMOTA LA MEDIDA DE CADA SUBESTACIÓN

Con el proyecto de la micro-red en la Universidad Pontificia Bolivariana y con el fin de llevar una buena gestión, control y trazabilidad del consumo energético, se realizó un recorrido por las subestaciones para evidenciar cuales subestaciones no poseían medidores de energía eléctrica, y recomendar la instalación de medidores con puerto de comunicación en cada una de estas con el fin de que estos consumos puedan ser transmitidos al centro de control, para realizar análisis y toma de decisiones en tiempo real.

Según la metodología propuesta en el anexo 6, inicialmente se debe realizar una inspección física a cada subestación con el fin de comprobar que subestaciones poseen medidor; luego se define las mínimas especificaciones técnicas requeridas que deben cumplir estos medidores, como poseer puerto de comunicación además de la función de graficar una curva diaria de demanda. A continuación se realiza una comparación de las especificaciones técnicas necesarias con los medidores existentes en cada subestación con el fin de verificar cuales cumplen con éstas. Después de tener todo definido, se adquiere el medidor que se ajuste a las especificaciones técnicas y se define el protocolo de comunicación que se quiere emplear, en este caso ETHERNET. Por último se debe instalar un puerto de red desde un cuarto de cableado cercano a cada subestación por medio de cable UTP/STP cat 6A con el fin de realizar la medición de manera remota.

De acuerdo a los requerimientos que tiene el centro de control para centralizar la medida, y con el apoyo de la empresa Laumayer se recomienda instalar un multímetro digital referencia DMG800 que mide valores máximos y mínimos de tensión, corriente, frecuencia, potencia, factor de potencia, asimetría de corriente y tensión, distorsión armónica en corriente y tensión, función de promedios, contador de horas parciales y totales, análisis de armónicos de voltaje y corriente hasta el orden 31°, medidas en valor eficaz-RMS, contadores de energía activa, reactiva parcial y total; tiene la posibilidad de expandirse hasta en cuatro módulos, puerto de comunicaciones RS232, RS485, USB, comunicaciones Ethernet y profibus. Este dispositivo posee una función gráfico TREND la cual permite seleccionar una variable eléctrica como tensión, potencia activa, potencia reactiva o potencia aparente y realiza un gráfico de las medidas realizadas las últimas 24 horas [12].



Figura 65. Medidor DMG800 a instalar en subestaciones Lovato

4. ANALISIS DE CARGABILIDAD DE TRANSFORMADORES

En las subestaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana se instaló un analizador de redes con el fin de registrar la carga que tienen asociados cada uno de los transformadores. El equipo registró los datos por un periodo de 24 horas, con un tiempo de muestreo de 30 segundos. Este procedimiento se hizo en días de semana hábiles, ya que en estos días la universidad presenta un mayor consumo de energía.

Para calcular la capacidad instalada y el factor de potencia de cada transformador se siguieron los siguientes pasos.

Se analiza la gráfica de potencia (kVA) vs tiempo (h) entregada por el analizador de redes y se observa el momento en el cual ocurre el mayor promedio de carga de cada transformador. Luego se seleccionan los datos de potencia aparente y factor de potencia registrados en el periodo de tiempo mencionado sacando un promedio y así considerar dichos valores como típicos. En la Tabla 7 se presentan los intervalos de tiempo escogidos en el análisis de cada transformador.

Los datos de la potencia demandada en los transformadores del bloque 7, Ctic y ascensores, y el transformador del bloque de ingeniería se seleccionaron de forma diferente. En estos transformadores la curva de demanda presenta picos continuamente, por lo cual la selección del valor de potencia no se realiza como un promedio sino que se escoge un valor de manera

visual en el que el valor de potencia de dichos picos se repite constantemente.

Con el valor de potencia aparente escogido se calcula el porcentaje de carga que tiene cada transformador a partir de la expresión

$$C = \frac{P_d}{P_n} * 100\%, \quad (1)$$

donde C , P_n y P_d representan, respectivamente, el porcentaje de carga, la potencia nominal y la potencia de demanda del transformador.

En la Tabla6 se especifica la potencia nominal de cada transformador y la capacidad instalada en cada uno de estos.

Tabla6. Capacidad instalada Transformadores UPB

Transformador	Potencia Nominal [kVA]	Capacidad instalada [kVA]	Factor de potencia	Capacidad instalada [kW] ⁽¹⁾	Capacidad instalada [%]
Bloque Administrativo	400	99	0,93	92,07	25
Bloque 12	75	40	0,99	39,6	53
Bloque Biblioteca	350	106	0,97	102,82	30
Bloque Polideportivo	75	25	0,99	24,75	33
Bloque 7, Ctic	225	60	0,98	58,8	27
Bloque 7, Ascensores	45	21	0,81	17,01	47
Bloque Parquaderos	300	104	1,00	104	35
Bloque 8, CPA	112.5	52	0,99	51,48	46
Bloque 8, Laboratorios	110	59	0,97	57,23	54

Transformador	Potencia Nominal [kVA]	Capacidad instalada [kVA]	Factor de potencia	Capacidad instalada [kW] ⁽¹⁾	Capacidad instalada [%]
Bloque 8	150	4	0,91	3,64	3
Bloque 8, AA	300	31	0,82	25,42	10
Bloque 9, AA	225	55	0,97	53,35	24
Bloque 9, Tablero general	400	82	0,99	81,18	21
Bloque 10	45	36	0,92	33,12	80
Bloque Ingeniería	86	111	0,98	108,78	129
Bloque Ingeniería	45	16	0,94	15,04	36
Bachillerato	225	149	0,98	146,02	66
Garajes	150	78	0,97	75,66	52
Bloque Medicina ⁽¹⁾	75	39	0,98	38,22	52
Nota: (1): La potencia nominal del transformador del bloque de medicina se asume con la relación de transformación de los TC's debido que la placa no se alcanza a detallar					

Tabla 7. Intervalos de tiempo escogidos para seleccionar los datos de potencia y factor de potencia de cada transformador

Subestación	Fecha de análisis	Capacidad instalada [kVA]	Factor de potencia
Bloque Administrativo	18/03/2015	09:19	10:20
Bloque 12	25/03/2015	08:00	13:00
Bloque Biblioteca	25/03/2015	08:00	14:30
Bloque Polideportivo	07/04/2015	17:30	20:30

Subestación	Fecha de análisis	Capacidad instalada [kVA]	Factor de potencia
Bloque 7, Ctic	18/03/2015	14:30	18:30
Bloque 7, Ascensores	30/07/2015	14:00	15:30
Bloque Parquaderos	07/04/2015	18:00	22:00
Bloque 8, CPA	13/05/2015	14:00	16:00
Bloque 8, Laboratorios	12/05/2015	10:30	13:00
Bloque 8	24/08/2015	15:20	16:14
Bloque 8, AA	24/08/2015	14:30	15:10
Bloque 9, AA	30/07/2015	14:10	15:46
Bloque 9, Tablero general	28/01/2015	10:01	11:31
Bloque 10	31/07/2015	11:00	12:00
Bloque Ingeniería	12/08/2015	09:00	10:00
Bloque Ingeniería	07/09/2015	08:00	10:00
Bachillerato	19/08/2015	11:00	12:00
Garajes	20/08/2015	09:30	11:00
Bloque Medicina	12/11/2015	11:00	13:00

La Figura 66 se obtiene a partir de la Tabla6 en la cual se evidencia que más de la mitad de los transformadores instalados en la Universidad se encuentran sobredimensionados. Sólo un 17 % de los transformadores poseen una demanda mayor al 60% de su capacidad nominal. Cabe resaltar que para ésta gráfica no se tuvo en cuenta el transformador del bloque de medicina debido que la

capacidad nominal de éste se asume con la relación de transformación de los CT's, ya que la placa no se logra visualizar.

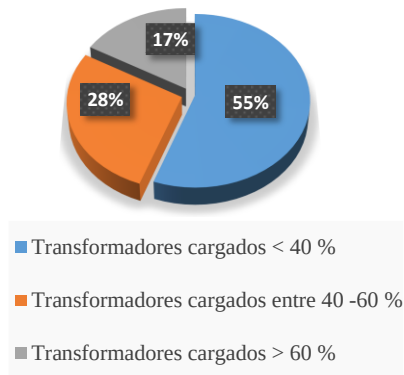


Figura 66. Porcentaje de cargabilidad de transformadores

Este sobredimensionamiento de los transformadores genera pérdidas técnicas, que conllevan a pérdidas económicas. Por lo dicho anteriormente, se recomienda revisar el procedimiento que se está llevando a cabo en la Universidad para elegir la capacidad nominal de los transformadores que se instalan.

Asimismo se recomienda retirar de funcionamiento el transformador de 150 kVA del Bloque 8, debido que está cargado no más del 3% y esto genera grandes pérdidas. También, cabe resaltar que el transformador de 86 kVA del Bloque de ingenierías

presenta sobrecargas hasta el 130 % en ciertos periodos de tiempo del día analizado, por lo que se sugiere cambiar dicho transformador por uno de mayor capacidad.

5. METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA CARGABILIDAD DE LOS TRANSFORMADORES Y LAS PÉRDIDAS TÉCNICAS Y NO TÉCNICAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA UPB

En la metodología propuesta en el anexo 7 se pretende dar una explicación de cómo calcular la cargabilidad de los transformadores además de las pérdidas técnicas y no técnicas de la red de la UPB.

Primero se debe instalar un analizador de redes para registrar el consumo de potencia en cada subestación por un periodo de siete días, tiempo prudente para sacar una tendencia de consumo en una instalación. Posteriormente con los datos recopilados se realiza la curva de demanda de potencia (kVA) vs tiempo (h) y se calcula el mayor valor de potencia promedio. Con ésta información se calcula el porcentaje de carga de cada transformador con la fórmula (1). Si el porcentaje de cargabilidad registrado en cada transformador es menor al 60% se recomienda instalar un transformador de menor capacidad, debido que las pérdidas en el cobre y en el hierro se convierten en un factor representativo económicamente. En cambio si el porcentaje es mayor se recomienda dejar documentado el valor reportado para tener una trazabilidad de dicha medida.

Las pérdidas en un sistema eléctrico se dividen en dos, técnicas y no técnicas. Las pérdidas técnicas más significativas son las pérdidas en el cobre y en el hierro que se presentan en los transformadores y las pérdidas por distancia que se presentan en los conductores. Las pérdidas no técnicas hacen referencia a conexiones fraudulentas, errores humanos en la lectura de los medidores y la falta de medición y control. Para tratar de mitigar las pérdidas no técnicas se recomienda instalar equipos de medición en todas las subestaciones.

En la Tabla 8 y Tabla 9 se observan las pérdidas en carga y en vacío típicas de los transformadores con refrigeración en aceite y seco.

Tabla 8. Pérdidas típicas en carga y en vacío de transformadores refrigerados en aceite

Potencia Nominal [kVA]	Pérdidas en carga [kW]	Pérdidas en vacío [kW]
30	0.515	0.135
45	0.71	0.18
75	1.09	0.265
86	1.21	0.289
110	1.506	0.357
112.5	1.54	0.365
150	1.96	0.45
225	2.89	0.615
300	3.675	0.765
350	4.139	0.814

Potencia Nominal [kVA]	Pérdidas en carga [kW]	Pérdidas en vacío [kW]
400	4.73	0.93

NTC 819 [13]

Tabla 9. Pérdidas típicas en carga y en vacío de transformadores con refrigeración natural

Potencia Nominal [kVA]	Pérdidas en carga [kW]	Pérdidas en vacío [kW]
30	0.652	0.26
45	0.934	0.3
75	1.444	0.4
112.5	2.041	0.55
150	2.579	0.675
225	3.583	0.9
300	4.561	1.12
350	5.19	1.24
400	5.82	1.36
500	6.949	1.6
630	8.35	1.87
750	9.61	2.04
800	10.077	2.21

Transformadores Suntec [14]

Con el porcentaje de carga y el valor de las pérdidas técnicas típicas de los transformadores, se calcula las pérdidas totales a partir de la expresión

$$P_T = C^2 * P_c + P_o, \quad (2)$$

donde P_T , C , P_c , P_o , representan las pérdidas totales, el porcentaje de carga, las pérdidas en carga y las pérdidas en vacío respectivamente.

En la Tabla 10 se aprecia las pérdidas en kW de cada uno de los transformadores de la Universidad Pontificia Bolivariana

Tabla 10. Pérdidas técnicas de los transformadores

Transformador	Cargabilidad [%]	Pérdidas en carga [kW]	Pérdidas en vacío [kW]	Pérdidas totales [kW]
Bloque Administrativo	25%	4,73	0,93	1,220
Bloque 12	53%	1,09	0,265	0,575
Bloque Biblioteca	30%	5,19	1,24	1,716
Bloque Polideportivo	33%	1,09	0,265	0,386
Bloque 7, Ctic	27%	3,583	0,9	1,155
Bloque 7, Ascensores	47%	0,71	0,18	0,335
Bloque Parqueaderos	35%	4,561	1,12	1,668
Bloque 8, CPA	46%	1,54	0,365	0,694
Bloque 8, Laboratorios	54%	1,506	0,357	0,790

Transformador	Cargabilidad [%]	Pérdidas en carga [kW]	Pérdidas en vacío [kW]	Pérdidas totales [kW]
Bloque 8	3%	1,96	0,45	0,451
Bloque 8, AA	10%	3,675	0,765	0,804
Bloque 9, AA	24%	2,89	0,615	0,788
Bloque 9, Tablero general	21%	5,82	1,36	1,605
Bloque 10	80%	0,71	0,18	0,634
Bloque Ingeniería	129%	1,21	0,289	2,305
Bloque Ingeniería	36%	0,71	0,18	0,270
Bachillerato	66%	2,89	0,615	1,882
Garajes	52%	1,96	0,45	0,980
Bloque Medicina	52%	1,09	0,265	0,560

6. CONCLUSIONES

Se desarrolló de manera exitosa el levantamiento de información del sistema eléctrico de la Universidad Pontificia Bolivariana, actualizando y digitalizando los diagramas unifilares de cada subestación. Además se realizó un esquema en Google Earth de la red de distribución del campus universitario, observando la ubicación de las subestaciones como el recorrido de la red de distribución.

En el recorrido realizado por el campus universitario se logró realizar una inspección del estado en que se encontraban las subestaciones y la red de distribución, revisando que normas técnicas se estaban cumpliendo y en cuales se estaban incurriendo en una falla. Se pudo evidenciar que la mayoría de subestaciones están incumpliendo normas técnicas que pueden ser corregidas muy fácilmente y que no requieren de costos elevados, como la marcación y señalización con los avisos correspondientes de las celdas de transformación, los tableros eléctricos y las puertas de acceso. También la marcación de los conductores y las protecciones eléctricas. Asimismo se deben instalar lámparas de emergencia en cada subestación y colocar un extintor en las mismas.

En la frontera comercial se debe instalar un medidor eléctrico de respaldo que cumpla las mismas características del medidor principal para que la frontera no sea declarada en falla. Además se deben revisar las especificaciones de los transformadores de

potencia y de corriente para poder saber si cumplen con el nuevo código de medida. En caso de no cumplir, se deben cambiar para que la frontera no se declare en falla.

Debido a que la UPB se encuentra implementando FNCER para autogenerar energía eléctrica y suplir su propio consumo, y en un futuro inyectar los excedentes de ésta a la red de EPM, se puede acoger a varios beneficios que otorga el gobierno ya sean fiscales o financieros para la implementación de este tipo de proyectos.

Se están presentando pérdidas no técnicas por errores humanos o por conexiones fraudulentas, debido a que la mayoría de subestaciones no poseen medidores de energía con los cuales se pueda realizar un control del consumo energético por subestación.

Luego de analizar la cargabilidad de los transformadores se pudo evidenciar que la mayoría de transformadores se encuentran sobredimensionados, por lo cual se sugiere revisar el procedimiento que se está llevando a cabo en la Universidad para escoger la capacidad nominal de los transformadores que se van a instalar, ya que esto conlleva a gastos innecesarios.

Cabe resaltar que el transformador de 86 kVA del bloque de ingenierías llega a presentar una sobrecarga del 140 % a ciertas horas del día. Por lo dicho anteriormente, se recomienda hacer un cambio de este transformador por uno de mayor capacidad o realizar un análisis si esta sobrecarga se genera cuando está en uso el laboratorio de máquinas los cuales poseen elementos no lineales como los variadores de velocidad que generan armónicos y pueden sobrecargar el transformador.

REFERENCIAS

- [1] Software de Diseño y dibujo arquitectónico y de ingeniería AutoCAD-autodesk
<http://www.autodesk.com/education/free-software/autocad>
- [2] Cables centelsa. Boletín técnico marzo(2005)
<http://www.centelsa.com.co/archivos/3d6c0e37.pdf>
- [3] Google earth,TM(2015). version 7.1.5.1557.
- [4] Ministerio de minas y energía de la Republica de Colombia-Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE-resolución No9. 0708 agosto 30 (2013)
<https://www.minminas.gov.co/documents/10180/712360/Anexo+General+del+RETIE+2013.pdf>.
- [5] Subgerencia redes de distribución, Normas técnicas de energía-Empresas Públicas de Medellín EPM
<http://www.epm.com.co/site/proveedoresycontratistas/Proveedoresycontratistas/Centrodedocumentos/Normas%C3%A9nicas/Energ%C3%ADa.aspx#1-242>.
- [6] Itron medidores industriales de alta precisión ACE SL7000 contador registrador según reglamento de punto de medida
www.itron.com/local/Spain%20Product%20Portfolio/ACE%20SL7000%20tipo%20762-EL-ES-04.14.pdf
- [7] Ministerio de minas y energía, Comisión de regulación de energía y gas nuevo código de medida. Resolución CREG 038 20 de marzo (2014)
- [8] EPM portal VIP clientes corporativos reportes de energía por telemedida
<https://www10.epm.com.co/portalvip/?returnurl=%2fportalvip%2fEnerg%C3%ADa%2fReportes-de-telemedida%2fConsumos-Energ%C3%ADa-ActivaD%C3%ADa%3freturnurl%3d%2fportalvip%2fInicio.aspx>
- [9] RITZ instrument transformer-un especialista líder mundial
<http://www.ritz-international.com/index.php?id=481>
- [10] Ministerio de minas y energía de la República de Colombia-Ley 1715 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.13 de mayo(2014)
- [11] Unidad de planeación minero energética-UPME
http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/Documento_anexo_limite_autogeneracion.pdf
- [12] LovatoElectric multímetros digitales y analizadores de redes serie DMG con gráfico retroiluminado pantalla de LCD
http://www.lovatoelectric.com/Download/PD62GB06_09.pdf
- [13] Norma técnica Colombiana NTC 819. Transformadores trifásicos autorefrigerados y sumergidos en líquido. corriente sin carga, pérdidas y tensión de cortocircuito
<http://www.wmsas.co/documentos/Normas%20sector%20electrico/Transformadores/NTC819.PDF>
- [14] Transformadores suntec.Trasformadores secos tipo seco abierto serie 15, 34,5KV clase H
http://www.suntec.com.co/~suntec8/sites/default/files/documentos/catalogo_transformadores_secos_abiertos_15_-_34.5_kv.pdf.

AUTORES



Camilo Andrés, GIRALDO ORTIZ, nacido en Medellín, Colombia; Bachiller académico (Colegio Corazonista de Medellín, 2007); egresado próximo a graduarse del programa de Ing. Eléctrica (UPB, 2016), actualmente labora como auxiliar de ingeniería en el área de estudios eléctricos en HMV ingenieros Ltda.



Juan David, OSSA HOYOS, nacido en Medellín, Colombia; Bachiller académico (Colegio San Jose de La Salle, 2006); egresado próximo a graduarse del programa de Ing. Eléctrica (UPB, 2016), actualmente labora como ingeniero de soporte en las áreas de energía y cableado estructurado en la empresa Consorcio Internacional de Soluciones Integrales S.A.S.