

**LEVANTAMIENTO, ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO DE LA RED ELÉCTRICA ACTUAL
DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO COMO BASE DE UNA MICRORED**



**PRESENTADO POR:
DANIEL ALEJANDRO ANDRADE ROSERO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULDADE DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2015**

**LEVANTAMIENTO, ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO DE LA RED ELÉCTRICA ACTUAL
DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO COMO BASE DE UNA MICRORED**



**PRESENTADO POR:
DANIEL ALEJANDRO ANDRADE ROSERO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO
ELECTRONICO**

**ASESOR:
PhD. ANDRES PANTOJA BUCHELI**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULADE DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2015**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“La Universidad de Nariño no se hace responsable por las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Acuerdo 1. Artículo 324. Octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Presidente del Jurado

Firma Jurado 1

Firma Jurado 2

San Juan de Pasto, 13 de agosto de 2015

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Dios por la fuerza y fortaleza brindada para asumir este grandioso proceso en mi vida. A mis padres por la confianza, apoyo y el amor depositado incondicionalmente, por ser el siempre vivo ejemplo a seguir. A mi novia por su admirable compañía, amor y fuerzas entregadas. A demás familiares que me acompañaron y vivieron este proceso académico y profesional.

A mi asesor el Ph.D Andrés Pantoja Buchelli por ser el principal apoyo en este proceso, por su esfuerzo, su tiempo y por sus siempre acertadas recomendaciones y nobles consejos.

Igualmente agradezco al personal docente e investigador, principalmente a los ingenieros David Salcedo y Javier Revelo por la magnífica ayuda ofrecida para complementar mi proyecto de grado.

Finalmente al proyecto ALTERNAR y al grupo de trabajo GIEE por permitirme vivenciar la hermosa práctica de la investigación.

Índice General

1. LEVANTAMIENTO DE LA RED ELÉCTRICA	16
1.1. Metodología utilizada.....	16
1.2. Descripción de etapas	16
1.2.1. Pre-levantamiento	16
1.2.2. Levantamiento de la red	17
1.2.3. Digitalización de la información	17
1.3. Estado actual red eléctrica.....	17
1.3.1. Alimentación.....	17
1.3.2. Subestaciones eléctricas.....	18
1.3.3. Tableros Generales y Acometidas externas	18
1.3.4. Tableros de distribución y Acometidas Internas	20
1.3.5. Elementos de soporte, medición, apoyo e iluminación	23
2. DIAGNOSTICO RED ELÉCTRICA.....	26
2.1. Anomalías principales.....	27
3. ANÁLISIS DE REDES ELECTRICAS.....	33
3.1. Registro de consumo y medición de variables	33
3.2. Procesamiento de la información	34
3.3. Base de datos.....	35
3.4. Curva de demanda de energía eléctrica en Transformadores	36
3.5. Curva comparativa de consumo con la empresa comercializadora de energía	37
3.6. Calidad de energía eléctrica	39
3.6.1. Concepto Calidad de energía.....	39
3.6.2. Alcance, estándares y regulación aplicable en Calidad de energía ..	39
3.6.3. Análisis de Calidad de energía.....	40
4. SIMULACIÓN RED ELECTRICA.....	46
4.1. Programa de simulación utilizado	46
4.2. Red eléctrica simulada.....	46
4.2.1. Validación de resultados	47

4.3.	Red eléctrica simulada con inclusión de Generadores Distribuidos (GD).	49
4.3.1.	Análisis de resultados red eléctrica con GD's	51
4.4.	Comparación de Perdidas	53
4.5.	Recomendaciones finales para una micro red	55
5.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	56
6.	RECOMENDACIONES	58
7.	BIBLIOGRAFÍA	59
8.	ANEXOS	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Acometida principal red eléctrica interna UDENAR.....	27
Figura 2. Tableros con falencias y fallas	28
Figura 3. Deficiencia en cableado.....	28
Figura 4. Espacio precario para elementos eléctricos	29
Figura 5. Cajas de inspección sin mantenimiento	30
Figura 6. Estructuras de soporte y distancias no permitidas	31
Figura 7. Anomalías en alumbrado perimetral	32
Figura 8. Montaje y disposición equipo de medición	34
Figura 9. Curvas de demanda de energía eléctrica realizadas con script de Matlab	36
Figura 10. Comparación consumo de energía con registros oficiales de ASC INGENIERÍA S.A E.S.P	38
Figura 11. Tensiones y corrientes de fase Transformador 1	41
Figura 12. Potencias trifásicas y factor de potencia Transformador 1	42
Figura 13. THDv y desbalance en Transformador 1.....	43
Figura 14. Día con interrupción permanente de voltaje	44
Figura 15. Comparación potencias medias con simuladas	48
Figura 16. Comparación de voltaje-corriente medidas contra simuladas en T-1 ...	49
Figura 17. Potencia activa de Generadores distribuidos	50
Figura 18. Flujo de potencia en TG-9	52
Figura 19. Curva de potencia activa diaria con GD's	53
Figura 20. Comparación pérdidas totales en el sistema.....	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Subestaciones eléctrica	18
Tabla 2. Tableros generales y Acometidas externas.....	19
Tabla 3. Tableros de distribución y Acometidas Internas	21
Tabla 4. Estructuras de soporte, medidores luminarias	24
Tabla 5. Indicadores de calidad de energía y estándares utilizados	40
Tabla 6. Generadores distribuidos incluidos en la red eléctrica	51

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. MANUAL DE LEVANTAMIENTO DE REDES ELECTRICAS UDENAR	61
ANEXO 2. PLANTILLAS LEVANTAMIENTO COMPLETAS	61
ANEXO 3. REGISTRO FOTOGRAFICO LEVANTADO	61
ANEXO 4. ESQUEMAS ELECTRICOS DE LEVANTAMIENTO	61
ANEXO 5. DIAGNOSTICO DE LA RED ELÉCTRICA	61
ANEXO 6. BASE DE DATOS VARIABLES ELECTRICAS MEDIDAS	61
ANEXO 7. INFORME CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA	62
ANEXO 8. INFORME SIMULACIÓN RED ELECTRICA	62
ANEXO 9. LISTA DE MATERIALES REMODELACIÓN RED ELECTRICA MEDIA TENSIÓN	62

RESUMEN

En este documento se presenta los procesos desarrollados para realizar un estudio detallado de la red eléctrica de la Universidad de Nariño, con lo que se busca conocer su estado actual, desarrollando procesos de levantamiento de redes eléctricas en niveles de media y baja tensión para su posterior diagnóstico, de acuerdo a la normatividad eléctrica vigente, una vez la red eléctrica sea identificada y caracterizada, se estructurará una base de datos de las principales variables eléctricas obtenidas de las instalación cíclica y temporal de equipos especializados para la medición, los cuales son montados en tableros eléctricos y transformadores. Estas mediciones facilitarán la visualización de perfiles de voltaje y corriente, curvas de demanda de potencia y de energía, factor de potencia, distorsión armónica y desbalances que permitirán evidenciar el comportamiento de la red. Con estos registros, se analizará la calidad de energía eléctrica al interior de campus. Además, se propone realizar una validación de la información recopilada a través de un modelo simulado de la red que sirva como herramienta de prueba para dos aspectos principales: el primero, evaluar algunas características propias de una microred como son el uso de generadores distribuidos, y el segundo, que sea el modelo referencial de consulta para que sea aplicado a futuras investigaciones en el proyecto Análisis de Oportunidades Energéticas en el Departamento de Nariño.

ABSTRACT

This document presents the process developed to perform a detailed study about the University of Nariño's electrical grid. By developing this survey process, we find the actual state of low-medium voltage levels for its diagnostic in accordance with electrical codes. Once the grid is identified and characterized, a database is created with the most important electric variables that were measured. The measurement devices were installed in some electrical boards and transformers.

These measurements will help to view voltage and current levels, demand curves, power factors, harmonic distortion and imbalance to know the behavior of the grid. These parameters allow us to conduct an analysis of the quality of electrical power within the campus. Also, this project proposes simulating the grid to validate results. The simulated model will be used for two things: first, to evaluate some characteristics of a microgrid like the use of distributed generators, and second, to be a base model of the electrical grid in future research for the project called: Análisis de Oportunidades Energéticas en el Departamento de Nariño.

INTRODUCCION

La energía eléctrica representa el principal insumo que mueve al mundo industrial, comercial, privado o público convirtiéndose en un requerimiento esencial en la vida diaria moderna. Detrás de la disposición final de la energía que llega a nuestros hogares, están presentes procesos de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, que son procesos que están lejos de ser perfectos por la complejidad y versatilidad implementada actualmente. Los sistemas eléctricos tradicionales presentan grandes deficiencias entre las que se encuentran las siguientes: solo se convierte un tercio de la energía del combustible en electricidad, sin recuperar el calor residual que queda del proceso de transformación. Casi el 8% de la potencia eléctrica generada se pierde en las líneas de transmisión y cerca del 20% de la capacidad de generación es utilizada en los picos de demanda alta. Además debido a su topología jerárquica, la red eléctrica sufre frecuentes daños con un efecto domino a lo largo de todos sus circuitos [1].

Además de esto, el sistema eléctrico en Latinoamérica, entre los que se encuentra el Colombiano tiene una infraestructura implementada hace 40 a 60 años atrás [2], confirmando de alguna manera que en general son sistemas antiguos, difícilmente reconfigurables que presentan fallas y complicaciones, con poca eficiencia y con precarios índices en cuestiones de calidad de energía eléctrica. Confirmado que los recursos invertidos tanto monetarios como humanos por parte de las empresas prestadoras del servicio con el fin de aumentar la confiabilidad en la prestación del servicio de energía siguen siendo precarios e ineficaces, demostrando que procesos tanto técnico como investigativos que han sido aplicado a la red eléctrica existente no ha sido capaces de satisfacer las necesidades básicas de los consumidores.

Ligado a lo descrito anteriormente, la Universidad de Nariño no es ajena a esta realidad demostrado en el hecho de no poseer una infraestructura física actualizada y por consiguiente los sistemas eléctricos como su red eléctrica interna de distribución y sus principales circuitos de baja tensión han sido relegados a un segundo lugar de importancia debido al rápido crecimiento en infraestructura que ha sufrido el plantel. Por su parte, la falta de mantenimiento preventivo y correctivo a lo largo del tiempo ha llevado a su estado actual, considerando que una instalación eléctrica defectuosa es causante de daños y reducción de la vida útil de los aparatos eléctricos, ocasionando pérdidas monetarias y riesgos eléctricos permanentes a la población universitaria. Adicionalmente se desconoce con certeza la calidad de la energía eléctrica suministrada por la empresa prestadora del servicio (OR). Este parámetro influye en el correcto comportamiento energético del campus universitario, por ejemplo, las interrupciones momentáneas en tensión afectan directamente las actividades laborales y académicas al interior del campus deteniendo procesos que pueden generar costos adicionales de tiempo y de dinero. De igual manera el desconocer cuál es y cómo afecta la carga instalada a la red eléctrica da indicios de que las posibles fallencias como cortos, sobrecalentamientos y pérdidas al interior de la red, son causadas por el mismo desconocimiento que se tiene.

En vista del sin número de falencias de estos sistemas, en la actualidad se han venido desarrollando nuevos conceptos y tendencias que dentro de sus objetivos es crear redes eléctricas más eficientes, que ayuden a optimizar la gestión de los recursos, redes que promuevan el ahorro energético potencializando así la reducción de pérdidas sin olvidar definitivamente que la confiabilidad y calidad en la prestación del servicio es la base principal.

Además, la necesidad global de ayudar a la conservación del medio ambiente, ha exhortado a las empresas de servicios públicos alrededor del mundo a tener grandes desafíos por hacer, incluyendo diversificación en la generación, la óptima utilización de los recursos, una respuesta a la demanda, la conservación de la energía y la reducción del efecto invernadero [1], estas ideas son materializadas en el término conocido en la actualidad como “red inteligente” que según se dice es la dirección más acertada hacia la evolución de la red existente. Entonces, una red inteligente es una red de distribución de energía eficiente, confiable y económica que incorpora fuentes distribuidas de energía, anima y permite la participación de los clientes y basa su operación en sistemas inteligentes de automatización, monitoreo y control, cuyos principales componentes son: Fuentes de energía distribuida, dispositivos de sensado y control, una infraestructura de comunicaciones basada en fibra óptica, microondas o infrarrojo, además de esquemas de automatización y monitoreo y aplicaciones avanzadas de análisis de datos [3].

En Colombia se ha visto clara la necesidad de incluir el desarrollo de redes inteligentes en el país a través de la iniciativa “Colombia Inteligente” del Ministerio de Minas y Energía como también se ha visto, que en algunas universidades como la UIS, la UPB, UniAndes y la universidad Javeriana se ha tratado el tema de redes inteligentes tal es el caso del proyecto SILICE: A Colombian Smart Microgrid Pilot, dónde se cuenta con la participación de La UNAL, UNIANDES, U. JAVERIANA, CODENSA, cuyo objetivo es ser una iniciativa de diseño conceptual de micro redes inteligentes en circuitos de distribución, abarcando conceptos propios de las redes inteligentes como son: generación distribuida, demanda y oferta energética, sistemas de control y de comunicaciones [4].

Teniendo claro la necesidad de un cambio en las redes eléctricas actuales, la Universidad de Nariño a través del Departamento de Ingeniería Electrónica adelanta estudios acerca de estas nuevas ideas de redes modernas a través del macro-proyecto Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño con el fin de dar respuesta a las exigencias energéticas modernas. Es por esto que la presente investigación se desarrolla en el marco del proyecto mencionado y busca contribuir a la realización de su objetivo 4, desarrollando procesos de levantamiento y diagnóstico de redes eléctricas para conocer el estado actual de la red eléctrica, realizando mediciones de variables principales y simulaciones con el fin de dar la información y las recomendaciones primarias dentro de los estudios para implementar un sistema prototipo de red inteligente al interior de la institución educativa.

Este documento viene organizado por las siguientes secciones: la sección 1 es la presente introducción donde se muestra la problemática general de redes eléctricas aplicada a la Universidad de Nariño, el concepto básico de redes inteligentes además de describir el entorno de desarrollo del presente trabajo. En la sección 2 se trató los procesos de identificación de las características y elementos de la red actual del Campus UDENAR, además de explicar la metodología utilizada para llevar a cabo el levantamiento con sus respectivas etapas. La sección 3 muestra la inspección que se realizó a los componentes utilizando la normatividad eléctrica vigente, dando a conocer las principales anomalías e ineficiencias que existen en la red eléctrica de acuerdo a los requerimientos de la NTC 2050(Código Eléctrico Colombiano) y al RETIE. En la sección 4 se presenta el análisis realizado a la red eléctrica con base en las mediciones hechas por los equipos de medición en donde se incluye algunos indicadores de calidad de energía eléctrica además de presentar la estructuración de la base de datos de las variables eléctricas de la red. Por su parte en la sección 5 se muestra la simulación realizada de la red eléctrica con las recomendaciones hechas para incluir el concepto de red inteligente al campus universitario y finalmente la presentación de conclusiones y recomendaciones discutidas como resultado de la investigación.

1. LEVANTAMIENTO DE LA RED ELÉCTRICA

1.1. Metodología utilizada

En vista de que dentro de la bibliografía consultada no se encontró ningún manual o metodología que indicara la forma precisa o dictaran las instrucciones que permita desarrollar un correcto levantamiento de redes eléctricas, se vio la necesidad de crear un manual de levantamiento para ser aplicado en la Universidad de Nariño. Este manual basado en la metodología de levantamiento de redes de [5] [6] [7] y en la normatividad [8] [9], proporciona las instrucciones necesarias y establece los criterios técnicos que deben seguirse para realizar un óptimo levantamiento de redes eléctricas en las instalaciones de la Universidad de Nariño.

El instructivo creado se llama: MANUAL DE LEVANTAMIENTO DE REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN EN LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO (Anexo 1), y está dividido en las siguientes secciones:

- Objetivo
- Recomendaciones Generales
- Equipos necesarios
- Definiciones Específicas
- Abreviaturas, siglas o acrónimos
- Pasos Pre-levantamiento
- Plantillas de levantamiento
- Levantamiento de la red
- Anexos

El manual se fue complementando durante y después del levantamiento como un proceso de realimentación basado en la experiencia adquirida en el trabajo de campo.

1.2. Descripción de etapas

1.2.1. Pre-levantamiento

Se solicitó los esquemas eléctricos existentes de la red para tener una idea global de la red eléctrica de la UDENAR. Con la información dada, se clasificó y se seleccionó el plano arquitectónico general de la Universidad de Nariño en donde estaban los circuitos de media y baja tensión desactualizados. Este sirvió como plano borrador durante el trabajo de campo ya que sirvió para identificar circuitos nuevos, suprimir circuitos en desuso y corroborar datos existentes de la red eléctrica.

1.2.2. Levantamiento de la red

El levantamiento de redes eléctricas es un trabajo de campo que mediante la inspección visual y procesos de búsqueda se pretende determinar las características principales de la red eléctrica. Dicho esto, durante el proceso de levantamiento que se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad de Nariño sede Torobajo, se realizaron procesos de: identificación y ubicación de la red de alimentación en media tensión, localización de subestaciones y tableros eléctricos, rastreo de circuitos identificando ruta, calibre y longitud de cableado, procesos de georeferenciación de postes, ubicación de cajas de inspección, identificación de alumbrado perimetral identificando el tipo de estructura de soporte en media y baja tensión. Todo lo encontrado se complementa con el registro fotográfico pertinente. La topología y estructura de la red se anotaban minuciosamente en los planos borrador y se completaba la información requerida en las planillas de levantamiento, que son formularios propios de este trabajo, y buscan llevar la información ordenada además de permitir llevar un registro de caracterización de los elementos que conforman la red eléctrica.

Las planillas de levantamiento llenadas en el levantamiento se presentan en el anexo 2 y sirven como insumos de consulta detallada sobre la red eléctrica.

También se dispone del registro fotográfico realizado durante el levantamiento en el anexo 3, en donde se encuentran fotos de transformadores, tableros generales y de distribución.

Para mayor detalle sobre el proceso de levantamiento de redes eléctricas, consultar el manual de levantamiento disponible en el anexo 1.

1.2.3. Digitalización de la información

Con los datos recopilados en el proceso de levantamiento, se utilizó el programa AutoCAD para digitalizar toda la información, en donde, se actualizaron los siguientes planos:

- Plano Red eléctrica en Media Tensión
- Plano Red eléctrica en Baja Tensión
- Plano Red Alumbrado Perimetral

Además se crearon, el diagrama unifilar de media tensión y los 9 diagramas unifilares de baja tensión, que corresponde a los 9 transformadores con sus respectivas acometidas y tableros eléctricos.

Consultar anexo 4 para visualizar los planos mencionados.

1.3. Estado actual red eléctrica

1.3.1. Alimentación

La Universidad de Nariño sede Torobajo es alimentada por una red aérea de media tensión que proviene del punto de conexión ubicado en el poste con coordenadas geográficas G:142 según el plano llamado RED EN MEDIA TENSIÓN TOROBAJO

disponible en el anexo 4. Esta acometida principal de 13.2 Kv llega con tres conductores N° 4 ACSR-AWG en su gran mayoría y en N°2ACSR-AWG en algunos tramos conformando así la red eléctrica interna.

1.3.2. Subestaciones eléctricas

La red en total cuenta con ocho subestaciones tipo poste y una tipo interior repartidas en todo el campo universitario, la tabla 1 muestra las principales características de los transformadores. Todas las subestaciones cuentan con su sistema de protección conformada por sus seccionadores y pararrayos. Si se requiere mirar el registro fotográfico consultar anexo 3.

Tabla 1. Subestaciones eléctrica

TRANSFORMADOR *	UBICACIÓN *	TIPO	N° FASES	TENSIÓN [V]	CAPACIDAD [KVA]
<i>T-1</i>	G:118	Poste	3	13200/214-123.6	75
<i>T-2</i>	G:119	Poste	3	13200/214-124	75
<i>T-3</i>	G:001	Poste	3	13200/222-128**	160**
<i>T-4</i>	Bloque de aulas y tecnología	Interior	3	13200/217-125	300
<i>T-5</i>	G:123	Poste	3	13200/214-124	125
<i>T-6</i>	G:124	Poste	3	13200/233-133	45
<i>T-7</i>	G:125	Poste	3	13200/231-133	45
<i>T-8</i>	G:146	Poste	3	13200/225-130	75
<i>T-9</i>	G:144	Poste	3	13200/226-130	30
<i>* Nomenclatura tomada de plano red eléctrica (anexo 4)</i>					
<i>** Datos asumidos por falta de placa característica en el transformador</i>					

Entonces la capacidad instalada total en la Universidad de Nariño es de 930 KVA.

1.3.3. Tableros Generales y Acometidas externas

Los tableros generales son aquellos ligados directamente de cada transformador a través de la acometida externa que se define como el cableado que interconecta a estos dos elementos. Durante el levantamiento se identificaron 26 tableros generales con sus principales componentes internos. La tabla 2 indica un conglomerado de las principales características de cada tablero y su acometida.

Tabla 2. Tableros generales y Acometidas externas

TABLERO GENERAL	UBICACIÓN*	CAPACIDAD		ACOMETIDA EXTERNA	CALIBRE
		(N° de circuitos)			
		EN USO	TOTAL		
TG-1	G:118	2	2	AE-1	4N°2 AWG THW Cu
TG-2	Lab. Ingeniería civil Piso 1	30	30	AE-2	4N°2 AWG THW Cu
TG-3	Planta piloto agroindustria	67	70 (Gabinete eléctrico)	AE-3	(3N°2+1N°4)ACSR
TG-4	Lab. especializado Piso 1	34	36	AE-4	8N°4 AWG THW Cu
TG-5	Lab. especializado Piso 1	35	36	AE-4	8N°4 AWG THW Cu
TG-6	Planta eléctrica antigua	2	Gabinete eléctrico	AE-5	8N°2/0 AWG THW Cu
TG-7	Cuarto eléctrico bloque de aulas y tecnología Piso 1	23	Gabinete eléctrico	AE-6	8N°4/0 AWG THW Cu
TG-8	G:122	5	Gabinete eléctrico	AE-7	8N°2/0 AWG THW Cu
TG-9	Cuarto eléctrico bloque medicina	12	12	AE-9	4N°4 AWG THW AL
TG-10	Kiosco aula de informática	8	12	AE-10	3N°10 AWG THW Cu
TG-11	Centro de orientación y escucha	2	2	AE-11	2N°10 AWG THW Cu
TG-12	Carpintería	3	4	AE-12	2N°8 AWG THW AL
Zona restringida	Aula de informática Piso 1	-	-	AE-8	3N°10 AWG THW Cu
TG-13	Cuarto eléctrico bloque administrativo Piso 1	4	Gabinete eléctrico	AE-13	4N°1/0 AWG THW Cu

TG-14	Bloque de Derecho Piso 1	22	36	AE-14	4N°4 AWG THW Cu
TG-15	Bloque administrativo Piso 2 Secretaría general	2	2	AE-15	(2N°10+1N°12) AWG THW Cu
TG-16	Cuarto eléctrico Facultad de artes Piso 1	11	Gabinete eléctrico	AE-16	12N°2 AWG THW Cu
TG-17	Coliseo Adriana Benítez- Oficina	12	36	AE-17	4N°2 AWG THW Cu
TG-18	Coliseo Adriana Benítez- Escaleras principales	18	24	AE-18	3N°4 AWG THW Cu
TG-19	Clínica veterinaria sala de espera	2	Gabinete eléctrico	AE-19	7N°4 AWG THW Cu
TG-20	Clínica veterinaria pasillo interno	30	30	AE-20	4N°4 AWG THW Cu
TG-21	Clínica veterinaria Auditorio general	10	18	AE-21	4N°4 AWG THW Cu
TG-22	Lab. Clínico- Clínica veterinaria	18	18	AE-22	(3N°4+2N°8)AWG THW Cu
TG-23	Lab. Ingeniería civil Piso 1	3	4	AE-30	2N°8 AWG THW Cu
TG-24	Kiosco ingeniería	8	12	AE-29	3N°8 AWG THW Cu
TG-25	Tienda Lab. ingeniería	4	4	AE-31	3N°6 AWG THW AL
* Para mayor detalle sobre la posición, consultar plano de baja tensión Anexo 4					

Es necesario aclarar que hay mayor número de acometidas externas que tableros generales debido a que algunas acometidas fueron identificadas pero su punto final era inaccesible como por ejemplo: las casetas de comidas ubicadas sobre la calle 18 en la parte externa de la Universidad.

1.3.4. Tableros de distribución y Acometidas Internas

Las acometidas internas hacen referencia al cableado que conecta a un tablero general con sus subtableros o tableros de distribución, los cuales contienen los circuitos ramales que alimentan las cargas particulares asociadas a luminarias, tomacorrientes y algunas cargas especiales como motores, imprenta,

fotocopiadoras y equipos de laboratorio entre otros, estas cargas se distribuyen a través de toda la infraestructura física de la institución. La tabla 3 presenta el resumen de los tableros de distribución y acometidas identificados en el levantamiento.

Tabla 3. Tableros de distribución y Acometidas Internas

TABLERO DISTRIBUCION	UBICACIÓN*	CAPACIDAD	ACOMETIDA INTERNA	CALIBRE
<i>TD-1</i>	Cuarto eléctrico bloque ingeniería	12	AI-1	4N°4 AWG THW Cu
<i>TD-2</i>	Cuarto eléctrico bloque ingeniería	12	AI-1	4N°4 AWG THW Cu
<i>TD-3</i>	Cuarto eléctrico bloque ingeniería	12	AI-1	4N°4 AWG THW Cu
<i>TD-4</i>	Cuarto eléctrico bloque ingeniería	12	AI-1	4N°4 AWG THW Cu
<i>TD-5</i>	Bloque 2 Piso 4	24	AI-2	4N°4 AWG THW AL
<i>TD-6</i>	Bloque 2 Piso 3	18	AI-2	4N°4 AWG THW AL
<i>TD-7</i>	Bloque 2 Piso 2	24	AI-2	4N°4 AWG THW AL
<i>TD-8</i>	Bloque 2 Piso 1	18	AI-2	4N°4 AWG THW AL
<i>TD-9</i>	Oficina Antiguo cajero exterior UDENAR	8	AI-6	2N°10 AWG THW Cu
<i>TD-10</i>	Bloque 3 Piso 4	18	AI-4	4N°4 AWG THW AL
<i>TD-11</i>	Bloque 3 Piso 3	18	AI-4	4N°4 AWG THW AL
<i>TD-12</i>	Bloque 3 Piso 2	16	AI-4	4N°4 AWG THW AL
<i>TD-13</i>	Bloque 3 Piso 1	18	AI-4	4N°4 AWG THW AL
<i>TD-14</i>	Parte final de tejado entrada peatonal	2	AI-5	DUPLEX N°10

TD-15	Caseta celaduría entrada peatonal	4	AI-30	2N°10 AWG THW Cu
TD-16	Auditorio Luis Santander-Cuarto de proyecciones	24	AI-7	4N°2 AWG THW Cu
TD-17	Auditorio Luis Santander-Cuarto de proyecciones	18	AI-7	4N°2 AWG THW Cu
TD-18	Auditorio Luis Santander-Cuarto de proyecciones	18	AI-7	4N°2 AWG THW Cu
TD-19	Cuarto eléctrico Aula informática	1	AI-8	4N°1/0 AWG THW Cu
TD-20	Cuarto eléctrico audiovisuales-Aula informática	12	AI-9	4N°1/0 AWG THW Cu
TD-21	Cuarto eléctrico Aula informática	12	AI-10	4N°2 AWG THW Cu
TD-22	Cuarto eléctrico audiovisuales-Aula informática	1	AI-11	6N°4 AWG THW Cu
TD-23	Punto de venta Granja-Planta eléctrica	Gabinete eléctrico	AI-29	4N°6 AWG THW Cu
TD-24	Punto de venta	18	AI-12	4N°6 AWG THW Cu
TD-25	Unidad Medica		AI-13	(2N°8+1N°10) AWG THW Cu
TD-26	Cafetería Nueva	36	AI-14	4N°4 AWG THW Cu
TD-27	Fotocopia exterior cafetería nueva	2	AI-15	(2N°6+1N°8)AWG THW Cu
TD-28	Imprenta-Facultad de agroindustria Piso 0	12	AI-17	4N°2 AWG THW AL
TD-29	Facultad de agroindustria Piso 0	36	AI-18	4N°2 AWG THW AL

TD-30	Pasillo frente a oficina servicios generales	42	AI-19	7N°2 AWG THW AL
TD-31	Lab. de cultivo de tejidos	6	AI-20	3N°6 AWG THW AL
TD-32	Anfiteatro veterinaria	8	AI-21	4N°8 AWG THW Cu
TD-33	Lab. Ciencias pecuarias	36	AI-22	4N°6 AWG THW Cu
TD-34	Ing. Acuícola-cuarto de bomba eléctrica	8	AI-23	4N°6 AWG THW AL
TD-35	Ing. Acuícola-Lab. Hidráulica	4	AI-24	(1N°8 +1N°10)AWG THW AL
TD-36	Ing. Acuícola-Lab. de aire	6	AI-25	(3N°8 +1N°10)AWG THW AL
TD-37	Ing. Acuícola-Piso1	12	AI-26	3N°8 AWG THW AL
TD-38	Ing. Acuícola-Piso1	9	AI-27	3N°6 AWG THW AL
TD-39	Ing. Acuícola-Piso2	12	AI-28	(4N°4+1N°10) AWG THW AL
TD-40	Dpto. Psicología	9	AI-16	3N°8 AWG THW Cu
TD-41	UNAPSI	4	AI-31	2N°8 AWG THW AL
* Para mayor detalle sobre la posición, consultar plano de baja tensión Anexo 4				

Si se compara el número de acometidas internas con el número de tableros de distribución, se puede determinar que existe mayor número de tableros que de acometidas debido a que en ocasiones una acometida alimenta en el mismo sitio a dos o más tableros dando como resultado el número menor de acometidas.

1.3.5. Elementos de soporte, medición, apoyo e iluminación

Dentro del levantamiento, también se encontraron los siguientes elementos dados en la tabla 4, la cual presenta la cantidad de materiales relacionados con los elementos pertenecientes a la red eléctrica.

Tabla 4. Estructuras de soporte, medidores luminarias

ITEM	CANTIDAD
<i>Postes</i>	58
<i>Cajas de inspección</i>	56
<i>Medidores de energía eléctrica</i>	2
<i>Luminarias</i>	92
<i>Reflectores</i>	11

El tramo de línea externo en 13.2 kV que bordea a la Universidad de Nariño por la calle 18 esta soportado por 6 postes de los cuales 3 son de 12 metros y los restantes de 10 metros. De igual manera, la red eléctrica interna del plantel cuenta con 17 postes de 12m, 6 postes de 10m y 35 postes de 8 metros para un total de 58 postes repartidos en todo el campus universitario. Generalmente, los postes de 12 metros son los que soportan cableado de media tensión y los de 8 metros son utilizados en su gran mayoría para el alumbrado perimetral y circuitos de baja tensión.

En media tensión, solo existen dos cajas de inspección vinculadas con el transformador del bloque de aulas y tecnología (T-4) por ser el único de tipo interior. En baja tensión se cuentan con 54 cajas que albergan el paso para las acometidas subterráneas. En el plano de baja tensión (Anexo4), se indica la ubicación correcta de todas estas cajas de inspección, de las cuales 6 son hipotéticas, es decir, no se tiene certeza de su existencia y ubicación, pero a juicio del levantamiento se asume que están ahí. En el plano, las cajas de inspección que presentan un * son aquellas que son hipotéticas, por ejemplo las CI-14* Y CI-15* se asumen que existen pero debido a un relleno de tierra que realizaron en el terreno se taparon y no fue posible acceder a ellas. Por este tipo de razones entre las que también se destacan: tapas selladas, grandes longitudes de cableado y zonas de difícil acceso hacen pensar de la posible y factible idea de la existencia de cajas de inspección no identificadas plenamente en el levantamiento.

Existen dos medidores de energía activa, el uno trifásico tetrafilar y el otro monofásico, ambos marca ISKRA ubicados en el TG-17 y en el TD-9 respectivamente.

Por otra parte, en los T-5 (transformador 5) y en T-6 (transformador 6) hay equipos de medición pertenecientes a la empresa MEC MEDIDAS ELECTRÓNICAS CENTRALIZADAS S.A.S que al parecer toman medidas de voltaje y corrientes a través de TC's y caimanes; no se tiene conocimiento de si estas mediciones están vigentes y activas.

El alumbrado perimetral principal está ligado directamente con los 4 transformadores siguientes: T-1 tiene 49 luminarias sodio de 70w y 5 reflectores sodio de 150w conectadas a un circuito compartido con las acometidas de baja tensión e ilumina a gran parte del campus, los transformadores T-9 y T-6 tienen 2 y 1 luminarias de sodio 70w respectivamente y el T-2 alberga 5 luminarias de iguales

características con un circuito independiente. Por otro lado, hay iluminación vinculada a tableros eléctricos de baja tensión como se muestra a continuación: existen 11 lámparas conectadas al TG-6 iluminando zona posterior de la universidad limítrofe al río Pasto, hay 6 luminarias conectadas a TG-5 que iluminan las periferias del bloque de laboratorio especializado, por otro lado, hay 12 lámparas conectadas a dos subtableros de los TG-20 y TG-22 que alumbran la zona de clínica y laboratorios de veterinaria; también hay 4 reflectores Metal Halide 400w que iluminan las canchas auxiliares del Coliseo Adriana Benítez controlados a través del TG-18, por otro lado hay 2 reflectores sodio 150w para iluminar la parte de la facultad de artes conectadas a un subtablero del TG-16 y finalmente 6 lámparas ligadas al TD-25 que alumbran la zona peatonal de la unidad médica. Todas las lámparas consideradas anteriormente utilizan tecnología sodio, bifásicas a 70w. Para profundizar en detalle aspectos relacionados con alumbrado perimetral consultar el anexo 4 plano alumbrado perimetral.

Finalmente, como medio de consulta es útil ver el anexo 2 que proporciona las características importantes de los tableros, acometidas, transformadores como por ejemplo: cantidad y material de los barrajes, sistemas de protección a tierra, mediciones instantáneas de voltaje-corriente, longitud cableado entre otros.

2. DIAGNOSTICO DE LA RED ELÉCTRICA

Como se explicó anteriormente, durante el desarrollo del levantamiento se iban tomando anotaciones y registros fotográficos de aquellos ítems o elementos que presentaban ciertas anomalías, entonces basándonos principalmente en la normatividad vigente en el sector eléctrico colombiano: RETIE y NTC 2050 y en los procesos de inspección y diagnóstico eléctrico aplicadas en [10] [11] [12], se evaluaron los aspectos más importantes de la red eléctrica enumerados a continuación:

- Requerimientos generales
- Requerimientos con productos
- Líneas de alimentación
- Transformadores
- Tableros eléctricos
- Acometidas

Debido al gran tamaño de la red eléctrica se vio la necesidad de crear un informe de diagnóstico e inspección a través de una archivo Excel(Anexo 5), el cual, está conformado por dos pestañas, la primera llamada GENERALES que abarca los requerimientos en los transformadores, productos eléctricos en general, acometidas y líneas de media tensión, mientras que la segunda llamada TABLEROS, muestra una lista de verificación de todos los tableros generales y de distribución en donde se evalúa: , sistemas de puesta a tierra, el encerramiento, barrajes, terminales, rotulación, localización, aspecto físico, ventilación y accesibilidad. Lo anterior se desarrolló con el fin de mostrar con orden y claridad las ineficiencias o cumplimientos de la red de acuerdo a las exigencias de la norma.

Para enfatizar un poco más en que consiste este informe, en la pestaña GENERALES, el ítem “Concepto” indica el requerimiento general de acuerdo al artículo específico del RETIE o sección puntual de la NTC 2050. Por su parte, el ítem “Diagnostico” puede tener 4 opciones de respuesta: Cumple, No cumple, No aplica o No evaluado, en donde el calificativo No aplica hace referencia a que el concepto no evalúa ese producto o elemento particular, y el término No evaluado significa que ese requerimiento no se tuvo en cuenta durante el levantamiento. Además en el ítem “Observaciones” están algunos apuntes de aclaración y presenta el registro fotográfico de diagnóstico que se encuentra disponible como anexo 5 carpeta FOTOS para una correcta visualización. Por otro lado, en la pestaña TABLEROS del mismo archivo Excel, se exponen los requerimientos básicos y principales que son aplicables a los tableros eléctricos según la normatividad, dando un veredicto de: Cumplimiento o No cumplimiento de acuerdo a cada ítem evaluado.

Para comprender la información utilizada en el archivo Excel de diagnóstico, se debe tener a la mano los planos de media, baja y alumbrado perimetral dados en el anexo 4.

2.1. Anomalías principales

La figura 1 muestra la acometida principal en media tensión, el cual presenta en diferentes segmentos una separación entre las fibras de aluminio en el cable ACSR, mostrando un claro deterioro exigiendo con gran urgencia su reemplazo como lo expresa el artículo 25 en el RETIE.



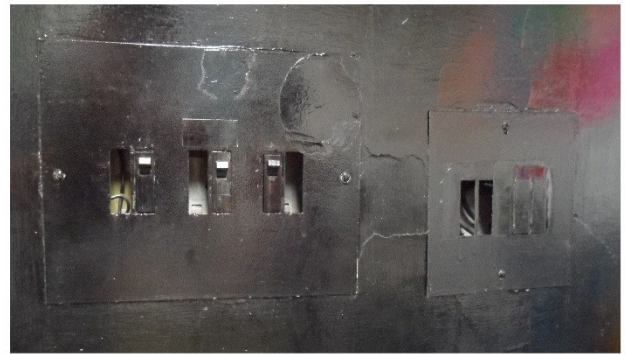
Figura 1. Acometida principal red eléctrica interna UDENAR

La figura 2 presenta dos tableros eléctricos, en el tablero del literal a) se observan varias anomalías entre las que destacan, el tablero no tiene sistema de puesta a tierra, no tiene barrajes requiriendo hacer empalmes no técnicos y mal hechos, no tiene tapa en su encerramiento permitiendo que partes energizadas estén accesibles al público; por estar a la intemperie los rotulados de los interruptores automáticos ya están borrosos y no muy visibles; no cumple con el código de colores, el cableado no está sujeto al armario y presenta un considerable desorden, el espacio dentro del tablero es muy limitado además el aspecto físico del tablero es deplorable presentando suciedad, polvo, oxido y con varios materiales extraños como tornillos, arandelas y restos de cable al interior de el.

Por otra parte, en el literal b) se observa claramente que la tapa del tablero está cubierta de una capa de pintura negra ocultando el riesgo eléctrico presente, la información de los interruptores automáticos no está disponible ni visible ya que esta tapada por la pintura, y presenta varias aberturas no utilizadas que representa gran peligro ya que al no estar tapadas no ofrecen protección por contacto directo o indirecto que provocaría accidentes de origen eléctrico.



a) Anomalías TG-1



b) Anomalías TD-9

Figura 2. Tableros con falencias y fallas

La figura 3 expone algunas deficiencias que existen en el cableado de la red eléctrica, en el literal a) se observa un claro deterioro en el aislamiento del cable, presenta empalmes mal realizados sin conectores, por estar en una zona exterior ya no es posible identificar el rotulado y finalmente se aprecia que no tiene medios de sujeción apropiados para que el cableado presente orden y de esta manera evitar confusiones con otro tipo de cable. Respecto al literal b) se aprecia que ya presenta un aislamiento en condiciones aceptables que probablemente se transformará en cristalización del aislamiento en un corto plazo, en cuanto a empalmes, utiliza conectores apropiados pero también se observa empalmes mal ejecutados y debido a los años expuesto a la intemperie se ha perdido la rotulación y disminución de propiedades aislantes.



a) Anomalías AI-2



b) Anomalia AI-19

Figura 3. Deficiencia en cableado

En la figura 4 presenta en su literal a) la ocupación del espacio de acceso al tablero eléctrico TG-12 el cual por acumulación de sillas no tiene un espacio de libre

adecuado tal como lo obliga la NTC 2050 sección 110-16 (espacio de trabajo) para accionar los interruptores en caso de emergencia o para su fácil mantenimiento o inspección. De la misma forma, en el literal b) se presenta el cuarto eléctrico donde está el TG-6, el cual ha sido utilizado como bodega para el almacenamiento de bultos de abonos y químicos provocando la proliferación y acumulación de polvo al interior del cuarto eléctrico quebrantando el también el artículo 23.4 numeral B del RETIE. Además se observa materiales como baldes y cajas de cartón que interrumpen el fácil acceso hacia el interior del tablero violando al artículo RETIE 27.4.3 literal D.



a) TG-12 inaccesible



b) TG-6 acceso tapado y almacenamiento inapropiado

Figura 4. Espacio precario para elementos eléctricos

Otra inconformidad con la normatividad presente en gran parte de la red eléctrica, conlleva a que muchas de las cajas de inspección subterráneas están en pobres condiciones de limpieza por falta de mantenimiento, otras con tapas selladas o destruidas entre muchas otras ineficiencias. La figura 5 presenta en el literal a) la CI-32 (caja de inspección) recubierta totalmente por una gruesa capa de raíces que impide acceder libremente al cableado interno que alberga, esto fue ocasionado probablemente porque la tapa no ajusta correctamente además de tener una parte destruida. Por su parte, el literal b) presenta la CI-27 totalmente tapada por tierra y césped impidiendo completamente su visualización y accesibilidad quebrantando la sección 370-29 de la NTC 2050. El tener cajas de inspección en este estado, favorece el envejecimiento prematuro de materiales provocando futuros accidentes y claros riesgos por contacto eléctrico.

Es preciso decir que durante la identificación de acometidas y cajas de inspección en el proceso de levantamiento, se tuvo que buscar muchas cajas que se encontraban desaparecidas debido a que estaban cubiertas por césped o residuos orgánicos como hojas y tierra, requiriendo hacer una exhausta labor de limpieza para poder identificar acometidas que albergaba. El estado de las cajas de

inspección es preocupante y demuestra la falta de integridad en las conexiones eléctricas en el campus universitario. Tapas en mal estado, representan un peligro inminente para los estudiantes y personal, es por esto que se necesita que el propietario, en este caso la Universidad de Nariño tome la responsabilidad de mantener unas condiciones seguras para garantizar la seguridad de la población estudiantil tal y como lo exige el RETIE en el artículo 10.6.



a) CI-32 rellena de hierba y tierra



b) CI-27 tapada por hierba

Figura 5. Cajas de inspección sin mantenimiento

En la figura 6 se observa anomalías en los medios de alambrado del cableado aéreo. El literal a) muestra que el cableado no tiene un correcto soporte para el cableado, según la NTC 2050, un medio de sujeción puede ser una edificación o estructura de soporte, pero no un árbol como se observa en el círculo rojo de la imagen. Además de esto, en el literal b) se observa que se viola a distancia mínima permitida teniendo en cuenta que los conductores desnudos están haciendo contacto directo con la corteza de un árbol, sabiendo que la distancia mínima para este tipo de lugares es 5 metros para redes en baja tensión menores a 1kV. Esta anomalía, puede producir descargas a tierra inesperadas además de pérdidas, consumos innecesarios de energía y riesgo eléctrico por contacto directo o indirecto.



a) Inadecuada estructura de soporte permitidas



b) Infracción en las distancias

Figura 6. Estructuras de soporte y distancias no permitidas

El alumbrado perimetral también presenta algunas fallas enfocadas principalmente en dos ítems: el primero limitado a la cantidad de luminarias funcionales y el segundo se refiere al aspecto físico y a mecanismos de soporte del alumbrado. En la figura 7 literal a) se presenta una lámpara totalmente caída y soportada únicamente por los cables que la alimentan, eludiendo que su medio de soporte fracasó, de igual manera el literal b) muestra una lámpara soportada correctamente, pero se observa un brazo de soporte de una luminaria que hace falta, eliminando parte de la iluminación en la zona de parqueadero que es donde se localice el poste que las sostiene. Estos ejemplos y muchos otros, se repiten al interior del circuito de alumbrado perimetral evidenciando que los productos utilizados ya presentan cierta antigüedad y por ende intuye a perjuicios a la red. Realizando un resumen más cuantitativo se puede decir lo siguiente, de un total de 92 lámparas, 22 presentan fallas por diversos factores como: fallas en la conexión, problemas con la bombilla o daño en algún elemento interno, lo que representa un porcentaje del 23.9% de cantidad de luminarias con daños.

Además de los vacíos que dejan las luminarias sin funcionar, se puede evidenciar según el plano de red alumbrado perimetral anexo 4 que muchas zonas como el parqueadero provisional de laboratorios de ingeniería, como pasillos parte exterior de OCARA, gran parte de la vía vehicular y plazoletas (FUCHI) no presentan iluminación evidenciando la necesidad de disponer de mejores sistemas de alumbrado.



a)



b)

Figura 7. Anomalías en alumbrado perimetral

3. ANÁLISIS DE REDES ELECTRICAS

3.1. Registro de consumo y medición de variables

Con el objetivo de conocer el estado y comportamiento actual de las principales variables eléctricas, se montó el analizador de redes HIOKI 3197 en el lado de baja tensión en cada uno de los transformadores con el fin de guardar el registro de consumo y medir variables como: voltaje, corriente, potencia (activa, aparente, reactiva), factor de potencia, distorsión total armónica, desbalance, demanda actual entre muchas otras. Las mediciones se realizaron durante 7 días consecutivos con un periodo de grabación de 5 minutos. De igual manera, pero para hacer mediciones de carácter local y no de tipo macro como lo hacen los analizadores de redes en cada transformador, se utilizaron dataloggers DL160 para realizar mediciones en los tableros eléctricos más relevantes. Estas mediciones se llevaron a cabo tomando en cuenta los siguientes requerimientos: que el tablero eléctrico tenga espacio suficiente para poder almacenar los equipos de registro y sus accesorios, además de ofrecer seguridad y custodia para los mismos. En ocasiones, no se pudieron realizar mediciones ya que alguno de los anteriores requerimientos se quebrantaba. Se configuro los dataloggers DL160 para medir y guardar el voltaje RMS y corriente RMS en ocasiones cada 10 segundos o cada 1minuto durante 4 días o 5 días respectivamente.

En total, se realizaron mediciones en los 9 transformadores que conforman la red eléctrica interna del plantel utilizando el HIOKI 3197 y para los tableros eléctricos más importantes se llevaron a cabo 14 mediciones en la sede Torobajo.

La figura 8 literal a) muestra el proceso de montaje del analizador de red HIOKI 3197 para analizar el transformador 7 (T-7), esta labor la realizó un técnico electricista ligado a la empresa ASC INGENIERÍA S.A E.S.P y financiado por el proyecto ALTERNAR. En el literal b) se presenta la disposición final del aparato de medición el cual se guarda dentro de una caja metálica para su protección.



a) Montaje analizador de redes HIOKI



b) Disposición final HIOKI 3197

Figura 8. Montaje y disposición equipo de medición

El montaje de los dataloggers en los tableros se llevó a cabo por el autor del presente documento, adoptando las recomendaciones establecidas en el RETIE para el trabajo con redes energizadas.

3.2. Procesamiento de la información

Debido a que los programas de visualización propia de los equipos de medición eran limitados para un correcto análisis, comprensión, visualización y divulgación de la información, se vio la necesidad de procesar esta información en un script de Matlab cuyo objetivo principal era realizar graficas de las variables eléctricas más sobresalientes y de algunos indicadores de calidad de energía eléctrica dado por los equipos de medición. Este proceso se basó en la metodología implementada por el ingeniero investigador Javier Revelo en el proyecto PERS-Nariño [13]. El script también se diseñó para que sea capaz de realizar un reporte diario en formato Excel en donde se plasme un resumen de la información procesada, dando valores máximos, promedio y mínimos de voltaje y corriente, potencias y factor de potencia, además de incluir algunos parámetros de calidad de energía eléctrica con el fin de presentar un conglomerado de consulta rápida.

Gracias al script que se desarrolló, se obtuvieron las siguientes gráficas para los nueve transformadores analizados:

- a. Voltaje RMS promedio de cada fase (L1-L2-L3) y la tensión nominal del transformador por día
- b. Corriente RMS promedio de cada fase (L1-L2-L3) y corriente RMS promedio devuelta por neutro (N) por día.

- c. Potencias aparente, activa y reactiva máximas por día.
- d. Energía Eléctrica consumida por día.
- e. Factor de potencia mínimo, promedio y el permitido por la regulación Colombia por día.
- f. Desbalance de voltaje entre las fases y el recomendado por Std. IEEE 1159-2009 por día.
- g. Distorsión Armónica Total de voltaje (THDv) de cada fase y el recomendado por Std. IEEE 519-2014 por día.

De la misma manera, se creó otro script en Matlab para el respectivo procesamiento con la información de los dataloggers obteniendo las siguientes gráficas:

- a. Voltaje RMS de cada fase (L1-L2-L3) y la tensión nominal del transformador por día
- b. Corriente RMS de cada fase (L1-L2-L3) por día
- c. Potencias aparente por día.
- d. Energía Eléctrica consumida por día.

Para entrar en detalle consultar anexo 7.

3.3. Base de datos

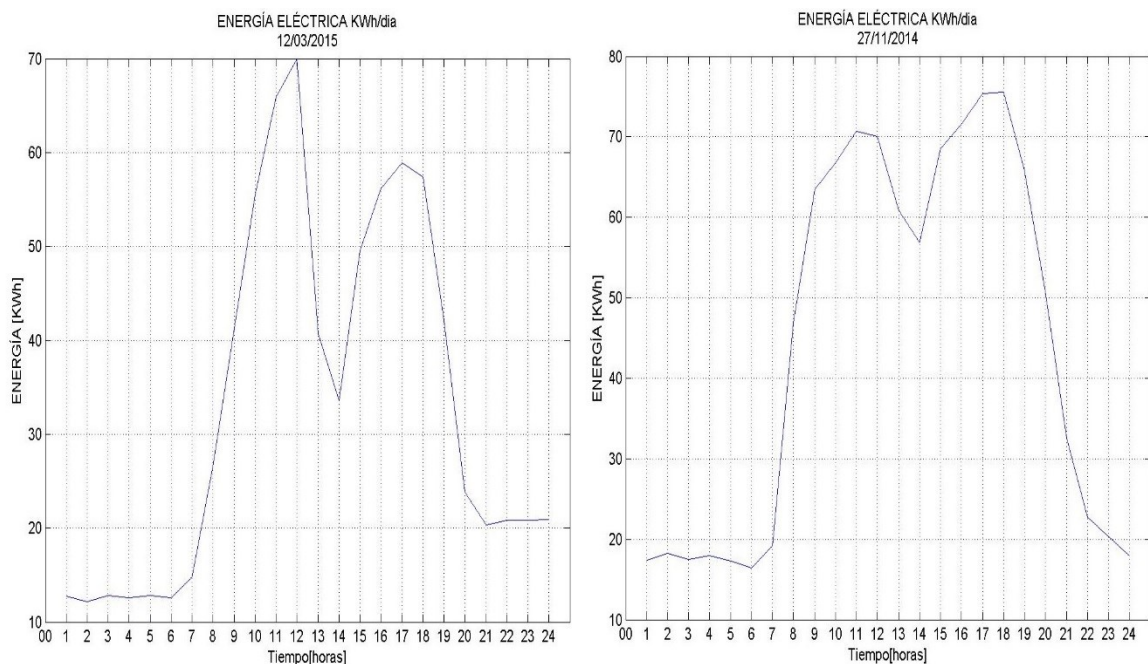
Una vez realizado el registro de medición y procesada la información se estructuró una base de datos de todas las variables eléctricas medidas por los equipos y de esta manera dejar un producto para futuras consultas e investigaciones. Esta base de datos está disponible como anexo 6 y está compuesta por lo siguiente:

- Para el analizador de redes HIOKI 3197
 - a. Se cuenta con 7 gráficas diarias para los 7 días de registro para un total de 49 graficas por transformador. Estas curvas están en formato FIG (Figura de MATLAB) para mayor detalle y análisis y en formato JPEG para su fácil visualización.
 - b. El reporte final en formato Excel, el cual muestra el conglomerado de valores máximos, mínimos y promedios de voltajes, corrientes, potencias entre otros.
 - c. El registro total de medición dado por HIOKI en donde se presenta los valores de las variables medidas y calculadas por el analizador.
- Para el Datalogger DL 160
 - a. 4 figuras por día, que comprenden un día domingo, un día sábado y 2 o 3 días ordinarios comprendidos entre lunes a viernes. Manteniendo los mismos formatos de salida anteriores.
 - b. Un reporte que permite ver información conglomerada de la semana, en donde muestra los valores máximo, promedio y mínimo de las variables eléctricas medidas.
 - c. El registro total dado por el registrador de datos en formato Excel en donde expone el voltaje y corriente RMS medidos. Este archivo Excel

tiene 3 pestañas que conforman la fase 1 (F1), fase 2(F2) y fase 3 (F3) de cada tablero registrado.

3.4. Curva de demanda de energía eléctrica en Transformadores

La figura 9 muestra la curva de demanda de energía eléctrica de dos de los transformadores con mayor capacidad instalada presentes en la Universidad, el literal a) muestra la curva demanda de energía eléctrica del día que presentó mayor consumo de potencia durante la semana de registro en el transformador 3 (T-3), en esta se evidencia dos picos de consumo, el primero que comienza desde las 7:00am hasta las 12:00 am presentando un valor máximo de 70KWh que corresponde a la jornada de la mañana, y el segundo empieza desde las 2:00pm hasta aproximadamente las 6:00pm con un consumo máximo de 59KWh que corresponde a la jornada de la tarde. Finalmente se concluye que en este día se presenta un consumo total de 795.75 KWh/día. Por otro lado, en el literal b) se muestra de igual manera la curva de demanda del transformador 5 (T-5) en el día de máximo consumo de energía eléctrica, visualizando un comportamiento con dos picos que diferencian las dos jornadas de trabajo. El consumo máximo que se presenta en el día es de 75KWh que se mantiene alrededor de las 5:00 pm y 6:00pm concluyendo que el consumo de energía en todo el día es de 1060,66 KWh/día.



a) Curva demanda T-3

b) Curva de demanda T-5

Figura 9. Curvas de demanda de energía eléctrica realizadas con script de Matlab

Para ver las curvas de demanda del resto de los transformadores, consultar anexo base de datos.

3.5. Curva comparativa de consumo con la empresa comercializadora de energía

Con el fin de validar las mediciones de consumo de energía eléctrica realizada por los analizadores de redes HIOKI 3197 en este proyecto, se compararon con los datos oficiales dados por la empresa comercializadora de la institución.

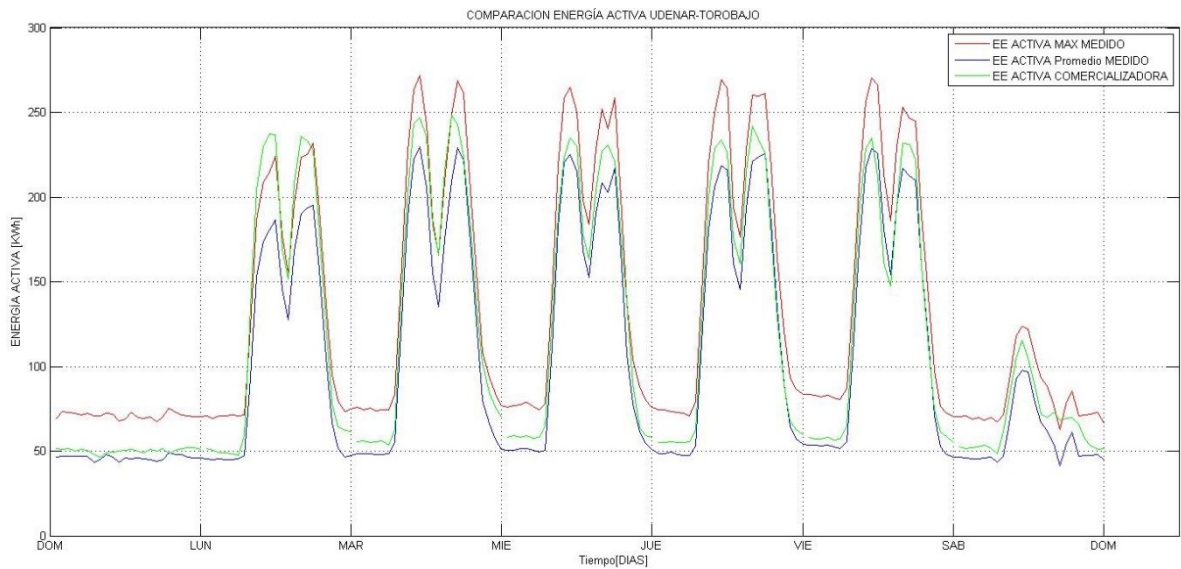
En vista de que los registros semanales de medición de cada transformador estaba separados uno de otro, se requería unificarlos con el fin de que su adición nos mostrara la curva semanal de consumo de la Universidad de Nariño. Este procesamiento se realizó en un script de Matlab en donde se sincronizó el tiempo en los 9 registros de medición de cada transformador y de esta forma sumar sus correspondientes energía activa y reactiva por separado y así obtener la curva desea y poder comparar con los registros de la comercializadora de energía.

ASC INGENIERÍA S.A E.S.P facilitó el registro hora a hora de energía activa y de energía reactiva consumidos por toda la universidad en el mes de septiembre de 2014. De esta información se toma la semana de mayor consumo de energía activa y reactiva comprendida entre los días 14 y 20 de septiembre de 2014, y con ayuda de Matlab se graficaron sus respectivas curvas para sus comparación.

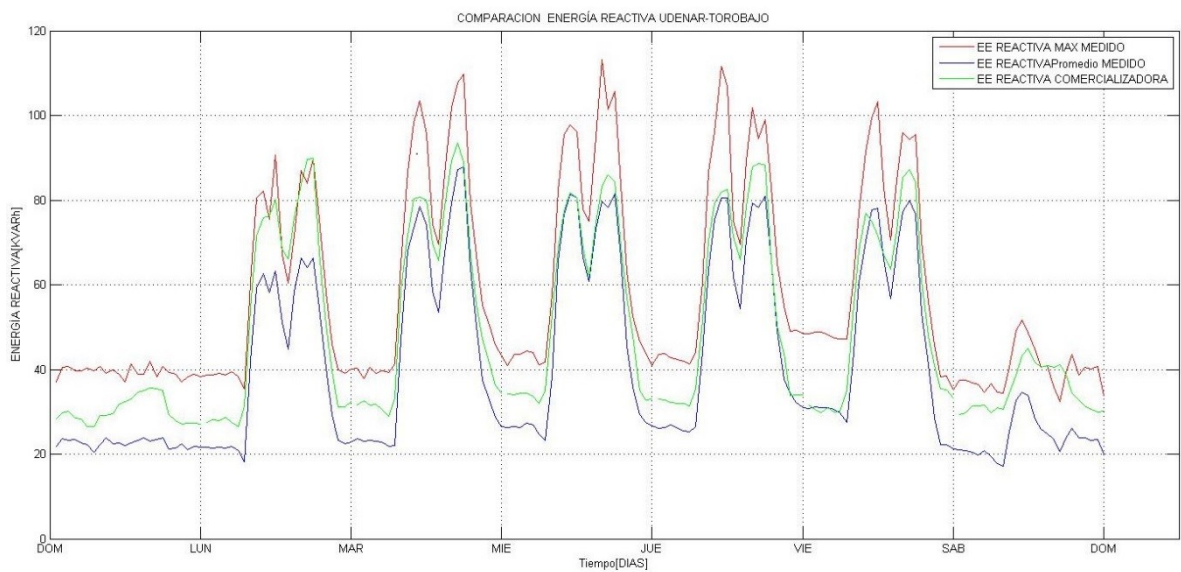
La figura 10 en el literal a) y b) se muestran las curvas de demanda de energía activa y reactiva medidas y la curva oficial de ASC INGENIERÍA S.A. E.S.P. En ambas graficas la línea verde representa a curva de demanda oficial de la comercializadora, la línea azul es la curva de energía máxima y la línea roja es la curva de energía promedio, estas dos últimas suministradas por el analizador de redes. Es preciso aclarar que el analizador HIOKI 3197 realiza cálculos internos y entrega valores máximos, promedios y mínimos de las variables eléctricas medidas, con base en esto, se grafica los valores máximos y promedios para que sirvan de rango de referencia al momento de comparar.

Realizando un análisis comparativo de la figura 10, lo primero que se debe tener en cuenta es que el día lunes queda descartado del estudio, debido a que en las mediciones se presentaron 3 días festivos que alteran la curva de este día. Para el resto de días ordinarios, el día sábado y el día domingo se evidencia que la curva oficial se mantiene dentro de los valores máximos y promedios calculados haciendo entender que ofrecen un alto grado de correlación puesto que las tres curvas siguen un comportamiento y mantienen unas tendencias semejantes durante gran parte del tiempo. Se observa también en ambas energías que existe mayor diferencia de amplitudes entre la curva máxima y la curva oficial, pero comparando con la curva promedio se tiene un error relativo de que oscila entre 10% y 15% para los días ordinarios y el día domingo pero que aumenta entre un 20% para el día sábado, sabiendo que estos errores pueden estar justificados en el hecho de que las

mediciones se realizaron en tiempos diferentes. De igual forma se demuestra que el comportamiento energético de la Universidad de Nariño presenta un patrón semejante a lo largo del tiempo. Lo anterior aplica para ambas energías tratadas.



a) Comparación energía Activa



b) Comparación energía Reactiva

**Figura 10. Comparación consumo de energía con registros oficiales de ASC
INGENIERÍA S.A E.S.P**

3.6. Calidad de energía eléctrica

3.6.1. Concepto Calidad de energía

La calidad de la energía eléctrica puede definirse como una ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje RMS suministrado al usuario; esto referido a la estabilidad del voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico [14] lo que conlleva a concluir que si la potencia eléctrica es considerada como un objeto físico, sujeto a la evaluación de una serie de atributos, la calidad de la potencia eléctrica es la precisión de los atributos eléctricos para el funcionamiento óptimo del sistema de potencia [15].

Con base a esto, se requiere identificar algunos parámetros que permitan determinar la calidad de energía en un sistema de potencia lo cual conduce a hablar de los fenómenos electromagnéticos que son eventos que caracterizan al voltaje y la corriente en un tiempo dado y en un espacio determinado y de una u otra manera son causales de los problemas de calidad de energía [16].

Las categorías principales en los cuales se agrupan los fenómenos electromagnéticos según el standard IEEE 1159-2009 [16] son:

- Transitorios
- Variaciones RMS de corta duración
- Variaciones RMS de larga duración
- Desbalances
- Distorsión en la forma de onda
- Fluctuaciones de voltaje
- Variaciones en frecuencia

3.6.2. Alcance, estándares y regulación aplicable en Calidad de energía

Con la base de datos estructurada anteriormente, se cuenta con la materia prima para hacer un estudio de calidad en la red eléctrica interna de la UDENAR, entonces el propósito es analizar el comportamiento de la red eléctrica integrando indicadores de calidad basados principalmente en estándares internacionales y la regulación de la calidad aplicable en el territorio Colombiano determinando las desviaciones que se presentan con base en los límites típicos y permitidos. La tabla 5 presenta los parámetros a analizar y el estándar o regulación aplicado en el análisis.

Tabla 5. Indicadores de calidad de energía y estándares utilizados

<i>Parámetro</i>	<i>Standard</i>	<i>Límite recomendado</i>	<i>Regulación</i>	<i>Límite permitido</i>
<i>Variaciones de larga duración (VLDV)</i>	IEEE 1159-2009	Overvoltage 1.1-1.2 pu	Resolución CREG 024-2005 [17]	Overvoltage +10%
		Undervoltage 0.8-0.9 pu		Undervoltage -10%
<i>Distorsión armónica total aplicada al voltaje (THDV)</i>	IEEE 519-2014 [18]	8%	Resolución CREG 024-2005	5%
<i>Desbalance en voltaje y corriente (Uunb)</i>	IEEE 1159-2009	Voltaje: 0.5-2%	-	-
		Corriente: 1-30%		
<i>Factor de potencia (PF)</i>	-	-	Resolución CREG 108-1997 [19]	0.9

3.6.3. Análisis de Calidad de energía

En la base de datos, se toma la información cada uno de los transformadores y se analizan el comportamiento basado en sus graficas de voltaje RMS promedio, corriente RMS promedio, potencias MAXIMA, factor de potencia mínimo-promedio, desbalance máximo, THD máximo y curvas de demanda de energía eléctrica con base en lo hecho por [20] [21] [22] en sus trabajos de grado y apoyados en el trabajo hecho por el investigador de calidad de energía eléctrica el docente Javier Revelo en el proyecto PERS-NARIÑO [13].

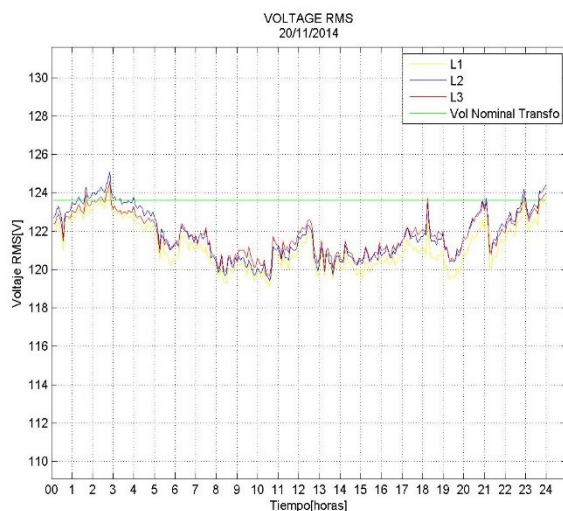
Es importante aclarar que el analizador de redes no calcula el desbalance en corrientes, entonces para tener la noción del valor de este ítem, se tomó la fórmula de desbalance de voltaje de la ANSI C84.1-2006 [23] y se adaptó a una fórmula de desbalance en corriente.

Con el fin mostrar cómo se realizó el análisis de calidad de potencia se eligió el transformador 1 (T-1) ya que este es el encargado de brindar potencia al bloque de ingeniería en donde se encuentra la facultad de ingeniería electrónica y es importante dar un concepto apropiado de calidad en el medio energético en el cual se desarrolla el presente proyecto. De todas formas, en el anexo 7 se presenta el

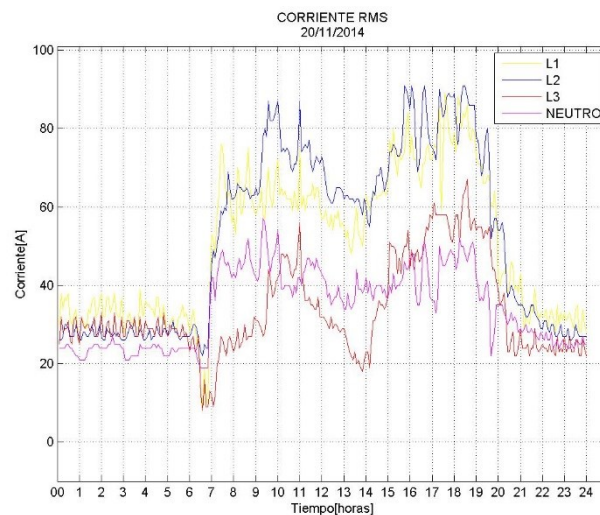
análisis de calidad de energía eléctrica aplicada a los 9 transformadores que conforman la red eléctrica de la Universidad de Nariño.

Se analiza el día jueves 20/11/14 ya que se presentan unos eventos importantes además de que este día caracteriza muy bien un día ordinario dentro del T-1

La figura 11 de voltaje y corriente muestran la relación que existe entre estas dos variables eléctricas donde se observan picos y valles correspondientes entre las fases. La figura 11 a) muestra una caída permanente de tensión en las tres fases respecto a la tensión nominal del transformador que en este caso según su placa característica tiene una magnitud de 123.6v, dicha caída corresponde a un 3.5% respecto a dicha tensión nominal del transformador, este valor se encuentra dentro de las recomendaciones de la IEEE Std 1159-2009 que para caídas permanentes de tensión mayores a 1 minuto pueden estar en un rango de 0.8 a 0.9 pu de la referencia en pu que en este caso viene a ser el dato de tensión en la placa. El literal b) muestra las corrientes de cada una de las fases del transformador e indica un desbalance de corriente entre las fases ya que existe un valor considerable de corriente de retorno por neutro que alcanza a ser más grande que la corriente de la fase 3, esto es debido a que en sistemas trifásicos tetrafilares se conectan cargas monofásicas, como es el caso de la universidad de Nariño que por una institución educativa no cuenta con cargas trifásicas puras. Entonces el desbalance en corrientes cuenta con un porcentaje estimado de un 50-60% en la jornada de la mañana y para la jornada de la tarde baja a un 20% evidenciado en que el retorno por neutro disminuye y los amperios sobre la fase 3 aumentan.

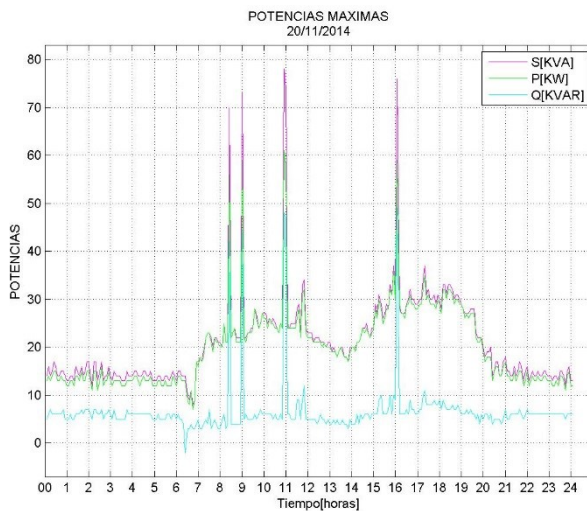


a)

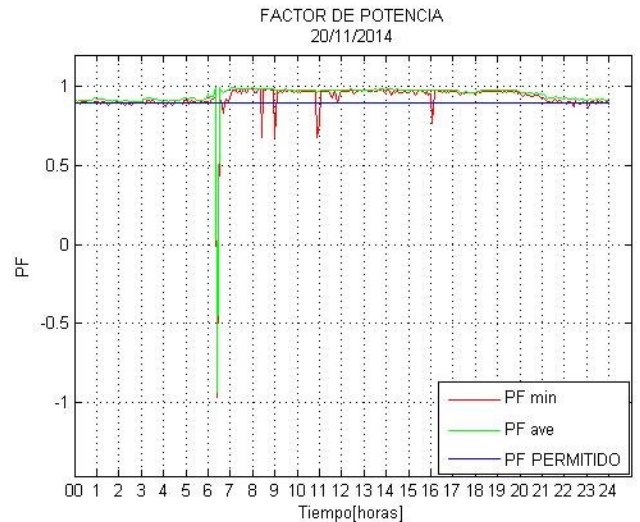


b)

Figura 11. Tensiones y corrientes de fase Transformador 1



a)



b)

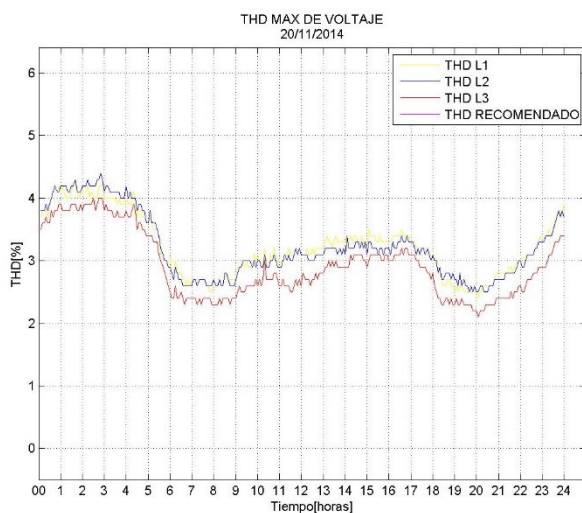
Figura 12. Potencias trifásicas y factor de potencia Transformador 1

La figura 12 a) exhibe las potencias aparente, activa y reactiva del transformador en donde se evidencia un seguimiento constante de la potencia activa respecto a la potencia aparente. En esta figura se releva además el proceso particular de iluminación perimetral, cuyos periodos activos van desde 00:00am hasta 6:00 am y desde las 8:00pm hasta las 23:59 pm en donde las luminarias están encendidas y a las 6:30am se produce una desconexión y se acaba con el proceso (apagado de luminarias) mostrando una disminución de consumo de aproximadamente de 6 KVA y a partir de la 7:00 am se inician actividades normales tanto académicas como administrativas al interior de la universidad. El alto consumo presentado por iluminación en este transformador es causado por que el 85% de la iluminación perimetral interna total de la universidad de Nariño sede Torobajo se alimenta de este transformador.

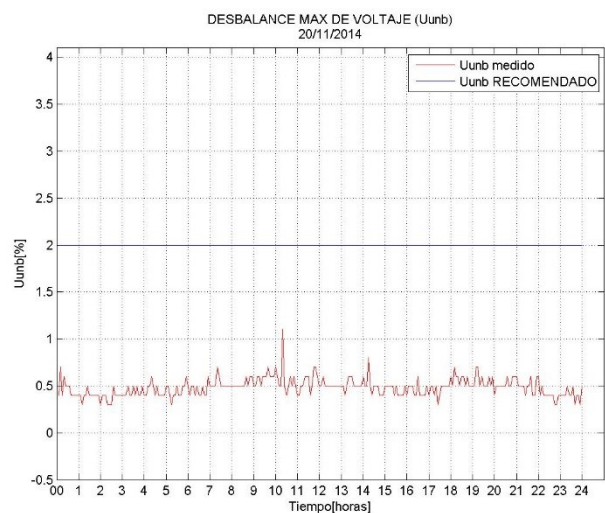
A pesar de los consumos picos momentáneos registrados a la 8:15 am, 9:00 am, 11:00 am y 4:00 pm, el pico máximo de consumo normal es de aproximadamente de 40KVA que corresponde a un 53.33% de factor de utilización del transformador. Los cuatros picos mencionados anteriormente corresponden a grandes consumos de corrientes reflejados en un consumo de 78 KVA que a pesar de ser de duración muy corta sobrepasan la capacidad nominal del transformador. Posiblemente las grandes cargas asociadas a estos consumos son soldadores o artefactos de tipo inductivos utilizados en construcción ya que este transformador, está asociado a un circuito temporal utilizado para abastecer los consumos generados para la finalización y la construcción de dos grandes edificaciones al interior de la universidad de Nariño. De igual manera estos eventos afectan el factor de potencia (literal b) en forma negativa ya que lo reducen de 0.98 a 0.67 confirmando cargas

inductivas que aumentan el desfase presente entre las señales de voltaje y corriente.

La figura 12 b) representa el factor de potencia tanto máximo como mínimo y revela un comportamiento aceptable ya que cumple con el límite mínimo permitido de 0.9 dado por la resolución de la CREG 108 de 1997. Se puede notar que el factor de potencia se ve afectado cuando se llevan a cabo procesos de iluminación manteniéndose en un valor de 0.9. Esta reducción en el FP es debido a la tecnología utilizada en iluminación ya que a ser a base de sodio se requieren balastos que inevitablemente inyectan armónicos a la red afectando el factor de potencia, esta situación armónica se evidencia en la gráfica de THD en donde para procesos de iluminación el THD se eleva hasta 4.4%, sabiendo que su valor normal es de 3% a plena carga. Se puede notar que a las 6:30am que es donde se apagan dichas luminarias el FP varía y pasa a tomar valores negativos momentáneamente pero una vez se inician actividades al interior del plantel el sistema se estabiliza debido a la compensación que realizan las cargas, manteniéndose en un valor constante alrededor de 0.98 desde las 7:00 am hasta las 8:00pm que es el horario de actividades normales al interior de la Universidad. A pesar de todo esto, en general el THD en cada fase se mantiene en valores por debajo del límite del 8% recomendado por el IEEE Std 519-2014 para puntos de acople común tan y como expone la figura 13 a).



a)



b)

Figura 13. THDv y desbalance en Transformador 1

En la figura 13 b) se muestra el desbalance en voltaje para este día, en donde se aprecia un desbalance mínimo en la tensión entre las fases que se mantiene alrededor de 0.5% todo el día. Se puede concluir que este transformador está balanceado en voltaje pero desbalanceado parcialmente en corriente por lo expresado en párrafos anteriores y demostrados en la figura 11. En la gráfica de desbalance se observan picos y valles y un pico sobresaliente a las 10:15 am, que no pasa a ser significativo por su magnitud y corto tiempo de duración.

Dejando concluido el análisis del T-1, es conveniente tratar un aspecto importante

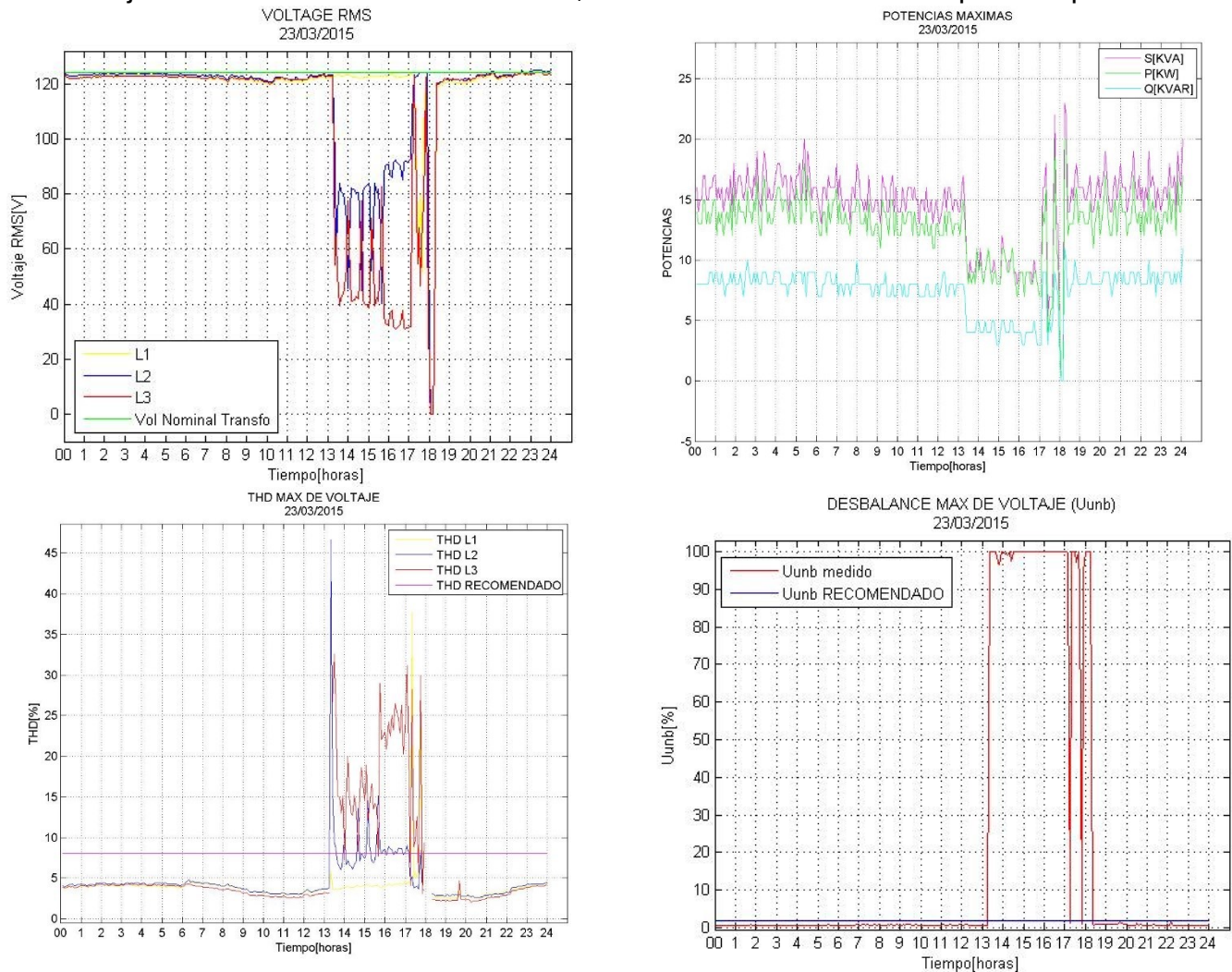


Figura 14. Día con interrupción permanente de voltaje

dentro del concepto de calidad y es la continuidad en el servicio basándose principalmente en la confiabilidad del sistema ya que algunos eventos particulares ocurrieron durante el periodo de medición en el transformador 2 (T-2) el día lunes 23/03/2015, en donde se presentó una caída permanente de tensión en la fase 2 y fase 3 que se mantuvieron por 4 horas como se puede ver en la figura 14 parte superior izquierda, después de esto, la tensión en la fase 1 cae y la tensión en la

fase 2 se estabiliza en su valor normal, pero inmediatamente se presenta una interrupción sostenida por 15 minutos pero posterior a estas anomalías, el servicio se restablece normalmente junto con y las tensiones de línea. Estas caídas de tensión ocasionan una disminución en el consumo entre las 1:30pm y las 6:30 pm como se puede ver en la curva de potencia máxima en la parte superior derecha, pero una vez las tensiones se estabilizan se puede ver algunos picos pequeños de potencia debido a que la red eléctrica requiere suplir los requerimientos que las cargas le exigen. En estos momentos obviamente se notan desbalances de 100% entre las tensiones de línea y las corrientes intermitentes introducen armónicos al sistema elevando la THD a valores de 30% y 45% como se pueden ver en la parte inferior de la misma figura 14.

4. SIMULACIÓN RED ELECTRICA

Con la finalización de los procesos de levantamiento y medición de variables eléctricas, se cuenta con la información primaria para utilizar un programa computacional que permitirá simular la red eléctrica existente de la Universidad de Nariño con el fin de: por un lado conocer la operación del sistema y validar su comportamiento de acuerdo a los esquemas eléctricos dados en el levantamiento, y por otro lado es introducir el concepto de microred a través de la inclusión de generadores distribuidos en la red eléctrica del campus universitario.

4.1. Programa de simulación utilizado

El software que se utilizó para llevar a cabo la simulación fue PSAT (Power System Analysis Toolbox), que es una herramienta de código abierto que utiliza el entorno MATLAB para realizar análisis a sistemas de potencia a través de Flujo continuo de potencia, Flujo óptimo de potencia, análisis de estabilidad en pequeña señal y simulaciones en el dominio del tiempo [24].

PSAT cuenta con dos versiones, la primera es una interfaz gráfica que utiliza librerías Simulink para crear y analizar sistemas de potencia de manera más didáctica e interactiva y la segunda versión es la llamada línea de comando que mediante código ejecuta el análisis respectivo.

Para el presente proyecto, en un comienzo se utilizó la interfaz gráfica para crear la red eléctrica de la UDENAR de acuerdo a su topología y en complementariedad, se utilizó la línea de comando para correr flujos de potencia y encontrar perfiles de voltaje y corriente en algunos puntos importantes dentro de la red simulada.

4.2. Red eléctrica simulada

Utilizando la interfaz gráfica de PSAT, se montó la red eléctrica actual de la Universidad de Nariño, la cual está compuesta por los siguientes elementos:

- 9 transformadores
- 53 Líneas de media y baja tensión
- 31 Cargas
- 63 Buses

En el esquema montado de la red, las 31 cargas representan los tableros generales y algunos de distribución presentes en la red eléctrica tratando de discriminar la

demanda lo más particularmente posible con el fin de que las dinámicas operacionales del sistema simulado tenga una alta congruencia con la realidad.

Se debe aclarar que PSAT exige información propia de los elementos, como por ejemplo: resistencia e impedancia en las líneas y transformadores, obligando a tener una buena base de datos basadas en tablas genéricas de las propiedades de cada componente.

A través de un script de Matlab se utilizó la línea de comando de PSAT para llevar a cabo el flujo de potencia de la red eléctrica que se estructuró previamente en la interfaz gráfica simulando su comportamiento diario. Se realizaron variaciones de demanda cada hora en las cargas, con base en los registros de medición realizados anteriormente con los dataloggers y analizadores de red permitiendo: observar curvas de voltaje y corriente, cuantificar pérdidas y visualizar perfiles de demanda de potencia propia de la red eléctrica simulada.

Como se expresó en la sección anterior, el hecho de no haber realizado mediciones en todos los tableros implica estimar la potencia demanda por aquellas cargas donde no se realizaron registros, es por esto que se asignó potencia activa y reactiva de acuerdo a la potencia disponible una vez se realicé la relación entre potencia ofrecida por el transformador y consumida por la carga. Este proceso de estimación fue posible gracias a las macro-mediciones realizadas por el analizador de redes y las mediciones locales hechas por los dataloggers. Para conocer los consumos que fueron realmente medidos y los que fueron asumidos consultar la tabla1 del anexo 8.

4.2.1. Validación de resultados

Como el objetivo de simulación era validar el comportamiento real con base en los esquemas eléctricos con un modelo simulado de la red, la figura 15 muestra un gráfico comparativo entre las curvas de potencia diaria medida y simulada del plantel educativo. Las líneas continuas representan las potencias totales medidas por la suma de las mediciones realizadas en los 9 transformadores con el analizador de redes HIOKI 3197, mientras que las líneas punteadas exponen las potencias totales calculadas en PSAT. Se mira, que los valores punteados son mayores a los continuos debido a que en las líneas punteadas vienen incluidas las pérdidas del sistema calculados por PSAT, concluyendo que la operación energética de la red virtual coincide con el estado real.

Dentro de la misma comparación, también es importante determinar la semejanza con las dinámicas de voltaje y de corriente con el fin de comparar resultados reales contra simulados, entonces a manera de mostrar resultados se toma como ejemplo al Transformador 1 (T-1) por lo cual en la figura 16 literal a) se presenta la curva

de voltaje en las tres fases (líneas: Amarilla-azul- roja) medidos por el analizador de redes Hioki 3197 en los bornes de baja tensión del transformador; por otra parte, la línea de color magenta corresponde a perfil de voltaje dado por el simulador y la línea verde corresponde al voltaje nominal del transformador tomado de su placa característica que es tomada como punto de referencia. Además, en el literal b) se expone las corrientes medidas en las tres fases representadas por las líneas de colores: Amarillo, azul y rojo; la línea color magenta corresponde a la corriente simulada por PSAT.

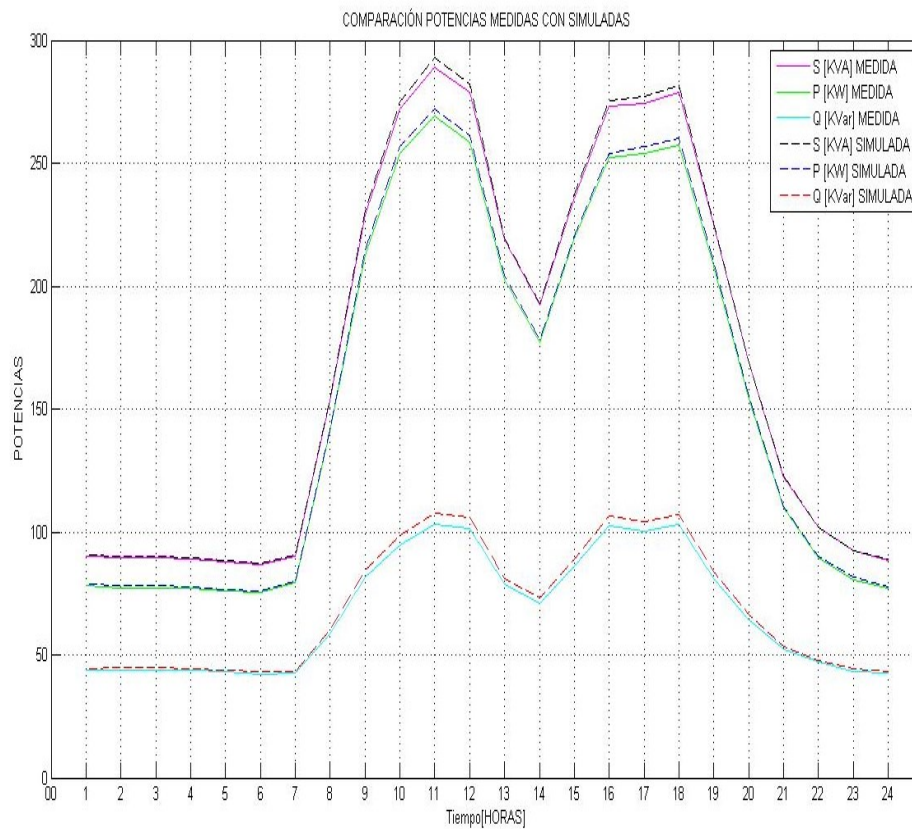


Figura 15. Comparación potencias medias con simuladas

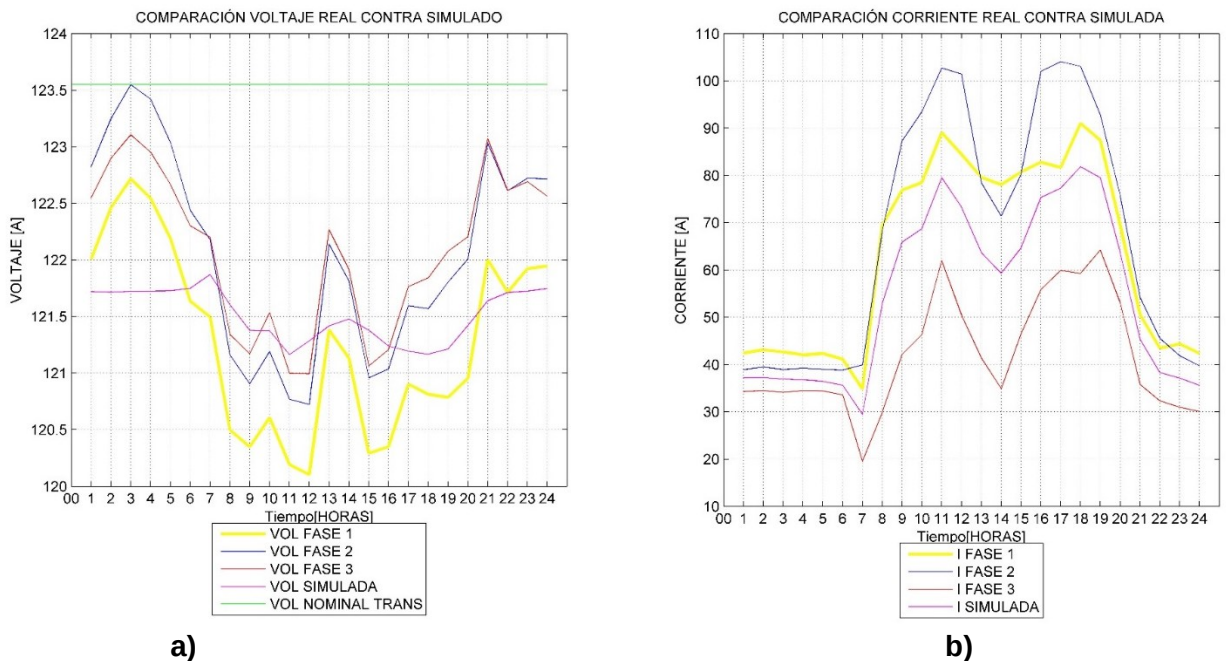


Figura 16. Comparación de voltaje-corriente medidas contra simuladas en T-1

Es necesario aclarar que el programa PSAT al realizar un flujo de potencia, toma la red eléctrica como un sistema netamente balanceado, por tal razón las gráficas de voltaje y de corriente solo ofrece un único perfil de voltaje y de corriente simulado para cada carga a diferencia de los valores medidos que es uno por cada fase. Dicho esto, se puede concluir que para las curvas de voltaje, la diferencia existente entre los valores medidos y los simulados es mínimo además de tener comportamientos muy semejantes entre ellos, a razón de la sincronía que se presenta entre las caídas y subidas de tensión a causa de variaciones en la carga. De igual manera pasa con la gráfica de corriente en donde la corriente simulada va en afinidad con las corrientes medidas a pesar de sus valores diferentes debido a la diferencia de balance en el sistema como se explicó anteriormente. A pesar de esto, se sabe que ambos valores de corriente (medida-simulada) satisfacen la misma potencia requerida por la carga, como se puede comprobar en la figura 15. Esta similitud entre valores medidos y simulados se cumple para todos los transformadores como se puede corroborar al visualizar las gráficas de comparación entre voltajes y corrientes medidas contra simuladas dados en el anexo 8. El reporte original y completo del flujo de potencia corrido en el pico máximo de consumo entregado por PSAT también está disponible el anexo 8.

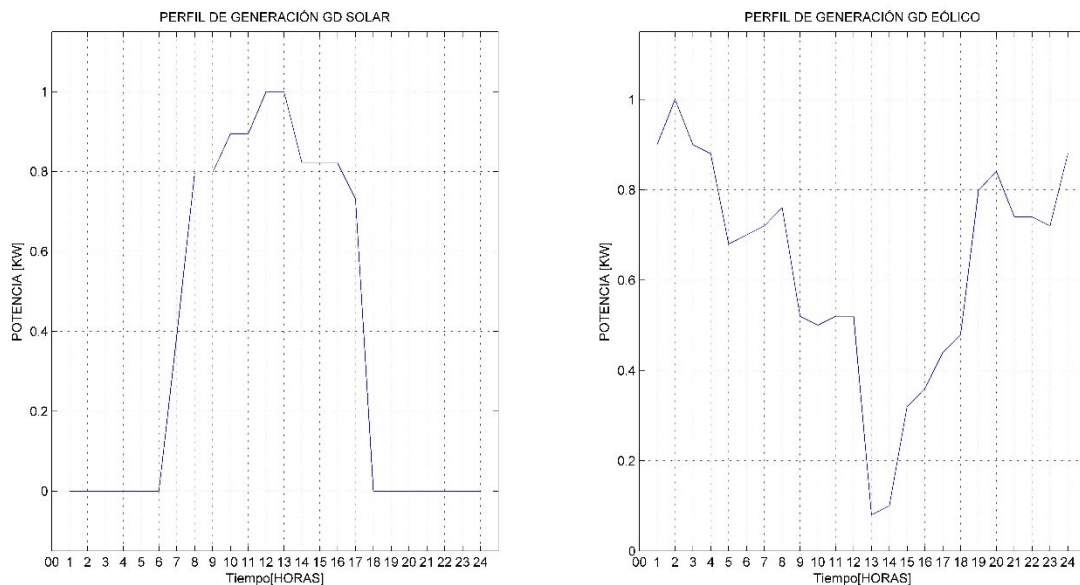
4.3. Red eléctrica simulada con inclusión de Generadores Distribuidos (GD)

Una de las recomendaciones que se pueden proponer para que la red eléctrica de la UDENAR evolucione hacia una micro red, es la inclusión de generadores distribuidos (GD). Por tal motivo se incluyeron 4 generadores distribuidos tipo

alternativos con el fin de determinar cómo sería el comportamiento de la red si se contará con este sistema mixto de generación, además de cuantificar los beneficios que se tendría como por ejemplo: disminución de pérdidas, menos costos en facturación de energía eléctrica y aumento de la eficiencia energética para el sistema.

Dentro de la simulación, se instalaron generadores distribuidos a cargas locales de mediana potencia, de modo que se pueda suplir su pico máximo de potencia independientemente de si coincide o no la oferta y demanda máxima. Estos generadores van a estar conectados directamente a la red sin contar con procesos de almacenamiento, lo que nos permitirá conocer la interacción de potencias en este tipo de sistema.

En la red simulada, la potencia activa máxima que puede ser entregada por un GD corresponde a la máxima potencia activa demanda por la carga a la cual alimenta. El perfil de generación implementado en los GD's se los adapto de [25] los cuales representan el potencial de los generadores de cuerdo a la disponibilidad de recurso solar y eólico presente en la Universidad de Nariño. La figura 17 muestra el perfil de generación normalizado de un generador solar y eólico. La normalización se hace con el fin de escalar la curva a la potencia máxima demanda por la carga para encontrar la curva de oferta de los GD's tal y como se expresó anteriormente.



a) Potencial solar

b) Potencial Eólico

Figura 17. Potencia activa de Generadores distribuidos

La tabla 6 muestra el tipo de generador utilizado y la que carga fue conectado en la red eléctrica simulada.

Tabla 6. Generadores distribuidos incluidos en la red eléctrica

NUMERO DE GD	TIPO GENERADOR	CARGA CONECTADA	POTENCIA MAXIMA[KW]
1	EÓLICO	BLOQUE MEDICINA (TG-9)	6.5
2	SOLAR	BLOQUE INGENIERÍA (TD1,2,3,4)	7.86
3	EÓLICO	BLOQUE 2 (TD 5,6,7,8)	10.9
4	SOLAR	FACULTAD DERECHO (TG-14)	8.44

Entonces una vez se dimensionó la participación de los generadores distribuidos en la red, se realizó el mismo procedimiento con PSAT para correr el flujo de carga y determinar el comportamiento de la red eléctrica con generadores distribuidos.

4.3.1. Análisis de resultados red eléctrica con GD's

Lo que se busca en esta sección es mostrar los beneficios económico-ambientales de integrar GD's en la red eléctrica de la Universidad de Nariño además de comprobar su correcta funcionalidad.

4.3.1.1. Flujo de potencia con Generadores Distribuidos

La figura 18 presenta tres curvas diferentes de potencia, la línea roja es la curva de demanda requerida por la carga, que en este caso es el bloque de Medicina (TG-9), la línea verde representa la potencia activa inyectada por el generador eólico y la línea de color azul es la potencia inyecta/recibida por la red eléctrica. Según esta figura, se observa que entre las 12:00 am y las 6:00 am la potencia del generador eólico es inyectada completamente a la red reflejada en los valores negativos que adquiere la línea azul, lo que implica que la potencia introducida hacia la red, será

distribuida para suplir otras demandas presentes en red. Es importante mirar que desde las 6:00am hasta las 8:30am, toda la demanda del bloque es soportada por el aerogenerador además tener la posibilidad de otorgarle un poco de energía a la red, pero en ese instante debido a que el bloque requiere más potencia y el generador eólico ya no puede satisfacer por completo este requerimiento, la red eléctrica interviene inyectando potencia para estabilizar el sistema. Esta participación mutua finaliza hasta las 7:00pm pero a partir de aquí nuevamente el generador distribuido satisface la demanda e inyecta a la red la potencia reservada. De esta manera se muestra la dinámica que se presenta en redes eléctrica convencionales si se integran generadores distribuidos.

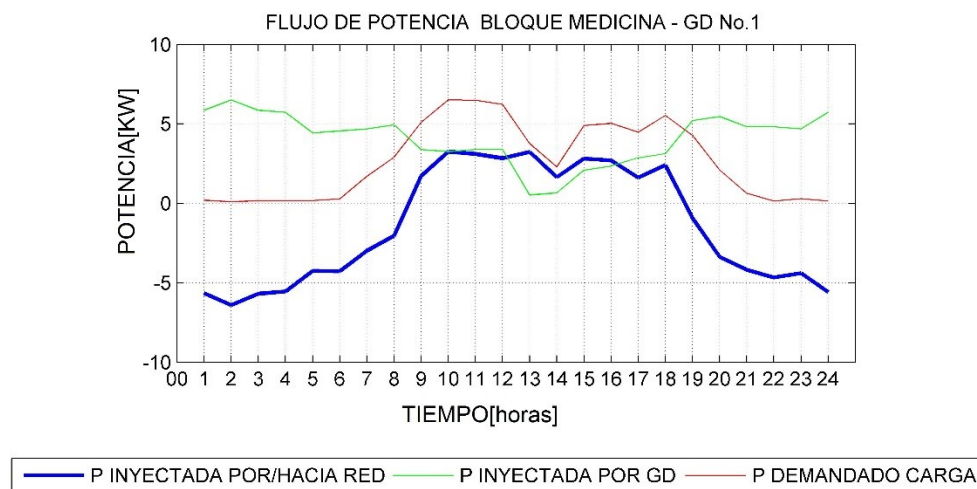


Figura 18. Flujo de potencia en TG-9

El resto de gráficas del flujo de potencia en las zonas con generadores distribuidos en la red eléctrica UDENAR se encuentran disponibles en el Anexo 8.

4.3.1.2. Potencia activa total

Si se analiza cómo impacta al sistema la inclusión de generadores distribuidos, la figura 19 muestra como es la participación de la red eléctrica y los generadores para suplir la potencia activa total del sistema. La línea color magenta representa la potencia activa total generada por la red eléctrica, la línea verde es la potencia activa total generada por los 4 generadores distribuidos y la línea negra es el resultado de sumar las potencias tanto de la red como de los GD's. Dicho esto, se puede concluir lo siguiente observando la figura 19:

- Debido a la naturaleza de los generadores distribuidos solar y eólico, existe generación limpia de potencia activa constante las 24 horas del día en la red interna del campus universitario, es decir, el potencial energético solar compensa la oferta

de potencia con tendencia a la baja en horas donde el recurso eólico disminuye y viceversa.

- Existe una disminución de consumo de potencia de la red eléctrica reduciendo costos de facturación por pago de energía eléctrica a la empresa comercializadora.
- La línea negra demuestra que la potencia demandada por toda la universidad de Nariño es suplida en su totalidad por el sistema integrado red-GD's dando como resultado un correcto funcionamiento sin afectar negativamente el comportamiento normal de la red eléctrica interna.

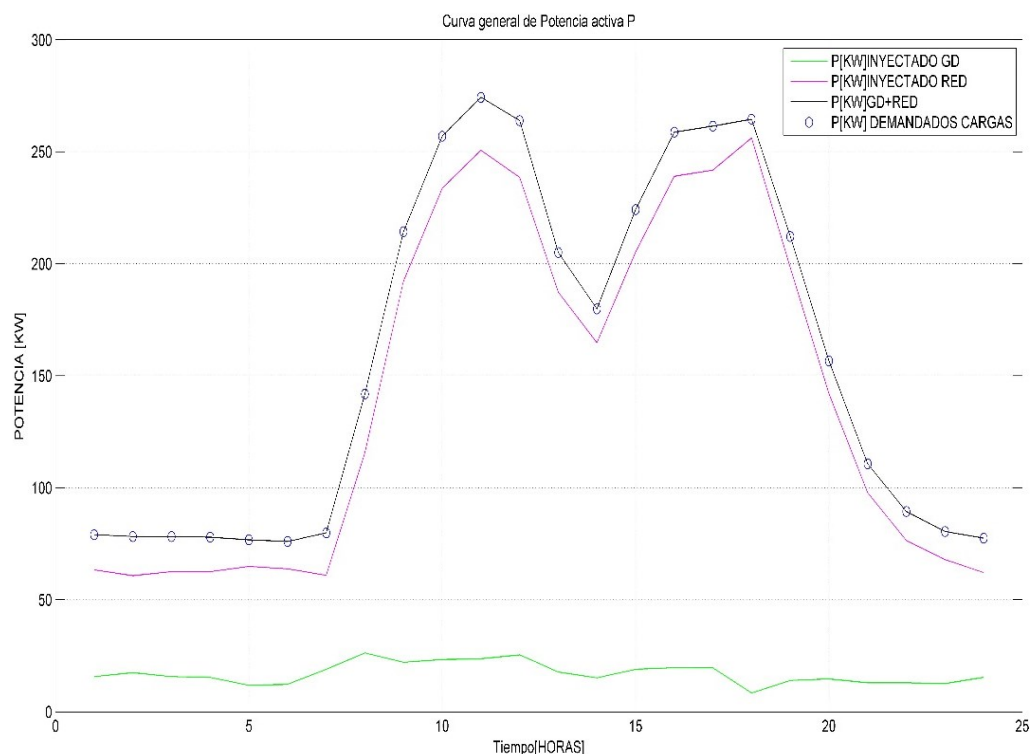


Figura 19. Curva de potencia activa diaria con GD's

4.4. Comparación de Pérdidas

La figura 20 presenta las pérdidas en el sistema dadas en los resultados de simulación, la línea azul representa el porcentaje de pérdidas totales de la red eléctrica en su estado actual, es decir, sin la participación de generación distribuida, mientras que la línea roja simboliza el porcentaje de pérdidas totales en la red eléctrica con la integración de los cuatro generadores solares y eólicos como se

indicó anteriormente. Ambas gráficas abarcan las pérdidas de media y baja tensión del sistema.

En ambas gráficas y como era de esperarse, las pérdidas aumentan en las horas pico tanto en la jornada de la mañana como en horas tarde debido precisamente al aumento de demanda en las cargas. Al comparar las dos líneas, es claro notar que las pérdidas disminuyen en proporción y tiempo mayor entre las 7:00am y las 10:00 am al utilizar generación distribuid pero ocurre una situación particular después de las 11:00pm y madrugada, y radica en el hecho de que las pérdidas aumentan al utilizar generación distribuida. Este fenómeno ocurre principalmente por que los aerogeneradores inyectan a la red su máxima potencia en esta franja de tiempo, produciendo un aumento de pérdidas en la acometida que interconecta la red con la carga. Como son perdidas en baja tensión, existe mayor pérdida causada por la inyección de los GD's que las pérdidas que se podrían ahorrar si la red se encargara de suplir la potencia que suministran los aerogeneradores a sus respectivas cargas. De todas formas, a pesar de que la reducción en pérdidas en el sistema no es permanente al utilizar fuentes alternativas de generación, es claro que existe un ahorro de potencia y está alrededor de 8.2KVA por día, y si se hace una proyección apresurada se estaría reduciendo 2.1 MVA cada año. Confirmado que la utilización de fuentes alternativas en redes convencionales de energía, reducen la perdidas en el sistema, aumenta la eficiencia en la red, reduce los costos por facturación demás de promover el ahorro de energía ayudando de esta manera al medio ambiente.

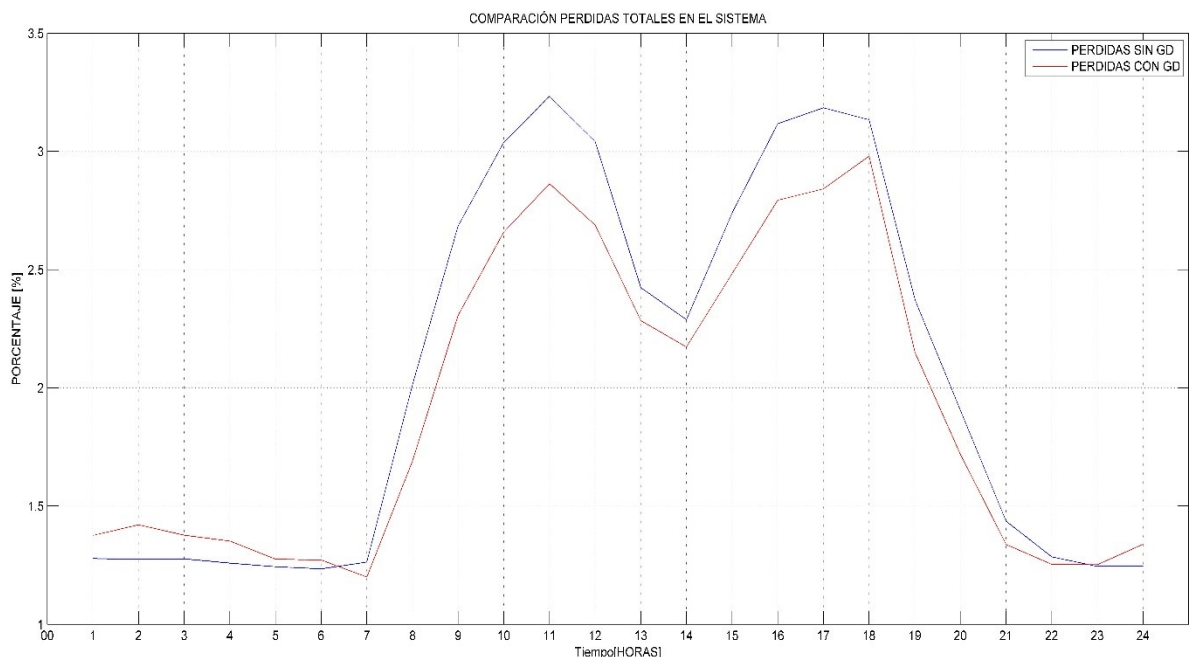


Figura 20. Comparación pérdidas totales en el sistema

4.5. Recomendaciones finales para una micro red

Lo que se ha realizado a lo largo de este trabajo es un gran avance que contribuye a la evolución de la red existente. El hecho de conocer como es su estado y operación, traerá consigo nuevos conceptos para ser implementados y concretar su mejoría.

En vista de esto, el primer paso para introducir el concepto de microredes es la integración de generadores distribuidos a la red eléctrica interna de la Universidad de Nariño trayendo consigo grandes beneficios como se mencionó anteriormente.

Esta recomendación ayudará a mejorar su estado actual y dará lineamientos necesarios para rediseños futuros.

Pero antes de agotar esfuerzos por tratar de mejorar la calidad y la eficiencia del sistema, es necesario precisar lo siguiente: estudios recientes indican que entre el 80% y 90% de fallas en los equipos que han sido atribuidas a una mala calidad de potencia dada por la empresa prestadora de servicio o por el operador de red, resultan tener su causa principal en el cableado y puesta a tierra dentro de las instalaciones de los usuarios o debido a interferencias generadas por cargas vecinas [15]. Con base en esto, la recomendación primordial es que antes de implementar alguna idea de actualización, se requiere dar solución a los problemas que presenta actualmente la red tanto en media tensión como en baja tensión para que de esta manera el número de fallas se reduzca y facilite la identificación de los problemas que aún persistan y podrían afectar su correcta operación.

Durante el proceso de levantamiento que se desarrolló en el presente proyecto, se determinaron varias inconformidades a lo largo de toda la red, principalmente en acometidas y tableros que fomentan la existencia de fallas e inconsistencias al interior de la red eléctrica afectando los niveles de confort y confiabilidad.

Por estas razones se invita a realizar mantenimientos correctivos de manera inmediata y proyectar mantenimientos preventivos de aquí en adelante, teniendo como base primordial el diagnóstico pormenorizado realizado en este trabajo dado en el Anexo 5. Una vez se realicen los correctivos necesarios la red estaría en condiciones óptimas de aceptar investigaciones propias de redes inteligentes.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir de los resultados y productos entregados, cabe destacar que los procesos de levantamiento de redes eléctricas, diagnóstico, medición y simulación ofrecen un estudio detallado de la red eléctrica existente de la Universidad de Nariño, cumpliendo no solo con los objetivos propuestos en el trabajo de grado, sino también, han aportado significativamente al desarrollo del objetivo 4 del proyecto Análisis de oportunidades Energéticos con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño.

El levantamiento de la red eléctrica que se llevó a cabo en la Universidad de Nariño sede Torobajo, concluyó con éxito a pesar de contar con varios inconvenientes durante su desarrollo, la inaccesibilidad a algunos cuartos eléctricos debido a políticas de seguridad, dificultaron el desarrollo normal de este proceso requiriendo más tiempo de lo presupuestado. De igual manera, el trabajo con redes energizadas requirió mayor precisión y cuidado puesto que el riesgo por contacto eléctrico aumentaba exigiendo medidas adicionales para evitar accidentes humanos o daños a la infraestructura eléctrica.

Debido a la gran acogida que tienen los estudiantes de ingeniería Electrónica de la Universidad de Nariño en temas relacionados con la ingeniería eléctrica, la creación de un Manual de levantamiento de redes eléctricas, ofrece a las investigaciones futuras un apoyo fundamental para llevar a cabo procesos de este tipo, fomentado así la interdisciplinariedad entre las ramas de la ingeniería.

Es grato saber que en estos momentos ya existen trabajos de grado que aplican la metodología propuesta en dicho Manual de levantamiento.

La realización del diagnóstico de la red eléctrica con base en las inspecciones realizadas en el levantamiento, abre una puerta importante a tener en cuenta para futuras remodelaciones y ampliaciones, sabiendo que se debe tener como prioridad la solución de los problemas existentes en la red con el fin de minimizar las fallas y los riesgos de origen eléctrico. En general, la red eléctrica presenta avanzado deterioro en sus principales componentes, la gran mayoría que los tableros y las acometidas están obsoletas y próximas a completar su vida útil. El estado actual de la red eléctrica ha sido el resultado de más de 40 años de uso, además de la falta de un mantenimiento regular. Al parecer, el lugar de importancia que debería tener la red eléctrica como ingrediente fundamental en el correcto funcionamiento de la universidad ha sido relegado a segundos y terceros lugares, desconociendo que tener una red eléctrica integral disminuye pérdidas económicas, aumenta la eficacia y la confiabilidad en los procesos laborales-académicos del plantel educativo.

Por otra parte, las mediciones que se realizaron con los equipos de medida permitieron conocer el comportamiento energético e indicadores de calidad de la red, además de comprobar de una forma académica que los reportes dados por la empresa comercializadora de energía son válidos y corresponden efectivamente a la demanda requerida por el Campus universitario. En este punto, es satisfactorio saber que los estudios que se realizaron localmente en los transformadores y tableros eléctricos han ayudado a investigaciones por fuera del campo de la ingeniería, ramas como las ciencias sociales han incluido dentro de sus investigaciones algunos productos propios de esta investigación, los registros de medida y los mapas eléctricos han sido fundamentales para explicar comportamiento humanos al interior de la institución, demostrando que los resultados de este trabajo de grado han sido útiles y valiosos para fomentar desarrollo de la ciencia.

Es válido utilizar programas de simulación para estimar pérdidas y mirar de manera controlada como es la operación del sistema en su estado natural y observar las variaciones que surgen si se proponen mecanismos de mejoría, como por ejemplo, la generación distribuida. Gracias a los procesos de experimentación con la red simulada, se pudo concluir que la inclusión de sistemas solares y eólicos como fuentes alternativas de generación, efectivamente, si reducen las perdidas generales en el sistema, a pesar de que en los espacios de inyección hacia la red las perdidas locales aumentan. Por estas razones, se debe buscar la ubicación ideal para los generadores, con el fin de que las pérdidas adicionales causadas en demandas bajas no impacten negativamente a las pérdidas totales del sistema.

Se concluye que la red eléctrica simulada mantiene un comportamiento de estrecha afinidad con el comportamiento real de la red, cumpliendo con el objetivo de crear un modelo consecuente con la realidad para que sea tomado como referente en futuras investigaciones relacionadas con la red eléctrica del plantel.

Finalmente, el proyecto ALTERNAR nos brindó todas las herramientas tanto investigativas como financieras para conseguir la finalización del presente trabajo de grado; reconociendo los grandes aportes que se tendrán en el Departamento de Nariño, una vez las fases del proyecto se consigan.

6. RECOMENDACIONES

Sería conveniente realizar trabajos de levantamiento y actuación de esquemas eléctricos en zonas más específicas, es decir, que el alcance sea identificar los esquemas eléctricos completos de un bloque o zona determinada, identificando tableros “aguas abajo” de los identificados en este proyecto, determinar los circuitos ramales, cargas específicas como luminarias, tomacorrientes o salidas de fuerza con base en el avance realizado en este documento. Realizar cuadros de cargas en los tableros, llevar a cabo estudios técnicos de los sistemas de puesta a tierra utilizando aparatos de medición como un telurómetro, identificar la ruta de cables subterráneos con un rastreador de circuitos con el fin de agilizar y tener mayor exactitud. También es necesario hacer estudios sobre los niveles de iluminación al interior de la universidad a través de un luxómetro. Estas recomendaciones se realizan con el ánimo de fortalecer el conocimiento de la red eléctrica de la Universidad de Nariño y fomentar el cumplimiento de la normatividad eléctrica vigente.

Igualmente se sugiere realizar un mantenimiento exhaustivo de toda la infraestructura eléctrica tratado en la medida de lo posible inyectar recursos económicos para solucionar problemas o al menos realizar mantenimiento periódicos de limpieza y adecuación de cajas de inspección, de los soportes, de las retenciones en los postes y fundamentalmente a la iluminación para que la vida útil de los productos se conserve adecuadamente.

Un buen referente podría ser los trabajos de grado de la Universidad Industrial de Santander (UIS) los cuales tiene como objetivo actualizar y rediseñar los esquemas eléctricos de las facultades o bloques al interior de la universidad los que indican los beneficios que trae realizar estos procesos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Farhangi, «The Path of the smart grid,» *IEEE power& energy magazine* , pp. 18-28, 2010.
- [2] L. Chaves Acosta, C. Chaves y J. Villota, «Generación distribuida y redes inteligentes “administración y control efectivo de la red eléctrica mediante Smart Grid, beneficios sociales y económicos en la ciudad de pasto”,» San Juan de Pasto, 2011.
- [3] OPEN SYSTEMS INTERNATIONAL, «Smart Grid Initiatives White Paper,» Revisión 1.1.
- [4] N. Quijano, J. Morillo y M. Velasquez, «SILICE: A COLOMBIAN SMART MICROGRID PILOT,» Bogota, 2013.
- [5] Applus+ NorControl, «Instructivo de levantamiento de instalaciones eléctricas,» [En línea]. Available: https://www.scribd.com/fullscreen/49447201?access_key=key-23g222ufke6cwnmczg8x&allow_share=true&escape=false&view_mode=scroll. [Último acceso: 2014].
- [6] E. A. Rodriguez Chamorro, «Estudio de consumo de energía eléctrica y apoyo en la implementación de un sistema de seguridad en Comfamiliar sede pasto parque infantil,» San Juan de Pasto, 2012.
- [7] J. Alvarez y C. Granados, «Metodología para el diagnostico electrico en centros educativos. Aplicación a la Universidad Autonoma Metropolitana Unidad Iztapalapa,» Mexico, 1992.
- [8] ICONTEC, *CÓDIGO ELECTRICO COLOMBIANO- NTC 2050*, 1998.
- [9] Ministerio de Minas y Energía Colombia, «REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS-RETIE,» 2013.
- [10] J. Osorio y R. Sanchez, «Inspección a las instalaciones electricas en el proyecto la YE perteneciente a Mineros S.A,» Medellin, 2009.
- [11] J. Pinilla y A. Valencia, «Diagnostico de las instalaciones electricas en la facultad de ciencias de lasalud de la Universidad Tecnologica de Pereira,» Pereira, 2010.
- [12] J. Orrego y M. Arango, «Inspección del sistema electrico de la Institución educativa Carlota Sanchez Sede Numero 2 con base en el RETIE y la NTC 2050,» Pereira, 2012.
- [13] J. Revelo Fuelagan, «Registro,análisis de datos y eficiencia energética(PERS NARIÑO),» San Juan de Pasto, 2013.
- [14] J. C. Campos Avella, UPME y COLCIENCIAS, *Calidad de energía eléctrica*, Cali, Barranquilla Colombia.
- [15] S. Ramirez Castaño y E. A. Cano Plata, *Calidad del Servicio de Energía Eléctrica, Manizales: Centro de Publicaciones UNAL sede Manizales*, 2006.
- [16] Engineers, Institute of Electrical and Electronics, IEEE Std 1159 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality., vol. 2009, 2009.
- [17] Ministerio de Minas y Energía Colombia, *Resolución No. 024 de 2005*, Bogota DC, 2005.

- [18] Transmission and Distribution Committee of the IEEE Power and Energy Society, «IEEE 519 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems,» vol. 2014, 2014.
- [19] Ministerio de Minas y Energía Colombia, *Resolución No. 108 de 1997*, Bogota DC, 1997.
- [20] O. M. Ardila Rojas, G. A. Beltán Mantilla y J. M. Pacheco Julio, «Levantamiento, revisión y rediseño de la red electrica de los edificios de: Ingeniería Industrial, eléctrica y electrónica, talleres de diseño, lab de alta tensión e hidraulica.,» Bucaramanga, 2008.
- [21] L. C. Galvis Arcila y G. S. Noguera Nuñez, «Levantamiento y rediseño de las redes e instalaciones eléctricas del edificio Luis A. Calvo,» Bucaramanga, 2012.
- [22] F. Ramirez , Y. Montoy y Y. Gonzalez, «Estudio, levantaminto y rediseño de las instalaciones electricas del edificio de la Cruz Roja seccional Santader,» Bucaramanga, 2012.
- [23] ANSI, «C84.1 for Electric Power Systems and Equipment — American National Standard,» pp. 1-24, 2003.
- [24] F. Milano, *Power System Analysis Toolbox Documentation for PSAT*, 2008.
- [25] W. Pantoja y M. Melo, «MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA MICRORRED BASADA EN LA RED ELÉCTRICA DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO,» Pasto, 2015.

8. ANEXOS

Estos archivos se presentan en medio magnético en un archivo externo llamado anexos que está subdividido por carpetas correspondientes a los nombres adoptados en este documento.

ANEXO 1. MANUAL DE LEVANTAMIENTO DE REDES ELECTRICAS UDENAR

En la careta Anexo 1, existe un archivo en formato PDF que presenta el manual de levantamiento.

ANEXO 2. PLANTILLAS LEVANTAMIENTO COMPLETAS

En la carpeta anexo 2, se presenta un PDF que muestra las planillas completadas durante el levantamiento divididas por transformador, las plantillas están ordenadas alfabéticamente por ende siempre se visualizará primero las plantillas de acometidas, en segundo lugar los tableros y por último la plantilla del transformador. Siguiendo este estricto orden para este anexo.

ANEXO 3. REGISTRO FOTOGRAFICO LEVANTADO

La carpeta Anexo 3 contiene el registro fotográfico en donde se encuentran las fotos de transformadores con su respectiva placa característica, y tableros eléctricos tanto generales como de distribución.

ANEXO 4. ESQUEMAS ELECTRICOS DE LEVANTAMIENTO

La carpeta Anexo 4, cuenta con dos subcarpetas llamadas PLANOS GENERALES y DIAGRAMAS UNIFILARES, los esquemas están en formato AutoCAD y PDF para su fácil visualización.

ANEXO 5. DIAGNOSTICO DE LA RED ELÉCTRICA

La carpeta Anexo 5, tiene un archivo Excel llamado DIAGNOSTICO FINAL en donde se presenta el diagnóstico y una carpeta llamada FOTOS en donde se encuentran el registro fotográfico de aquellas anomalías nombradas en el archivo Excel.

ANEXO 6. BASE DE DATOS VARIABLES ELECTRICAS MEDIDAS

El anexo 6, presenta la base de datos dividida en dos carpetas, la primera llamada ANALIZADOR DE REDES, la cual está compuesta por: gráficas de variables eléctricas en formato .fig y JPEG, registro dado por el HIOKI 3187(archivo Excel) y el reporte de la mediciones hechas también en formato Excel. Por su parte la segunda carpeta DATALOGGER, está dividida por los tableros eléctricos medidos y

que contienen las gráficas, registros y reportes que se realizaron por cada uno de estos tableros.

ANEXO 7. INFORME CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA

Este informe llamado BASE DE DATOS Y CALIDAD DE ENERGÍA es un archivo PDF que contiene el análisis de calidad de energía eléctrica que se realizó a los 9 transformadores.

ANEXO 8. INFORME SIMULACIÓN RED ELECTRICA

El documento que se presenta en la carpeta ANEXO 8, es un archivo DPF llamado Flujo de potencia y contiene el reporte de simulación de la red eléctrica además de un análisis de eficiencia energética que se realizó en el campus una vez la simulación concluyó.

ANEXO 9. LISTA DE MATERIALES REMODELACIÓN RED ELECTRICA MEDIA TENSIÓN

El archivo llamado REMODELACIÓN RED ELECTRICA M.T.docx presenta la lista, costo y ubicación de los materiales eléctricos que se requieren para realizar la remodelación de la red eléctrica a nivel de media tensión.