

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS	Código	FO-SB- 12/v0
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN	Página	1/196

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): JHON FREDY APELLIDOS: LIZARAZO CASTELLANOS

NOMBRE(S): EDWAR YESID APELLIDOS: JAIMES JAIMES

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): GLORIA ESMERALDA APELLIDOS: SANDOVAL MARTÍNEZ

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL EDIFICIO AULA SUR DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER, SAN JOSÉ DE CÚCUTA

RESUMEN

Este proyecto realizó un estudio de calidad de energía en el sistema eléctrico del edificio aula sur de la Universidad Francisco de Paula Santander, San José de Cúcuta. Para ello, se realizó una investigación descriptiva apoyada en conocimientos adquiridos en asignaturas como calidad y energía, señales y sistemas, electrónica de potencia y sistemas de puestas a tierra; que permitieron de describir y también plantear ideas que aporten positivamente al cumplimiento de los objetivos. La recolección de información se obtuvo de los equipos existentes en los laboratorios de electricidad de la Universidad. La población, corresponde a la Universidad Francisco de Paula Santander en la cual se encuentra ubicado el objeto de estudio. El muestreo, esta conformado por el edificio Aula Sur en todas y cada una de sus divisiones (SB, SC, SD, SE, SF). Se logró, realizar el estudio de calidad de energía en el sistema eléctrico del edificio aula sur de la Universidad Francisco de Paula Santander utilizando software e instrumentos de medida especializados. Se llevó a cabo, la verificación de los planos existentes para comparar lo diseñado con lo instalado y modificarlos en caso de ser necesario, además censar las cargas actuales en el sistema eléctrico del edificio. Seguidamente, se realizó un diagnóstico para determinar los niveles de voltaje y armónicas de corriente, en puntos sensibles y diferentes momentos de operación del sistema eléctrico, en busca de posibles fenómenos que podrían ocasionar fallas. Posteriormente, se ejecuto la simulación en software especializados la operación del sistema y a partir de esta proponer medidas que mejoren su funcionamiento y eficiencia, como por ejemplo el diseño de filtros. Finalmente, se planteó un plan de mantenimiento básico y una posible adecuación para la instalación.

PALABRAS CLAVE: sistema eléctrico, estudio de calidad, armónicas de corriente.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 120 PLANOS: 1 ILUSTRACIONES: _____ CD ROOM: 1

Elaboró		Revisó		Aprobó	
Equipo Operativo del Proceso		Comité de Calidad		Comité de Calidad	
Fecha	24/10/2014	Fecha	05/12/2014	Fecha	05/12/2014

ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL EDIFICIO
AULA SUR DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER, SAN JOSÉ DE
CÚCUTA.

JHON FREDY LIZARAZO CASTELLANOS
EDWAR YESID JAIMES JAIMES

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTA DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL EDIFICIO
AULA SUR DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER, SAN JOSÉ DE
CÚCUTA.

JHON FREDY LIZARAZO CASTELLANOS

EDWAR YESID JAIMES JAIMES

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director:

GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTÍNEZ

Ingeniero Electromecánico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

**ACTA DE SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGATIVO**

FECHA: 24 de Abril de 2020

HORA: 04:00 P.M

LUGAR: Sustentación Virtual

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TITULO DEL TRABAJO DE GRADO: "ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL EDIFICIO AULA SUR DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER, SAN JOSE DE CÚCUTA."

JURADOS: Ing: GERMAN ENRIQUE GALLEGO RODRÍGUEZ,
Ing: JOSE ALEJO RANGEL ROLON
Ing: ARISTÓBULO SIERRA ROJAS.

DIRIGIDO: Esp. GLORIA ESMERALDA SANDOVAL MARTINEZ

APROBADA

NOMBRES DE LOS ESTUDIANTES:	CÓDIGO	CALIFICACION
JHON FREDY LIZARAZO CASTELLANOS	1091131	4.3
EDWAR YESID JAIMES JAIMES	1090992	4.3

FIRMA DE LOS JURADOS:

VOBO. COORDINADOR

COMITÉ CURRICULAR _____

IM MSC PEDRO JOSE PARTIÑO CARDENAS.
Coordinador Programa Ingeniería Electromecánica
ingelectromecánica@ufps.edu.co Ext. 121

Mayerline CH.



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

Señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS
Ciudad

Cordial saludo:

JHON FREDY LIZARAZO CASTELLANOS, identificado(s) con la C.C. N° 1012398196, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL EDIFICIO AULA SUR DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER, SAN JOSÉ DE CÚCUTA presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de Ingeniero Electromecánico; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que **“los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores”**, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

FIRMA Y CEDULA



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

Señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS
Ciudad

Cordial saludo:

EDWAR YESID JAIMES JAIMES, identificado(s) con la C.C. N° 1093789576, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL EDIFICIO AULA SUR DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER, SAN JOSÉ DE CÚCUTA, presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de Ingeniero Electromecánico; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que **“los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores”**, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Edwar Jaimes.

FIRMA Y CEDULA

Dedicatoria

Con especial cariño para mis padres Jose Trinidad Jaimes y Doris María Jaimes quienes me han apoyado siempre en los proyectos que he decidido emprender y han sabido darme un gran ejemplo para ser una persona correcta y de bien, inculcándome valores éticos y morales, lo que me ha llevado a ser el hombre que soy y a cumplir este logro tan importante de convertirme en profesional.

Así también, dedico este trabajo a mis hermanos quienes me han demostrado ser un apoyo incondicional en todo momento y me han dado el ejemplo de que con esfuerzo y perseverancia se pueden lograr las grandes cosas que nos proponemos, yendo siempre por el camino del bien.

Edwar Yesid Jaimes Jaimes

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Raúl Lizarazo y María castellanos por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Me siento muy orgulloso de ser su hijo, son los mejores padres.

A mi compañera sentimental por estar siempre presente, acompañarme y por brindarme apoyo moral, fue un bastón muy importante para cumplir con este objetivo.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Jhon Fredy Lizarazo Castellanos

Agradecimientos

Primeramente, agradecer a Dios por darnos la vida, por acompañarnos en todo momento y guiarnos siempre por el mejor camino para lograr este lindo objetivo de ser profesionales.

Además, expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

A la ingeniera Gloria Esmeralda Sandoval por orientarnos en el desarrollo de nuestro proyecto, brindarnos su apoyo y por compartir sus conocimientos con nosotros.

A los Ingenieros Alejo Rangel, Aristóbulo Sierra y en especial al Ingeniero German Gallego por sus excelentes asesorías y por dar sugerencias para la correcta formulación del proyecto además de evaluar el anteproyecto presentado.

Al ingeniero Mauricio Giraldo por facilitarnos uno de los equipos de medición utilizados que nos fue de vital ayuda.

Al ingeniero Miguel Acosta director de servicios generales por estar siempre dispuesto a colaborar gestionando las visitas y actividades a realizar durante la ejecución del proyecto.

Contenido

	pág.
Introducción	20
1. Problema	22
1.1 Título	22
1.2 Planteamiento del Problema	22
1.3 Formulación del Problema	23
1.4 Justificación	23
1.4.1 A Nivel de la universidad	23
1.4.2 A Nivel del estudiante	24
1.4.3 Impacto esperado	25
1.4.4 Beneficios tecnológicos	25
1.4.5 Beneficios económicos	25
1.4.6 Beneficios sociales	26
1.4.7 Beneficios institucionales	26
1.5 Alcances y Limitaciones	26
1.5.1 Alcances	26
1.5.2 Limitaciones	27
1.6 Objetivos	27
1.6.1 Objetivo general	28
1.6.2 Objetivos específicos	28
2. Marco Referencial	29
2.1 Antecedentes	29
2.2 Marco Teórico	30

2.2.1	Definición de calidad de energía	31
2.2.2	Fenómenos que afectan la calidad de la energía	32
2.2.2.1	Transitorios electromagnéticos – TEM	33
2.2.2.2	Variaciones de tensión de corta duración VTCD	36
2.2.2.3	Variaciones de tensión de larga duración VTLD	40
2.2.2.4	Desbalance de tensión – DT	42
2.2.2.5	Distorsión de forma de la señal – DFS	43
2.2.2.6	Fluctuaciones de tensión – FT	49
2.2.2.7	Variaciones de la Frecuencia Industrial – VFI	50
2.2.3	Filtrado de armónicos	50
2.2.3.1	Tipo de filtros	51
2.3	Marco Legal	55
3.	Diseño Metodológico	57
3.1	Tipo de Investigación	57
3.2	Metodología	57
3.3	Población y Muestra	59
3.3.1	Población	59
3.3.2	Muestra.	59
3.4	Resultados Esperados	59
3.4.1	Resultados directos	59
3.4.2	Resultados indirectos	60
4.	Desarrollo de la Propuesta	61
4.1	Actualización y Ordenamiento de Planos y Cargas en el Edificio Aula Sur Nuevo	61
4.1.1	Comparación entre los planos de diseño y lo actualmente instalado	61

4.1.2 Verificación y actualización de cuadros de cargas	64
4.1.3 identificación de circuitos en los tableros eléctricos	66
4.2 Análisis de Potencia Eléctrica y Calidad de la Energía	68
4.2.1 Verificación de voltajes y corrientes en diferentes puntos de conexión del sistema	70
4.2.2 Conexión del analizador de redes en sitios estratégicos	71
4.2.2.1 Conexión del analizador de redes en el totalizador 1	73
4.2.2.2 Conexión del analizador de redes en el totalizador 2	76
4.2.3 Análisis general de los datos obtenidos	79
4.2.3.1 Análisis eléctrico del totalizador 1 y 2	80
4.2.3.2 Análisis de potencia en la subestación eléctrica	101
4.3 Simulación de la Operación del Sistema Eléctrico Enfocada en el Comportamiento de la Corriente	103
4.3.1 Simulación de la onda de corriente total	103
4.3.2 Simulación de la corriente descompuesta	105
4.3.3 Simulación del resultado de la corriente agregando un filtro de armónicos	107
4.3.4 Especificaciones básicas del filtro de armónicos requerido	109
4.4 Plan de mantenimiento y Reestructuración	110
4.4.1 Plan de mantenimiento básico	111
4.4.2 reestructuración recomendada	112
5. Conclusiones	113
6. Recomendaciones	115
Referencias Bibliográficas	116
Anexos	118

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. Contenido espectral atípico	33
Tabla 2. Total de cambios en las cargas del edificio aula sur nuevo	64
Tabla 3. Información del tablero 4 bloque d antiguo	65
Tabla 4. Información del tablero 4 bloque d actualizado	65
Tabla 5. Información del Tablero 4 aires bloque D nuevo	66
Tablas de datos obtenida totalizador 1:	74
Tabla 6. Parte 1, datos obtenidos en una hora de conectado el analizador de redes en el totalizador 1	75
Tabla 7. Parte 2, datos obtenidos en una hora de conectado el analizador de redes en el totalizador 1	76
Tabla 8. Parte 1, Datos obtenidos en una hora de conectado el analizador de redes en el totalizador 2	78
Tabla 9. Parte 2, datos obtenidos en una hora de conectado el analizador de redes en el totalizador 2	79
Tabla 10. Clasificación, denominación y valores de la tensión nominal	81
Tabla 11. Voltaje mínimo, máximo y promedio entre las fases, totalizador 1	82
Tabla 12. Voltaje mínimo, máximo y promedio entre las fases, totalizador 2	83
Tabla 13. Porcentaje máximo de desbalance de tensión	84
Tabla 14. Frecuencia aceptable	91
Tabla 15. Valor mínimo y máximo de frecuencia totalizador 1	92
Tabla 16. Valor mínimo y máximo de frecuencia totalizador 2	93
Tabla 17. Factor de potencia general del totlizador 1, teniendo en cuenta el promedio de	

cada día	95
Tabla 18. Factor de potencia general del totalizador 2, teniendo en cuenta el promedio de cada día	96
Tabla 19. Límites de distorsión actuales para sistemas con clasificación de 120 V a 69 kV	97
Tabla 20. Distorsión armónica en las líneas del totalizador 1	100
Tabla 21. Potencia aparente de los diseños eléctricos	102
Tabla 22. Especificaciones básicas del filtro activo recomendado	110
Tabla 23. plan de mantenimiento para el edificio aula sur nuevo	111
Tabla 24. Plan de reestructuración en el sistema eléctrico del edificio aula sur nuevo	112

Lista de Figuras

	pág.
Figura 1. Transitorio de Impulso de corriente originado por un rayo	34
Figura 2. Tensión transitoria Oscilatoria causada por desconexión de condensadores	35
Figura 3. Caída de tensión causada por una falla fase - tierra	37
Figura 4. Caída de tensión causada por arranque de un motor	38
Figura 5. Subida de tensión causada por una falla fase – tierra	39
Figura 6. Interrupción momentánea debido a una falla y subsiguiente operación de recierre	40
Figura 7. Desbalance en un alimentador residencial durante una semana	42
Figura 8. Comportamiento de la corriente en una carga que genera armónicos	45
Figura 9. Forma de señal de tensión distorsionada, medida en un sistema industrial	47
Figura 10. Muecas de tensión causadas por un convertidor trifásico	48
Figura 11. Fluctuación de Tensión o Titilación (Flicker)	50
Figura 12. Representacion grafica del filtro pasivo	52
Figura 13. Representacion grafica del filtro activo	53
Figura 14. Representacion grafica del filtro hibrido	55
Figura 15. Salones SD cuarto piso edificio aulas sur nuevo, plano antiguo	62
Figura 16. Salones SD cuarto piso edificio aulas sur nuevo, plano actualizado	63
Figura 17. Marcación de circuitos en tableros eléctricos aula múltiple cuarto piso	67
Figura 18. Marcación de circuitos en tableros eléctricos SF cuarto piso	67
Figura 19. Marcación de circuitos en tableros eléctricos SF segundo piso	68
Figura 20. Analizador de potencia EXTECH modelo 382100	69
Figura 21. Analizador de calidad de la energía HIOKI modelo 3197	70
Figura 22. Medidas de voltajes y corrientes en los tableros eléctricos del edificio aulas sur	

nuevo	70
Figura 23. Placa informativa del transformador en la subestación.	71
Figura 24. Tablero general de la subestación	72
Figura 25. Conexión del analizador de redes en el totalizador	73
Figura 26. Totalizador de luces 1º, 2º, 3º y 4º piso bloque SD	73
Figura 27. Conexión del analizador de redes en el totalizador del bloque SD	74
Figura 28. Totalizador de aires acondicionados 4º piso bloque SF.	77
Figura 29. Conexión del analizador de redes en el totalizador del cuarto piso del bloque SF.	77
Figura 30. Voltajes del totalizador 1 vs tiempo	82
Figura 31. Voltajes del totalizador 2 vs tiempo	83
Figura 32. Desbalance de tensión de totalizador 1	85
Figura 33. Desbalance de tensión de totalizador 2	85
Figura 34. Corrientes del totalizador 1 vs tiempo	87
Figura 35. Corrientes del totalizador 2 vs tiempo	89
Figura 36. Frecuencia del totalizador 1 vs tiempo	91
Figura 37. Frecuencia del totalizador 2 vs tiempo.	92
Figura 38. Factor de potencia del totalizador 1 vs tiempo.	94
Figura 39. Factor de potencia del totalizador 2 vs tiempo	95
Figura 40. Formas de onda de corriente del totalizador 1	98
Figura 41. Registro de armónicos en un instante de carga máxima del totalizador 1.	99
Figura 42. Forma de onda de la corriente del totalizador 2	101
Figura 43. Registro de armónicos en un instante de carga máxima del totalizador 2.	101
Figura 44. Esquema de conexiones para reconstruir onda de corriente del totalizador 1	104

Figura 45. Forma de onda de corriente del totalizador 1 generada y sin filtro.	104
Figura 46. Esquema de conexiones para generar las ondas de corriente descompuestas de la línea 2, totalizador 1	105
Figura 47. Ondas de corriente descompuestas de la línea 2, totalizador 1.	106
Figura 48. Esquema de conexiones para generar las ondas de corriente descompuestas de la línea 3, totalizador 1	107
Figura 49. Ondas de corriente descompuestas de la línea 3, totalizador 1.	107
Figura 50. Esquema de conexiones para aplicarle el filtrado a la onda de corriente del totalizador 1.	108
Figura 51. Forma de onda de corriente del totalizador 1 con filtro.	109

Lista de Anexos

	pág.
Anexo 1. Ficha técnica del analizador de potencia EXTECH 382100	119
Anexo 2. Ficha tecnica del analizador de calidad de la energia HIOKI 3197.	120

Resumen

Este proyecto realizó un estudio de calidad de energía en el sistema eléctrico del edificio aula sur de la Universidad Francisco de Paula Santander, San José de Cúcuta. Para ello, se realizó una investigación descriptiva apoyada en conocimientos adquiridos en asignaturas como calidad y energía, señales y sistemas, electrónica de potencia y sistemas de puestas a tierra; que permitieron de describir y también plantear ideas que aporten positivamente al cumplimiento de los objetivos. La recolección de información se obtuvo de los equipos existentes en los laboratorios de electricidad de la Universidad. La población, corresponde a la Universidad Francisco de Paula Santander en la cual se encuentra ubicado el objeto de estudio. El muestreo, está conformado por el edificio Aula Sur en todas y cada una de sus divisiones (SB, SC, SD, SE, SF). Se logró, realizar el estudio de calidad de energía en el sistema eléctrico del edificio aula sur de la Universidad Francisco de Paula Santander utilizando software e instrumentos de medida especializados. Se llevó a cabo, la verificación de los planos existentes para comparar lo diseñado con lo instalado y modificarlos en caso de ser necesario, además censar las cargas actuales en el sistema eléctrico del edificio. Seguidamente, se realizó un diagnóstico para determinar los niveles de voltaje y armónicas de corriente, en puntos sensibles y diferentes momentos de operación del sistema eléctrico, en busca de posibles fenómenos que podrían ocasionar fallas. Posteriormente, se ejecutó la simulación en software especializados la operación del sistema y a partir de esta proponer medidas que mejoren su funcionamiento y eficiencia, como por ejemplo el diseño de filtros. Finalmente, se planteó un plan de mantenimiento básico y una posible adecuación para la instalación.

Abstract

This project carried out a study of energy quality in the electrical system of the south classroom building of the Francisco de Paula Santander University, San José de Cúcuta. For this, a descriptive research was carried out, supported by knowledge acquired in subjects such as quality and energy, signals and systems, power electronics and grounding systems; that allowed to describe and also to propose ideas that contribute positively to the fulfillment of the objectives. The information collection was obtained from the existing equipment in the University's electricity laboratories. The population corresponds to the Francisco de Paula Santander University in which the object of study is located. The sampling is made up of the Aula Sur building in each and every one of its divisions (SB, SC, SD, SE, SF). It was possible to carry out the study of energy quality in the electrical system of the south classroom building of the Francisco de Paula Santander University using specialized software and measurement instruments. Verification of the existing plans was carried out to compare what was designed with what was installed and modify them if necessary, in addition to registering the current loads on the building's electrical system. Subsequently, a diagnosis was carried out to determine the levels of voltage and harmonics of current, at sensitive points and different moments of operation of the electrical system, looking for possible phenomena that could cause failures. Subsequently, the simulation was carried out in specialized software for the operation of the system and, based on this, propose measures that improve its operation and efficiency, such as the design of filters. Finally, a basic maintenance plan and a possible adaptation for the installation were proposed.

Introducción

La presente investigación se enfoca en un estudio de calidad de energía eléctrica, específicamente se busca caracterizar el sistema eléctrico y conocer su estado actual, además se van a formular propuestas y recomendaciones en pro de la universidad y el suministro eléctrico del edificio Aula Sur. Los estudios de calidad eléctrica son muy importantes en la actualidad a nivel global, cuando se habla de calidad en el ámbito eléctrico surge un conjunto de aspectos positivos como la ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones, todo esto es responsable de dar dicha importancia y relevancia a este tema.

Entre los beneficios principales a la prestación del servicio de energía eléctrica están el correcto funcionamiento de los aparatos o cargas que se alimentan de la misma, las cuales se ven afectadas por armónicos de corriente y variaciones de voltaje, por ende, se busca evitar esta modificación o alteración a las características de la señal eléctrica del suministro, porque de lo contrario se empezaran a producir costos adicionales y fallas en la instalación.

En el presente proyecto se profundiza y se aplican conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería electromecánica, todo en busca de aportar a la comunidad universitaria de forma positiva realizando un estudio que asegura el buen funcionamiento del suministro eléctrico y será de útil información para demás estudiantes del mismo ámbito.

Para la ejecución del estudio se utilizan instrumentos de medida especializados (analizador de redes) con los cuales se busca obtener valores característicos de la red de suministro y dichos valores se tabularán para posteriormente analizarlos y de esta forma lograr proponer, concluir y determinar una calificación respecto al estado actual de la red de suministro del edificio.

Durante la investigación descriptiva y experimental hay limitantes como la disponibilidad de los equipos de medidas existentes en los laboratorios de electricidad de la Universidad.

1. Problema

1.1 Título

ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL EDIFICIO AULA SUR DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER, SAN JOSÉ DE CÚCUTA.

1.2 Planteamiento del Problema

Los sectores comerciales, industriales y residenciales, presentan consumos innecesarios generados por fallas o pérdidas en los sistemas eléctricos lo que representa un gran desperdicio energético, esto se debe a que las instalaciones en la mayoría de sus diseños, no obedecen a criterios de calidad de energía además del desconocimiento del tema por parte de los usuarios.

En el escenario anteriormente descrito se deben tener en cuenta las normas que rigen a nivel nacional, como lo son la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y a nivel local el reglamento de CENS S.A, las cuales establecen parámetros que son responsables de la calidad del suministro eléctrico, por lo cual es ideal asegurar que se cumplan todas las normas de manera correcta, con el objeto de mejorar la economía del usuario, regulando el sistema para que se consuma solo lo que él requiera, con el propósito de disminuir en lo más posible las pérdidas.

Es importante considerar que la Universidad Francisco de Paula Santander no cuenta con un manual guía para caracterizar, supervisar y ayudar a garantizar la calidad de su sistema eléctrico, en consecuencia, se observan instalaciones eléctricas en algunos edificios que se podrían calificar como deficientes, desordenadas, antiguas y con poco mantenimiento, por estas razones se

generan pérdidas y baja calidad del servicio eléctrico.

Por su parte el edificio aula sur no tiene un estudio de calidad energética en la actualidad y no se conoce el estado de sus instalaciones eléctricas, esta situación podría estar ocasionando incrementos en el consumo y en el peor de los casos consecuencias como daño o mal funcionamiento de aparatos (computadores, luminarias, aires acondicionados, etc.).

En definitiva, se quiere plantear una secuencia de pasos para obtener un diagnóstico correcto del estado eléctrico del edificio con el objetivo de proponer estrategias de mejora según se requiera y un plan de mantenimiento, todo con ayuda de herramientas e instrumentos de medida especializados.

1.3 Formulación del Problema

Con la finalidad de hacer un aporte a la Universidad Francisco de Paula Santander con fines de asegurar un buen desempeño eléctrico se plantea la siguiente pregunta: ¿Cómo conocer el estado actual del sistema eléctrico del edificio Aula sur para proponer estrategias y un plan de mantenimiento que aseguren una calidad óptima en el suministro eléctrico?

1.4 Justificación

A continuación, se presenta una justificación a nivel de universidad y otra a nivel de los estudiantes ejecutores, además de impacto y beneficios que traerá consigo el proyecto.

1.4.1 A Nivel de la universidad. La Universidad Francisco de Paula Santander debería ser pionera y un ejemplo a nivel departamental en la implementación de técnicas que garanticen la calidad de la energía, esto es importante para un avance a nivel tecnológico y para estar a la altura de la actualidad mundial, además debe cumplirse lo que se establece en las normas IEEE, CREG,

RETIE y CENS S.A, que son las encargadas de regir, describir y regular el correcto comportamiento eléctrico de las instalaciones, de lo contrario se pueden presentar problemas de funcionamiento eléctrico que se pueden evitar si se realizan estudios como este y si se cumplen las normas establecidas a nivel nacional e internacional.

El desarrollo de este estudio beneficiara a la universidad a nivel de avance investigativo, todo se hará en pro de esta misma, además se está promoviendo el ahorro de energía y por ende una posible disminución de costos a la universidad, aparte este proyecto dará a conocer el estado de uno de los edificios de la institución y en base a los resultados posiblemente se empezara a cuestionar a cerca de las demás edificaciones que posee la institución y el posible impacto en reducción de costos económicos que se podría generar mediante la aplicación o ejecución de las ideas de solución que harán parte del resultado obtenido por la realización de este tipo de estudios.

Proyectos como este ayudaran a que la universidad este un paso más a la vanguardia en cuanto a las instalaciones eficientes de circuitos eléctricos y motivara la elaboración de futuros proyectos que aportaran un avance a nivel social y tecnológico.

1.4.2 A Nivel del estudiante. Como estudiantes de ingeniería Electromecánica, este proyecto ayudara a reforzar y utilizar conocimientos obtenidos durante el proceso de aprendizaje universitario, poniendo en práctica conceptos y técnicas que se adquirieron durante esta etapa tan importante a nivel profesional y personal, ya que nos ayuda a crecer profesionalmente y a adquirir un poco de experiencia en el ámbito laboral orientada a la calidad energética de cualquier instalación eléctrica.

El estudiante de ingeniería Electromecánica está preparado para descubrir una causa y una solución a este tipo de problemas o dificultades eléctricas que se pueden presentar en cualquier tipo de instalación y en cualquier ámbito, ya sea industrial, doméstico o institucional, garantizando soluciones positivas que se verán reflejadas en resultados beneficiosos al usuario, además este tipo de estudios aportaran en nosotros conceptos adicionales y como se dijo anteriormente experiencia, esta última es muy importante para que el profesional este más cómodo al desenvolverse en su campo profesional, este proyecto se hace con el fin de aportar positivamente a la sociedad y además con el fin de optar por el título de Ingeniero Electromecánico.

1.4.3 Impacto esperado. Se espera con la ejecución de este proyecto dar a conocer el estado actual del suministro energético del edificio aula sur además proponer posibles mejoras, adecuaciones o recomendaciones en el caso que sea necesario, todo apuntando a un sistema eléctrico en perfectas condiciones lo cual es lo ideal en cualquier instalación energética para mantener un suministro estable, rentable y adecuado.

1.4.4 Beneficios tecnológicos. La obtención de datos mediante la utilización de un analizador de redes que es un equipo especializado para brindarnos datos importantes teniendo en cuenta detalles existentes y muchas veces no perceptibles a simple vista.

La simulación del sistema eléctrico mediante software lo cual permite obtener un comportamiento similar al del suministro eléctrico, por tanto, manipular el sistema si es necesario y observar que resultados se obtienen, todo mediante simulación.

1.4.5 Beneficios económicos. En dado caso que se encuentre algún tipo de problema o perdida más allá de lo común o fuera de lo normal en el suministro eléctrico se propondrán

soluciones que lleven a una mejora al sistema e incrementen la durabilidad del sistema, todo esto influye positivamente en una reducción de gastos económicos, ya que en el peor de los casos si existiera alguna falla no identificada aun, podrían ocasionarse daños que generan gastos tanto económicos como de tiempo que son innecesarios y pueden llegarse a evitar con estudios como este.

1.4.6 Beneficios sociales. El desarrollo de este proyecto influye en tener un sistema eléctrico óptimo y estable, lo cual es importante a nivel de universidad tanto para los estudiantes como para los profesores ya que se puede prevenir cualquier posible falla, por eso es importante conocer y estudiar el estado del suministro, en pro de la comunidad universitaria.

El proyecto servirá también como base e indicación para futuros estudios de tipo eléctrico porque uno de los objetivos es hacer un pequeño manual para guiar y mostrar un paso a paso de todo lo que se hizo y se planteó ante las situaciones encontradas durante la ejecución del proyecto, esto es un aporte positivo para cuestiones de mantenimiento también.

1.4.7 Beneficios institucionales. La universidad francisco de paula Santander será reconocida por su trabajo y el compromiso por poseer instalaciones eléctricas con un alto nivel de calidad lo cual es un gran reconocimiento en pro del crecimiento y la calidad universitaria, ya que resaltara su interés por incentivar y apoyar la realización de proyectos favorables energéticamente.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances. El presente estudio estará dirigido al comportamiento la instalación eléctrica del edificio aula sur de la universidad Francisco de Paula Santander, se busca obtener todas las

características del estado actual del suministro a fin de proponer ideas que beneficien la institución, al mismo tiempo servir como ejemplo y aportar a futuros estudios de calidad energética dejando definida una serie de pasos importantes a la hora de realizar un mantenimiento básico con fines de corregir posibles fallas que se puedan presentar en cualquier instalación eléctrica de la universidad Francisco de Paula Santander.

1.5.2 Limitaciones. Una de las limitaciones presentes en la ejecución del proyecto será la utilización de solo los instrumentos de medida que dispongan los laboratorios de electricidad de la Universidad Francisco de Paula Santander debido a que estos aparatos tienen un valor monetario bastante alto en comparación al presupuesto de los ejecutores del proyecto.

Además, para la ejecución se debe tener en cuenta la disponibilidad del edificio Aulas Sur porque se hará al mismo tiempo que transcurre el semestre académico y por tanto se debe procurar a no interrumpir ni afectar las clases, y considerando que el analizador de redes debe estar continuamente realizando las respectivas mediciones esta situación podría afectar un poco el desarrollo y la toma de medidas.

También se debe tener en cuenta el hecho de que, al instalar el analizador, en ocasiones, se tendrían que manipular los circuitos presentes en la instalación eléctrica desde los breakers, esto significa que habría cortes de energía en algunos sectores del edificio Aulas sur, lo que habría que hacer en horas muy específicas para evitar afectaciones.

1.6 Objetivos

Para el desarrollo de este proyecto se plantearon los siguientes objetivos tomando en cuenta la duración y finalidad del mismo.

1.6.1 Objetivo general. Realizar un estudio de calidad de energía en el sistema eléctrico del edificio aula sur de la universidad francisco de paula Santander utilizando software e instrumentos de medida especializados.

1.6.2 Objetivos específicos. Verificar los planos existentes para comparar lo diseñado con lo instalado y modificarlos en caso de ser necesario, además censar las cargas actuales en el sistema eléctrico del edificio.

Realizar un diagnóstico para determinar los niveles de voltaje y armónicas de corriente, en puntos sensibles y diferentes momentos de operación del sistema eléctrico, en busca de posibles fenómenos que podrían ocasionar fallas.

Simular en software especializados la operación del sistema y a partir de esta proponer medidas que mejoren su funcionamiento y eficiencia, como por ejemplo el diseño de filtros.

Proponer un plan de mantenimiento básico y una posible adecuación para la instalación eléctrica del edificio aula sur que además sirva de guía a la Universidad.

2. Marco Referencial

Para el desarrollo del marco referencial se tomaron antecedentes a nivel regional, nacional e internacional relacionados con el tema de calidad de energía eléctrica.

2.1 Antecedentes

Navarro & Ramírez (2014). Estudio y Análisis de Calidad de Energía en Los Sistemas Eléctricos del Aeropuerto Internacional Camilo Daza de Cúcuta, Norte de Santander. Trabajo de Grado. Ingeniero Electromecánico. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

Dicho estudio y análisis fue realizado en el único aeropuerto que tiene la ciudad de Cúcuta, el proyecto fue realizado teniendo en cuenta parámetros eléctricos según las normas RETIE, IEEE, Anexo 12 OACI, entre otras. Uno de los objetivos principales del proyecto fue la medición y análisis del comportamiento de los parámetros que influyen en la cuantificación de la calidad de la energía, para estas mediciones obviamente se apoyaron en equipos de medida especializados y aptos para el objetivo que se quería lograr, el estudio se hizo con el fin de identificar fuentes de falla y establecer recomendaciones que mitiguen dichos efectos indeseables (Navarro & Ramirez, 2014).

Romero (2014). Análisis del Impacto de La Calidad de Potencia en La Calidad de Potencia en El Rendimiento de Producción en Una Industria de Bebidas. Trabajo de Grado. Ingeniero Electricista. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.

Dicho proyecto se realiza en una planta de bebidas, se analizan las afectaciones directas del comportamiento y rendimiento de la planta, de acuerdo con la calidad de energía en busca de

aumentar el rendimiento de la misma, y con fines relacionados con reducción de costos y disminución de mantenimientos correctivos, el principal objetivo es cuantificar las pérdidas de rendimiento causadas por la calidad que hay en la empresa en el momento que se realiza el estudio (Romero, 2014).

Mora & Cevallos (2014). Estudio y Análisis de Calidad de Energía Enfocado en Nivel de Armónicos en El Sistema Eléctrico de La Subestación Enfriadora 1 de Holcim Ecuador Plata Guayaquil. Tesis de Grado. Ingeniero en Electricidad Con Mención en Sistemas de Potencias y Diseño de Maquinarias. Universidad Politécnica Salesiana Sede -Guayaquil. Ecuador.

Dicho trabajo se realizó en la fábrica de cemento Holcim Ecuador S.A. Planta Guayaquil, en la subestación eléctrica Enfriadora 1, durante el periodo 2012-2014.

En el estudio se busca analizar y estudiar el comportamiento de los elementos eléctricos que hacen parte de la planta en busca de armónicos y fenómenos que afectan el desempeño de la maquinaria, utilizando según el autor instrumentos de medición de alta precisión tecnológica y rigiéndose siempre de las respectivas normas de eficiencia para caracterizar cada máquina y sistema eléctrico, todo con el fin de obtener un resultado de calidad energética y superar muchos fenómenos eléctricos que generan pérdidas e influyen en la seguridad del personal operario (Mora & Cevallos, 2014).

2.2 Marco Teórico

A continuación, se presentan las bases teóricas que fundamentan el contenido y desarrollo del proyecto.

2.2.1 Definición de calidad de energía. García (2015) Define: A nivel mundial se tienen diferentes puntos de vista sobre la definición de calidad de energía algunas de estas son.

El Instituto EPRI (Electric Power Research Institute) de los Estados Unidos, por ejemplo, define la calidad de la Energía Eléctrica (Power Quality) como: "Cualquier problema de potencia manifestado en la desviación de la tensión, de la corriente o de la frecuencia, de sus valores ideales que ocasione falla o mala operación del equipo de un usuario."

La norma IEC (61000-2-2/4) y la norma CONELEC (50160) definen la Calidad de la Energía Eléctrica como: "Una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo".

Para la norma IEEE 1159 de 1995: "El termino se refiere a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente eléctricas, en un tiempo dado y en una ubicación dada en el sistema de potencia".

La CREG en Colombia en su Resolución 070 de 1998 conceptuó que: "El termino calidad de la potencia suministrada se refiere a las perturbaciones y variaciones de estado estacionario de la tensión y corriente suministrada por el Operador de Red. El termino calidad del servicio prestado se refiere a los criterios de confiabilidad del servicio.

La calidad de energía eléctrica puede dividirse en dos grandes temas:

La Calidad del Servicio de Energía Eléctrica, el cual tiene que ver directamente con el tiempo, es decir, la Continuidad del Servicio.

La Calidad de la Potencia Eléctrica, que se refiere a las variaciones en la forma de onda, frecuencia y amplitud de las señales de corriente y tensión.

Las características físicas de la calidad de la energía eléctrica, son la continuidad del servicio durante las 24 horas del día y los 365 días del año, la amplitud, frecuencia, forma de onda de la señal de tensión y corriente, las cuales están definidas por valores o índices en resoluciones, guías o normas nacionales e internacionales, dentro de rangos que son técnica y económicamente aceptables. La discontinuidad o variación de estos valores o índices, pueden causar degradación, mal funcionamiento o fallas en dispositivos, equipos o sistemas eléctricos, electrónicos o de comunicación, que disminuyen la calidad de la energía eléctrica y afectan técnica y económicamente a sus usuarios.”

2.2.2 Fenómenos que afectan la calidad de la energía. García (2015). “En su publicación sobre fundamentos de la calidad de energía” lo define como:

Los parámetros de amplitud, frecuencia, forma de onda y continuidad de un sistema eléctrico, electrónico o de comunicaciones, pueden verse afectado por diferentes tipos de perturbaciones que se pueden dividir de acuerdo con su duración en siete categorías:

1. Transitorios electromagnéticos -TEM
2. Variaciones de tensión de corta duración - VTCD
3. Variaciones de tensión de larga duración – VTCD
4. Desbalance de tensión - DT
5. Distorsión de la forma de la señal – DFS

6. Fluctuaciones de tensión - FT

7. Variación de la frecuencia industrial – VFI

2.2.2.1 Transitorios electromagnéticos – TEM. El término transitorio ha sido usado durante mucho tiempo en el análisis de variaciones en un sistema de eléctrico de potencia, para indicar un evento que es indeseable y de naturaleza momentánea, otra palabra comúnmente usada como sinónimo de transitorio es pico o impulso de tensión.

Tabla 1. Contenido espectral atípico

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsos			
1.1.1 Nanosegundos	5 ns de elevación	<50 ns	
1.1.2 Microsegundos	1 μ s de elevación	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Milisegundos	0.1 ms de elevación	> 1 ms	
1.2 Oscilatorios			
1.2.1 Baja Frecuencia	< 5kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
1.2.2 Frecuencia Media	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0.5 - 5MHz	5 μ s	0 - 4 pu
2.0 Variaciones de Corta duración			
2.1 Instantáneas			
2.1.1 Sag		0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
2.2 Momentáneas			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos - 3 seg	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 ciclos - 3 seg	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 Swell		30 ciclos - 3 seg	1.1 - 1.4 pu
2.3 Temporal			
2.3.1 Interrupción		3 seg - 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		3 seg - 1 min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 Swell		3 seg - 1 min	1.1 - 1.2 pu
3.0 Variaciones de larga duración			
3.1 Interrupción sostenida		> 1 min	0.0 pu
3.2 Bajo voltaje		> 1 min	0.8 - 0.9 pu
3.3 Sobrevoltaje		> 1 min	1.1 - 1.2 pu
4.0 Desbalance en voltaje		Estado Estable	0.5 - 2%
5.0 Distorsión de Forma de Onda			
5.1 Componente de directa		Estado Estable	0 - 0.1%
5.2 Contenido armónico	0 - 100th H	Estado Estable	0 - 20%
5.3 Interarmónicas	0 - 6 kHz	Estado Estable	0 - 2%
5.4 Muestras en el voltaje		Estado Estable	
5.5 Ruido	Banda amplia	Estado Estable	0 - 1%
6.0 Fluctuaciones de Voltaje	< 25 Hz	Intermitente	0.1 - 7%
7.0 Variaciones en la Frecuencia		<10 seg	

Duración y magnitud para cada una de las siete categorías de fenómenos electromagnéticos que afectan la CEL.

De una forma amplia y técnica, los transitorios electromagnéticos pueden ser clasificados en dos categorías: Transitorios de Impulso y Transitorios oscilatorios.

Transitorios de Impulso:

Un Transitorio de Impulso es un cambio súbito, de frecuencia no industrial, de la condición de estado estacionario de tensión o corriente o ambas y es unidireccional en polaridad positivo o negativo.

Los Transitorios de Impulso son normalmente caracterizados por sus tiempos de subida o de frente (rise time) y de cola (decay). El origen más común de los Transitorios de Impulso son los rayos. La figura 1 ilustra un Transitorio de Impulso negativo de corriente, originado por un rayo.

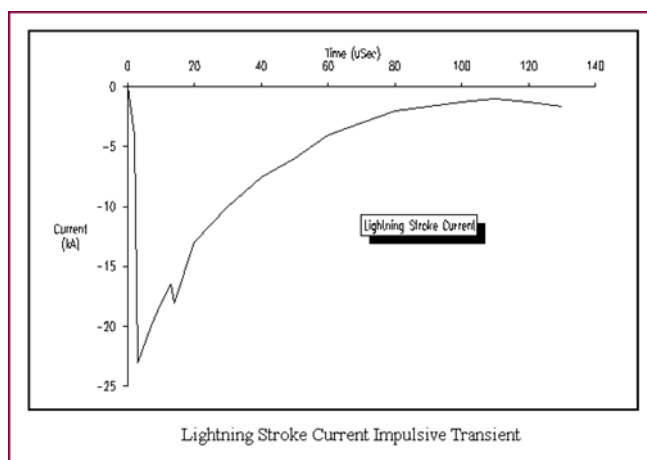


Figura 1. Transitorio de Impulso de corriente originado por un rayo

Transitorios Oscilatorios:

Transitorio Oscilatorio consiste de una tensión o corriente cuyos valores instantáneos cambian rápidamente de polaridad. Esta descrito por su contenido espectral (predominantemente frecuencia), duración y magnitud. El contenido espectral se subdivide en altas, medias y bajas frecuencias. Los rangos de frecuencia para estas clasificaciones son escogidos para coincidir con los tipos comunes de fenómenos transitorios en sistemas de potencia.

Los Transitorios Oscilatorios de alta frecuencia (500kHz - 5MHz) y duración de microsegundos son frecuentemente el resultado de la respuesta de un sistema local a un Transitorio de Impulso.

Los Transitorio Oscilatorios de media frecuencia (5-500 kHz) y duración de décimas de microsegundos pueden deberse a la maniobra de condensadores como se ilustra en la figura 2.

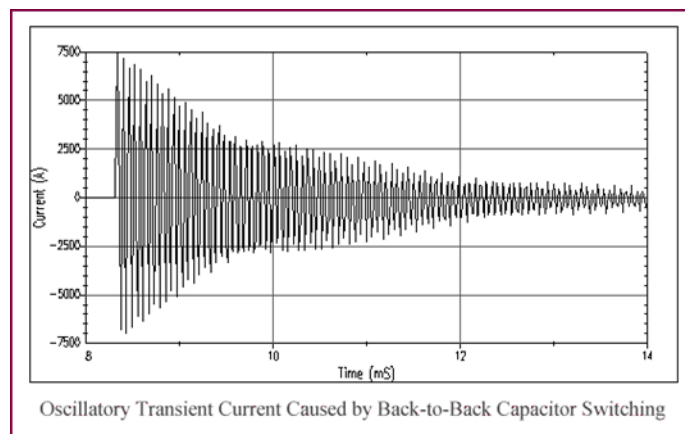


Figura 2. Tensión transitoria Oscilatoria causada por desconexión de condensadores

Los Transitorios Oscilatorios de media frecuencia también pueden ser debidos a respuestas de un sistema a un Transitorio de impulso.

Los Transitorios Oscilatorios de baja frecuencia (menos de 5kHz) y una duración de 0,3ms a 50ms se deben frecuentemente, a energización de bancos de condensadores, con frecuencias típicas de oscilación entre 300 y 900 Hz. El valor pico de estas energizaciones está entre 1,3 y 1,5 p.u. con duración entre 0,5 y 3 ciclos, dependiendo de la amortiguación del sistema.

Los Transitorios Oscilatorios con frecuencias menores de 300 Hz pueden también ser encontrados en los sistemas de distribución. Estos son generalmente asociados con ferro resonancia y energización de transformadores.

2.2.2.2 Variaciones de tensión de corta duración VTCD. Esta categoría abarca la categoría de la Norma IEC para Voltaje. Cada tipo de variación puede ser designada como instantánea, momentánea, o temporal, dependiendo de su duración.

Las VTCD tienen su origen en condiciones de falla, la energización de grandes cargas que requieren grandes corrientes de arranque o conexiones inestables en cables de potencia. Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones del sistema, la falla puede causar:

Caídas de tensión (Sags)

Aumentos de tensión (Swells)

Interrupción o pérdida completa de tensión

La condición de falla puede estar cerca o lejos del punto de interés. En cualquier caso, el impacto sobre la duración de la tensión durante la condición de falla es de corta duración, hasta que el equipo de protección opere para aclarar la falla.

Caídas (SAGS):

Para describir el fenómeno se deben usar expresiones como: "Una caída de magnitud del 10%", la cual indica un evento durante el cual la tensión r.m.s decreció un 10%. La figura 3 muestra una caída típica asociada a una falla fase - tierra sobre otro alimentador de la misma Subestación. Una caída de 80% puede presentarse durante 3 ciclos hasta que el interruptor de la Subestación interrumpa la corriente de falla. Los típicos tiempos de aclaración de falla van de 3 a 30 ciclos, dependiendo de la magnitud de la corriente y del tipo de protección de sobre corriente.

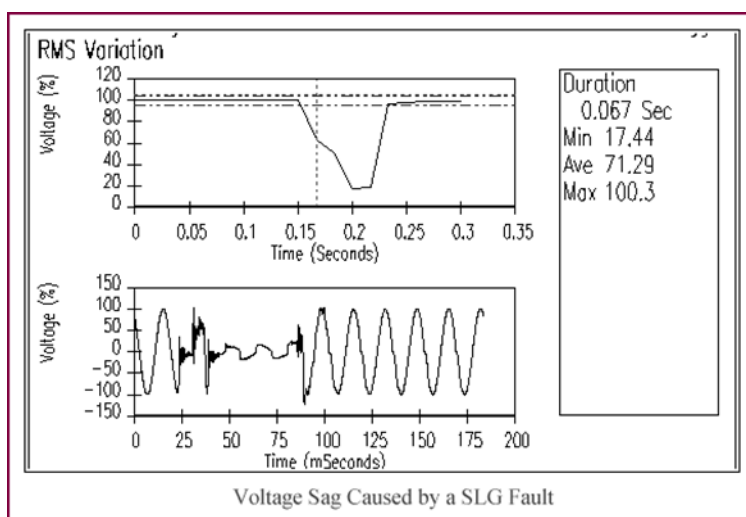


Figura 3. Caída de tensión causada por una falla fase - tierra

Un motor de inducción necesita entre 6 y 10 veces la corriente total de carga durante su arranque. Si la magnitud de la corriente es relativamente mayor que la corriente disponible en el punto de alimentación del sistema, la caída de tensión puede ser muy significativa. En este caso, la caída será del orden de un 80% y la tensión retornará a su normalidad en cerca de tres segundos, un tiempo muy superior al despeje de una falla en un sistema de potencia (máximo 30 ciclos = 500 ms).

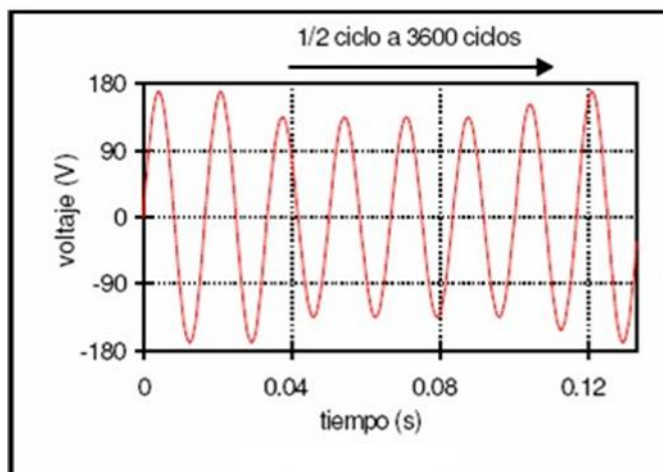


Figura 4. Caída de tensión causada por arranque de un motor

Subidas (SWELLS):

Una subida se define como un incremento entre 1,1 y 1,8 p.u. en tensión o corriente r.m.s a frecuencia industrial para duraciones de 0,5 ciclos a 1 min.

Igual que las caídas, las subidas están generalmente asociadas con condiciones de falla del sistema, pero ellas no son tan comunes como las caídas de tensión. Una forma en que subida puede ocurrir por el aumento de una tensión temporal sobre las fases no falladas durante una falla fase - tierra. La figura 5 ilustra este caso.

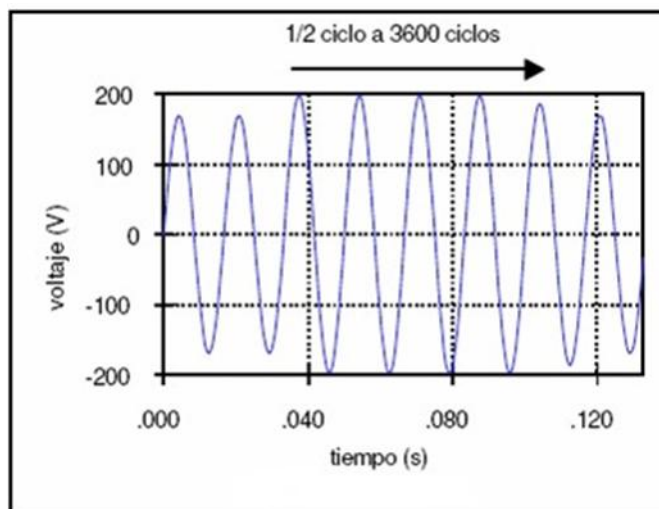


Figura 5. Subida de tensión causada por una falla fase – tierra

Las subidas pueden también ser causadas por maniobras de apertura de grandes cargas a energización de grandes bancos de condensadores.

Interrupciones o Pérdida Completa de Tensión:

Una interrupción ocurre cuando la tensión de alimentación o la corriente de carga decrecen a menos de 0,1 p.u. para un período de tiempo que no exceda 1 min.

Esta definición difiere técnicamente de la presentada en las Resoluciones CREG 070-98 y 089-99, según las cuales se clasifican las interrupciones en instantáneas (inferior o igual a 1 min.), transitorias (superior 3 min. e inferior o igual a 5 min.) y temporales (mayor a 5 min.).

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema de potencia, fallas de equipos o malas operaciones de control. Las interrupciones son medidas por su duración cuando la magnitud de tensión es siempre menor del 10% del nominal. La duración de una interrupción debido a una falla en el sistema de alimentación está determinada por el tiempo de operación de

los equipos de protección.

Los recierres instantáneos generalmente limitan la interrupción causada por una falla no permanente a menos de 30 ciclos. El recierre retrasado del equipo de protección puede causar una interrupción momentánea temporal. La duración de una interrupción debida al mal funcionamiento o perdida de conexiones puede considerarse irregular.

2.2.2.3 Variaciones de tensión de larga duración VTLD. Corresponden a una desviación r.m.s a frecuencia industrial para tiempos mayores a un minuto. Una Variación de Tensión se considera de Larga Duración, cuando se exceden los límites presentados en la tabla (Normas ANSI C84.1 Y NTC 1340) por más de 1 min.

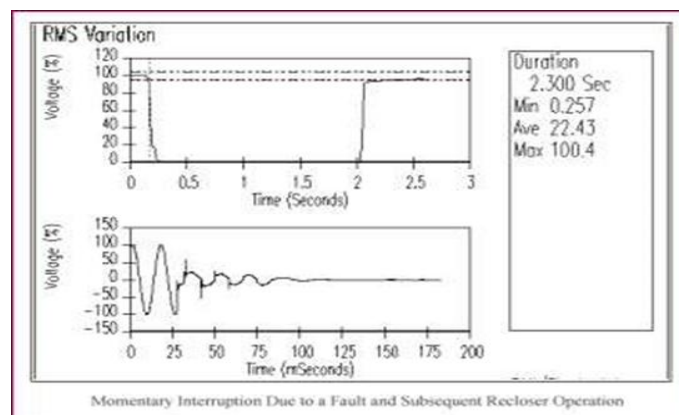


Figura 6. Interrupción momentánea debido a una falla y subsiguiente operación de recierre

Las VTLD pueden ser:

Sobretensiones

Subtensiones

Interrupciones Sostenidas

Sobretensiones y las Subtensiones generalmente no son el resultado de falla del sistema, sino son causados por variaciones de carga en el sistema y operaciones de maniobra del sistema.

Sobretensiones:

Una sobretensión es un incremento en la tensión r.m.s mayor de 110% a frecuencia industrial por un tiempo superior a un minuto.

Sobretensiones son generalmente el resultado de maniobras (por ejemplo, apertura de grandes cargas o energización de bancos de condensadores).

Subtensiones:

Subtensión es un decrecimiento en la tensión r.m.s menor de 90% a frecuencia industrial por un tiempo superior a un minuto.

Las subtensiones son el resultado de los eventos inversos que causan sobretensiones. El cierre de una carga o la apertura de un banco de condensadores pueden causar una subtensión.

Interrupciones Sostenidas:

Cuando la tensión de alimentación ha estado en cero por un periodo superior a un minuto, la VTLD se considera como interrupción sostenida. Las interrupciones de tensión superiores a un minuto son frecuentemente permanentes y requieren intervención humana para restaurar el sistema. El término interrupción sostenida se refiere a fenómenos específicos en sistemas de potencia y en general no tienen relación con el término salida. Los operadores de red usan los términos salida (de operación) o interrupción para describir fenómenos de similar naturaleza para reportes de confiabilidad. El término interrupción ha sido definido para ser más específico

respecto a la ausencia de tensión por largos períodos.

2.2.2.4 Desbalance de tensión – DT. El Desbalance de Tensión - DT es algunas veces definido como la desviación máxima del promedio de las tres fases de tensiones o corrientes, dividido por el promedio de las tensiones o corrientes de las tres fases, expresado en tanto por ciento.

$$DTT = \frac{3.(T_{max} - T_{min})}{T_a + T_b + T_c}$$

El DT también puede ser definido mediante componentes simétricas. La relación entre la componente de secuencia negativa o cero a la componente de secuencia positiva puede ser usada para especificar un porcentaje de desbalance.

La figura 7 muestra un ejemplo de estas dos relaciones para una semana con tendencia de desbalance en un alimentador residencial.

Desbalances de tensión severos (mayores del 5%) pueden ser el resultado de condiciones y carga monofásicas.

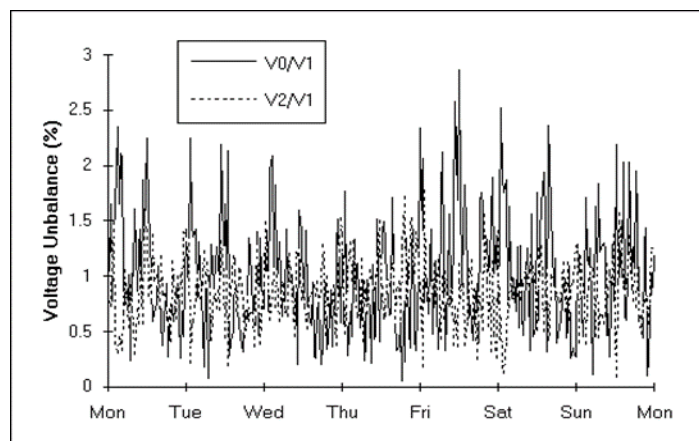


Figura 7. Desbalance en un alimentador residencial durante una semana

2.2.2.5 Distorsión de forma de la señal – DFS. Una Distorsión de forma de la señal se define como una desviación de estado estacionario de una onda sinusoidal de frecuencia industrial, principalmente caracterizada por el contenido espectral de la desviación, existen cinco tipos de distorsión de forma de la señal:

DC Adicional (DC offset)

Armónicos

Interarmónicos

Muecas (Notches)

Ruido

Referencia dc (dc offset):

La presencia de una tensión o una corriente DC en un sistema de potencia ac. se denomina Referencia DC (DC Offset). Esto puede ocurrir como el resultado de una perturbación geomagnética debido al efecto de rectificación de media onda.

La corriente directa en redes de corriente alterna puede tener efectos negativos, por ejemplo, en los núcleos de los transformadores pues se pueden saturar en operación normal, causando calentamiento adicional y pérdida de vida del transformador. La DC también puede causar erosión electrolítica en electrodos de puesta a tierra y otros conductores.

Armónicos:

Los armónicos son señales de tensión o corriente sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia para la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar (60 Hz) las formas de onda distorsionadas pueden ser descompuestas en una suma de la frecuencia fundamental y los armónicos.

La distorsión armónica se origina en las características no lineales de los equipos y cargas de un sistema de potencia.

Estas perturbaciones son causadas generalmente por equipos o cargas que tienen un funcionamiento con una característica tensión - corriente no lineal. Estos equipos pueden ser considerados como fuentes de armónicos de corriente y en algunos casos como fuentes de armónicos de tensión dependiendo de su impedancia al armónico en cuestión.

Armónicos en las Cargas:

Son los principales generadores de armónicos y se los puede clasificar en cargas industriales y residenciales, ejemplo

Equipos con control de fase y alta potencia (rectificadores controlados).

Rectificadores no controlados, especialmente con filtrado capacitivo (usados en televisores, convertidores de frecuencia, UPSs, balastos electrónicos, etc.). Estos producen armónicos en fase con otras cargas y no se compensan en la red.

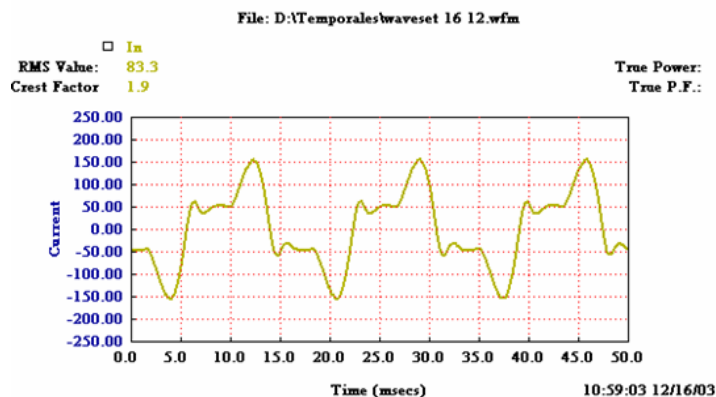


Figura 8. Comportamiento de la corriente en una carga que genera armónicos

Cargas Industriales:

Constituyen generalmente la mayor fuente de distorsión armónica en la red e incluye los convertidores de potencia (rectificadores, hornos de arco, hornos de inducción, etc.).

Cargas Residenciales:

Estas cargas tienen un comportamiento distorsionante individual que puede ser despreciable, pero el efecto simultáneo de muchas de ellas puede provocar una considerable distorsión armónica, los equipos que contribuyen son: televisores, dispositivos controlados por tiristores (reguladores de intensidad de luz), dispositivos de aplicación doméstica en general, lámparas de descarga gaseosa, equipos de oficina (computadoras, impresoras, etc.) con fuentes conmutadas.

Los principales efectos perjudiciales de los armónicos son:

Mal funcionamiento de dispositivos de regulación, control y protección.

Mal funcionamiento en sistemas de control, sistemas de comunicación y control que utilizan la red pública como elemento de comunicación.

Pérdidas adicionales en capacitores, cables, transformadores, motores y generadores.

Ruido adicional en motores y otros equipos, pulsación de torque en motores.

Interferencia en telecomunicaciones debido al acoplamiento inductivo.

Los bancos de capacitores de compensación de factor de potencia puedan provocar elevaciones peligrosas de tensión en puntos remotos de la red debido a que forman resonancias series y paralelo en algunas frecuencias de los armónicos.

La influencia de los armónicos sobre instrumentos de medición que emplea discos de inducción es despreciable.

Los efectos dañinos de los armónicos en los equipamientos pueden clasificarse en instantáneos y de largo termino.

Los efectos instantáneos están asociados con fallas, operación defectuosa, o degradación del funcionamiento de los dispositivos debido al desplazamiento del cruce por cero de la forma de onda de tensión.

Los equipamientos de regulación electrónica y computadores son susceptibles a estos efectos.

Los armónicos de gran amplitud pueden causar mal funcionamiento en receptores de control y relés de protección.

Los efectos de largo plazo están asociados a problemas térmicos. Pérdidas adicionales y sobrecalentamiento provocan un envejecimiento prematuro e incluso daño en capacitores y maquinas rotantes.

La figura 9 ilustra la forma de señal de tensión medida en un sistema industrial, típico de distorsión armónica por cargas no lineales.



Figura 9. Forma de señal de tensión distorsionada, medida en un sistema industrial

Interarmónicos:

Los Interarmónicos son tensiones o corrientes que tienen componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Ellos pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro de banda ancha.

Los Interarmónicos se pueden encontrar en redes de todas las tensiones. La principal fuente de una distorsión de forma de onda interarmónica son los convertidores estáticos de frecuencia, los ciclos convertidores, los motores de inducción y los equipos de arco.

Los efectos de los Interarmónicos no son bien conocidos. Parece que afectan las señales de onda portadora en sistemas de potencia o inducen titilación (flicker) visual en las pantallas.

Muestras (NOTCHES):

Las muescas son una perturbación periódica de tensión causada por la operación normal de equipos electrónicos de potencia cuando la corriente es conmutada de una fase a otra.

Debido a que las muescas ocurren continuamente, estas pueden ser caracterizadas mediante un espectro armónico de tensión afectado; sin embargo, esta perturbación se trata siempre como un caso especial. Los componentes de frecuencia asociados con muescas pueden ser relativamente altos y pueden no ser fácilmente caracterizados con equipos normales usados para medición de armónicos.

La figura 10 presenta un ejemplo de muescas de tensión de un convertidor trifásico que produce corriente continua. Las muescas ocurren cuando la corriente se conmuta de una fase a otra. Durante ese periodo, hay un cortocircuito momentáneo entre las dos fases llevando la tensión muy cerca de cero, hasta donde lo permitan las impedancias del sistema.

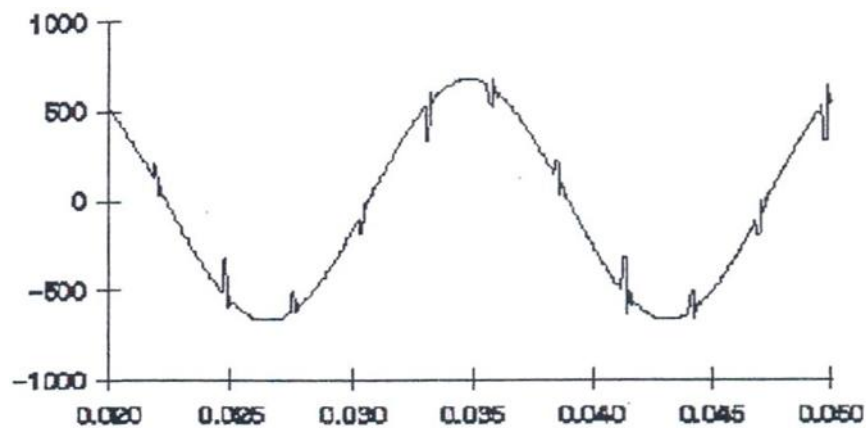


Figura 10. Muestras de tensión causadas por un convertidor trifásico

Ruido:

El ruido es definido como una señal eléctrica indeseada con contenido espectral de banda amplia, menor de 200 kHz, superpuesta a la tensión o corriente de los conductores de fase o en los conductores de neutro o conductores de señal.

Los ruidos en un sistema de potencia pueden ser causados por equipos electrónicos de potencia, circuitos de control, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido y maniobras del sistema. Los problemas de ruido son muy molestos pues interfieren los sistemas electrónicos o de comunicación cuando existen puestas a tierra inadecuadas que fallan en aislar el ruido producido por el sistema de potencia.

2.2.2.6 Fluctuaciones de tensión – FT. Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas de tensión o una serie de cambios de tensión aleatorios. La magnitud normalmente no excede los rangos especificados por la norma ANSI C84.1 o NTC 1340 de 0,9 p.u. a 1,05 p.u.

La norma IEC 61000-3-3 define varios tipos de fluctuaciones de tensión. Para efectos de considerarlos dentro del concepto de la CEL se pueden restringir a las fluctuaciones de tensión tipo d, las cuales son caracterizadas como una serie de fluctuaciones de tensión aleatorias o continuas. Las cargas que pueden presentar variaciones continuas y rápidas en la magnitud de la corriente de carga pueden causar variaciones de tensión que son referidas como titilaciones. El termino titilación es derivado del impacto de la fluctuación de tensión sobre las bombillas, tal que ellas son percibidas por el ojo humano como una titilación. Para usar el término técnicamente correcto, la fluctuación de tensión es un fenómeno electromagnético, mientras que la titilación es un resultado indeseable de la fluctuación de tensión en algunas cargas. Sin embargo, los dos términos son usados frecuentemente en las normas internacionales.

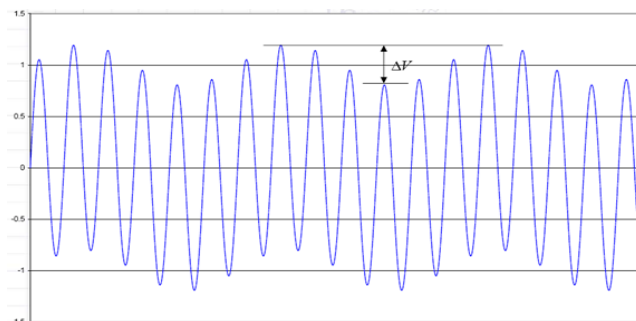


Figura 11. Fluctuación de Tensión o Titilación (Flicker)

2.2.2.7 Variaciones de la Frecuencia Industrial – VFI. Las variaciones de la frecuencia industrial son definidas como la desviación de la frecuencia fundamental de su valor nominal especificado (60 Hz para el caso colombiano).

La frecuencia industrial está directamente relacionada a la velocidad de rotación de los generadores del sistema. Hay variaciones suaves en frecuencia como las que se dan en el balance dinámico entre carga y generación. El tamaño del desplazamiento de la frecuencia y su duración depende de las características de la carga y la respuesta del sistema de control de generación a cambios de carga.

Las variaciones de la frecuencia que salen de los límites de operación normal en estado estacionario del sistema de potencia pueden ser causadas por fallas en sistemas de transmisión robustos, un gran bloque de carga que está siendo desconectada o una gran fuente de generación que sale de operación.

2.2.3 Filtrado de armónicos. Los equipos de electrónica de potencia son usados cada vez más, generando una cantidad creciente de armónicos en las redes de distribución.

Las corrientes armónicas que circulan en las redes generan una gran cantidad de perturbaciones con consecuencias perjudiciales: envejecimiento prematuro y destrucción de

equipos, sobredimensionamiento de las instalaciones, disparos de las protecciones en forma intempestiva. Todas estas consecuencias tienen un impacto económico importante: costo de equipos, pérdidas adicionales de energía, y pérdida de productividad.

El proceso de tratamiento de los armónicos es cada vez más importante y más frecuente.

Las soluciones en la eliminación de armónicos pasan por tecnologías pasivas, activas y la combinación de ambas en el llamado filtro híbrido (Vásquez, 2003).

2.2.3.1 Tipo de filtros. Como se muestra a continuación:

Filtro pasivo. Los componentes principales del filtro pasivo son las inductancias y condensadores, conectados en una configuración de circuito resonante, sintonizados en el orden de las frecuencias armónicas a ser eliminadas. Estos dispositivos se conectan en paralelo con el generador de armónicos. Este circuito paralelo absorberá las corrientes armónicas, evitando su circulación en el circuito de alimentación. Un equipo puede incluir varios dispositivos para eliminar los armónicos según el orden correspondiente.

Las funcionalidades son satisfactorias en la mayoría de los casos, pero esta tecnología permite solo una reducción parcial de las corrientes armónicas. Además, la acción se limita solo a unos pocos órdenes (típicamente: 5, 7, y 11).

Adicionalmente, la corriente nominal del filtro es muy dependiente de la distorsión existente, dado que el filtro presenta una baja impedancia en su frecuencia de resonancia.

Así, la implementación de filtros pasivos requiere un análisis detallado de las características de la instalación, lo cual es una limitación en el uso de esta tecnología.

Las aplicaciones típicas para los filtros pasivos son las instalaciones de potencia media o de potencia alta (> pocos cientos de kVA) lo que incluye variadores de velocidad, hornos de inducción, hornos de arco y rectificadores, y también aquellas que requieren corrección del factor de potencia.

El principio del Filtro pasivo se ilustra en la siguiente figura:

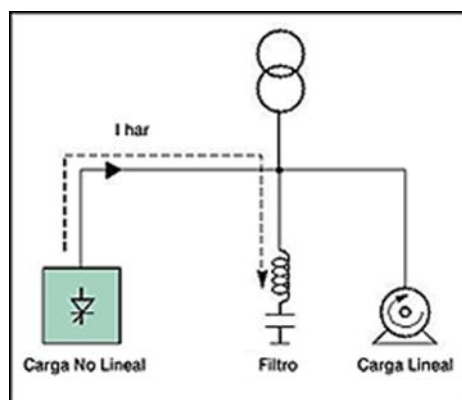


Figura 12. Representación grafica del filtro pasivo

Fuente: Vásquez, 2003.

Filtro activo:

El compensador activo es un equipo de electrónica de potencia, con control digital. Los sensores de corriente se usan para la medición de la corriente de carga de la línea. El circuito de control digital calcula el contenido de la corriente armónica I_{har} de estas corrientes de carga y genera las señales del orden adecuado en la unidad de potencia. La unidad de potencia genera la corriente I_{act} en oposición a las corrientes armónicas de la carga.

La corriente resultante I_s tiene un contenido de corrientes armónicas muy reducida. Esta reducción puede estar en el orden de 10 a 20 dependiendo del tipo de carga, así como también si

la corriente nominal del compensador es suficiente.

La compensación armónica cubre el rango desde el orden 2 al orden 25, o desde el orden 2 al orden 50 según el compensador usado, con posibilidades de compensar parcial o totalmente.

El equipo se adapta automáticamente a cualquier tipo de carga, monofásica o trifásica y puede ser conectado a cualquier red trifásica con o sin neutro.

Una de las ventajas de esta tecnología es que es menos crítica en su interacción con las características de la instalación, y se adaptan mucho mejor a las fluctuaciones de los parámetros.

Las aplicaciones típicas de los compensadores activos están en instalaciones de potencia baja y potencia media (desde pocas decenas de kVA a pocos cientos de kVA), incluyendo equipos de computación, UPS, variadores de velocidad e iluminación fluorescente, entre otras.

El principio del Filtro activo se ilustra en la siguiente figura:

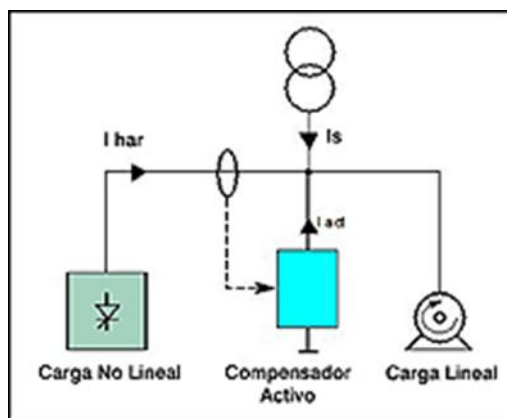


Figura 13. Representación gráfica del filtro activo

Fuente: Vásquez, 2003.

Filtros Híbridos:

Para extender el rango de aplicación de los compensadores activos, y mejorar las funcionalidades de los filtros pasivos, las nuevas técnicas permiten combinar ambas tecnologías dentro del mismo equipo.

El filtro pasivo se sintoniza en la frecuencia armónica predominante, y entrega la energía reactiva requerida. El compensador activo se dedica al resto de los armónicos.

Esta solución permite un alto nivel de funcionalidad, dado al gran número del orden armónico cubierto. El uso del filtro pasivo dedicado a la frecuencia del orden predominante permite cubrir un rango más amplio de potencia. El compensador activo es ajustado sólo para una fracción (típicamente: entre $1/3$ y $1/2$) de la corriente armónica total.

Las aplicaciones típicas de los filtros híbridos son las mismas aplicaciones de los filtros pasivos, es decir, para instalaciones de potencia media y potencia alta (> pocos cientos de kVA), aplicaciones que demandan corrección del factor de potencia, además de la funcionalidad de eliminar el resto armónicos de orden diferente.

Con la reducción de la sección activa y la alimentación natural de la energía reactiva, la tecnología híbrida ofrece una solución óptima y económica para la mayoría de las instalaciones de alta potencia.

El filtro híbrido combina las ventajas de ambas tecnologías básicas: el filtro pasivo es una solución de bajo costo y el compensador activo es una solución de alta funcionalidad (Vásquez, 2003).

El principio del Filtro Híbrido se ilustra en la siguiente figura:

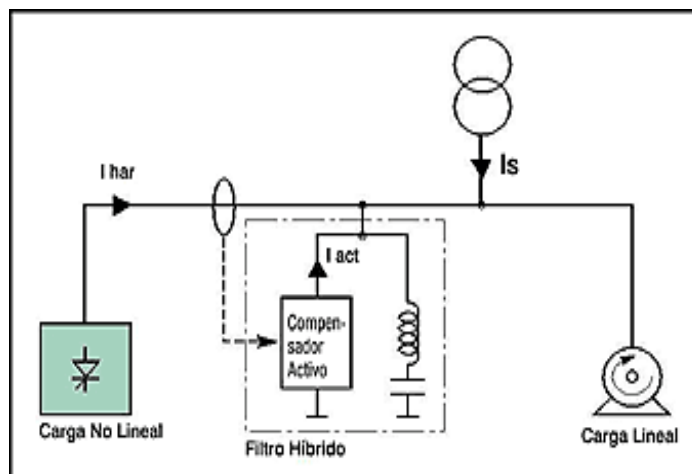


Figura 14. Representación grafica del filtro hibrido

Fuente: Vásquez, 2003.

2.3 Marco Legal

Rojas, Rivas & Jaramillo (2014) expone:

NTC 1340 de 2004. La cual trata y define cuales son los valores de tensiones y frecuencias nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público, específicamente en su numeral 3 que contiene la tabla de frecuencias aceptables y el numeral 4 que contiene valores de tensiones aceptables.

NTC 5001 de 2008. La cual trata sobre la calidad de la potencia eléctrica, límites y metodología de evaluación en un punto de conexión común, los numerales de mayor interés serán el 5 y el 7, el primero de estos clasifica las diferentes perturbaciones existentes (variaciones de tensión, SAGS, SWELLS, subtensiones y sobretensiones, desbalances, flicker, etc.) y el segundo trata del límite de las perturbaciones que se nombran y clasifican en el numeral 5.

CREG 070 de 1998. Por la cual se establece el reglamento de distribución de energía eléctrica, como parte del reglamento de operación del sistema interconectado nacional, específicamente en el capítulo 6 que trata sobre la calidad del servicio de los STR (sistema de transmisión regional) y/o SDL (sistema de distribución local) y los parámetros más relevantes para este caso están en los numerales 6.2.1.1 oscilación de frecuencia y tensión, 6.2.1.2 armónicos y lo que se debe cumplir en la norma IEEE 519-1992, 6.2.1.3 flicker y lo que se debe cumplir en la norma IEEE 519-1992, 6.2.1.4 factor de potencia establecido en la Res Creg 108-1997.

RES CREG 024 de 2005. Por la cual se modifican las normas de calidad de potencia eléctricas aplicables a los servicios de distribución de energía eléctrica, interesan el artículo 1, 7 y 8 además del anexo 3, los cuales incluyen definiciones, límites de PST (unidad de medida del flicker), límites de tensión y límites de THDV.

RES CREG 065 de 2012. Por el cual se ordena hacer público un proyecto de resolución de carácter general que pretende establecer las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables en el SIN, específicamente el artículo 1 y 2, además del anexo 4, que incluyen definiciones de interés, indicadores a tener en cuenta (desviación de frecuencia, desviación de tensión, etc.) y también incluye diferentes tablas como la de límites para THDV, límites para Pst por nivel de tensión, entre otras.

3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

La realización de un estudio de calidad de energía en el sistema eléctrico del edificio aula sur es un tipo de investigación descriptiva apoyada en conocimientos adquiridos en asignaturas como calidad y energía, señales y sistemas, electrónica de potencia y sistemas de puestas a tierra; que permitirán además de describir también plantear ideas que aporten positivamente al cumplimiento de los objetivos.

3.2 Metodología

Objetivo 1: Verificar los planos existentes para comparar lo diseñado con lo instalado y modificarlos en caso de ser necesario, además censar las cargas actuales en el sistema eléctrico del edificio.

Metodología:

Solicitar los planos eléctricos del edificio Aulas Sur ante las entidades correspondientes.

Realizar un levantamiento haciendo la comparación de lo que se observa en los planos con lo que se encuentra instalado en el sitio.

Identificar las cargas existentes en el edificio realizando su respectiva marcación de circuitos.

Objetivo 2: Realizar un diagnóstico para determinar los niveles de voltaje y armónicas de corriente, en puntos sensibles y diferentes momentos de operación del sistema eléctrico, en busca de posibles fenómenos que podrían ocasionar fallas.

Metodología:

Tomar medidas de voltajes y corrientes en todos los puntos de conexión del sistema.

Buscar sitios estratégicos de la instalación y conectar el analizador de redes.

Almacenar y tabular los datos obtenidos para su respectivo análisis.

Evaluar los datos obtenidos para definir qué tipo de fenómenos se han encontrado en el sistema.

Objetivo 3: Simular en software especializados la operación del sistema y a partir de esta proponer medidas que mejoren su funcionamiento y eficiencia, como por ejemplo el diseño de filtros.

Metodología:

Seleccionar el software que más se adapte al comportamiento del sistema.

Modelar las ondas de corriente y de voltaje en el software seleccionado.

Diseñar filtros en caso de que sea necesario para obtener una respuesta mejorada del sistema.

Objetivo 4: Proponer un plan de mantenimiento básico y una posible adecuación para la instalación eléctrica del edificio aula sur que además sirva de guía a la Universidad.

Metodología:

Teniendo en cuenta todo lo que se ha realizado durante la ejecución del estudio se realizara un plan de mantenimiento y una serie de recomendaciones con el propósito de mejorar la calidad

de energía del sistema eléctrico de la universidad.

3.3 Población y Muestra

3.3.1 Población La población será la universidad francisco de paula Santander en la cual se encuentra ubicado el objeto de estudio.

3.3.2 Muestra. La muestra será el edificio Aula Sur en todas y cada una de sus divisiones (SB, SC, SD, SE, SF).

3.4 Resultados Esperados

Al realizar el estudio se espera obtener resultados que cumplan con los objetivos del proyecto, los resultados directos e indirectos tras la implementación del proyecto se verán a continuación:

3.4.1 Resultados directos. La Universidad Francisco de Paula Santander al contar con un estudio de calidad energética en el edificio Aula Sur se verá beneficiada pues de esta forma se asegura y se contribuye al correcto desempeño del sistema eléctrico y de todos los aparatos que se suplen del mismo, también es un aporte a la economía de la universidad porque mediante el diagnóstico se descarta la existencia de fallas que son generadoras de pérdidas de todo tipo.

Por lo cual se utilizará un instrumento analizador de redes que proporcione resultados muy exactos y precisos que describen el estado de la red eléctrica y con esto se sabrá qué aspectos están en condiciones normales y que aspectos se pueden mejorar, así mismo se plantearán ideas útiles para la correcta ejecución del proyecto y finalmente se formularán conclusiones respecto a todo lo obtenido durante el desarrollo del estudio.

3.4.2 Resultados indirectos. Si se asegura una alta calidad en el sistema eléctrico también será mejorada la operación de la subestación que además de suplir energía a este edificio tiene otros más, y al tener un suministro eléctrico en óptimas condiciones se garantiza una base sólida para otros proyectos en los cuales la calidad energética juega un papel importante a la hora de su desarrollo un claro ejemplo sería la implementación de energías renovables (un sistema fotovoltaico) al edificio.

Al exponer la importancia de este tipo de estudios crecerá el interés por la calidad energética y se promoverán más proyectos como este que brindan beneficios a nivel global.

4. Desarrollo de la Propuesta

Teniendo en cuenta la finalidad y el cumplimiento de los objetivos planteados, se realizó lo siguiente:

4.1 Actualización y Ordenamiento de Planos y Cargas en el Edificio Aula Sur Nuevo

Para la obtención de una correcta verificación de planos se debe tener acceso a todo el sistema eléctrico del edificio (subestación, tablero general, tableros por piso y puntos de conexión finales para los usuarios) además conocer las cargas que se encuentran actualmente en servicio, todo se hace con el fin de actualizar correctamente los planos y no omitir detalles importantes.

4.1.1 Comparación entre los planos de diseño y lo actualmente instalado. Se realiza una solicitud ante la oficina de servicios generales de la UFPS encargada de toda la información de la parte eléctrica de la universidad y de esta forma se adquirieron los planos eléctricos del edificio aula sur nuevo que sirvieron como guía para realizar una inspección en el edificio y su respectiva comparación.

En la figura 15 se muestra el plano eléctrico de cuatro salones del edificio aula sur nuevo diseñado en el año 2010. En la figura 16 se realizó la actualización de la distribución de los circuitos eléctricos y se agregaron las cargas que se encuentran instaladas, este mismo proceso se realizó con todo el sistema eléctrico del edificio.

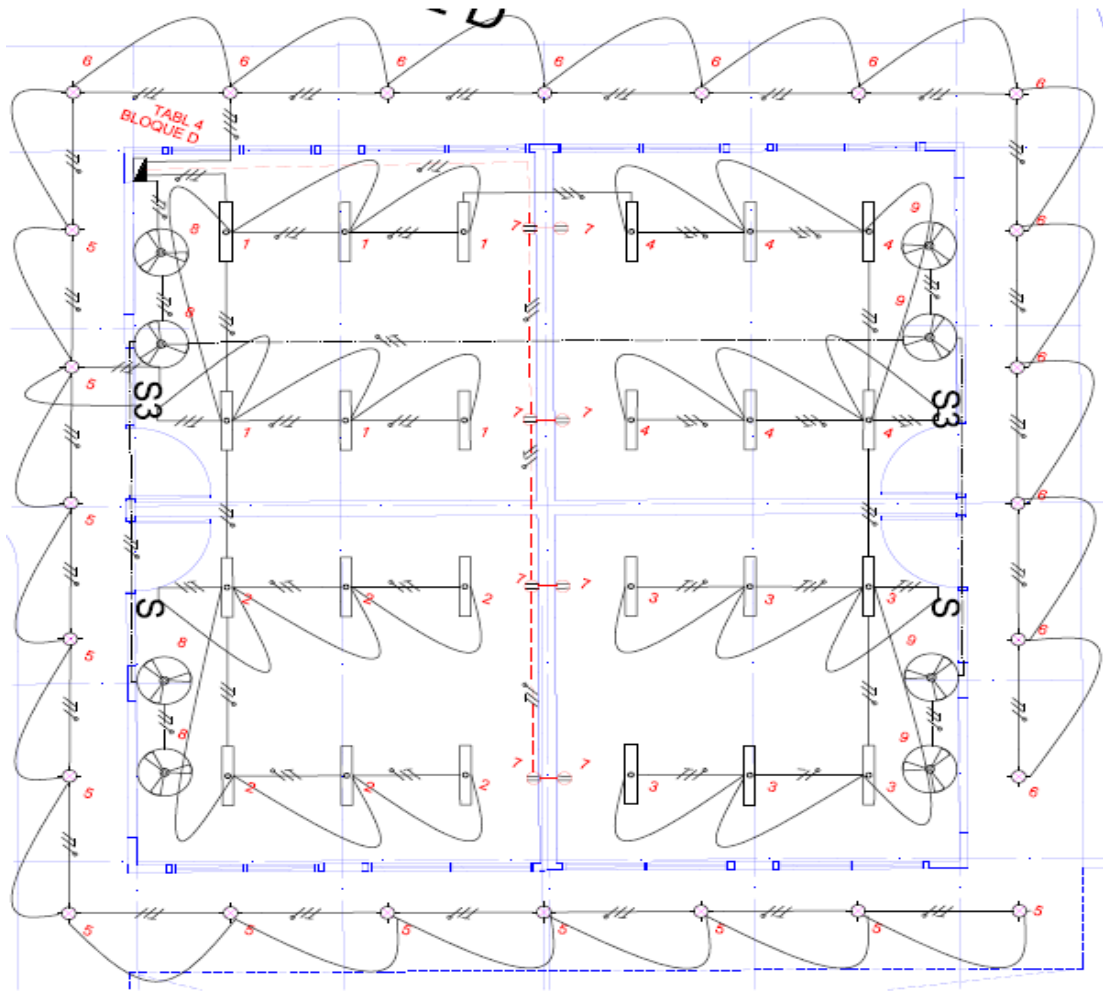


Figura 15. Salones SD cuarto piso edificio aulas sur nuevo, plano antiguo

Fuente: Granados, s.f.

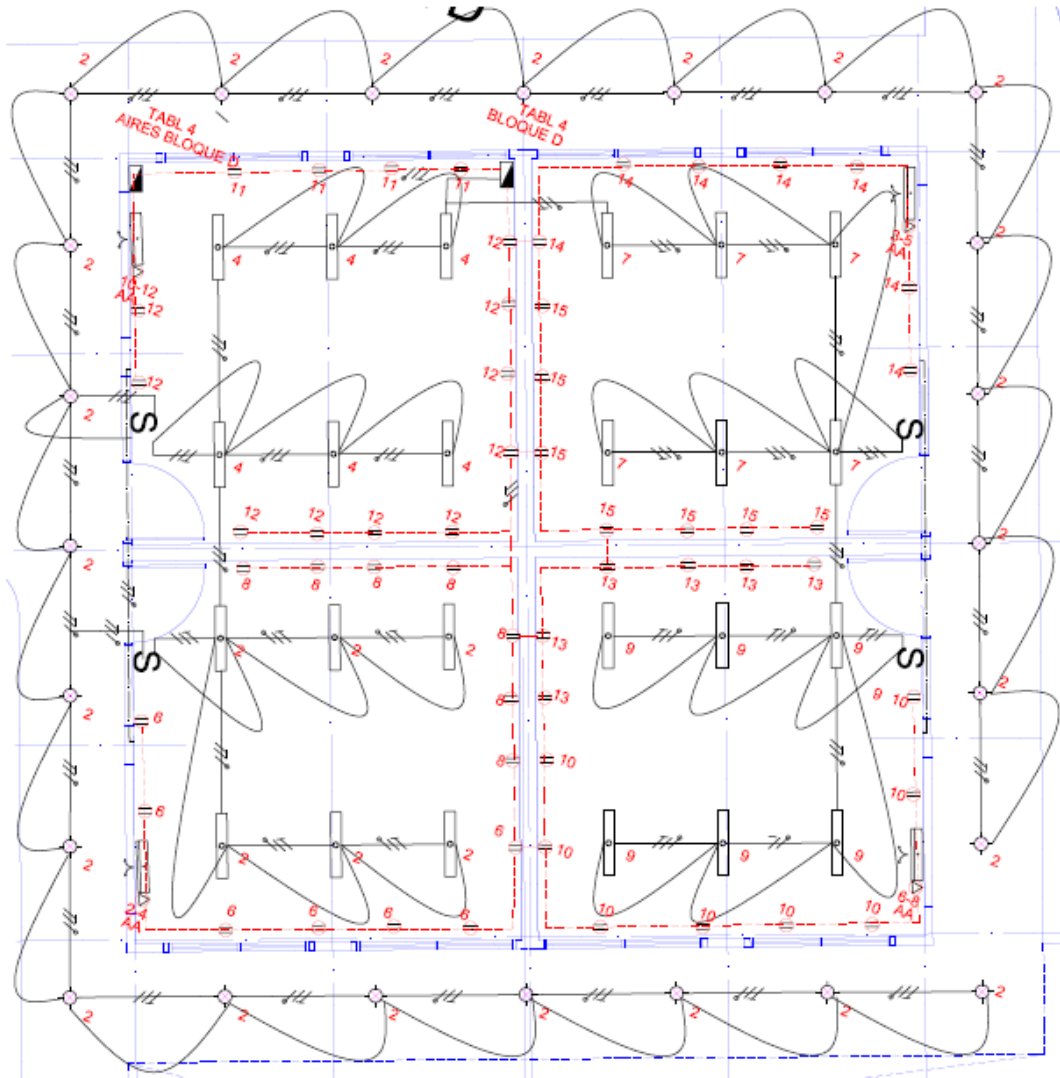


Figura 16. Salones SD cuarto piso edificio aulas sur nuevo, plano actualizado

Se realiza una comparación en este piso del bloque SD se pueden observar cambios bastante significativos como por ejemplo la cantidad de tomas en cada salón, los planos actualizados se agregaron en el anexo 3.

Un registro de los cambios efectuados en la actualización de planos eléctricos se hizo en la tabla 2, que contiene información del bloque, piso y nuevos elementos agregados.

Tabla 2. Total de cambios en las cargas del edificio aula sur nuevo

Bloque		Elementos agregados				
		Tabl	To	V en	Lá m	Ai re
SB	PISO 1	1		7		3
	PISO 2			16		-4
	PISO 3		4			
	PISO 4		36			
SC	PISO 1			12		
	PISO 2			16		-4
	PISO 3		9			
	PISO 4		52			
SD	PISO 1			1	-9	1
	PISO 2			8		
	PISO 3	1	27	8		4
	PISO 4	1	48	-8		4
SE	PISO 1			8		
	PISO 2			10		
	PISO 3			9		
	PISO 4	1	52	-8	6	4
SF	PISO 1		70			
	PISO 2		45	15		
	PISO 3		51	11		
	PISO 4		60			
AULA MÚLTIPLE	PISO 4		6		2	2
SUBTOTAL		4	460	137	17	26
TOTAL				644		

Como se puede evidenciar en la tabla 2, la actualización de planos eléctricos incluye alrededor de 644 cambios, entre estos hay cargas agregadas y cargas eliminadas, además se encontraron otros cambios que se pueden ver en la tabla 4, que incluyen la modificación de los circuitos y sus respectivas cargas en cada tablero debido a que fueron asignadas a circuitos diferentes de los que están en los planos antiguos.

4.1.2 Verificación y actualización de cuadros de cargas. Se realizó un registro desde cero para saber la información de carga que posee cada tablero eléctrico en la actualidad, teniendo en cuenta las mismas características evaluadas en los cuadros de carga antiguos.

La finalidad de la actualización de cuadros de cargas es conocer que tanta corriente y por ende que tanta potencia demandan los dispositivos que se suplen eléctricamente de los circuitos derivados del tablero seleccionado y así percibir si el dimensionamiento de las protecciones y de la misma subestación es aún el adecuado.

Tabla 3. Información del tablero 4 bloque d antiguo

CUADRO DE CARGAS TABLERO 4° PISO BLOQUE D														
CIRCUITO	LAMP	FLUORESC	TOMAS	TOMAS	TOMAS	CARGA	FASES			F.P.	S(IVA)	AMP	CALIBRE Cu 90°C AWG/TH#N	PROTEC
	28W	2X32W	COMUNES	VENTILADORES	220V		W	R	S					
1		6				384	384			0,90	427	3,36	12	1X20A
2		6				384		384		0,90	427	3,36	12	1X20A
3		6				384			384	0,90	427	3,36	12	1X20A
4		6				384	384			0,90	427	3,36	12	1X20A
5	12					312		312		0,90	347	2,73	12	1X20A
6	12					312			312	0,90	347	2,73	12	1X20A
7			8			800	800			0,90	889	7,00	12	1X20A
8				4		600		600		0,90	667	5,25	12	1X20A
9				4		600			600	0,90	667	5,25	12	1X20A
10-12	RESERVA													
TOTALES		24	8	8		4.180	1.588	1.296	1.296	0,90	4.622	21,01	8	3x40A

Tabla 4. Información del tablero 4 bloque d actualizado

Tablero 4 bloque D														
circuitos	Sin Usar	Alimentacion	Lamparas (26w c/u)	Fluorecentes (32w c/u)	Tomas (100w c/u)	potencia total(w)	Fases			FP	S(IVA)	corriente(A)	Calibre Cu 90°C (AWG/TH#N) FFF/INT	Protecciones
							R	S	T					
1-3-5		Si										2/2/6	3x50A	
2			24	12		1008	1008			0,9	1120	8,818897638	12	1X15A
4				12		384		384		0,9	426,6666667	3,359580052	12	1X15A
6					7	700			700	0,9	777,7777778	6,124234471	12	1X20A
7				12		384	384			0,9	426,6666667	3,359580052	12	1X20A
8					7	700	700			0,9	777,7777778	6,124234471	12	1X20A
9				12		384		384		0,9	426,6666667	3,359580052	12	1X20A
10					8	800		800		0,9	888,8888889	6,999125109	12	1X20A
11					4	400			400	0,9	444,4444444	3,499562555	12	1X20A
12					10	1000			1000	0,9	1111,111111	8,748906387	12	1X20A
13					6	600	600			0,9	666,6666667	5,249343832	12	1X20A
14					7	700	700			0,9	777,7777778	6,124234471	12	1X20A
15					7	700		700		0,9	777,7777778	6,124234471	12	1X20A
16-17-18	Si													
Totales			24	48	56	7760	3392	2268	2100		8622,222222	67,89151356		

Tabla 5. Información del Tablero 4 aires bloque D nuevo

Tablero 4 Aires bloque D												
circuitos	Sin Usar	Alimentacion	Tomas Aire Acond.	potencia(w)	Fases			FP	S(VA)	corriente(A)	Calibre Cu 90 C FFF/INT 2/2/6	Protecciones
					R	S	T					
2-4			1	2000	1000			0,8	2500	22,727273	10	2X30A
3-5			1	2000		1000		0,8	2500	22,727273	10	2X30A
6-8			1	2000	1000		1000	0,8	2500	22,727273	10	2X30A
10-12			1	2000		1000		0,8	2500	22,727273	10	2X30A
1-7-9-11	Si						1000					
Totales			4	8000	2000	3000	3000		10000	90,909091		

Entre la tabla 3 y la tabla 4 se evidencia un aumento de aproximadamente 187% en la potencia actual con respecto a la potencia antigua calculada, y en la tabla 5 está el cuadro de cargas de aires acondicionados el cual no se encontraba en los planos de diseño antiguos del cuarto piso del edificio SD.

Existen también otros casos en los que en los planos eléctricos antiguos algunos pisos del edificio aula sur nuevo no cuentan con tablero de aires acondicionados y mucho menos con cuadro de carga, todo esto se tuvo en cuenta en la actualización realizada, todos los cuadros de cargas se agregaron en el anexo 4.

4.1.3 identificación de circuitos en los tableros eléctricos. La identificación se hace con un fin positivo y muy útil debido a que cuando se conocen cuáles son las cargas que pertenecen a un determinado circuito, se puede atender de manera mucho más fácil, rápida y segura cualquier falla o cualquier novedad presentada en una instalación eléctrica.

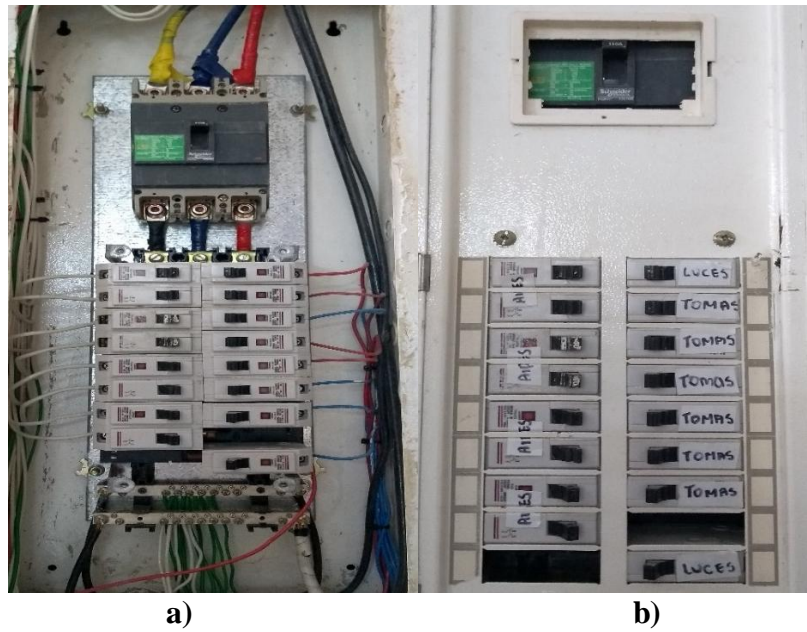


Figura 17. Marcación de circuitos en tableros eléctricos aula múltiple cuarto piso

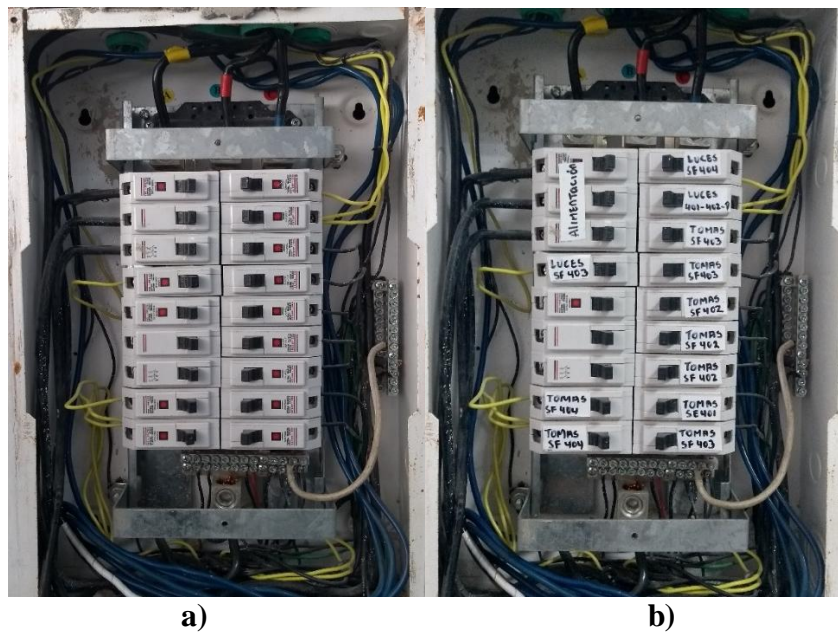


Figura 18. Marcación de circuitos en tableros eléctricos SF cuarto piso

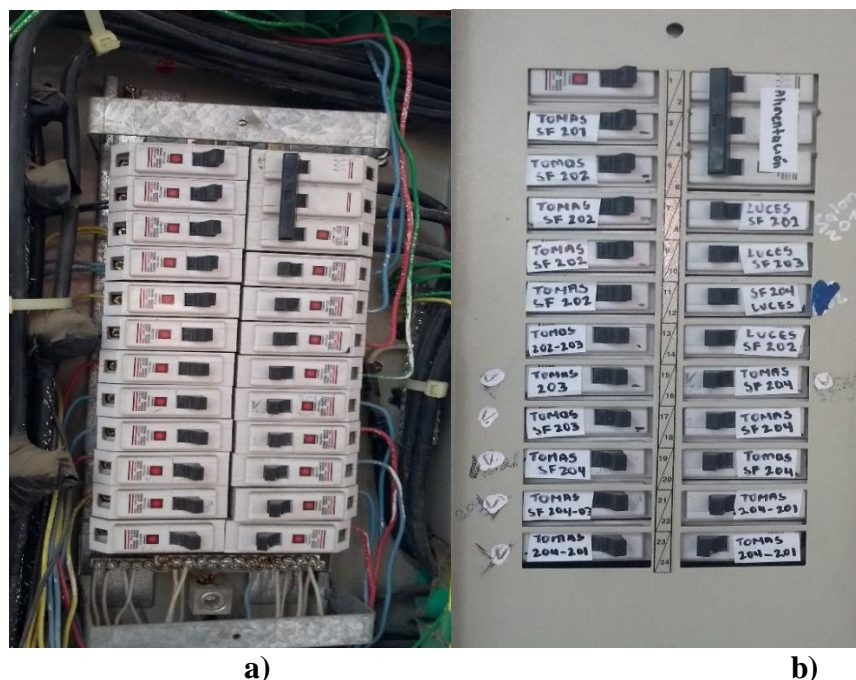


Figura 19. Marcación de circuitos en tableros eléctricos SF segundo piso

En las figuras 17a, 18a, 19a se evidencia que los tableros eléctricos del edificio aulas sur nuevo se encontraban sin ningún tipo de marcación de sus circuitos eléctricos.

Debido a eso se realiza una identificación de los elementos eléctricos que controla cada breaker y se hace su respectiva marcación como se puede ver en las figuras 17b, 18b, 19b, lo que hace más fácil cualquier manipulación eléctrica y evita afectar todo el piso o en ocasiones el bloque al momento de requerir la desconexión de determinadas cargas.

4.2 Análisis de Potencia Eléctrica y Calidad de la Energía

Para lograr un correcto análisis se recurrió a utilizar el analizador de potencia EXTECH modelo 382100 que se muestra en la figura 20, disponible en la Universidad Francisco de Paula Santander, el cual se limita a brindar solo información de potencia y la almacena en una tabla para su posterior análisis, en el anexo 1 se muestra la ficha técnica del analizador de potencia.

La información respecto a la calidad eléctrica del suministro se obtuvo gracias al analizador de calidad HIOKI modelo 3197 mostrado en la figura 21, el cual se consiguió mediante la gestión personal de los autores del proyecto como una solución a la limitante que se presentó con el analizador marca EXTECH, la ficha técnica del analizador de calidad de la energía se muestra en el anexo 2.

Las medidas se hicieron desde puntos muy generales por los cuales circulaban corrientes importantes pertenecientes a un grupo de cargas que ya se conocía, dichos puntos estaban a la salida de totalizadores.

Se obtuvo la base de datos del comportamiento de voltaje, corriente, potencia y factor de potencia en un formato compatible con Excel para luego realizar su respectiva revisión, además de la verificación sobre el cumplimiento de parámetros que garantizan el normal funcionamiento y la calidad del suministro eléctrico.



Figura 20. Analizador de potencia EXTECH modelo 382100

Fuente: Extech, s.f.



Figura 21. Analizador de calidad de la energía HIOKI modelo 3197

Fuente: Finaltest, s.f.

4.2.1 b Verificación de voltajes y corrientes en diferentes puntos de conexión del sistema.

Mediante el uso de instrumentos de medida como multímetro y amperímetro, se logró de forma manual medir niveles de tensión y corriente, para verificar el estado del sistema eléctrico, se observaron valores de voltaje bastante normales que estaban en rangos entre 110-120v y 210-220v, y en cuanto a las corrientes, se observaron algunos valores altos pero que estaban dentro de la capacidad de los breakers, aunque, existen algunas excepciones debidas a ciertos breakers que se encontraban calientes porque la cantidad de carga que tenían sobrepasaba su límite.



Figura 22. Medidas de voltajes y corrientes en los tableros eléctricos del edificio aulas sur nuevo

4.2.2 Conexión del analizador de redes en sitios estratégicos. La toma de datos se tenía pensada en la salida del transformador de características mostradas en la figura 23, pero al momento de realizar la verificación de los breakers del tablero general mostrado en la figura 24, se identificó que este no alimentaba solo el edificio aulas sur nuevo sino también algunas instalaciones de la biblioteca además tenían otras cargas no identificadas.

Por tal motivo se seleccionaron dos totalizadores que pudieran representar el comportamiento de las cargas de todos los bloques del edificio. Los circuitos eléctricos del edificio son muy similares por pisos, las lámparas, ventiladores al igual que los aires acondicionados están distribuidos de forma similar en la mayoría de salones.

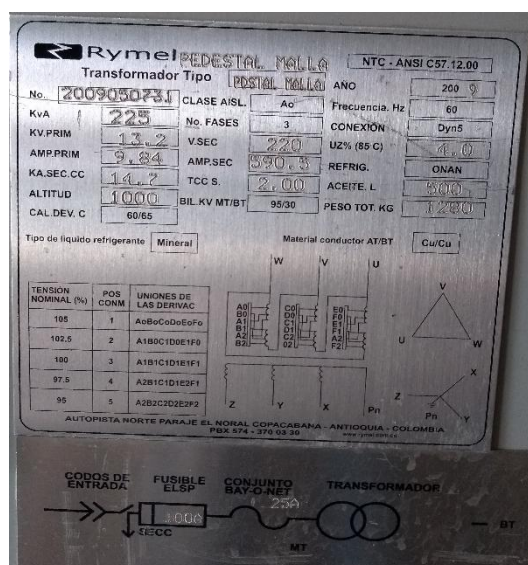


Figura 23. Placa informativa del transformador en la subestación.



Figura 24. Tablero general de la subestación

Los totalizadores seleccionados se identificaron como:

Totalizador 1 o primer totalizador, tiene entre sus cargas ventiladores, lámparas y tomas de todos los pisos del bloque SD.

Totalizador 2 o segundo totalizador, tiene como carga cuatro aires acondicionados, instalados en el cuarto piso del bloque SF.

El tipo de conexión seleccionado del manual del equipo EXTECH y teniendo en cuenta las puntas disponibles en el kit del analizador de redes que se prestó del laboratorio de electricidad y electrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander se encuentra en la figura 25, Consiste en conectar tres pinzas encargadas de arrojar datos de corrientes y tres puntas que entregan los datos de voltaje (los voltajes entregados son voltajes entre líneas).

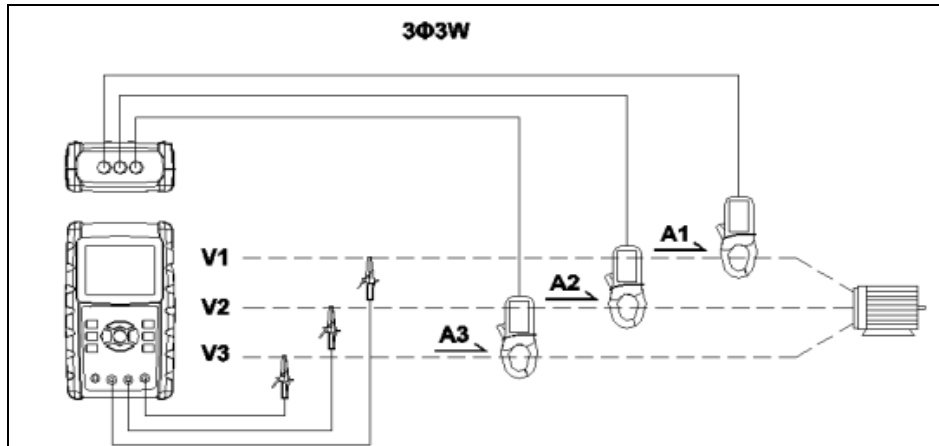


Figura 25. Conexión del analizador de redes en el totalizador

Fuente: Translate, s.f.

4.2.2.1 Conexión del analizador de redes en el totalizador 1. El totalizador que se observa en la figura 26, muestra entre sus características una corriente nominal (I_n) de 100A, se selecciona de manera estratégica debido a que protege los cuatro pisos de un mismo bloque.



Figura 26. Totalizador de luces 1°, 2°, 3° y 4° piso bloque SD

Se conectó el analizador de redes como se muestra en la figura 27 y se tomaron datos durante aproximadamente cinco días, se almaceno toda la base de datos correspondiente al sistema eléctrico con un tiempo de muestreo de tres minutos, se lograron obtener cerca de 2200 datos los cuales describen el comportamiento del suministro eléctrico e indican que tanta demanda de energía requieren las cargas del circuito pertenecientes a dicho totalizador.



Figura 27. Conexión del analizador de redes en el totalizador del bloque SD

Tablas de datos obtenida totalizador 1:

Una parte de los valores que arrojó el analizador de redes se observan en la tabla 6 y la tabla 7, en las cuales se ve una pequeña porción del comportamiento del circuito eléctrico perteneciente a este totalizador, el registro completo del totalizador 1 dado por el analizador EXTECH se agregó en el anexo 5.

Tabla 6. Parte 1, datos obtenidos en una hora de conectado el analizador de redes en el totalizador 1

1	Date	Time	V12	Unit	V23	Unit	V31	Unit	A1	Unit	A2	Unit	A3	Unit	P(SUM)	Unit
2	15/11/2019	18:10:09	215,8	ACV	216	ACV	217,2	ACV	3,502	ACA	13,69	ACA	14,72	ACA	3,833	KW
3	15/11/2019	18:13:09	215,5	ACV	216,5	ACV	218,3	ACV	3,498	ACA	15,15	ACA	15,75	ACA	4,161	KW
4	15/11/2019	18:16:09	215,5	ACV	216,8	ACV	218,4	ACV	3,502	ACA	15,13	ACA	15,74	ACA	4,164	KW
5	15/11/2019	18:19:09	215,5	ACV	216,6	ACV	218,4	ACV	3,49	ACA	15,08	ACA	15,65	ACA	4,147	KW
6	15/11/2019	18:22:09	215,9	ACV	217,3	ACV	219,1	ACV	3,495	ACA	15,11	ACA	15,71	ACA	4,167	KW
7	15/11/2019	18:25:09	215,7	ACV	217,4	ACV	219,1	ACV	3,513	ACA	15,07	ACA	15,64	ACA	4,157	KW
8	15/11/2019	18:28:09	216,5	ACV	217,5	ACV	219	ACV	3,537	ACA	15,08	ACA	15,66	ACA	4,168	KW
9	15/11/2019	18:31:09	215,8	ACV	217	ACV	219,1	ACV	3,519	ACA	15,07	ACA	15,65	ACA	4,156	KW
10	15/11/2019	18:34:09	216,1	ACV	217,2	ACV	219,1	ACV	3,518	ACA	15,06	ACA	15,75	ACA	4,169	KW
11	15/11/2019	18:37:09	216,6	ACV	217,7	ACV	219,3	ACV	3,518	ACA	15,05	ACA	15,71	ACA	4,171	KW
12	15/11/2019	18:40:09	216,4	ACV	217,6	ACV	219,6	ACV	3,509	ACA	15,08	ACA	15,72	ACA	4,174	KW
13	15/11/2019	18:43:09	216,8	ACV	218,1	ACV	219,6	ACV	3,511	ACA	15,05	ACA	15,71	ACA	4,177	KW
14	15/11/2019	18:46:09	216,7	ACV	218,2	ACV	220	ACV	3,602	ACA	15,05	ACA	15,66	ACA	4,18	KW
15	15/11/2019	18:49:09	217,5	ACV	217,9	ACV	220	ACV	15,81	ACA	15,07	ACA	15,63	ACA	5,465	KW
16	15/11/2019	18:52:09	217,8	ACV	218,1	ACV	220	ACV	15,02	ACA	15,07	ACA	15,71	ACA	5,392	KW
17	15/11/2019	18:55:09	217,2	ACV	218,3	ACV	219,9	ACV	14,79	ACA	15,05	ACA	15,68	ACA	5,357	KW
18	15/11/2019	18:58:09	217,8	ACV	218,3	ACV	220,3	ACV	13,79	ACA	15,07	ACA	15,67	ACA	5,257	KW
19	15/11/2019	19:01:09	217,9	ACV	218,8	ACV	220,1	ACV	13,91	ACA	15,06	ACA	15,64	ACA	5,269	KW
20	15/11/2019	19:04:09	217,4	ACV	218,6	ACV	219,8	ACV	13,94	ACA	15,06	ACA	15,65	ACA	5,267	KW
21	15/11/2019	19:07:09	218,2	ACV	218,6	ACV	220,5	ACV	13,98	ACA	15,04	ACA	15,67	ACA	5,282	KW
22	15/11/2019	19:10:09	218,2	ACV	218,7	ACV	220,2	ACV	13,9	ACA	15,05	ACA	15,67	ACA	5,273	KW
23	15/11/2019	19:13:09	217,8	ACV	218,5	ACV	219,9	ACV	12,73	ACA	15,06	ACA	15,67	ACA	5,14	KW
24	15/11/2019	19:16:09	218,1	ACV	218,8	ACV	220,3	ACV	12,72	ACA	15,08	ACA	15,66	ACA	5,148	KW

En la primera parte de la tabla se pueden ver datos como, voltaje fase-fase entre las tres fases que llegan al totalizador, las corrientes de cada una de las fases y la potencia activa que está requiriendo la carga en determinados momentos.

Tabla 7. Parte 2, datos obtenidos en una hora de conectado el analizador de redes en el totalizador 1

1	S(SUM)	Unit	Q(SUM)	Unit	PF(SUM)	Unit	PFH	Unit	WH	Unit	SH	Unit	QH	Unit	FREQ	Unit	
2	4,037	KVA	1,203	KVAR	0,94		0,94		0,338	KWH		0,357	KVAH	0,11	KVARH	60	Hz
3	4,355	KVA	1,245	KVAR	0,95		0,94		0,532	KWH		0,561	KVAH	0,17	KVARH	60	Hz
4	4,356	KVA	1,235	KVAR	0,95		0,95		0,74	KWH		0,779	KVAH	0,232	KVARH	60	Hz
5	4,337	KVA	1,223	KVAR	0,95		0,95		0,948	KWH		0,996	KVAH	0,293	KVARH	60	Hz
6	4,358	KVA	1,23	KVAR	0,95		0,95		1,155	KWH		1,213	KVAH	0,354	KVARH	60	Hz
7	4,346	KVA	1,222	KVAR	0,95		0,95		1,363	KWH		1,431	KVAH	0,416	KVARH	60	Hz
8	4,359	KVA	1,226	KVAR	0,95		0,95		1,571	KWH		1,648	KVAH	0,477	KVARH	60	Hz
9	4,346	KVA	1,221	KVAR	0,95		0,95		1,78	KWH		1,866	KVAH	0,538	KVARH	60	Hz
10	4,36	KVA	1,228	KVAR	0,95		0,95		1,988	KWH		2,084	KVAH	0,599	KVARH	60	Hz
11	4,363	KVA	1,23	KVAR	0,95		0,95		2,196	KWH		2,302	KVAH	0,66	KVARH	60	Hz
12	4,366	KVA	1,23	KVAR	0,95		0,95		2,405	KWH		2,52	KVAH	0,722	KVARH	60	Hz
13	4,37	KVA	1,233	KVAR	0,95		0,95		2,614	KWH		2,739	KVAH	0,783	KVARH	60	Hz
14	4,374	KVA	1,237	KVAR	0,95		0,95		2,823	KWH		2,957	KVAH	0,845	KVARH	60	Hz
15	5,869	KVA	2,011	KVAR	0,93		0,95		3,068	KWH		3,218	KVAH	0,929	KVARH	60	Hz
16	5,786	KVA	1,97	KVAR	0,93		0,95		3,338	KWH		3,508	KVAH	1,028	KVARH	60	Hz
17	5,747	KVA	1,953	KVAR	0,93		0,95		3,607	KWH		3,797	KVAH	1,126	KVARH	60	Hz
18	5,635	KVA	1,902	KVAR	0,93		0,94		3,87	KWH		4,079	KVAH	1,221	KVARH	60	Hz
19	5,648	KVA	1,906	KVAR	0,93		0,94		4,133	KWH		4,361	KVAH	1,317	KVARH	60	Hz
20	5,645	KVA	1,901	KVAR	0,93		0,94		4,396	KWH		4,643	KVAH	1,412	KVARH	60	Hz
21	5,662	KVA	1,913	KVAR	0,93		0,94		4,659	KWH		4,925	KVAH	1,507	KVARH	60	Hz
22	5,652	KVA	1,906	KVAR	0,93		0,94		4,923	KWH		5,208	KVAH	1,602	KVARH	60	Hz
23	5,501	KVA	1,835	KVAR	0,93		0,94		5,184	KWH		5,487	KVAH	1,696	KVARH	60	Hz
24	5,511	KVA	1,842	KVAR	0,93		0,94		5,441	KWH		5,762	KVAH	1,788	KVARH	60	Hz

En la segunda parte de la tabla se ven datos correspondientes a potencia aparente, potencia reactiva, sumatoria de factor de potencia, factor de potencia a largo plazo, al igual que el acumulado de potencia activa por hora, aparente por hora, reactiva por hora y la frecuencia.

4.2.2.2 Conexión del analizador de redes en el totalizador 2. Se conectó por segunda vez el analizador de redes en el totalizador mostrado en la figura 28, tiene 100A de corriente nominal y protege un circuito de aires acondicionados a 220v, de igual forma fue seleccionado estratégicamente porque sirve como base de estudio a los demás bloques que están diseñados eléctricamente para la conexión de cuatro o cinco aires acondicionados.



Figura 28. Totalizador de aires acondicionados 4º piso bloque SF.

Se conectó el analizador de redes como se muestra en la figura 29, durante casi seis días y se recolectaron más de 3000 datos que dejan ver el estado funcional del circuito eléctrico de los aires acondicionados y así realizar la verificación de información plasmada en los cuadros de carga que se diseñaron y además la existencia o no de anomalías.



Figura 29. Conexión del analizador de redes en el totalizador del cuarto piso del bloque SF.

Tabla de datos obtenida totalizador 2:

En la tabla 8 y la tabla 9 se aprecia una parte de los datos pertenecientes al totalizador 2 y obtenidos en la segunda conexión del analizador de redes, el registro completo del totalizador 2 dado por el analizador EXTECH se agregó en el anexo 5..

Tabla 8. Parte 1, Datos obtenidos en una hora de conectado el analizador de redes en el totalizador 2

1	Time	V12	Unit	V23	Unit	V31	Unit	A1	Unit	A2	Unit	A3	Unit	P(SUM)	Unit
2	9:17:16	210,7	ACV	210,3	ACV	211,4	ACV	43,97	ACA	45,94	ACA	28,76	ACA	14,02	KW
3	9:20:16	210,6	ACV	211	ACV	211,7	ACV	57,93	ACA	59,84	ACA	29,19	ACA	17,11	KW
4	9:23:16	210,4	ACV	210,2	ACV	211,3	ACV	58,73	ACA	60,68	ACA	29,42	ACA	17,29	KW
5	9:26:16	212,5	ACV	212,6	ACV	214	ACV	40,11	ACA	43,42	ACA	28,23	ACA	13,25	KW
6	9:29:16	212,5	ACV	212,2	ACV	213,3	ACV	43,78	ACA	45,57	ACA	28,29	ACA	13,99	KW
7	9:32:16	212,3	ACV	212,5	ACV	213,7	ACV	41,78	ACA	43,45	ACA	27,8	ACA	13,46	KW
8	9:35:16	211,6	ACV	211,3	ACV	213,1	ACV	26,16	ACA	29,1	ACA	27,35	ACA	9,86	KW
9	9:38:16	212	ACV	211,2	ACV	212,7	ACV	40,65	ACA	42,38	ACA	27,04	ACA	13,06	KW
10	9:41:16	211,9	ACV	211,7	ACV	212,9	ACV	55,74	ACA	57,44	ACA	27,96	ACA	16,49	KW
11	9:44:16	211,8	ACV	211,7	ACV	212,7	ACV	58,34	ACA	60,04	ACA	28,94	ACA	17,21	KW
12	9:47:16	212,4	ACV	211,8	ACV	213,7	ACV	56,81	ACA	58,62	ACA	28,12	ACA	16,8	KW
13	9:50:16	212	ACV	211,8	ACV	213	ACV	40,33	ACA	43,3	ACA	28,15	ACA	13,22	KW
14	9:53:16	212,5	ACV	211,3	ACV	213,8	ACV	45,13	ACA	46,6	ACA	28,25	ACA	14,24	KW
15	9:56:16	211,6	ACV	211,2	ACV	212,7	ACV	43,46	ACA	44,92	ACA	28,14	ACA	13,82	KW
16	9:59:16	212,1	ACV	211,1	ACV	212,7	ACV	43,21	ACA	34,44	ACA	17,89	ACA	10,72	KW
17	10:02:16	211,7	ACV	211	ACV	212,1	ACV	56,74	ACA	58,07	ACA	28,33	ACA	16,69	KW
18	10:05:16	212,2	ACV	211,5	ACV	213,2	ACV	56,64	ACA	58,17	ACA	28,31	ACA	16,74	KW
19	10:08:16	211	ACV	210,2	ACV	211,5	ACV	27,7	ACA	31,01	ACA	29,14	ACA	10,46	KW
20	10:11:16	213,8	ACV	212,5	ACV	214,7	ACV	46,81	ACA	48,2	ACA	29,74	ACA	14,9	KW
21	10:14:16	213,7	ACV	213,4	ACV	214,6	ACV	44,77	ACA	46,59	ACA	29,68	ACA	14,49	KW
22	10:17:16	213,5	ACV	212,9	ACV	214	ACV	58,94	ACA	60,46	ACA	29,62	ACA	17,52	KW
23	10:20:16	212,4	ACV	212,7	ACV	213,5	ACV	57,09	ACA	58,73	ACA	29,12	ACA	17	KW
24	10:23:16	213	ACV	212,5	ACV	213,8	ACV	60,36	ACA	62,09	ACA	29,68	ACA	17,84	KW

En la primera parte de la tabla hay datos como, voltaje fase-fase entre las tres fases que llegan al totalizador, las corrientes de cada una de las fases y la potencia activa que están requiriendo los aires acondicionados del cuarto piso bloque SF en determinados momentos.

Tabla 9. Parte 2, datos obtenidos en una hora de conectado el analizador de redes en el totalizador 2

1	P(SUM)	Unit	S(SUM)	Unit	Q(SUM)	Unit	PF(SUM)	Unit	PFH	Unit	WH	Unit	SH	Unit	QH	Unit	FREQ	Unit
2	14,02	KW	14,36	KVA	2,12	KVAR	0,98		0,93		1,44	KWH	1,537	KVAH	0,344	KVARH	60	Hz
3	17,11	KW	17,83	KVA	4,06	KVAR	0,96		0,94		2,253	KWH	2,372	KVAH	0,521	KVARH	60	Hz
4	17,29	KW	18,02	KVA	4,11	KVAR	0,96		0,95		3,107	KWH	3,267	KVAH	0,723	KVARH	60	Hz
5	13,25	KW	13,7	KVA	2,28	KVAR	0,97		0,95		3,838	KWH	4,024	KVAH	0,872	KVARH	60	Hz
6	13,99	KW	14,39	KVA	2,32	KVAR	0,97		0,95		4,597	KWH	4,821	KVAH	1,034	KVARH	60	Hz
7	13,46	KW	13,84	KVA	2,19	KVAR	0,97		0,95		5,273	KWH	5,516	KVAH	1,144	KVARH	60,1	Hz
8	9,86	KW	10,09	KVA	2	KVAR	0,97		0,95		5,897	KWH	6,148	KVAH	1,252	KVARH	60	Hz
9	13,06	KW	13,42	KVA	2,11	KVAR	0,97		0,95		6,437	KWH	6,711	KVAH	1,355	KVARH	60	Hz
10	16,49	KW	17,2	KVA	3,92	KVAR	0,96		0,95		7,255	KWH	7,559	KVAH	1,552	KVARH	60	Hz
11	17,21	KW	17,95	KVA	4,13	KVAR	0,96		0,95		8,1	KWH	8,441	KVAH	1,754	KVARH	60	Hz
12	16,8	KW	17,54	KVA	4,04	KVAR	0,96		0,95		8,946	KWH	9,323	KVAH	1,958	KVARH	60	Hz
13	13,22	KW	13,65	KVA	2,25	KVAR	0,97		0,95		9,705	KWH	10,11	KVAH	2,117	KVARH	60	Hz
14	14,24	KW	14,66	KVA	2,37	KVAR	0,97		0,96		10,34	KWH	10,76	KVAH	2,231	KVARH	60	Hz
15	13,82	KW	14,19	KVA	2,2	KVAR	0,97		0,96		11,03	KWH	11,47	KVAH	2,344	KVARH	60	Hz
16	10,72	KW	11,6	KVA	4,22	KVAR	0,91		0,96		11,66	KWH	12,13	KVAH	2,488	KVARH	60	Hz
17	16,69	KW	17,39	KVA	3,96	KVAR	0,96		0,95		12,32	KWH	12,84	KVAH	2,708	KVARH	60	Hz
18	16,74	KW	17,45	KVA	3,96	KVAR	0,96		0,95		13,17	KWH	13,72	KVAH	2,909	KVARH	60	Hz
19	10,46	KW	10,67	KVA	1,94	KVAR	0,97		0,95		13,85	KWH	14,44	KVAH	3,038	KVARH	60	Hz
20	14,9	KW	15,33	KVA	2,49	KVAR	0,97		0,96		14,44	KWH	15,03	KVAH	3,144	KVARH	60	Hz
21	14,49	KW	14,89	KVA	2,34	KVAR	0,97		0,96		15,17	KWH	15,77	KVAH	3,263	KVARH	60	Hz
22	17,52	KW	18,28	KVA	4,19	KVAR	0,96		0,96		15,98	KWH	16,62	KVAH	3,437	KVARH	60	Hz
23	17	KW	17,72	KVA	4,01	KVAR	0,96		0,96		16,84	KWH	17,52	KVAH	3,641	KVARH	60	Hz
24	17,84	KW	18,62	KVA	4,29	KVAR	0,96		0,96		17,72	KWH	18,45	KVAH	3,855	KVARH	60	Hz

En esta segunda parte de la tabla se pueden observar datos como potencia aparente, potencia reactiva, sumatoria de factor de potencia, factor de potencia a largo plazo, al igual que el acumulado de potencia activa por hora, aparente por hora, reactiva por hora y la frecuencia del circuito eléctrico de los aires acondicionados en el cuarto piso bloque SF.

4.2.3 Análisis general de los datos obtenidos. Para un correcto análisis se dan opiniones, observaciones y se realiza la verificación del cumplimiento normativo de parámetros de funcionamiento establecidos por entidades encargadas de regular límites y aspectos de los sistemas eléctricos. Diagnostico que tiene como base lo obtenido en la toma de datos mediante el analizador de redes y también lo visto en el sistema eléctrico del edificio en cada una de las visitas tablero por tablero además también la visita a la subestación que suministra la energía eléctrica del mismo.

Las gráficas basadas en las tablas 6, 7, 8 y 9, se muestran a continuación según sea la magnitud analizada y en ellas se logra apreciar fácilmente el comportamiento eléctrico de cada una, además se aplica la verificación de los aspectos normativos correspondientes a cada magnitud.

4.2.3.1 Análisis eléctrico del totalizador 1 y 2. El análisis se hizo para evaluar el comportamiento del suministro eléctrico y observar si está o no dentro de los parámetros establecidos por las normas reguladoras. Se analizó por separado cada característica o magnitud eléctrica para mayor orden y dejando claro lo que está estipulado en cada norma.

Análisis del voltaje:

Se analizaron dos parámetros importantes del voltaje como lo son las tensiones aceptables y el desbalance de tensión de cada totalizador.

Tensiones aceptables:

Los valores aceptables de tensiones se observan en la tabla 10; son condiciones que se deben cumplir mientras que el funcionamiento del suministro eléctrico sea normal y sin interrupciones.

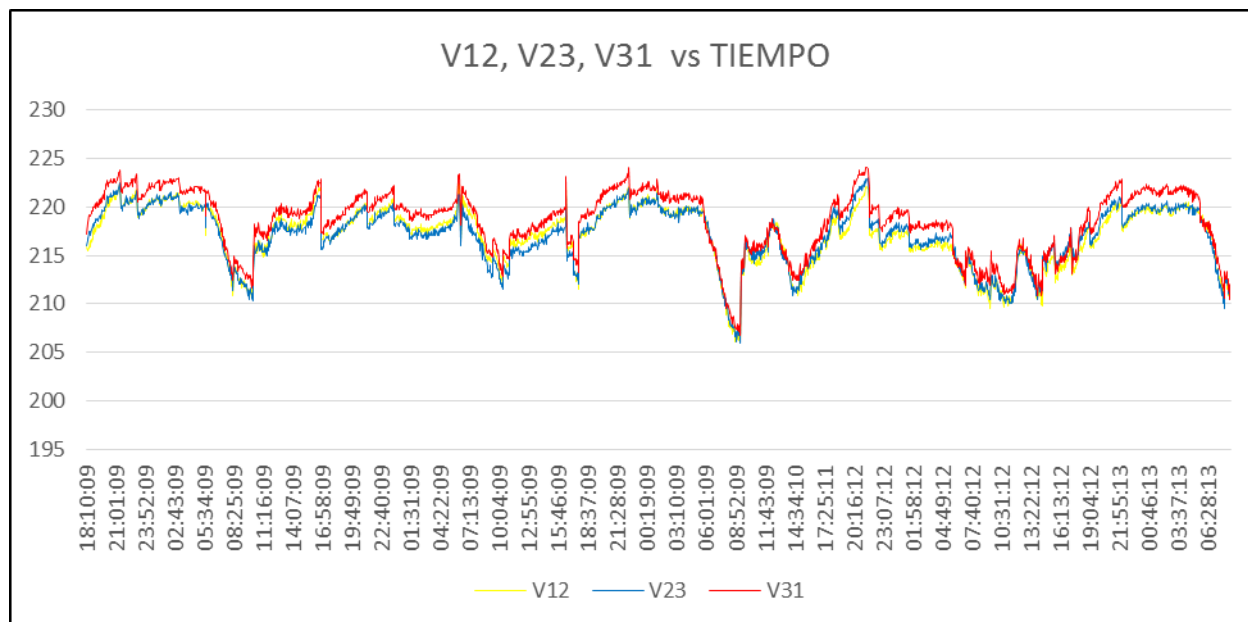
Tabla 10. Clasificación, denominación y valores de la tensión nominal

Clasificación (Nivel) ¹	Nivel de tensión	Tensión nominal (V)		Tensión máxima (% de la nominal)	Tensión mínima (% de la nominal)
		Sistema trifásico de 3 o 4 conductores	Sistema monofásico de 2 o 3 conductores		
Baja tensión (Nivel 1)	Hasta 1 000 V	-	120	+5	-10
		120/208	-		
		-	120/240		
		127/220	-		
		220	-		
		277/480	-		
Media tensión (Niveles 2 y 3)	Mayor o igual a 1 000 V y menor a 62 000 V.	480	-	+5	-10
		4 160	-		
		-	7 620		
		11 400	-		
		13 200	-		
		13 800	-		
		34 500	-		
		44 000	-		
Alta tensión (Nivel 4)	Mayor o igual a 62 000 V y menor a 230 000 V.	57 500	-	+10	-10
		66 000	-		
		115 000	-		
Extra alta tensión (Nivel 4)	Mayor a 230 000 V	230 000	-	+10	-10
		500 000	-		

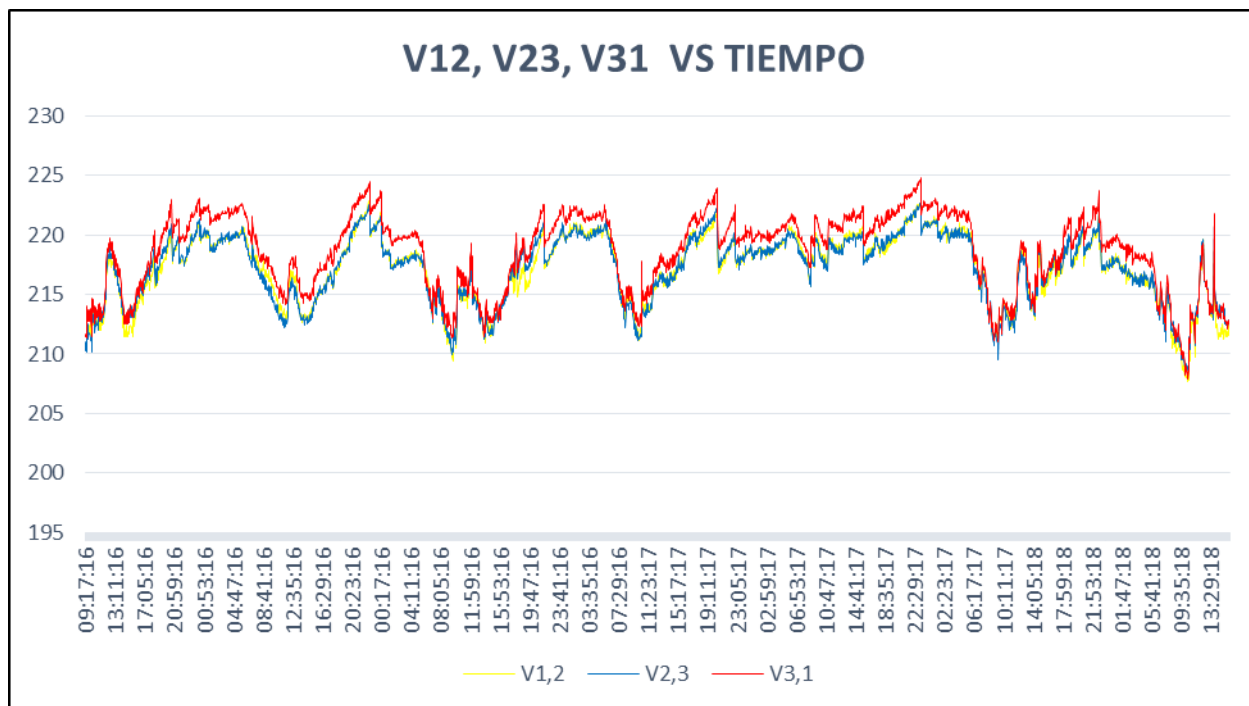
NOTA 1 Estos niveles corresponden a la regulación CREG 025/95

Fuente: NTC 1340.

Lo que indica los límites en los cuales debe permanecer el voltaje, sí se considera como nominal el valor de 220v, lo aceptable sería 22v por debajo y 11v por arriba, entonces $198 \leq \text{Volt} \leq 231$, los voltajes registrados deben estar en ese rango para descartar anomalías.

Totalizador 1:**Figura 30. Voltajes del totalizador 1 vs tiempo****Tabla 11. Voltaje mínimo, máximo y promedio entre las fases, totalizador 1**

FASES 1-2		FECHA DEL EVENTO	CUMPLE LA NORMA
VALOR MÍNIMO	206,1 V	18/11/2019 8:52:09	SI
VALOR MÁXIMO	222,6 V	17/11/2019 16:28:09	SI
VALOR PROMEDIO	217,0964 V		
FASES 2-3		FECHA DEL EVENTO	CUMPLE LA NORMA
VALOR MÍNIMO	206 V	18/11/2019 9:22:09	SI
VALOR MÁXIMO	223 V	18/11/2019 21:40:12	SI
VALOR PROMEDIO	217,1148 V		
FASES 1-3		FECHA DEL EVENTO	CUMPLE LA NORMA
VALOR MÍNIMO	206,7 V	18/11/2019 9:22:09	SI
VALOR MÁXIMO	224 V	18/11/2019 21:28:12	SI
VALOR PROMEDIO	218,4762 V		

Totalizador 2:**Figura 31. Voltajes del totalizador 2 vs tiempo****Tabla 12. Voltaje mínimo, máximo y promedio entre las fases, totalizador 2**

FASES 1-2		FECHA DEL EVENTO	CUMPLE LA NORMA
VALOR MÍNIMO	207,7 V	26/11/2019 10:26:18	SI
VALOR MÁXIMO	222,9 V	21/11/2019 22:29:16	SI
VALOR PROMEDIO	217,17 V		
FASES 2-3		FECHA DEL EVENTO	CUMPLE LA NORMA
VALOR MÍNIMO	208,6 V	26/11/2019 10:26:18	SI
VALOR MÁXIMO	222,7 V	24/11/2019 23:11:17	SI
VALOR PROMEDIO	217,22 V		
FASES 1-3		FECHA DEL EVENTO	CUMPLE LA NORMA
VALOR MÍNIMO	207,9 V	26/11/2019 10:29:18	SI
VALOR MÁXIMO	224,8 V	24/11/2019 23:17:17	SI
VALOR PROMEDIO	218,57 V		

Desbalance de tensión:

El desbalance ocurre cuando las magnitudes de las tensiones de fase o de línea son diferentes y/o los ángulos de los fasores de estas tensiones son distintos a los de las condiciones balanceadas. (Lopez & Ventura, 2019)

Las fuentes de desbalances en este caso pueden ser:

Sistemas monofásicos (distribución desigual).

Anomalías en el sistema eléctrico tales como: abertura de un conductor, corto-circuito, falla en el aislamiento de los equipos. (Murillo, 2011)

Se considera la tensión balanceada sí se cumple:

Tabla 13. Porcentaje máximo de desbalance de tensión

Rango de Tensión	Valor de Referencia
$V_n < 69 \text{ kV}$	2,0 %
$V_n \geq 69 \text{ kV}$	1,5 %

Fuente: Celsia, s.f.

Totalizador 1:

El comportamiento de las tensiones genera un desbalance de tensión entre fases el cual se muestra en la figura 32, la cual representa el desbalance durante todo el periodo de medición.

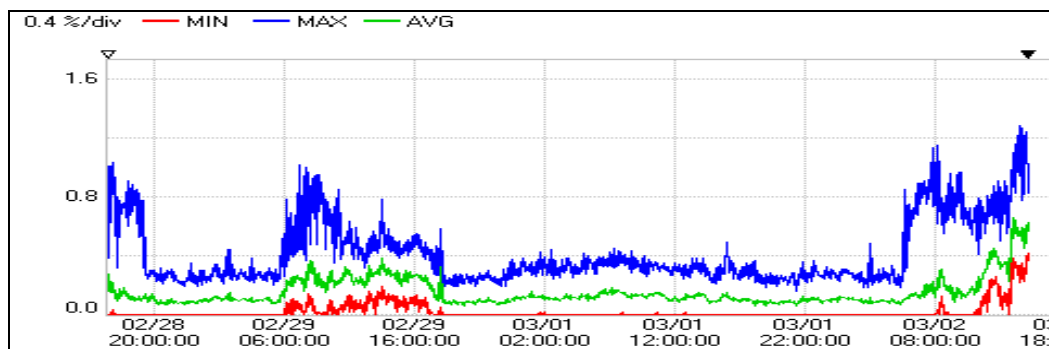


Figura 32. Desbalance de tensión de totalizador 1

La línea azul es la que representa los valores máximos de desviación, en su punto más alto alcanza el 1.3% de desbalance.

Totalizador 2:

Se muestra en la figura 33 el comportamiento de desequilibrio de tensión que tiene este totalizador durante todo el periodo de medición.

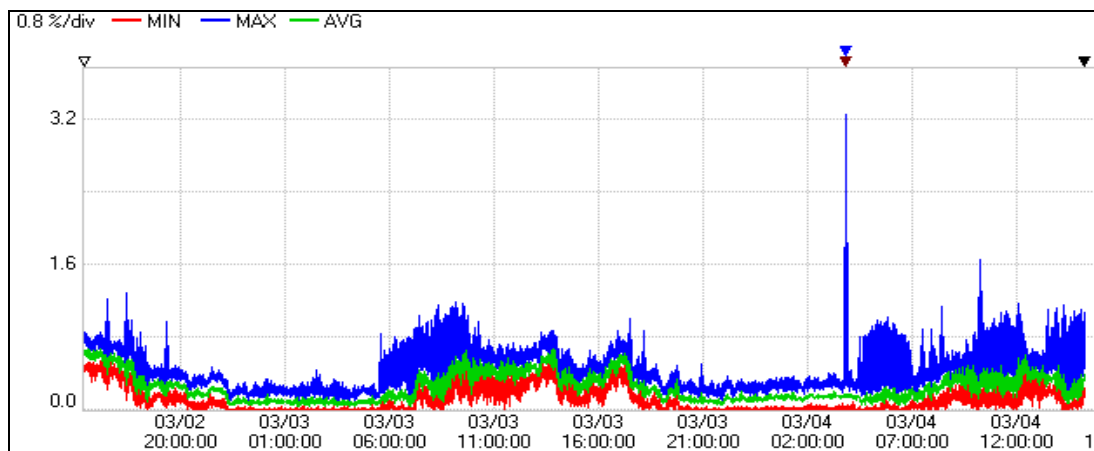


Figura 33. Desbalance de tensión de totalizador 2

Por parte del totalizador 2 se observa un único valor que supera el 2% de desbalance permitido, alcanzando un valor máximo de 3.3%, es un comportamiento que dura un instante

muy corto y no vuelve a repetirse, los sistemas eléctricos no están exentos de casos como este, pero es importante saber con qué frecuencia se presentan pues de esta forma se conoce si es un evento no común o de lo contrario si sucede muy seguido. En caso de ser muy frecuente se debe detectar la fuente del desbalance que podrían ser las descritas en al principio de este tema.

Teniendo en cuenta la evaluación de tensión y los resultados se dice que el suministro eléctrico protegido por el totalizador 1 y 2, no tiene presencia de sobretensiones(swells) ni de subtensiones(sags) según los equipos analizadores utilizados porque no registraron ningún tipo de evento relacionado con este fenómeno y como se ve en las tablas 11 y 12 los valores están dentro de los parámetros permitidos.

Análisis de corriente:

Este análisis se realizó para evaluar el desbalance de corriente máximo que posee el suministro eléctrico y considerar en que tanto porcentaje esta la diferencia de cargas entre las fases existentes.

Desbalance de corrientes:

Es difícil que en el contexto de corriente un sistema este 100% balanceado, pero esto no quiere decir que se deba pasar desapercibido el porcentaje de desbalance porque indica ineficiencia. En general los efectos del desbalance se resumen en la aparición de componentes de secuencia inversa y homopolar que dan como resultado pérdidas adicionales de potencia y energía, calentamiento adicional de máquinas que limita la capacidad de carga nominal, reducción en el transporte de potencia en los sistemas de distribución y propagación del desbalance a otros nodos de conexión de la red. (Piumetto, Gomez, & Vaschetti, 2014)

Para mantener controlado el desbalance de corriente se establece el 10% de desequilibrio como un valor máximo adecuado. (Alejandro, 2009)

Para conocer el valor de desbalance se utiliza la fórmula 1.

$$D(\%) = \frac{U_m - U_{ed.}}{U_{ed.}} * 100 \quad (1)$$

Donde:

U_m = Valor máximo de la corriente

U_{ed} = corriente promedio

Totalizador 1:

El comportamiento que tuvo la corriente mientras estuvo conectado el analizador de redes se observa en la figura 34, la gráfica contiene la demanda por cada una de las tres fases, y fue de utilidad para hallar el desbalance entre las corrientes.

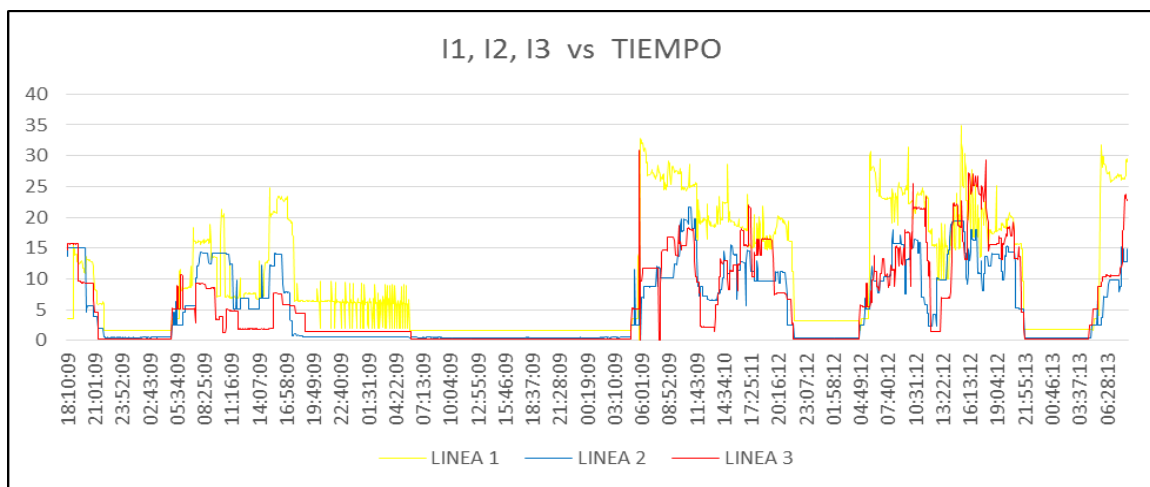


Figura 34. Corrientes del totalizador 1 vs tiempo

Teniendo en cuenta la base de datos de corriente y la figura 34 se seleccionaron valores máximos de corriente de cada fase pensando en trabajar con el máximo de carga o demanda que suple y le fue asignada a cada línea en la instalación, además se hizo otra evaluación seleccionando los tres valores de corriente que a simple vista estén más alejados entre sí en un mismo instante de tiempo según la figura 34 y teniendo en cuenta las horas pico de demanda energética.

Con las corrientes máximas: $I_1= 34,92$; $I_2= 21,7$; $I_3=29,3$; $I_m= 34,92$; $I_{ed}= 28,64$.

Se aplica la ecuación 1 para obtener el desbalance:

$$Dim(\%) = \frac{34,92 - 28,64}{28,64} \times 100 = 21,92\%$$

Se puede decir que este porcentaje representa el desbalance de instalación o de diseño que existe, debido a que para el cálculo es tomada en cuenta la carga máxima que puede llegar a tener cada línea según la base de datos recolectada.

Con las corrientes a horas pico de demanda: $I_1=28,3$; $I_2=10,1$; $I_3=16,7$; $I_m= 28,3$; $I_{ed}= 18,36$

Aplicando de nuevo el mismo modelo de la ecuación 1:

$$Dihp(\%) = \frac{28,3 - 18,36}{18,36} \times 100 = 54,13\%$$

Este valor de desequilibrio será muy variable y dependiente del factor de utilización de los aparatos eléctricos que hay en el edificio, se seleccionan horas pico de 8am a 10am debido a que en la gráfica se pueden percibir desbalances aún más altos, pero a horas poco transitadas donde la demanda de corriente puede estar centrada en solo una clase de cargas y muchos aparatos están

desconectados.

Totalizador 2:

El comportamiento que tuvo la corriente del totalizador 2 se observa en la figura 35, y de igual forma fue útil para hallar el desbalance presente en este totalizador.

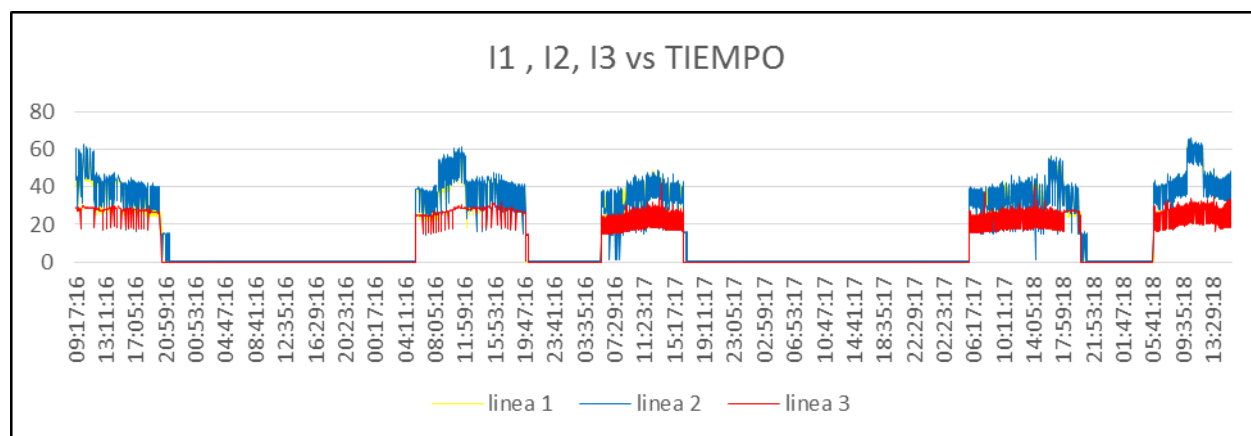


Figura 35. Corrientes del totalizador 2 vs tiempo

Fuente: tomado de hoja de cálculo Excel, autores, Edwar Jaimes y Jhon Lizarazo Ings electromecánicos en formación.

Se aplica una metodología parecida a la utilizada en el totalizador anterior, se seleccionan los valores máximos de corriente de cada fase y se realiza su respectivo cálculo de desbalance, pero para los datos de las corrientes del totalizador 2 no se realiza un análisis para horas pico o de mayor consumo porque la mayoría las cargas se encienden en la mañana y hasta la noche son apagadas.

Corrientes máximas: $I_1 = 64,07$; $I_2 = 66,07$; $I_3 = 33,79$; $I_m = 66,07$; $I_e = 54,62$

Aplicando la ecuación 1:

$$Dim(\%) = \frac{66,07 - 54,62}{54,62} \times 100 = 20,96\%$$

De igual manera se puede decir que este porcentaje representa el desbalance de instalación o de diseño que existe en el totalizador 2, debido a que para el cálculo es tomada en cuenta la carga máxima presentada por cada línea.

Para finalizar la evaluación de los datos de corriente recolectados, se puede concluir que el desbalance que más importa y el que más se debe tener en cuenta es el llamado desbalance de diseño, entre más pequeño sea ese porcentaje de desequilibrio, las probabilidades de que sea grande el desbalance del sistema eléctrico en cualquier instante de tiempo serán menores.

Análisis de frecuencia:

Para el análisis de frecuencia se toma en cuenta lo establecido por la NTC 1340 que menciona los valores aceptables de esta magnitud.

Frecuencias aceptables:

Según la NTC 1340 se establece lo mostrado en la tabla 14, se mencionan los valores de frecuencia aceptable en condiciones normales de funcionamiento:

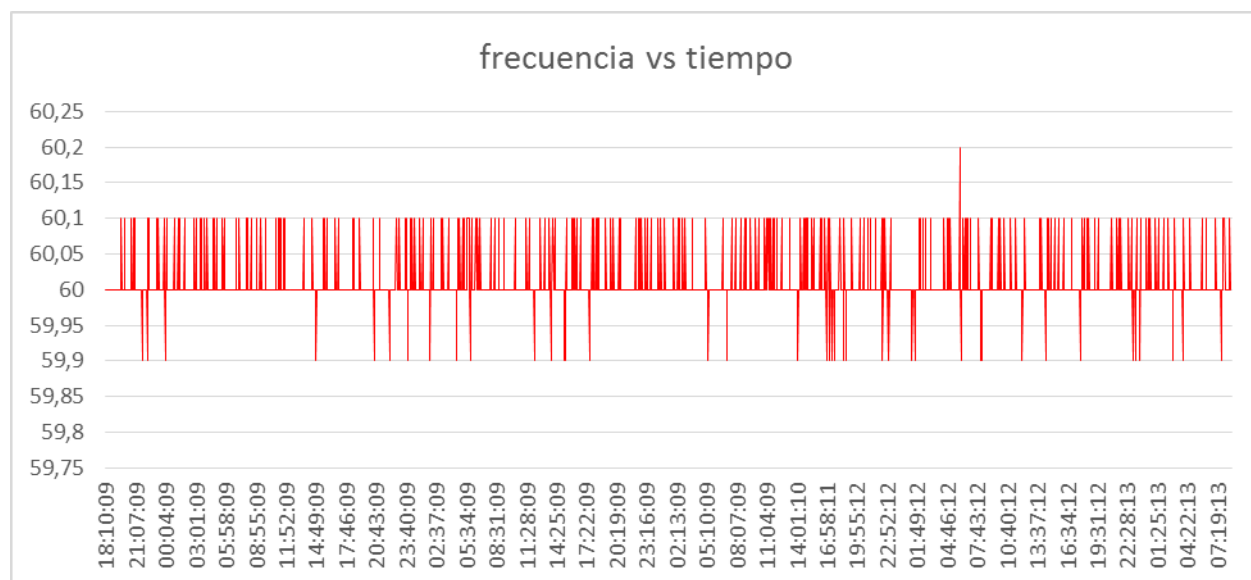
Tabla 14. Frecuencia aceptable

Tipo de red	Frecuencia aceptable durante el 95 % de una semana	Frecuencia aceptable durante el 100 % de una semana
Redes acopladas por enlaces síncronos a un sistema interconectado	Desde 59,8 Hz hasta 60,2 Hz	Desde 57,5Hz hasta 63 Hz
Redes sin conexión síncrona a un sistema interconectado (redes de distribución en regiones no interconectada e islas)	Desde 58,8 Hz hasta 61,2 Hz	Desde 51 Hz hasta 69 Hz

Fuente: la NTC 1340.

Totalizador 1:

Para observar la frecuencia que tuvo el suministro eléctrico se utilizó la figura 36, en la gráfica se puede ver el valor máximo y mínimo presente durante la medición.

**Figura 36. Frecuencia del totalizador 1 vs tiempo**

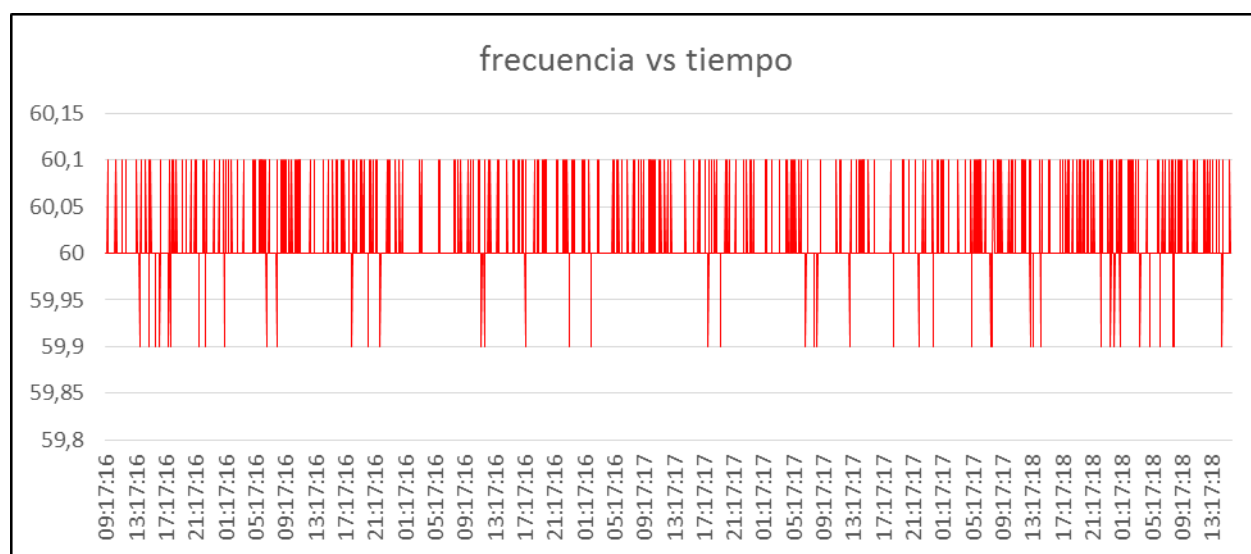
Para el análisis se utiliza la tabla 15, la cual indica si los valores cumplen o no lo establecido en la norma.

Tabla 15. Valor mínimo y máximo de frecuencia totalizador 1

		FECHA DEL EVENTO		CUMPLE LA NORMA
VALOR MÍNIMO	59,9 Hz	20/11/2019	3:55:13	SI
VALOR MÁXIMO	60,2 Hz	19/11/2019	6:01:12	SI
VALOR PROMEDIO	60,00958 Hz			

Totalizador 2:

Se le hace un análisis del mismo modo al totalizador 2 para verificar que sus valores de frecuencia están dentro de lo que sería normal según la norma, en la figura 37 se puede ver su comportamiento de frecuencia.

**Figura 37. Frecuencia del totalizador 2 vs tiempo.**

En la tabla 16 se observa el resultado que se obtuvo al verificar si los valores de frecuencia tomados están normales según la norma eléctrica.

Tabla 16. Valor mínimo y máximo de frecuencia totalizador 2

		FECHA DEL EVENTO	CUMPLE LA NORMA
VALOR MÍNIMO	59,9 Hz	26/11/2019 14:41:18	SI
VALOR MÁXIMO	60,1 Hz	26/11/2019 15:41:18	SI
VALOR PROMEDIO	60,009 Hz		

Al verificar los datos de frecuencia en ambos totalizadores se observa que los valores están dentro del parámetro mínimo y máximo que establece la NTC 1340 y por tanto se puede afirmar que el suministro eléctrico tiene frecuencia adecuada y aceptable durante el transcurso de las mediciones.

Análisis de factor de potencia:

El análisis de hará Según lo establecido por la CREG 108-1997, la cual en su parágrafo 1 menciona puntualmente lo siguiente:

Parágrafo 1°. El factor de potencia inductiva (coseno phi inductivo) de las instalaciones deberá ser igual o superior a punto noventa (0.90). La empresa exigirá a aquellas instalaciones cuyo factor de potencia inductivo viole este límite, que instalen equipos apropiados para controlar y medir la energía reactiva. (Ministerio de Minas y Energía, CREG 108, 1997)

Totalizador 1:

Para facilitar el análisis se utiliza la figura 38, que refleja el comportamiento del Factor de Potencia durante tres días entre semana y el fin de semana.

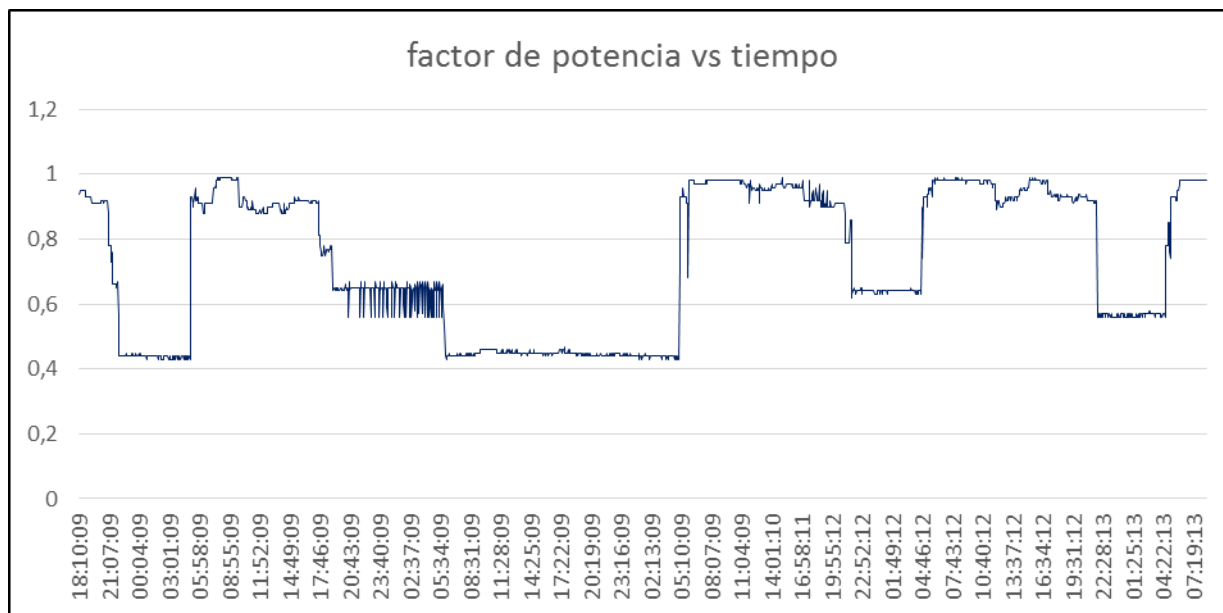


Figura 38. Factor de potencia del totalizador 1 vs tiempo.

Existe mucha variación en el valor de factor de potencia, debido a eso se procede a revisar la base de datos para obtener más detalles sobre lo que sucede y se observa que cuando la demanda de energía disminuye casi hasta ser nula el factor de potencia cae a un valor entre 0,44 y 0,64; en consecuencia de corrientes parasitas existentes en el sistema eléctrico, por lo que se decide no tener en cuenta esos momentos de poca demanda energética para el desarrollo del análisis.

Se hace una inspección del factor de potencia realizando un promedio día por día y en horarios de demanda significativa. En la tabla 17 se ordenan los valores obtenidos y se hace un promedio total que finalmente representa el valor del factor de potencia deducido matemáticamente del circuito eléctrico.

Tabla 17. Factor de potencia general del totalizador 1, teniendo en cuenta el promedio de cada día

	Día	Hora	Promedios FP
1	Viernes	5am-9:50pm	0,866103896
2	Sábado	5:30am-6:55pm	0,906468401
3	Domingo	---	---
4	Lunes	5am-9:50pm	0,947589286
5	Martes	5am-9:50pm	0,952662722
6	Miércoles	5am-9:50pm	0,960135135
Promedio Total (FP general)			0,926591888

El valor encontrado es un factor de potencia general de todas las cargas existentes en el circuito eléctrico protegido por el totalizador 1. De acuerdo con lo estipulado en la resolución de la CREG este valor es aceptable porque está por encima de 0,9.

Totalizador 2:

El factor de potencia registrado durante la medición realizada en el totalizador 2 se puede ver en la figura 39, aunque el valor es variante según las cargas activas, se aplica la misma metodología anterior para hallar un factor de potencia general.

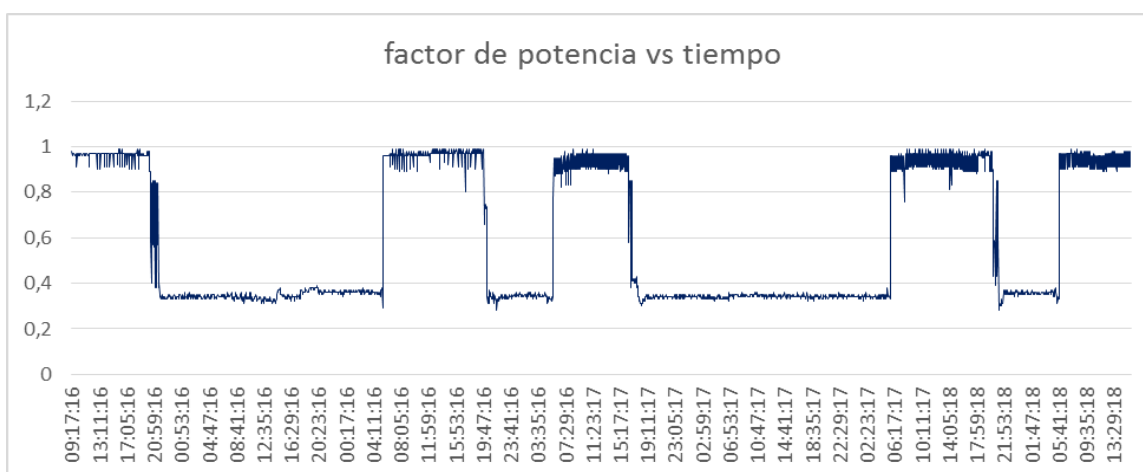


Figura 39. Factor de potencia del totalizador 2 vs tiempo

De igual forma se realiza una inspección del factor de potencia mediante un promedio día por día y en horarios de demanda significativa. En la tabla 18 se ordenan los valores obtenidos y se halla el Factor de Potencia general.

Tabla 18. Factor de potencia general del totalizador 2, teniendo en cuenta el promedio de cada día

	Dia	Hora	Promedios fp
1	Miércoles	9:17 am-9:00pm	0,948
2	Jueves	----	----
3	Viernes	5:30am-800:pm	0,958
4	Sábado	5:30am-5:00pm	0,919
5	Domingo	---	-----
6	Lunes	5:00am-9:00pm	0,919
7	Martes	5:30am-3:50pm	0,943
Promedio Total (FP general)			0,9374

El factor de potencia general del totalizador 2 tienen un valor aproximado de 0,94 y está por arriba del límite aceptable mencionado por la CREG.

Cabe resaltar también que el analizador de potencia arroja un dato a tener muy en cuenta a la hora de hablar de un factor de potencia general; como es sabido el consumo eléctrico demandado se cobra según los KWH consumidos por el usuario durante el mes facturado, así mismo existe un dato llamado PFH (Factor de potencia a largo plazo) el cual es calculado teniendo en cuenta la tendencia del factor de potencia instantáneo, y según este dato el factor de potencia facturado durante toda la medición fue de 0,91 y 0,95 para los totalizadores 1 y 2 respectivamente; es un valor que cumple con la norma y es un dato importante porque el PFH sería la forma en que los

operarios de red miden el factor de potencia a los usuarios para penalizarlos por el consumo de energía reactiva que sobrepase lo permitido.

Análisis de armónicas:

Las armónicas son ondas con frecuencias que son múltiplos de la frecuencia normal de suministro (60 Hz) y son el resultado de cargas no lineales en el STR y /o SDL. Tanto el OR como los Usuarios conectados a su red deberá cumplir con la norma IEEE 519 - [1992] o la que la modifique o sustituya. (Ministerio de Minas y Energía, CREG 070, 1998)

Se realiza el análisis teniendo en cuenta la tabla 19 para determinar si el sistema eléctrico requiere o no de filtros encargados de suplir las armónicas y de esa forma evitar que se generen en la fuente.

Tabla 19. Límites de distorsión actuales para sistemas con clasificación de 120 V a 69 kV

Máxima distorsión de corriente armónica en por ciento de IL						
Orden armónico individual (armónicos impares) ^{a, b}						
<i>I_{sc}/I_L</i>	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 _e	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Dónde:

I_{sc} = corriente de cortocircuito máxima en PCC.

I_L = corriente de carga de demanda máxima (componente de frecuencia fundamental) en el PCC en condiciones de funcionamiento de carga normal.

Totalizador 1:

Las formas de onda de la corriente mostrada en la figura 40 evidencia que existe una distorsión considerable en el circuito eléctrico.

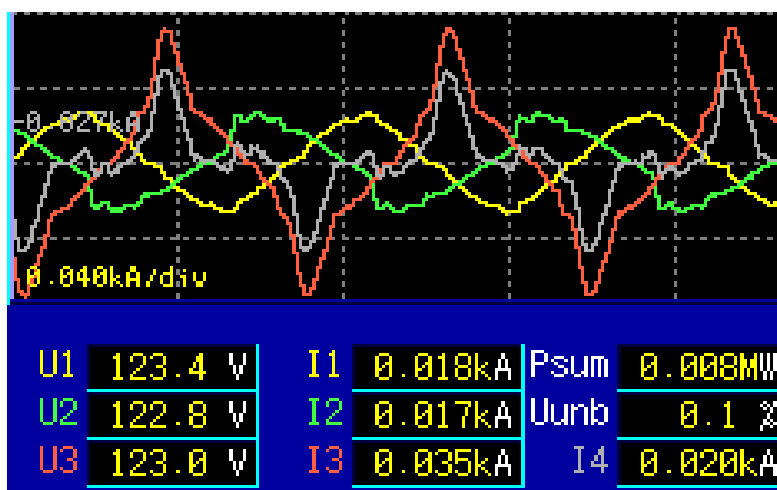


Figura 40. Formas de onda de corriente del totalizador 1

Las armónicas presentes en este totalizador por cada una de sus líneas se muestran en la figura 41, se pueden ver los armónicos hasta el orden 17, se toman hasta este orden porque los valores significativos en este caso llegan solo hasta el orden 15.

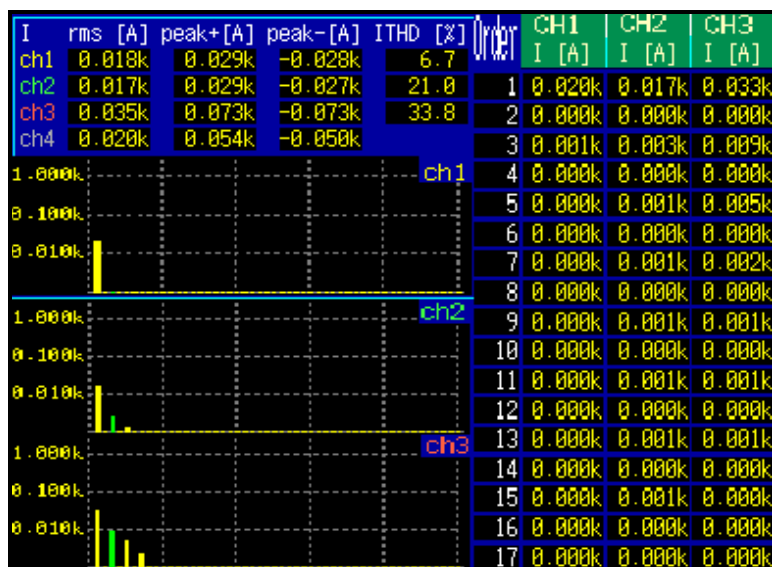


Figura 41. Registro de armónicos en un instante de carga máxima del totalizador 1.

Se definió I_{sc} e I_L y se procedió a hacer el análisis para mirar que armónicos no cumplen con lo establecido en la norma.

$I_{sc} = 14700$ A; $I_{L1} = 18$ A; $I_{L2} = 17$ A; $I_{L3} = 35$ A, esta relación de corto circuito (I_{sc}/I_L) da como resultado un valor mayor a 100 pero menor a 1000 en todas las líneas, la tabla 20 muestra los resultados encontrados.

Tabla 20. Distorsión armónica en las líneas del totalizador 1

Máxima distorsión de corriente armónica en por ciento de IL							
Isc/IL	Orden armónico individual (armónicos impares)	THD I Línea a 1	Cumple IEEE 519 - 2014	THD I Línea a 2	Cumple IEEE 519 - 2014	THD I Línea a 3	Cumple IEEE 519 - 2014
100<1000	h=3 (Limite= 12%)	5%	SI	17.6 %	NO	27.3 %	NO
	h=5 (Limite= 12%)	---	---	5.8%	SI	15%	NO
	h=7 (Limite= 12%)	---	---	5.8%	SI	6%	SI
	h=9 (Limite= 12%)	---	---	5.8%	SI	3%	SI
	h=11 (Limite= 5.5%)	---	---	5.8%	NO	3%	SI
	h=13 (Limite= 5.5%)	---	---	5.8%	NO	3%	SI
	h=15 (Limite= 5.5%)	---	---	5.8%	NO	---	---
	TOTAL (Limite= 15%)	6.7%	SI	21%	NO	33.8 %	NO

La tabla 20 indica que las líneas que tienen problemas de armónicos son la 2 y la 3, aparte de esto también se identificó el orden de los armónicos que superan el límite de porcentaje permitido, es algo importante para el diseño de filtros.

Totalizador 2:

Se realizó la misma conexión en este totalizador, las formas de ondas se observan en la figura 42 y las armónicas presentes se muestran en la figura 43.

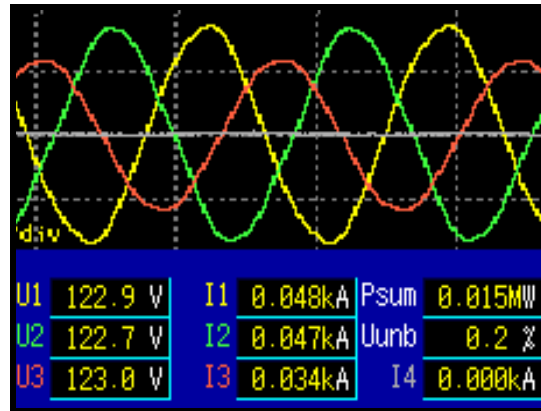


Figura 42. Forma de onda de la corriente del totalizador 2

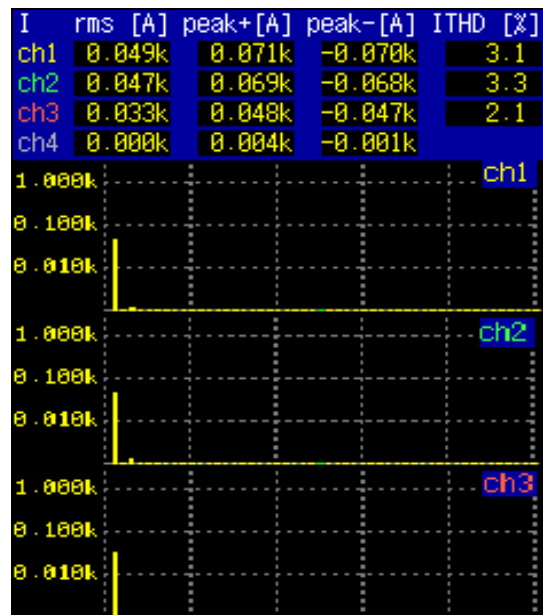


Figura 43. Registro de armónicos en un instante de carga máxima del totalizador 2.

El totalizador 2 no tiene problemas de armónicos como lo muestra la figura 42 y 43 en sus momentos de carga máxima sus líneas están por debajo del 15% de distorsión.

4.2.3.2 Análisis de potencia en la subestación eléctrica. La subestación eléctrica que suplente la energía del edificio aula sur nuevo tiene una potencia de trabajo de 225kva, para su selección

debió haberse tenido en cuenta el diseño eléctrico del edificio que incluye la carga total que se instalara y considera distintos factores como posibles pérdidas por los equipos.

Al tener la información tanto antigua como actual se realiza una comparación en la tabla 21, para apreciar si se ha aumentado o disminuido la carga total del edificio y además observar que porcentaje de la potencia total de la subestación es utilizado por el sistema eléctrico del edificio.

Tabla 21. Potencia aparente de los diseños eléctricos

Potencias aparentes (VA)			
Bloque	Diseño antiguo	Diseño actual	Medida actual
B	45156	56246,66667	45361,11111
C	54898	69683,33333	50105,44444
D	18489	45835,55556	30500
E	18489	43356,66667	28750
F	105822	89898,61111	57937
TOTAL	242854	305020,83	212653,5556

Según el diseño antiguo la subestación debería estar en la capacidad de suplir una potencia de hasta 243kva, en los cuadros de carga actualizados se determinó que la plena carga en todos los circuitos y aparatos requiere una potencia de alrededor de 305kva y según los datos obtenidos mediante el analizador de redes se dedujo que el edificio aula sur tiene un consumo aproximado de 213kva.

Aunque el analizador de redes fue conectado solo en dos totalizadores que cubren cerca de un 20% del total de la energía que consume el edificio, sí se considera que los circuitos eléctricos de iluminación y cargas monofásicas de cada bloque son muy similares se puede deducir una supuesta carga aparente que corresponde a la medida actual, para obtener este dato también se ignoraron muchas tomas instaladas debido a que en algunas aulas hay demasiadas y en promedio solo se utilizan tres y no todo el tiempo.

Sin embargo, en todos los casos presentados en la tabla 21 y considerando que el edificio aula sur no es la única carga que demanda energía de la subestación de 225kva, se puede concluir que la subestación esta sobrecargada y subdimensionada, lo que puede estar generando sobrecalentamiento y deterioro en el aislamiento de los devanados y puede causar una futura falla interna en el transformador.

4.3 Simulación de la Operación del Sistema Eléctrico Enfocada en el Comportamiento de la Corriente

A continuación, se muestra la simulación realizada con datos obtenidos del analizador de calidad de la energía hioki 3197.

4.3.1 Simulación de la onda de corriente total. Con el fin de observar la operación del sistema eléctrico se pensó en simular las formas de ondas de las corrientes del totalizador 1 (el que tiene más distorsión), de esta forma podrían manipularse estas ondas y además observar la forma de onda de los armónicos que más afectan la corriente y los cuales deben ser corregidos o suplidos por los filtros de armónicos.

Mediante simulink se realizó una simulación reconstruyendo la onda de corriente, el esquema de conexiones se muestra en la figura 44, fue algo tedioso debido a que el analizador de redes no mostraba el ángulo de desfase de cada armónico con respecto a la fundamental, se usó la metodología prueba y error buscando que las formas de onda de la figura 45 fueran muy parecidas a las que aparecen en la figura 40.

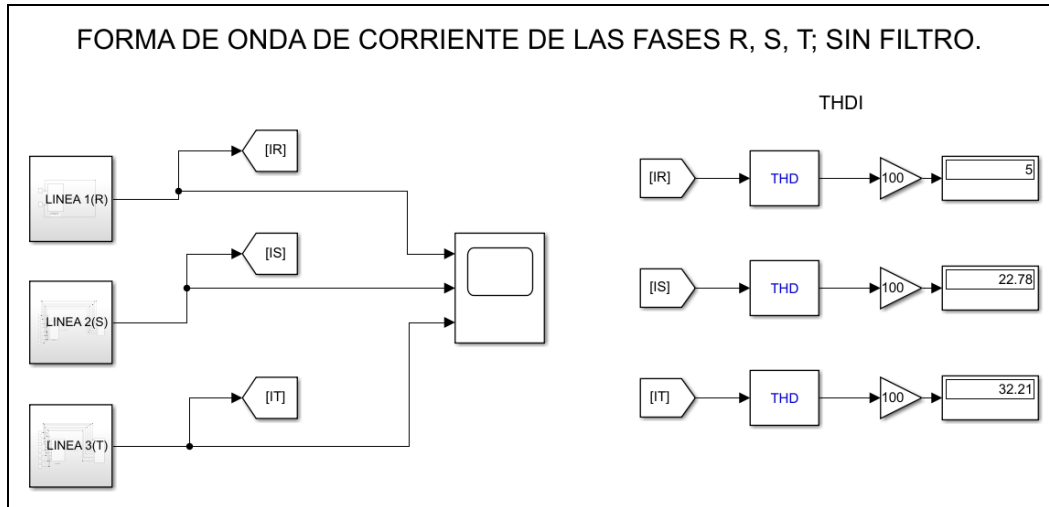


Figura 44. Esquema de conexiones para reconstruir onda de corriente del totalizador 1

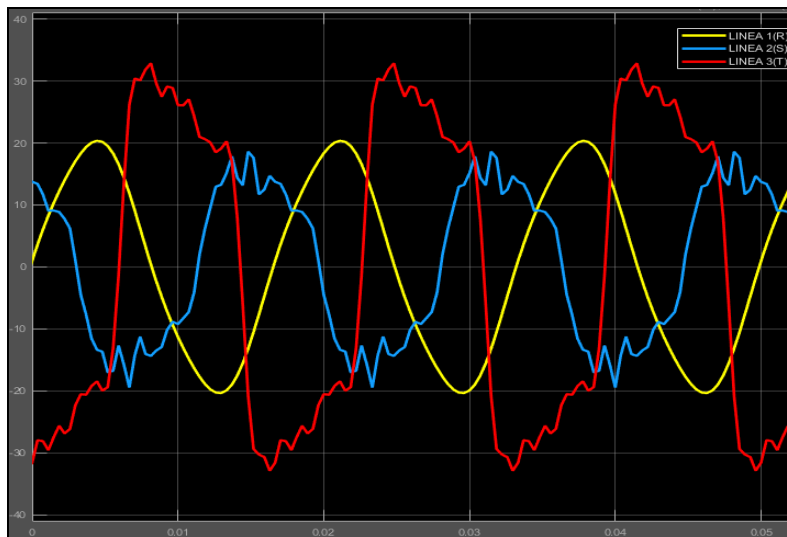


Figura 45. Forma de onda de corriente del totalizador 1 generada y sin filtro.

Al tener las formas de ondas reconstruidas se pueden conocer las formas de onda de cada armónico que está ocasionando un porcentaje distorsión más elevado del permitido, los cuales fueron identificados en la tabla 20 mostrada en el análisis de armónicos.

4.3.2 Simulación de la corriente descompuesta. Al observar cómo se descompone la onda total se puede apreciar las amplitudes de corriente de cada armónico y su tamaño respecto a la fundamental, para este caso solo se consideran la línea 2 y 3 que son las que tienen distorsión armónica fuera del límite permitido.

Línea 2:

El esquema de conexiones para observar las formas de onda de cada armónico se muestra en la figura 46 y se hace mediante las sumas de la fundamental y los armónicos teniendo en cuenta sus amplitudes y frecuencia, las ondas resultantes de la simulación del esquema se observan en la figura 47.

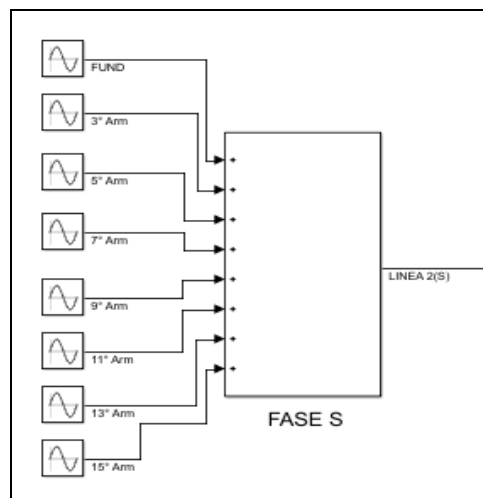


Figura 46. Esquema de conexiones para generar las ondas de corriente descompuestas de la línea 2, totalizador 1

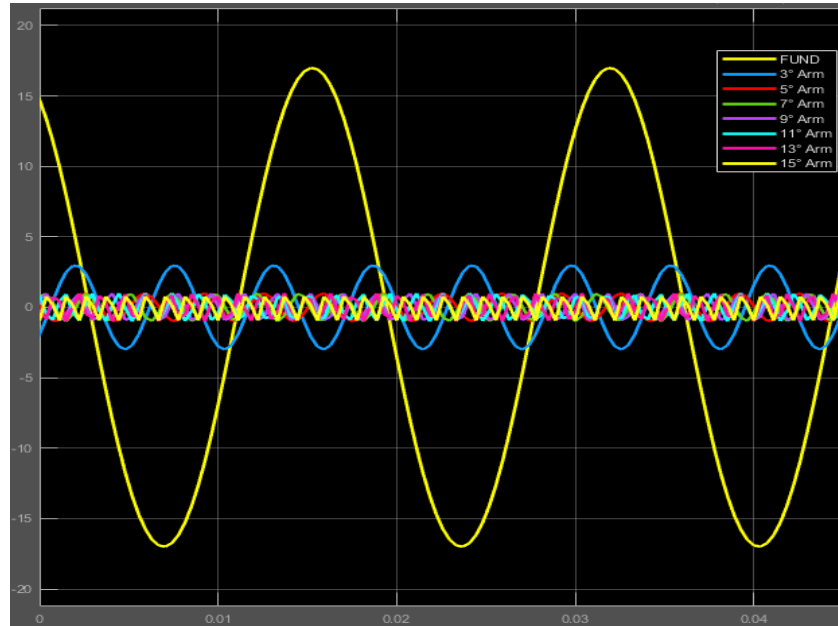


Figura 47. Ondas de corriente descompuestas de la línea 2, totalizador 1.

Fuente: tomado de software Matlab-simulink, autores, Edwar Jaimes y Jhon Lizarazo Ings electromecánicos en formación.

Línea 3:

La línea más afectada por los armónicos de corriente es la línea 3, en la figura 48 se muestra el esquema de conexiones para su simulación y en la figura 49 sus formas de ondas, descompuestas en su onda fundamental y en las ondas de cada armónico que posee.

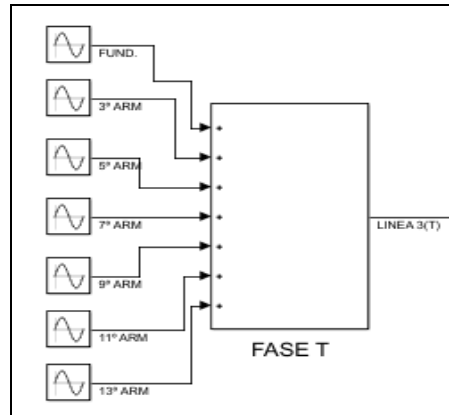


Figura 48. Esquema de conexiones para generar las ondas de corriente descompuestas de la línea 3, totalizador 1

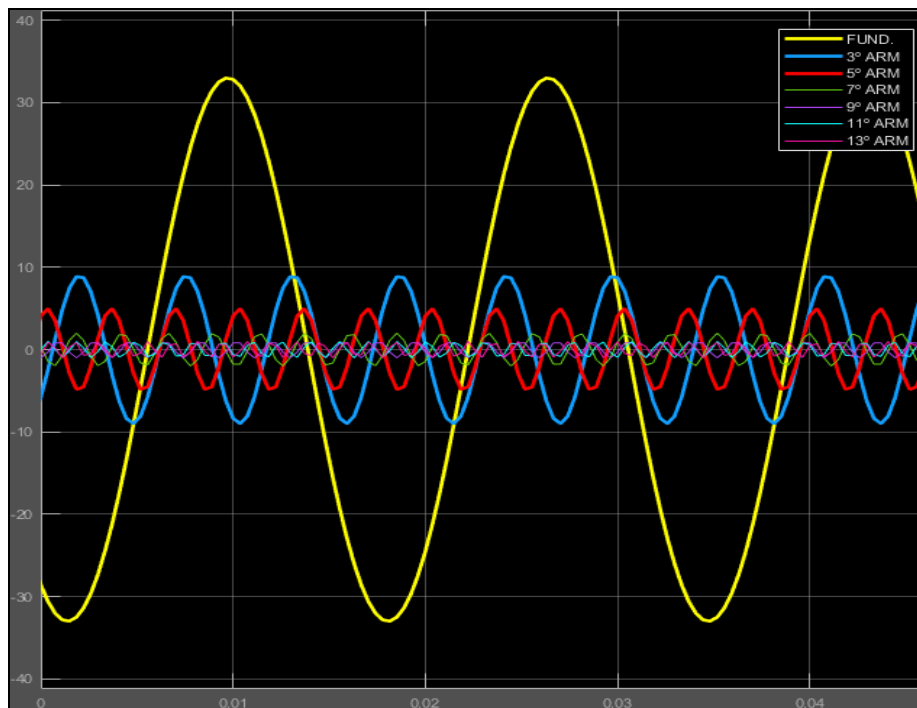


Figura 49. Ondas de corriente descompuestas de la línea 3, totalizador 1.

4.3.3 Simulación del resultado de la corriente agregando un filtro de armónicos. Con la implementación de un filtro el contenido de armónicas presentes en el suministro eléctrico se verá muy reducido; en la simulación solo se considera el orden de los armónicos que están

generando una sobre distorsión.

La operación que realiza el filtro es censar las líneas de corriente y determinar la onda de corriente resultante que debe generar por línea para suplir los armónicos, la simulación se hizo de esa manera, se identificaron los armónicos y sus formas de onda, se sumaron y las ondas que resultaron se le restaron al circuito alimentador para disminuir la distorsión en este, el esquema de conexiones realizado se observa en la figura 50.

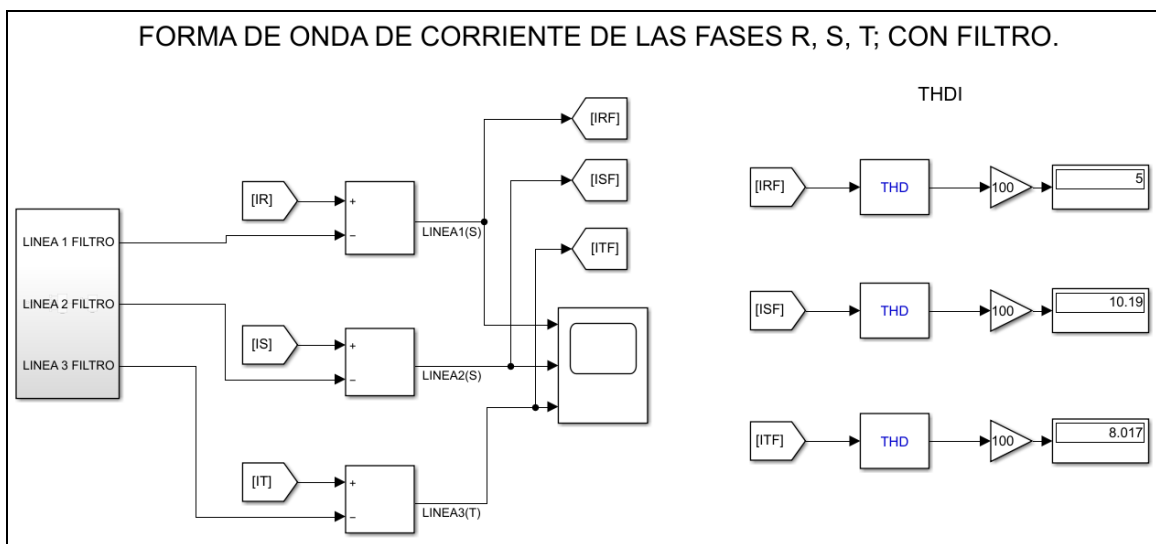


Figura 50. Esquema de conexiones para aplicarle el filtrado a la onda de corriente del totalizador 1.

En la figura 50 se puede ver en los indicadores que el valor de THDI de cada línea se reduce y las formas de onda se observan en la figura 51.

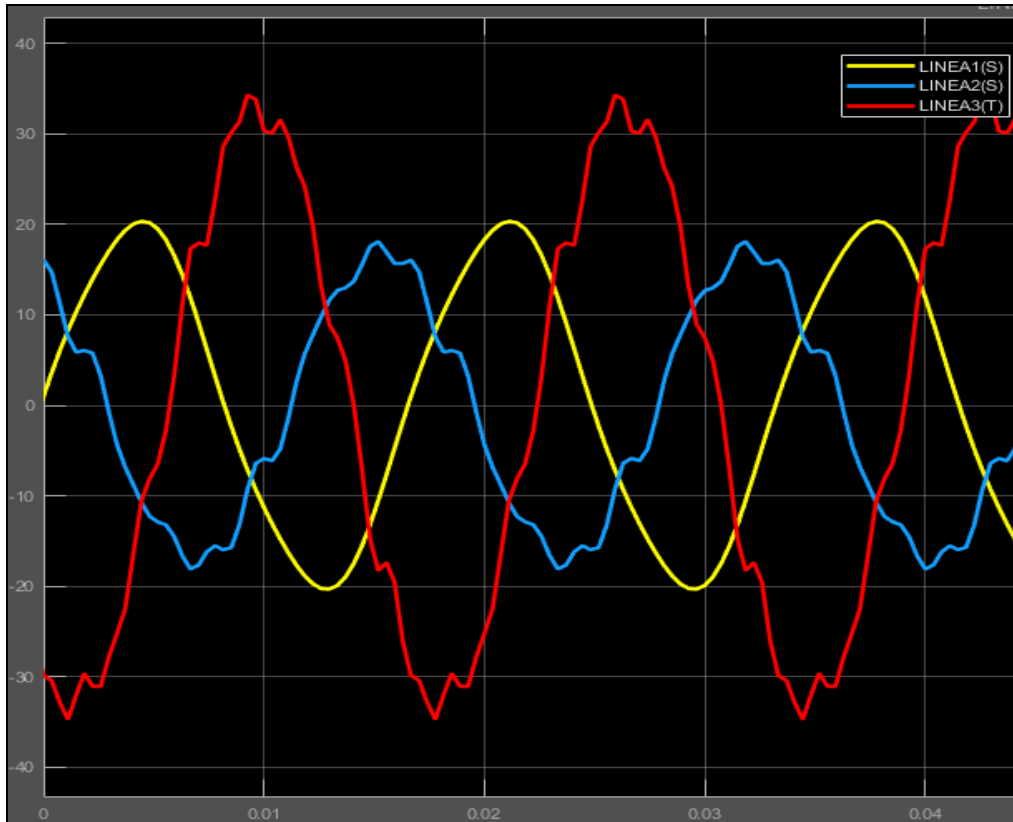


Figura 51. Forma de onda de corriente del totalizador 1 con filtro.

Como se puede observar en la figura 51 las ondas tienden a ser más senoidales y con menos distorsión respecto a la figura 45, y el resultado puede mejorar si se consideran más ordenes de armónicos en el filtro, en el anexo 6 se adjuntó el archivo de las simulaciones realizadas.

4.3.4 Especificaciones básicas del filtro de armónicos requerido. Según lo visto en las ondas de corriente se propone el diseño de un filtro de armónicos activo que será el encargado de aportar las corrientes armónicas exigidas por la carga, y de esta forma evitar que estas circulen en el circuito de alimentación.

El filtro recomendado es de tipo activo debido a que las cargas son variables y estos filtros se adaptan a cualquier tipo de carga.

- Operación Básica Necesaria del Filtro Activo en el Totalizador 1

Las armónicas mostradas en la figura 47 y 49 pertenecen al estado de plena carga del circuito eléctrico, lo que indica que el filtro en su estado de operación máxima y entre sus especificaciones básicas deberá tener:

Tabla 22. Especificaciones básicas del filtro activo recomendado

Filtro Activo	
Características	Especificaciones
Tipo de red	trifásica
Frecuencia de red	60 Hz
Corriente de salida máxima RMS	≥ 10 A, por línea
Orden de armónicos	$2 \leq \text{Orden} \leq 30$ o mas

4.4 Plan de mantenimiento y Reestructuración

En base a lo observado y la información recolectada durante toda la ejecución se proponen planes que ayudaran a que el sistema sea más eficiente y ordenado.

4.4.1 Plan de mantenimiento básico. Como se muestra a continuación:

Tabla 23. plan de mantenimiento para el edificio aula sur nuevo

1. Universidad Francisco de Paula Santander					
2. Mantenimiento Programado					
3. Mantenimiento N°:					
4. Objeto	5. Actividad	6. Frecuencia	7. Personal	8. Tiempo	9. Observación
Tableros Eléctricos	Termografía	ANUAL	1 ELECTRICISTA	7 HORAS	
	Cargabilidad	SEMESTRAL	2 ELECTRI.	19 HORAS	
	Limpieza	TRIMESTRAL	2 ELECTRI.	12 HORAS	
Totalizadores de Subestación	Termografía	ANUAL	2 ELECTRI.	2 HORAS	
	Cargabilidad	SEMESTRAL	2 ELECTRI.	20 DÍAS	
	Limpieza	TRIMESTRAL	2 ELECTRI.	2 HORAS	
Transformador	Termografía	ANUAL	2 ELECTRI.	15 MINUTOS	
	Cargabilidad	SEMESTRAL	2 ELECTRI.	7 DÍAS	
	Limpieza	TRIMESTRAL	2 ELECTRI.	2 HORAS	
10. Dpto de Mant:			11. Firma:		

El plan de mantenimiento básico anterior considera los tiempos necesarios para realizar las actividades descritas en el edificio aula sur nuevo que cuenta con 38 tableros eléctricos, la subestación de biblioteca que tiene 21 totalizadores en su tablero general y 1 transformador.

4.4.2 reestructuración recomendada. Como se muestra a continuación:

Tabla 24. Plan de reestructuración en el sistema eléctrico del edificio aula sur nuevo

1. Universidad Francisco de Paula Santander	
2. Plan de Reestructuración	
3. Fecha: _ / _ / _	4. Responsables: Jefe de Mantenimiento eléctrico
5. Acción correctiva: Asegurar la correcta instalación y dimensionamiento de todos los tableros eléctricos en el edificio.	
6. Causa: Calentamiento en los tableros eléctricos y ausencia de sistema de puesta a tierra.	
7. Mano de Obra	
7.1 Actividad: Distribuir proporcional y adecuadamente las cargas de cada tablero, de ser necesario añadir más breakers al tablero eléctrico, además asegurar el correcto sistema de puesta a tierra de cada uno y del edificio Aula sur nuevo en general.	
7.2 Justificación: Existen circuitos que están sobre cargados y por esto se produce calentamiento en los tableros eléctricos, además se observa la ausencia del sistema de puesta a tierra en varios tableros, lo que podría causar daños en los aparatos eléctricos que se suplen del mismo.	
7.3 Tiempo: Se supone un tiempo de 1 semana por tablero eléctrico, durante el desarrollo del proyecto se revisaron 38 tableros, para un total de tiempo de: 38 semanas, aproximadamente 9 meses.	7.4 Herramientas: - Juego de destornilladores. - Multímetro. - Amperímetro. - Alicates.
8. Elaborado Por: _____ 9. Fecha: _____	10. Aprobado por: _____ 11. Fecha: _____

La tabla 24 muestra una adecuación básica propuesta para mejorar la seguridad y rendimiento de las instalaciones, aunque existen algunas inconsistencias en el debido orden que tiene toda la instalación eléctrica, la recomendación se enfoca en las acciones que son más viables, necesarias y de fácil ejecución.

5. Conclusiones

Para realizar un correcto estudio de calidad de la energía es necesario conocer el estado actual de la instalación eléctrica, debido a que en muchas ocasiones se tiende a aumentar las cargas de una manera desproporcionada, sin llevar algún tipo de registro o control, también es importante analizar de manera cuidadosa cada una de las magnitudes que hacen parte de un sistema eléctrico para comprobar que su comportamiento es el adecuado según la normativa correspondiente y finalmente es oportuno aportar recomendaciones según los resultados obtenidos para mejorar el rendimiento eléctrico del suministro en estudio.

La actualización de planos eléctricos fue necesaria debido a que desde el diseño original no se había realizado ningún tipo de actualización a pesar de que si existían muchos cambios en las cargas instaladas de las cuales no se sabía a qué fase(s), tablero y circuito pertenecían, además se observó también que se obvió desde un principio la potencia total de diseño de la subestación la cual requería una potencia igual o superior a 248kva (según los planos eléctricos antiguos) y hoy día la subestación existente es de 225kva, al agregarle a esto la situación actual en la que se han instalado nuevas cargas está claro que no se está dando el cuidado y mantenimiento debido a la subestación eléctrica en estudio.

Se analizaron y evaluaron aspectos como tensiones aceptables, frecuencias aceptables, factor de potencia, potencia, desbalance de tensión, desbalance de corriente, THDI, y fenómenos de calidad como sags, swells, y transitorios. La mayoría de los parámetros mencionados cumplen los límites exigidos, aunque para el desbalance de corriente no hay una norma establecida, es recomendable que sea lo más pequeño posible y se puede mejorar realizando un balanceo general de las cargas del edificio, con respecto al THDI del totalizador 1 se sugiere la implementación del

filtro recomendado para disminuir la distorsión armónica en la corriente.

La simulación se hizo reconstruyendo con datos recolectados una onda de corriente muy aproximada a la mostrada por el analizador Hioki 3197 y facilito la apreciación de las ondas de cada armónico presente y así mismo la manipulación de la corriente total para observar su reacción ante la implementación simulada del filtro de armónicos realizado que redujo la distorsión máxima de un 32% a un 8% en la onda de corriente de la línea 3.

El plan de mantenimiento propuesto fue planteado en base a los hallazgos vistos durante la ejecución del proyecto, pues además de proponer el debido mantenimiento rutinario también se planteó una acción de reestructuración con el fin de reordenar y adecuar los diferentes tableros eléctricos para mejorar características como el desbalance de corriente y brindar mayor protección a los aparatos que demandan electricidad de este suministro, así mismo asegurar la mayor disponibilidad y aprovechamiento posibles de la red eléctrica.

6. Recomendaciones

En primera instancia se recomienda al departamento de mantenimiento de la universidad aplicar los planes de mantenimiento y reestructuración aquí propuestos debido a que incluyen medidas necesarias de realizar en toda subestación y tableros eléctricos y aportan al mejoramiento y cuidado del sistema eléctrico del edificio aula sur nuevo, cabe resaltar que los planes planteados pueden aplicarse también en las demás subestaciones y edificios.

Se recomienda que las futuras instalaciones eléctricas se realicen con una mayor organización incluyendo marcaciones de circuitos y protecciones generales, un totalizador por tablero de distribución para su respectiva protección, cada tablero eléctrico con su puesta a tierra, todo de la mano con la normativa correspondiente a instalaciones eléctricas.

Se recomienda a la universidad francisco de paula Santander adquirir un aparato analizador de calidad de la energía, debido a que no lo tiene y sería útil para futuros proyectos de análisis de calidad en beneficio de la misma universidad y del estudiante pues con este instrumento se complementa el aprendizaje por ejemplo en la electiva Calidad y Energía de la carrera ingeniería electromecánica.

Referencias Bibliográficas

- Alejandro. (2009). *Electricidad Blogspot*. Recuperado de: <https://electricidad-viatger.blogspot.com/2009/05/desequilibrios-de-tension-e-intensidad.html>
- García, L. (2015). *Academia*. Recuperado de:
http://www.academia.edu/20394914/CAPÍTULO_1_FUNDAMENTOS_DE_LA_CALIDAD_DE_LA_ENERGIA
- Leal, S. & Zambrano, S. (2013). *Manual práctico de gestión de mantenimiento*. San Cristóbal: FEUNET .
- Lopez, J. & Ventura, E. (2019). *Repositorio institucional de la universidad del salvador*.
 Recuperado de:
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19500/1/Estudio%20del%20desbalance%20de%20tensiones%20y%20sus%20efectos%20en%20la%20calidad%20del%20producto%20t%C3%A9cnico%20para%20Sistemas%20de%20Distribuci%C3%B3n%20a%20Nivel%20Industrial.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía. (03 de JULIO de 1997). *CREG 108*. Recuperado de:
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/5704b5b3164bd1620525785a007a63c3>
- Ministerio de Minas y Energía. (28 de mayo de 1998). *CREG 070*. Recuperado de:
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-1998-CREG070-98>
- Mora, J. & Cevallos, Y. (2014). *Estudio y análisis de calidad de energía enfocado en nivel de armónicos en el sistema eléctrico de la subestación enfriadora 1 de Holcim Ecuador Planta Guayaquil*. Guayaquil.

Murillo, A. (2011). *Universidad nacional del callao*. Recuperado de:

https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Agosto_2011/MURILLO%20MANRIQUE_FIEE/Desequilibrios%20de%20tensiones.pdf

Navarro, S. & Ramirez, O. (2014). *Estudio y analisis de calidad de energia en los sistemas electricos del aeropuerto internaciona Camilo Daza de Cucuta, Norte de Santander*. Cucuta.

Piumetto, M., Gomez, J. & Vaschetti, J. (2014). *SciELO*. Recuperado de:

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000400012

Rojas, H., Rivas, E. & Jaramillo, A. (2014). *Scielo*. Recuperado de:

<http://scielo.org.co/pdf/inge/v19n2/v19n2a07.pdf>

Romero, R. (2014). *Análisis del impacto de la calidad de potencia en el rendimiento de la produccion en una indistria de bebidas*. Bogotá.

Vásquez, R. (Noviembre de 2003). *Revista electroindustria*. Recuperado de:

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=121>

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica del analizador de potencia EXTECH 382100



Experience the Extech Advantage[®]

PRODUCT DATASHEET

1200A 3-Phase Power Analyzer/Datalogger

✓

Saves data on an SD card in Excel[®] format

For easy transfer to a PC for analysis

Features:

- Large dot-matrix, sun-readable, numerical, backlit LCD
- Full system analysis with up to 35 parameters
 - V (phase-to-phase), V (phase-to-ground)
 - A (phase-to-ground)
 - KW / KVA / KVAR / PF (phase)
 - KW / KVA / KVAR / PF (system)
 - KWH / KVAH / KVARH / PFH (system)
 - Phase angle
- High accuracy autoranging current clamps (0.2A to 1200A)
- 600.0VAC input with CAT III-600V safety rating
- Adjustable Current Transformer (CT) and Potential Transformer (PT) ratio for high power distribution systems
- Log up to 30,000 reading on a removable SD memory card in Microsoft Excel[®] format
- Wide sampling rate range (2 seconds to 2 hours)
- Captured measurements can be imported directly into Excel via the SD memory card
- Easy-to-use onscreen menu
- Easy-to-grab rugged over molded housing

Applications:

- AC Power Quality Evaluation
- Motor/Generator Installation
- Energy Audits



Complete with 3 current clamps, 4 voltage leads with alligator clips, 8 AA batteries, SD memory card, Universal AC adaptor (100 to 240V), and case





Backlit LCD displays numerical values

Specifications	Range	Basic Accuracy
ACV (True rms)	600.0V	±(0.5%rdg+0.5V)
ACA	1200A	±(0.5%rdg+0.5A)
Active Power (MW)	9.999MW	±(1.0%rdg+0.08KW)
Apparent Power (MVA)	9.999MVA	±(1.0%rdg+0.08KVA)
Reactive Power (MVAR)	9.999MVAR	±(1.0%rdg+0.08KVAR)
Power Factor	0.00 to 1.00	±0.04
Frequency Range	45Hz to 65Hz	±0.1Hz
Phase	-180° to +180.0°	±1°
Active Power Energy (MWh)	0.0KWh to 9.999MWh	±(2.0%rdg+0.08KWh)
Apparent Power Energy (MVAh)	0.0KVAh to 9.999MVAh	±(2.0%rdg+0.08KVAh)
Reactive Power Energy (MVARh)	0.0KVARh to 9.999MVARh	±(2.0%rdg+0.08KVARh)
Datalogging	60,000 readings (2GB SD memory Card)	
CE/CAT rating	CE/CAT III-600V	
Dimensions	8.9 x 2.5 x 1.5" (225 x 125 x 64mm)	
Weight	Meter: 2.3lbs (1049g); Clamp: 1.2lbs (522g)	

Anexo 2. Ficha tecnica del analizador de calidad de la energía HIOKI 3197.

Hioki 3197

Medidor de potencia

Folleto



Descripción

Analizador de calidad de la energía eléctrica monofásico y trifásico portátil RMS; el equipo cuenta con interfaces de comunicación USB; con display LCD. Modelo Hioki 3197 Código: 3197

Características

Medidor de potencia - Hioki 3197

- » » Monitor for : Inrush current, Voltage swell, Voltage dips, Transient over-voltage, Interruptions
- » » Measure and record : Power and Power factor, Active/Reactive energy, Demand, Load changes (with graph display), Voltage and current
- » » Single-phase 2-wire, single-phase 3-wire, three-phase 3-wire, three-phase 4-wire
- » » Voltage range 600.0 V AC
- » » Current ranges 500.0 mA to 5.000 kA AC (depends on current sensor in use)
- » » Power ranges 300.0 W to 9.00 MW (depends on combination of current range and line type)
- » » Voltage: $\pm 0.3\%$ rdg. $\pm 0.2\%$ f.s.
- » » Current: $\pm 0.3\%$ rdg. $\pm 0.2\%$ f.s. + current sensor accuracy
- » » Active power: $\pm 0.3\%$ rdg. $\pm 0.2\%$ f.s. + current sensor accuracy (at power factor=1)
- » » RMS Voltage and Current (200 ms calculation)
- » » Voltage (1/2) RMS: one cycle calculation refreshed every half cycle.
- » » Current (1/2) RMS: half-cycle calculation.
- » » Frequency
- » » Active Power/ Reactive Power/ Apparent Power/ Power Factor/ Displacement Power Factor/ Active or Reactive Energy Consumption
- » » Demand (Active or Reactive power)
- » » Up to 50th Harmonic Analysis (Time series measurement or recording is not capable)
- » » Peak Voltage and Current
- » » Total harmonic voltage distortion ratio
- » » Voltage Unbalance Factor
- » » K Factor (Time series recording is not capable)
- » » Total harmonic current distortion ratio (Time series recording is not capable)
- » » Number of Recordable Events 50 event waveforms, 20 event voltage fluctuation graphs, 1 inrush current graph, 1000 event counts
- » » Interface USB 2.0 (Communication to the PC)
- » » Display 4.7-inch color STN LCD