



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE LA
EFICIENCIA Y CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

Propuesta tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingenieros en
Electromecánica

Autores:

Gavilanes Azogue Wilson Efraín

Vega Vega Norma Jessica

Tutor Académico:

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi MSc.

LATACUNGA - ECUADOR

2022



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Gavilanes Azogue Wilson Efrain y Vega Vega Norma Jessica, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, siendo el Ing. MSc. Luis Rolando Cruz Panchi, tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto 2022

Gavilanes Azogue Wilson Efrain

C.I. 180524227-6

Vega Vega Norma Jessica

C.I. 172743211-2



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de tutor del Trabajo Tecnológico sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, de Gavilanes Azogue Wilson Efraín y Vega Vega Norma Jessica, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnico suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2022

Ing. MSc. Luis Rolando Cruz Panchi

C.C. 050259517-6



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe Tecnológico de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Carrera de Ingeniería Electromecánica; por cuanto el o los postulantes: Gavilanes Azogue Wilson Efraín y Vega Vega Norma Jessica, el título de proyecto de titulación: : **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación del Proyecto. Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2022

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Ing. MSc. Carlos Francisco Pacheco Mena

CI: 0503072902

Lector 2

Ing. MSc. Porras Reyes Jefferson Alberto

CI: 0704400449

Lector 3

Ing. MSc. Verónica Paulina Freire Andrade

CI: 0502056229



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Con el presente documento, se pone en constancia que los estudiantes; Gavilanes Azogue Wilson Efraín y Vega Vega Norma Jessica, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, han desarrollado el proyecto tecnológico **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, y realizaron la entrega una estación meteorológica para el laboratorio de energías renovables cumpliendo así los objetivos propuestos al inicio del desarrollo del proyecto.

Sin otro particular autorizo para que usen el presente documento para cualquier fin legal pertinente de la Universidad.

Latacunga, agosto del 2022

**DIRECTOR DE LA CARRERA
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

Ing. MSc. Cristian Fabian Gallardo Molina

C.I: 050284769-2

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por darme un día más de vida y poder seguir gozando de la felicidad junto a las personas que más quiero en este mundo.

Doy gracias a mi padre Julio Gavilanes, mi madre Delia Azogue por ser el motor y apoyo fundamental, tanto económico como moral durante toda mi etapa estudiantil para no darme por vencido, a mi esposa que me ha apoyado y me ha animado a seguir luchando, los cuales han permitido lograr una meta más en mi vida.

También agradecer a pocos docentes de la carrera de Ingeniería Electromecánica, que han puesto empeño para impartir sus conocimientos para mi formación y en especial a los docentes que han tenido voluntad de ayudarnos en la elaboración del proyecto.

Finalmente agradezco a la vida.....

Wilson G.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, a mi ángel Mercedes V. por darme la fuerza para alcanzar uno de mis más anhelados sueños en mi vida.

A mis padres, mi apoyo incondicional y ser los principales promotores de mi sueño, a mi madre por cada día confiar y creer en mí, por estar dispuesta a acompañarme en varias largas y agotadoras noches de estudio en las que sus llegadas de café fueron como agua en el desierto, a mi padre por siempre anhelar lo mejor para mí, porque cada uno de sus consejos fueron un guía para mi vida.

A mis hermanos por siempre estar al pendiente en este proceso de mi formación universitaria y familiares por estar presentes con palabras de aliento.

A mi querida Universidad Técnica de Cotopaxi y docentes, quienes con sus valiosos conocimientos han logrado que pueda crecer día a día en la preparación de mi carrera profesional.

A mi gran amiga Michelle por siempre darme ánimos. A todos mis amigos cercanos, por los buenos momentos que hemos compartido. Gracias a todos quienes depositaron un granito de confianza en mí.

Norma V.

DEDICATORIA

El presente trabajo tecnológico lo dedico especialmente a mis padres y a mi abuelita María C. a mi único hermano Freddy Gavilanes que lo quiero y estimo mucho, a mi esposa Evelyn Supe que la adoro con todo mi corazón que siempre me dio el empujón para no rendirme.

Wilson G.

DEDICATORIA

Este logro especialmente se lo dedico con todo el amor que existe en mi corazón a mis adorados padres, María Vega y Manuel Vega quienes con esfuerzo y sacrificio me dieron lo necesario para que yo pueda estudiar, siempre estaré agradecida papitos, se merecen esto y mucho más.

A mis hermanas, Myrian y Ana, por decirme lo orgullosas que están de mí y apoyarme siempre que lo necesito, las amo mucho, a mi hermano Edwin, por ser un gran amigo y a mis pequeños de la casa, Emily, Jordan, Doménica y Gael que con sus ocurrencias me alegran siempre.

También quiero dedicar este triunfo a mis abuelitos, ellos son un pilar importante en mi vida y a mi ángel en el cielo Mercedes V. que siempre me cuida.

Norma V.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN	vii
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	viii
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
AVAL DE TRADUCCIÓN	xx
INFORMACIÓN GENERAL	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.2. EL PROBLEMA	3
1.2.1. Planteamiento del problema	3
1.2.2. Formulación del problema	4
1.3. BENEFICIARIOS	4
1.4. JUSTIFICACIÓN	4
1.5. HIPÓTESIS	5
1.6. OBJETIVOS	5
1.6.1. Objetivo General	5
1.6.2. Objetivos Específicos	5
1.7. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
1.7.1. Variables	7
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
2.1. ANTECEDENTES	8
2.2. MARCO REFERENCIAL	9
2.2.1. Importancia de la Calidad de Energía Eléctrica	9
2.2.2. Energía	9
2.2.3. Energía Eléctrica	10
2.2.4. Eficiencia Energética	10

2.2.5.	Definición de armónicos	11
2.2.5.1.	Orden de los armónicos	11
2.2.5.2.	Tasa de distorsión individual de armónicos	12
2.2.5.3.	Tasa de distorsión total de armónicos	12
2.2.6.	Aspectos de calidad según la regulación ARCERNNR	12
2.2.7.	Nivel de Voltaje según la regulación ARCERNNR.....	14
2.2.7.1.	Índice de calidad de nivel de voltaje	14
2.2.8.	Distorsión Armónica de Voltaje según regulación ARCERNNR.....	14
2.2.8.1.	Límites de distorsión armónica de voltaje.....	15
2.2.9.	Distorsión armónica de corriente	15
2.2.9.1.	Índice de distorsión armónica de corriente.....	15
2.2.9.2.	Límites de distorsión armónica de corriente	16
2.2.9.3.	Estándar IEEE 519	16
2.2.9.4.	Distorsión Total de Demanda.....	17
2.2.9.5.	Relación de corriente de cortocircuito a la corriente de carga	17
2.2.9.6.	Contenido armónico de corriente	17
2.2.10.	Tipos de Potencias.....	17
2.2.10.1.	Potencia activa.....	17
2.2.10.2.	Potencia reactiva.....	18
2.2.10.3.	Potencia aparente.....	18
2.2.10.4.	Desfase de ángulos	19
2.2.10.5.	Potencia de distorsión.....	20
2.2.11.	Factor de Potencia	20
2.2.11.1	Índice de calidad del factor de potencia	21
2.2.11.2	Límites de factor de potencia según ARCERNNR	21
2.2.11.3.	Cargos por bajo factor de potencia	22
2.2.12.	Curva de carga.....	22
2.2.12.1.	El Consumo Industrial.....	23
2.2.13.	Tipos de Cargas	23
2.2.13.1.	Cargas Lineales	23
2.2.13.2.	Cargas no lineales.....	24
2.2.14.	Variación de voltaje de corta duración de los disturbios.....	26
2.2.14.1.	Sobre voltaje de las variaciones de voltaje.....	26
2.2.14.2.	Bajo voltaje de las variaciones de voltaje	26

2.2.14.3. Impulso de variaciones de voltaje	26
2.2.15. Analizador de Calidad de Energía CVM-A1500	27
3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	27
3.1. METODOLOGÍA	27
3.1.1. Características técnicas del analizador CVM-A1500.....	28
3.1.2. Diagrama de conexión del analizador de red CVM-A1500	28
3.1.3. Protección para el analizador de red CVM-A1500	29
3.1.4. Parámetros de medida del analizador de red CVM-A1500.....	30
3.1.5. Registro del equipo analizador CVM-A1500.....	31
3.1.5.4. Factor de cresta.....	32
3.1.6. Funcionamiento del analizador de red CVM-A1500	33
3.1.7. Módulo DATALOGGER	34
3.1.8. Parámetros de calidad del analizador de red CVM-A1500.....	35
3.1.9. Fasores en el analizador de red CVM-A1500	35
3.1.10. Armónicos en el analizador CVM-A1500.....	36
3.1.11. Demanda y energía de consumo del analizador de red CVM-A1500.....	37
3.1.12. Reseteo de parámetros del analizador de red CVM-A1500	38
3.1.13. Comunicaciones integradas	39
3.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
3.2.1. Descripción de la carga instalada en el sistema de bombeo.....	40
3.2.2. Analizador de red CVM-A1500	40
3.2.3. Implementación del analizador de red CVM-A1500	40
3.2.4. Datos obtenidos por el analizador de red CVM-A1500	42
3.2.4.1. Niveles de voltaje del sistema mediante analizador CVM-A1500.....	42
3.2.4.2. Armónicos de tensión del sistema mediante analizador CVM-A1500	44
3.2.4.3. Armónicos de corriente del sistema mediante analizador CVM-A1500.....	47
3.2.5. Análisis de potencia activa del sistema mediante analizador CVM-A1500	51
3.2.6. Análisis de potencia aparente del sistema mediante analizador CVM-A1500	51
3.2.7. Análisis de potencia reactiva del sistema mediante analizador CVM-A1500	52
3.2.8. Factor de potencia del sistema mediante analizador CVM-A1500.....	53
3.2.9. Análisis de distorsión armónica THD de Voltaje del sistema mediante analizador CVM-A1500.....	54
3.2.10. Análisis de distorsión armónica THD de corriente del sistema mediante analizador CVM-A1500.....	55

3.2.11.	Eficiencia del sistema mediante analizador CVM-A1500	56
3.2.12.	Resumen del sistema mediante analizador CVM-A1500.....	58
3.3.	PRESUPUESTO E IMPACTOS.....	60
3.3.1.	Presupuesto para la elaboración de proyecto	60
3.3.2.	Análisis de impactos.....	61
4.	CONCLUSIONES.....	62
5.	RECOMENDACIONES	63
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	64
7.	ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Beneficiarios de la propuesta tecnológica.....	4
Tabla 1.2: Beneficiarios directos e indirectos	4
Tabla 1.3: Actividades y sistemas de tareas en relación con los objetivos	6
Tabla 1.4: Variable independiente y dependiente	7
Tabla 2.5: Orden de un armónico	12
Tabla 2.6: Distorsión global en voltaje y corriente	12
Tabla 2.7: Límites para el índice de nivel de voltaje.....	14
Tabla 2.8: Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal).....	15
Tabla 2.9: Límites de distorsión armónica de corriente	16
Tabla 2.10: Triángulo de potencias	19
Tabla 2.11: Triángulo de potencias de distorsión.....	20
Tabla 3.12: Relación de bornes del analizador CVMA-1500, parte superior	28
Tabla 3.13: Relación de bornes del analizador CVM-A1500, parte inferior.....	28
Tabla 3.14: Registro de eventos de analizador de red	31
Tabla 3.15: Carga instalada	40
Tabla 3.16: Voltajes en la L1	42
Tabla 3.17: Voltajes en la L2.....	43
Tabla 3.18: Voltajes en la L3.....	44
Tabla 3.19: Armónicos de voltaje en L1	45
Tabla 3.20: Armónicos de voltaje en L2	46
Tabla 3.21: Armónicos de voltaje en L3	47
Tabla 3.22: Armónicos de corriente en L1	48
Tabla 3.23: Armónicos de corriente en L2.....	49
Tabla 3.24: Armónicos de corriente en L3	50
Tabla 3.25: Armónicos THD de voltaje	54
Tabla 3.26: Armónicos THD de corriente	55
Tabla 3.27: Resumen del sistema mediante datos tomados con el analizador de red	59
Tabla 3.28: Presupuesto del proyecto de implementación	60
Tabla 3.29: Gatos indirectos.....	61
Tabla 3.30: Gatos totales	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Descomposición armónica.....	11
Figura 2.2: Triángulo de potencias.....	21
Figura 2.3: Intervalo de tiempo – curva de carga.....	22
Figura 2.4: Curva de carga típica de carga Industrial	23
Figura 2.5: Carga lineal.....	24
Figura 2.6: Curva del comportamiento de una carga lineal	24
Figura 2.7: Carga no lineal.....	25
Figura 2.8: Curva del comportamiento de una carga no lineal	25
Figura 2.9: Impulso de las variaciones de voltaje	26
Figura 2.10: Analizador de calidad de energía.....	27
Figura 3.11: Conexión con o sin transformador de tensión	29
Figura 3.12: Conexión trifásica + neutro con o sin transformadores de tensión.....	29
Figura 3.13: Configuración de TC5 60/5A clase 0.5	30
Figura 3.14: Eventos de calidad	31
Figura 3.15: Pantalla del analizador CVM-A con indicadores LED	33
Figura 3.16: Esquema del conexionado, DATALOGGER – analizador de red	34
Figura 3.17: Procedimiento para el parámetro de calidad	35
Figura 3.18: Procedimiento para el parámetro de fasores	36
Figura 3.19: Pantalla de visualización de fasores	36
Figura 3.20: Procedimiento para el parámetro de armónicos	37
Figura 3.21: Pantalla de visualización de armónicos	37
Figura 3.22: Procedimiento para el parámetro de demanda	38
Figura 3.23: Procedimiento para el reseteo de parámetros	38
Figura 3.24: Pantalla de visualización de parámetros de reseteo.....	38
Figura 3.25: Conexión RS-485	39
Figura 3.26: Conexión Ethernet	39
Figura 3.27: Diagrama de conexión	41
Figura 3.28: Conexión del analizador de red	41
Figura 3.29: Nivel de tensión L1.....	42
Figura 3.30: Nivel de tensión L2.....	43
Figura 3.31: Nivel de tensión L3.....	44
Figura 3.32: Armónicos de tensión L1	45
Figura 3.33: Armónico de tensión L2	46

Figura 3.34: Armónico de tensión L3	47
Figura 3.35: Armónico de corriente L1	48
Figura 3.36: Armónico de corriente L2.....	49
Figura 3.37: Armónico de corriente L3.....	50
Figura 3.38: Potencia activa del sistema en 7 días	51
Figura 3.39: Potencia aparente del sistema en 7 días	52
Figura 3.40: Potencia reactiva del sistema en 7 días.....	53
Figura 3.41: Factor de potencia del sistema en 7 días.....	53
Figura 3.42: THD V% en 7 días.....	54
Figura 3.43: THD I% en 7 días	55
Figura 3.44: Potencia reactiva generada	56
Figura 3.45: Potencia reactiva consumida.....	56
Figura 3.46: Eficiencia de la bomba 1	57
Figura 3.47: Eficiencia de bombas 2, 3 y 4.....	58
Figura 3.48: Eficiencia de bombas 5 y 6.....	58

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (2.1) Tasa de distorsión individual de armónicos de tensión.....	12
Ecuación (2.2) Tasa de distorsión individual de armónica de corrientes.....	12
Ecuación (2.3) Índice de calidad de nivel de voltaje	14
Ecuación (2.4) Armónico de corriente en intervalo de minutos.....	16
Ecuación (2.5) Factor de distorsión individual de corriente de armónicos.....	16
Ecuación (2.6) Factor de distorsión de demanda total.....	16
Ecuación (2.7) Potencia activa	17
Ecuación (2.8) Potencia reactiva	18
Ecuación (2.9) Potencia aparente	19
Ecuación (2.10) Potencia de distorsión	20
Ecuación (2.11) Factor de potencia	21
Ecuación (2.12) Cargos por bajo factor de potencia.....	22
Ecuación (3.13) Desequilibrio de tensión en sistemas trifásicos.....	32
Ecuación (3.14) Desequilibrio de corriente en sistemas trifásicos	32
Ecuación (3.15) Factor de cresta	32



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Autores:

Gavilanes Azogue Wilson Efrain

Vega Vega Norma Jessica

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica tiene como objetivo la implementación de un sistema de adquisición de datos para el análisis de la eficiencia y calidad de la energía del sistema de bombeo, a través del registro de mediciones de los diferentes parámetros eléctricos, para determinar el estado actual y el comportamiento del sistema de bombeo. El estudio surge por la necesidad de analizar los parámetros de calidad y eficiencia del suministro de energía eléctrica en la barra que alimenta a dicho sistema, limitando el monitoreo de los parámetros eléctricos, la metodología utilizada es de carácter aplicativo con el uso de fuentes bibliográficas, experimental y de campo, con el uso del analizador de redes CVM-A 1500, el cual permitió analizar el comportamiento de la red, en un lapso de 7 días, como establece la regulación Agencia de Regulación y Control de Energías y Recursos Naturales No Renovables, partiendo del 7 de julio de 2022 al 13 de julio de 2022, en un horario de 7 am – 19 pm, mediante el cual se procedió a la adquisición de datos en formato Excel para la obtención del comportamiento de cada uno de los parámetros eléctricos, en donde se obtuvo un promedio de nivel de voltaje en la L1 de 130,94 V, L2 131,66 V, y en la L3 131,66 V, al analizar los datos de armónicos de tensión se determinó que en el transcurso de los 7 días refleja un promedio de 0,410 % en la L1, promedio de 0,382 % en la L2 y 0,561 % en la L3, mismo que se encuentra en el límite establecido del 5 %. En el análisis de los armónicos de corriente se determinó que en la L1 2,294 %, en la L2 2,291 % y en la L3 2,2 %, mismo que están entre los límites establecidos del 4 %, al analizar la potencia activa se determinó que el sistema se encuentra desbalanceado en un 4,44 %, es decir, el sistema se encuentra por en el rango establecido del 5 %. Entre las conclusiones destaca que los parámetros de calidad del sistema de bombeo se encuentran en el rango establecido por el ARCERNR 002/20.

Palabras claves: eficiencia, calidad, analizador de redes, sistema eléctrico.



COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: IMPLEMENTATION OF A SYSTEM TO OBTAIN THE EFFICIENCY AND QUALITY OF ENERGY IN THE PUMPING SYSTEM OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

Authors:

Gavilanes Azogue Wilson Efrain

Vega Vega Norma Jessica

ABSTRACT

The objective of this technological proposal is the implementation of a data acquisition system for the analysis of the efficiency and quality of the energy of the pumping system, through the recording of measurements of different electrical parameters, to determine the current status and behavior of the pumping system. The study arose from the need to analyze the parameters of quality and efficiency of the power supply in the bar that feeds the system, limiting the monitoring of electrical parameters, the methodology used is of an applicative nature with the use of bibliographic, experimental and field sources, with the use of the CVM-A 1500 network analyzer, which allowed analyzing the behavior of the network, in a period of 7 days, as established by the regulation Agency for Regulation and Control of Energy and Non-Renewable Natural Resources, Starting from July 7, 2022 to July 13, 2022, from 7 am to 19 pm, through which we proceeded to the acquisition of data in Excel format to obtain the behavior of each of the electrical parameters, where an average voltage level was obtained in the L1 of 130, 94 V, L2 131.66 V, and in L3 131.66 V, when analyzing the voltage harmonics data it was determined that during the 7 days it reflects an average of 0.410 % in L1, average of 0.382 % in L2 and 0.561 % in L3, which is within the established limit of 5 %. In the analysis of current harmonics it was determined that in L1 2.294 %, in L2 2.291 % and in L3 2.2 %, which are between the established limits of 4 %, when analyzing the active power it was determined that the system is unbalanced in 4.44 %, that is, the system is within the established range of 5 %. Among the conclusions, it is worth mentioning that the quality parameters of the pumping system are within the range established by ARCERNNR 002/20.

Key words: efficiency, quality, network analyzer, electrical system.



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en forma legal CERTIFICO que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del trabajo de titulación cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE LA EFICIENCIA Y CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.”** presentado por: **Gavilanes Azogue Wilson Efrain y Vega Vega Norma Jessica**, estudiantes de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, septiembre del 2022

Atentamente,

Mg. Marco Beltrán



CENTRO
DE IDIOMAS

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502666514

INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Implementación de un sistema para la obtención de la eficiencia y calidad de energía en el sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fecha de inicio: Abril 2022.

Fecha de finalización: Agosto 2022.

Lugar de ejecución: Zona 3, parroquia Eloy Alfaro, barrio San Felipe, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado: Energías Alternativas

Equipo de Trabajo:

Tutor: Ing. MSc. Luis Rolando Cruz Panchi

Celular: 0984518484

Cédula de Ciudadanía: 050259517-6

Correo electrónico: luis.cruz@utc.edu.ec

Ponente uno del proyecto de investigación:

Nombre: Wilson Efraín Gavilanes Azogue

Cédula de Ciudadanía: 1805242276

Correo electrónico: wilson.gavilanez2276@utc.edu.ec

Ponente dos del proyecto de investigación:

Nombre: Norma Jessica Vega Vega

Cédula de Ciudadanía: 172743211-2

Correo electrónico: norma.vega2112@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Campo Amplio:

- 07-Ingeniería, Industria y Construcción

Campo Específico:

- 071-Ingeniería y Profesiones Afines

Campo Detallado:

- 0713-Electricidad y Energía.
- 0714-Electrónica y Automatización

Línea de investigación:

De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, línea 6: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental. El proyecto está inmerso en la implementación de un sistema de adquisición de datos para el análisis de calidad de energía en la barra que alimenta al sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

- Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

El proyecto de investigación se acoge a las anteriores líneas y sublíneas de investigación, al encontrarse como directrices principales en el monitoreo de parámetros eléctricos relacionados con la ingeniería energética, a través del conocimiento de las áreas de los sistemas mecatrónicos, electromecánicos y electrónicos.

1. INTRODUCCIÓN

1.2. EL PROBLEMA

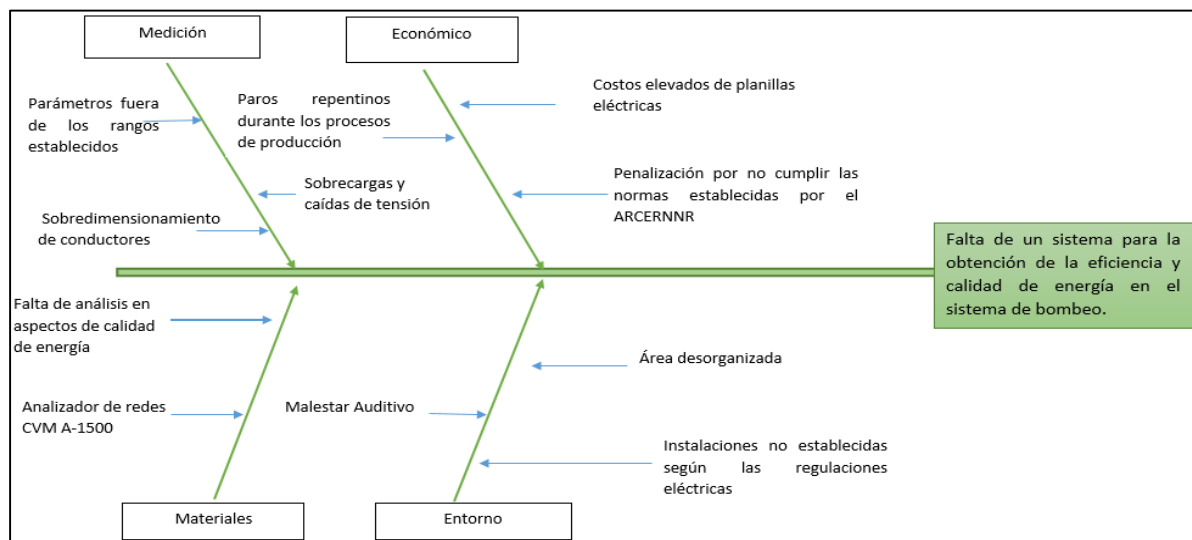
1.2.1. Planteamiento del problema

Como parte de la política de mejora continua establecida en los distintos documentos de la Universidad Técnica de Cotopaxi, que, al ser una institución de Educación Superior, debe caracterizarse por su investigación en innovación y mejoras como aporte a la sociedad.

Se realizó el análisis en el área del sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con el fin de comprender el comportamiento actual del sistema y plantear nuevas alternativas que proporcionen eficiencia en calidad de energía. Al no contar la Universidad con equipos preciso de alta gama con una tecnología de tipo ITF, necesarios para el análisis de calidad de energía, como son los analizadores de redes y programas de estudio que permitan el control y la supervisión de parámetros eléctricos en diferentes tipologías de red: monofásico, bifásico, trifásico, se ha rezagado este tipo de estudio.

Debido a la falta de análisis óptimos de calidad de energía en el área del sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se puede presentar una gran variedad de perturbaciones eléctricas, tales como, distorsiones armónicas de corriente, distorsiones armónicas de tensión, entre otras variables lo cual puede provocar interrupciones en el desempeño energético y fallas en elementos eléctricos. Con el fin de evitar este tipo de problemas fue necesario utilizar un equipo analizador de redes con calidad de suministro, especializado en la medición de parámetros eléctricos, por lo cual, es importante realizar un estudio de calidad de energía en el área del sistema de bombeo, mismo que pueda determinar si existen perturbaciones y proponer soluciones a los principales factores eléctricos desfavorables que puedan estar presentes en la red eléctrica.

Diagrama Causa-Efecto



1.2.2. Formulación del problema

Con la implementación de un sistema para la obtención de datos se podrá determinar la eficiencia y calidad de la energía en el sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

1.3. BENEFICIARIOS

En la tabla 1.2 se especifica los beneficiarios directos e indirectos ya que, al conseguir una óptima calidad de energía eléctrica, se obtiene un servicio eléctrico continuo, evitando una penalización por bajo factor de potencia y un alto consumo en la planilla eléctrica.

Tabla 1.1: Beneficiarios de la propuesta tecnológica

Alumnos de 1er semestre en adelante	Alumnos de nivelación	Docentes	Empleados
10.500	1.080	350	182
Total			12.112

Tabla 1.2: Beneficiarios directos e indirectos

Beneficiarios Directos	Personal del área de las líneas de investigación de Energías Renovables, eficiencia energética y protección ambiental.
Beneficiarios Indirectos	Estudiantes y Docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi – La Matriz.

Fuente: Universidad Técnica de Cotopaxi

1.4. JUSTIFICACIÓN

La siguiente propuesta tecnológica es de interés para la comunidad universitaria, debido a que ayudará a determinar datos reales sobre la eficiencia y calidad energética, con la finalidad de evaluar y establecer posibles soluciones a los factores eléctricos perjudiciales, ya que reconoce nuevas alternativas en el campo de energías renovables, mediante el cual se puede aprovechar el suministro eléctrico, previo a su implementación en la realidad.

En esta investigación se ha identificado un problema es cuál es la falta de un sistema para el análisis del comportamiento eléctrico del sistema de bombeo, por lo cual a partir de la implementación de un equipo analizador de redes se permitirá visualizar el comportamiento de las distintas variables eléctricas, además de determinar si existen perturbaciones en el sistema de bombeo.

Para ello se desarrollará la implementación de un equipo analizador de redes que permitirá adquirir datos en tiempo real, mediante el software de licencia libre POWER STUDIO, a través de la comunicación (Ethernet).

Con los análisis obtenidos se puede plantear correcciones técnicas en el área de sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con el fin de optimizar el funcionamiento de dicho sistema.

1.5. HIPÓTESIS

¿Al implementar un sistema que permita la adquisición de datos en el área de cuarto de bombas se podrá determinar la eficiencia y calidad de energía en el de la Universidad Técnica de Cotopaxi?

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo General

Analizar la calidad y eficiencia energética en el área del sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, mediante la implementación de un analizador de redes CVM-A1500 para plantear métodos de solución que disminuyan significativamente los problemas energéticos encontrados.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información mediante fuentes bibliográficas acerca de eficiencia y calidad energética para el análisis de los parámetros eléctricos del sistema de bombeo.
- Instalar un sistema que permita la obtención de parámetros eléctricos mediante la medición de variables para el análisis de armónicos en la barra de alimentación.
- Analizar los datos obtenidos durante 7 días de operación constante mediante el equipo analizador de redes para la verificación de eficiencia y pérdidas energéticas en el sistema de bombeo.
- Evaluar los datos obtenidos si están en los límites de los parámetros establecidos por el ARCERNNR 002/20.

1.7. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 1.3: Actividades y sistemas de tareas en relación con los objetivos

Objetivos específicos	Actividad (Tareas)	Resultado de la actividad	Técnicas e instrumentos
<p>Recopilar información mediante fuentes bibliográficas acerca de eficiencia y calidad energética para el análisis de los parámetros eléctricos del sistema de bombeo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión bibliográfica en investigaciones publicadas en revistas indexadas. • Análisis de datos técnicos respecto a los equipos. 	<p>Redacción de los principales hallazgos y resultados en investigaciones referentes a eficiencia y calidad energética.</p>	<p>Revisión bibliográfica y documental</p>
<p>Instalar un sistema que permita la obtención de parámetros eléctricos mediante la medición de variables para el análisis de armónicos en la barra de alimentación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Efectuar el análisis de las cargas instaladas y las mediciones del sistema eléctrico. • Instalación de un analizador de redes en el sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi. 	<p>Datos eléctricos que permita identificar y analizar los armónicos presentes en la barra de alimentación.</p>	<p>Aplicación instrumental</p>

<p>Estudiar los datos obtenidos durante 7 días de operación constante mediante el equipo analizador de redes para la verificación de eficiencia y pérdidas energéticas en el sistema de bombeo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de datos adquiridos y cálculos respecto a la eficiencia del sistema eléctrico. • Extracción y registro de los datos de operación del analizador de redes instalado en el sistema de bombeo. 	<p>Informe y presentación de los principales parámetros eléctricos encontrados al utilizar el analizador de redes en el sistema de bombeo.</p>	<p>Estudio observacional</p>
<p>Evaluar los datos obtenidos si están dentro de los parámetros establecidos por el ARCENNR 002/20.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los datos obtenidos por el sistema. • Comparación de los datos obtenidos con los indicadores establecidos por el ARCENNR 002/20 	<p>Check list o lista de cumplimiento.</p>	<p>Estudio comparativo</p>

1.7.1. Variables

Tabla 1.4: Variable independiente y dependiente

<p>Variable independiente</p>	<p>Implementación de un sistema de adquisición de datos.</p>
<p>Variable dependiente</p>	<p>Análisis de la eficiencia y calidad de energía en el sistema de bombeo.</p>

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES

Hoy en día el estudio sobre eficiencia y calidad de energía ha tomado más relevancia en varias investigaciones en las diferentes áreas de la industria, ya que han percibido cambios en la red eléctrica debido a la presencia de fenómenos eléctricos, mismos que provocan el mal funcionamiento o acorte de la vida útil de los equipos electrónicos/eléctricos, dando de esta manera pérdidas posiblemente muy importantes como son económicas y deficiencia o paradas inesperadas de las maquinarias dentro del sector industrial [1].

En la propuesta de investigación realizado por en el 2019 en la empresa FLORÍCOLA AGRORAB CIA LTDA. ubicada en el cantón Pujilí, se basó análisis de calidad de energía eléctrica en el sistema eléctrico de dicha empresa, con el propósito de mejorar la calidad del suministro de energía eléctrica establecer el estado de la florícola para verificar el correcto funcionamiento de los parámetros eléctricos mediante la utilización de analizador de redes, según las normas estipuladas por regulación del ARCERNNR [2].

Según Lema y Zapata en su proyecto de titulación, que determina que la calidad de la energía Como: "Las características físicas del suministro eléctrico que debe llegar al cliente condiciones normales sin interferencias ni interrupciones. La calidad de la energía eléctrica es Interrupciones, sobretensiones y distorsiones provocadas por armónicos en la red Variación de voltaje RMS suministrado al usuario. Esto se refiere a la estabilidad del voltaje. Frecuencia y continuidad de la red. alrededor del 55 % de la energía producida es consumida por el sector industrial y comercial [3].

El análisis energético realizado por Christian Velasteguí en 2 017, en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se basó en regulaciones nacionales (INEN 2506) e internacionales (ISO 50001) que controlan los estándares de calidad de la energía eléctrica. Aplicó parámetros de eficiencia energética alcanzando una reducción hasta del 20 % en cuanto a consumo energético, permitiendo así un ahorro anual estimado de KWh/año [4].

La creciente utilización de equipo electrónico sensible a las perturbaciones electromagnéticas y el uso de equipos que presentan un comportamiento no lineal ante las ondas de tensión y corriente, han generado entre los consumidores y operadores de red un progresivo interés por la calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica; así mismo, en el caso particular de

Ecuador, la implementación de nuevas leyes y normativas relacionadas con los servicios públicos, dieron un giro al servicio de energía al introducir el concepto de competencia en este sector económico, lo cual ha permitido al usuario exigir al proveedor unas condiciones óptimas en la prestación del servicio. A pesar de lo anterior, en Ecuador son escasos los estudios relacionados con el tema [5].

A nivel internacional, la normativa relacionada con la calidad de la energía eléctrica se encuentra más avanzada, gracias a instituciones como la IEC y la IEEE que han implementado normas y estándares como es el ARCENNR 002/20 [6].

2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.1. Importancia de la Calidad de Energía Eléctrica

La calidad de la energía eléctrica se basa en la mejora de los eventos relacionados con las perturbaciones de voltaje, fluctuaciones en la corrientes o frecuencia, mismos que pueden afectar el rendimiento y vida útil de las máquinas conectadas en el sistema eléctrico. Éstos eventos pueden causar interrupción y a su vez suspender de manera temporal los procesos industriales asociados con el aumento de los costos producción, lo que a su vez conduce a cambios en el funcionamiento normal de la línea de producción. producción donde el producto se ve afectad [7].

2.2.2. Energía

La energía ha constituido una de las piezas claves para el desarrollo del ser humano. El hombre, desde el principio de su existencia, ha necesitado la energía para subsistir y avanzar. La energía es la capacidad de los cuerpos para poder realizar todo tipo de trabajo y producir cualquier tipo de cambios en otros cuerpos o ellos mismos. Es decir, el concepto de energía se define como la capacidad de hacer que las cosas funcionen. La unidad de medida que utilizamos para medir la energía es el joule (J), en honor al físico inglés James Prescott Joule.

Energía hace referencia a la capacidad inherente que tienen los organismos o cuerpos para llevar a cabo todo tipo de trabajo, cambio o movimiento que conlleva a la transformación de algo. La palabra energía se emplea en diferentes áreas como la economía, física, la química y tecnología, entre otros. Su acepción es variable, de allí que la energía se relacione con las ideas de almacenamiento, movimiento, fuerza, funcionamiento o transformación [8].

2.2.3. Energía Eléctrica

La energía eléctrica es el movimiento producido por los electrones. Definimos energía eléctrica o electricidad como la forma de energía que resulta de la presencia de una diferencia de potencial entre dos puntos. Cuando estos dos puntos se los pone en contacto mediante un conductor eléctrico adquirimos una corriente eléctrica. La electricidad tiene muchas aplicaciones técnicas. Muchos de los fenómenos relacionados con la electricidad pueden medirse y calcularse previamente con una gran precisión.

También podemos decir que la energía eléctrica, energía generada a través de la conversión de diferentes formas de energía, como energía química mecánica y térmica. La energía eléctrica no tiene rival para muchos usos, como la iluminación, el funcionamiento de la computadora, la energía motriz y las aplicaciones de entretenimiento. Para otros usos es competitivo, como para muchas aplicaciones de calefacción industrial, cocina, calefacción y tracción ferroviaria. [9]

La energía eléctrica se caracteriza por el flujo o corriente de carga eléctrica y tensión o el potencial de carga que genera para entregar dicha energía. Un valor dado de potencia puede ser producido por cualquier combinación de valores de corriente y voltaje. Si la corriente es de forma directa, la carga electrónica avanza siempre en la misma trayectoria a través del dispositivo que recibirá la energía. Si la corriente está alternando, la carga electrónica se mueve hacia adelante y hacia atrás en el dispositivo y en los cables conectados a él. Para muchas aplicaciones, cualquiera de los dos tipos de corriente es adecuado, pero la corriente alterna (CA) es la más ampliamente disponible debido a la mayor eficiencia con la que se puede generar y distribuir. Se requiere una corriente continua (CC) para ciertas aplicaciones industriales, como la galvanoplastia y los procesos electrometalúrgicos y para la mayoría de los dispositivos electrónicos [10].

2.2.4. Eficiencia Energética

La eficiencia energética se basa principalmente al consumo inteligente de la energía. Es decir, satisfacer las necesidades con la menor energía posible. Las fuentes de energía son limitadas y la demanda está creciendo. En este sentido, el uso correcto se presenta como el crecimiento económico potencial y la sostenibilidad de un país. Dado que la inversión productiva requiere electricidad, sin la cual cesaría la actividad de producción planificada, no se pueden hacer proyecciones válidas de crecimiento económico sin aumentar la disponibilidad de electricidad. La eficiencia energética se refiere al consumo inteligente de energía, es decir, a satisfacer las necesidades con la menor cantidad de energía, y es uno de los medios que conducen a la mejora

ambiental, al uso y al ahorro de energía. Para reducir el consumo, la gestión eficiente de la energía es necesaria y debe incluirse en los objetivos administrativos. Esto no solo ayuda a reducir el impacto ambiental, sino que también mejora la relación costo-beneficio económico. Se ha desarrollado un plan para reducir el consumo de energía mediante el uso sostenible y responsable de los recursos para lograr la eficiencia energética, sin reducir el servicio ni mantener el mismo nivel de desempeño [11].

2.2.5. Definición de armónicos

Cargas no lineales como; rectificadores, convertidores de frecuencia, variadores de velocidad, hornos, entre otros, para absorber las corrientes coloidales asíncronas de la red. Este fue creado por componente principal con una frecuencia de 50 o 60 Hz, más una serie de corrientes aplicadas la frecuencia, el múltiplo fundamental, que llaman armónicos eléctricos, produce importantes costes económicos y técnicos.

Las frecuencias armónicas en la red eléctrica son una causa frecuente de problemas de calidad de la energía, lo que resulta en un aumento del calentamiento en los equipos y conductores, fallas en los variadores de velocidad y pulsaciones de torque en los motores, en la figura 1.1 se puede observar la descomposición armónica [12].

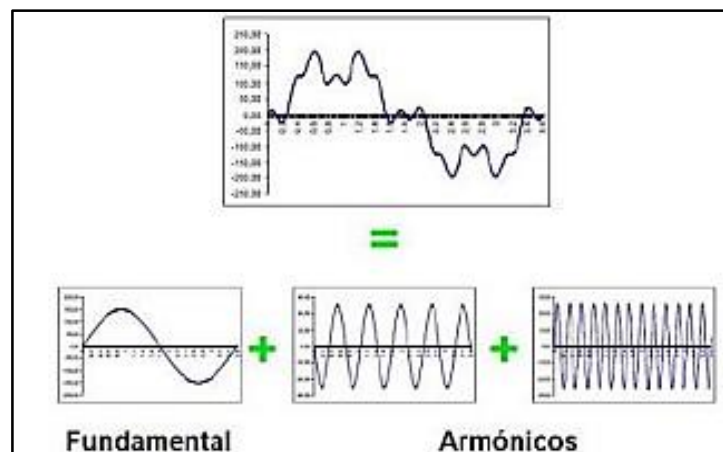


Figura 1.1: Descomposición armónica

2.2.5.1. Orden de los armónicos

La relación entre la frecuencia armónica y la fundamental determina con qué frecuencia armónica supera o excede la frecuencia fundamental como se muestra en la tabla 2-5.

Tabla 2.5: Orden de un armónico

Orden armónico	Frecuencia de la red	
	50Hz	60Hz
3	150Hz	180 Hz
5	250 Hz	300 Hz
7	350 Hz	420 Hz
11	550 Hz	660 Hz

2.2.5.2. Tasa de distorsión individual de armónicos

La tasa de distorsión es expresada en tanto por ciento, utilizando el valor eficaz de un armónico de corriente o tensión U_n o I_n y el valor eficaz de la correspondiente componente fundamental, mediante la ecuación 2.1 para tensión y la ecuación 2.2 para la corriente.

$$U_n(\%) = \frac{U_n}{U_1} \times 100 \quad (2.1)$$

$$U_n(\%) = \frac{I_n}{I_1} \times 100 \quad (2.2)$$

2.2.5.3. Tasa de distorsión total de armónicos

La relación entre el valor eficaz del residuo armónico en tensión o corriente y el correspondiente valor eficaz de la componente fundamental. En la tabla 2.6 se muestra la distorsión global en corriente y voltaje, para ello se define la tasa de distorsión total o THD [12].

Tabla 2.6: Distorsión global en voltaje y corriente

Tasa de distorsión global en corriente THD I	Tasa de distorsión global en tensión THD U
$\text{THD I}(\%) = \sqrt{\frac{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots + I_n^2}{I_1^2}}, 100$	$\text{THD U}(\%) = \sqrt{\frac{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + \dots + U_n^2}{U_1^2}}, 100$

2.2.6. Aspectos de calidad según la regulación ARCERNR

En el Ecuador la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (Regulación No. ARCERNR - 002/20), tiene por objetivo establecer los indicadores, índices y límites de la calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica.

La calidad del servicio de energía eléctrica será evaluada considerando los siguientes índices e indicadores:

- Calidad del Producto
- Calidad de Servicio Comercial
- Calidad de Servicio Técnico

La calidad del Producto tiene que ver con la forma de onda de voltaje proporcionada por el distribuidor y tiene las características de niveles de tensión, variaciones rápidas de tensión y armónicos. Mientras que la Calidad de Servicio Técnico coordina la continuidad de los servicios eléctricos y se caracteriza por la frecuencia y duración de los cortes de energía. Y la Calidad del Servicio Comercial se encarga de la regulación o control de las solicitudes y reclamamos de facturación y medición [13].

En el presente estudio se hará referencia únicamente a la Calidad del Producto de esta regulación, para lo cual se hace referencia a cada uno de los ítems establecidos por la regulación con respecto a la Calidad del Suministro Eléctrico de la Industria. En Regulación No. ARCERNR - 002/20, se hace referencia a que la Calidad del Producto abarca los siguientes puntos.

- Nivel de tensión
- Perturbaciones rápidas de tensión
- Distorsión armónica de voltaje
- Desequilibrio de voltaje

La calidad de suministro eléctrico es la normalización del abastecimiento eléctrico mediante reglas que fijan los niveles y parámetros básicos, forma de onda, armónico, niveles de distorsión armónica, interrupciones, etc. Se puede indicar que existe un problema de calidad de la energía eléctrica cuando ocurre cualquier desorientación de la tensión (voltaje), la corriente o la frecuencia que induzca la mala operación de los equipos de uso final y perjudique la economía o el bienestar de los usuarios; asimismo cuando ocurre alguna interrupción del flujo de energía eléctrica [14].

2.2.7. Nivel de Voltaje según la regulación ARCERNNR

Los rangos de nivel de voltaje permitidos son los siguientes:

Tabla 2.7: Límites para el índice de nivel de voltaje

Nivel de Voltaje	Rango Admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	±5,0 %
Medio Voltaje	± 6,0 %
Bajo Voltaje	± 8,0 %

2.2.7.1. Índice de calidad de nivel de voltaje

El índice de calidad del nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con la siguiente ecuación 2.3.

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 \quad (2.3)$$

Índice de calidad del nivel de voltaje en un punto del sistema.

Dónde:

ΔV_k = Variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto k .

V_k = Voltaje de suministro en el punto k , determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

V_N = Voltaje nominal en el punto k .

2.2.8. Distorsión Armónica de Voltaje según regulación ARCERNNR

La distorsión armónica se refiere a la deformación periódica de la señal de voltaje (THDv) o la señal de corriente (THDi), que influye en la calidad de la energía de `armonicas3.jpeg`, causando que la corriente no llegue en su forma ideal, es decir, en una onda sinusoidal, lo que resulta en daños en el equipo y la pérdida consiguiente.

Esta distorsión se produce debido al uso de cargas no lineales, tales como: computadoras, inversores, inversores de frecuencia, robots, iluminación led, entre otros [14].

2.2.8.1. Límites de distorsión armónica de voltaje

Estos dispositivos son alimentados por una señal de voltaje sinusoidal con una frecuencia de 60 Hz. Sin embargo, también demandan corrientes de diferentes frecuencias múltiples a las de 60 Hz como: 180 Hz, 300 Hz, 420 Hz, etc.

En la tabla 2.8 se puede visualizar los límites máximos de distorsión armónica de voltaje.

Tabla 2.8: Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal)

Nivel de Voltaje	Factor de distorsión Armónica individual	THD(%)
Bajo Voltaje	5,0	8,0
Medio Voltaje	3,0	5,0
Alto Voltaje (Grupo 1)	1,5	2,5
Alto Voltaje (Grupo 2)	1.0	1,5

La distribuidora cumple con un factor de distorsión armónica individual de voltaje o tensión y con el factor de distorsión armónica total de voltaje en un lugar específico de medición, cuando el 95 % o más de los valores registrados, en todas y cada una de las fases, en el período de evaluación mínimo de siete (7) días continuos, son menores a los límites máximos que están establecidos [14].

2.2.9. Distorsión armónica de corriente

Las armónicas de corriente son establecidas por cargas no lineales que absorben corrientes en impulsos violentos en vez de hacerlo suavemente en forma de onda sinusoidal. Estos impulsos suelen crear ondas de corriente de una manera distorsionadas, que producen a su vez corrientes armónicas, de retorno hacia otras partes del sistema de suministro eléctrico.

Esta práctica recomendada pretende establecer una metodología para el diseño de sistemas eléctricos que incluyen cargas tanto lineales como no lineales. El voltaje y se describen las formas de onda actuales que pueden existir en todo el sistema. Se muestra la tabla con los límites de contenido armónico señalados en la guía [15].

2.2.9.1. Índice de distorsión armónica de corriente

Se evaluará la distorsión armónica individual de corriente mediante la ecuación 2.4 y la distorsión de demanda total, conforme a los índices 2.5 y 2.6.

$$I_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (I_{h,i})^2} * 100 \% \quad (2.4)$$

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_L} * 100 \% \quad (2.5)$$

$$TDD_k = \left[\frac{1}{I_L} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,k})^2} \right] * 100 \% \quad (2.6)$$

$I_{h,k}$ = Armónica de corriente h en el intervalo k de minutos.

$I_{h,i}$ = Valor de corriente (rms) de la armónica de corriente h (para $h = 2,3 \dots 50$), medido cada 3 segundos (para $i=1,2,3, \dots 200$)

$DI_{h,k}$ = Factor de distorsión individual de corriente de la armónica h (para $h = 2,3, \dots 50$) en el intervalo k de 10 minutos.

TDD_k = Factor de distorsión de demanda total (armónicos de corriente).

I_L = Corriente máxima de carga a frecuencia fundamental (60Hz).

2.2.9.2. Límites de distorsión armónica de corriente

En la tabla 2.9 se muestra los límites de distorsión armónica individual de corriente [16]

Tabla 2.9: Límites de distorsión armónica de corriente

Límites de Distorsión de Corriente para sistemas de Distribución en General (120V hasta 69.000V)						
Máxima Distorsión de Corriente Armónica en Porcentaje de I_L						
Orden Armónico Individual (Armónicos Impares)						
I_{sc} / I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	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	0,5	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	0,7	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Dónde: **I_{sc}** = Máxima corriente de cortocircuito en el PCC
 I_L = Máxima corriente de carga a frecuencia fundamental (60 Hz)

Los armónicos pares están establecidos al 25 % de los armónicos impares.

2.2.9.3. Estándar IEEE 519

Esta norma norteamericana proporciona amplia información sobre las causas y los efectos de las perturbaciones armónicas en las redes eléctricas. Se enfoca en limitar el contenido armónico de los sistemas de potencia. Establezca por separado el nivel de distorsión armónica máxima para voltaje (responsabilidad del proveedor de energía) y corriente (responsabilidad del consumidor de energía) [16].

2.2.9.4. Distorsión Total de Demanda

TDD es la distorsión armónica establecida en la máxima corriente de demanda (componente primordial). Es una medida de la distorsión armónica total de la corriente en el PCC (punto de conexión común) para la carga total conectada.

2.2.9.5. Relación de corriente de cortocircuito a la corriente de carga

Es la medida de la relación de corriente de cortocircuito disponible en el PCC a la máxima corriente de carga en el mismo punto. Esto es una medida de la exactitud del sistema eléctrico relativo a cualquier tipo de carga.

2.2.9.6. Contenido armónico de corriente

Se calcula en base al porcentaje de las componentes armónicas individuales de la onda de corriente y un exponente que tiene en cuenta el valor del TDD (Total Demand Distortion Factor) de la carga conectada por el agente en el punto de conexión. Para los efectos de esta regla, se consideran armónicos entre el 2 ° y el 30 °, inclusive el mismo [17].

Existen diferentes tipos de potencia con sus propias definiciones y propiedades para analizar la calidad de la energía.

2.2.10. Tipos de Potencias

2.2.10.1. Potencia activa

La potencia que realmente se consume o utiliza en el circuito de CA se conoce como potencia activa. Es la potencia verdadera transmitida a la carga para la conversión de energía. Es por eso que también se conoce como potencia verdadera o potencia real en el circuito de CA. Se representa con una 'P' del alfabeto inglés y se mide en vatios (W), kilovatios (kW) o megavatios (MW) [17].

Se hace uso de la ecuación 2.7 para calcular la potencia activa.

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos(\phi) \quad (2.7)$$

Donde

P= Potencia activa (W)

U= Tensión de la red

I=Corriente de fase

cos ϕ =Ángulo de desfase entre la tensión y corriente

2.2.10.2. Potencia reactiva

La potencia asociada a los componentes reactivos (Inductores y Capacitores) del circuito se conoce como Potencia Reactiva. Fluye en ambas direcciones (es decir, de ida y vuelta) del circuito.

La potencia reactiva no es una potencia útil para los consumidores, por lo que se interpreta como potencia sin vatios. Representa una carga adicional en el sistema de suministro eléctrico y también en la factura del consumidor. Mientras que esto se requiere en el circuito para producir el campo eléctrico y magnético para el funcionamiento de los condensadores e inductores en el circuito. Tiene un impacto directo en el factor de potencia del circuito. Solo existe en el sistema eléctrico cuando el voltaje y la corriente en un circuito de CA no están en fase.

Un inductor puro y un capacitor puro no consumen energía en el circuito. Porque en un medio ciclo, cualquiera que sea la potencia recibida de la fuente por estos componentes reactivos, la misma potencia regresa a la fuente en el siguiente medio ciclo. Entonces, la potencia que regresa y fluye en ambas direcciones en el circuito se conoce como potencia reactiva. [17]

Esta potencia reactiva no realiza ningún trabajo útil en el circuito.

Con la ecuación 2.8 se denota con el alfabeto inglés Q y se mide en VAR, kVAR o MVAR.

$$P = \sqrt{3} * U * I * \text{sen}(\phi) \quad (2.8)$$

Q: Potencia reactiva (VAR)

U: Voltaje de la red (voltaje de línea) (entre fases)

I: Corriente de la línea

Sen ϕ : Valor seno del ángulo

2.2.10.3. Potencia aparente

La combinación de Potencia Activa y Potencia Reactiva se conoce como Potencia Aparente. Es la potencia total del circuito.

Matemáticamente, la potencia aparente se define como el producto del valor cuadrático medio (RMS) de la tensión y la corriente, independientemente de su ángulo de fase. Se denota con una 'S' del alfabeto inglés y se mide en kVA, MVA.

En el caso del circuito DC, es la potencia total del circuito. Mientras que para el circuito de CA se calcula mediante la ecuación 2.9.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = U * I$$

$$S = \sqrt{3} * U * I \tag{2.9}$$

Donde:

S= Potencia total (VA)

U= Voltaje de la red

I= Corriente de la línea

2.2.10.4. Desfase de ángulos

Es la proporción existente entre la potencia activa y la potencia aparente, o el coseno del ángulo de desfase entre potencia activa y potencia aparente.

En la siguiente tabla 2.10 se observan los conceptos explicados, así como su forma de cálculo.

Tabla 2.10: Triángulo de potencias

TRIANGULO DE POTENCIAS	
Potencia aparente (VA)	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
Potencia activa (W)	$P = \sqrt{3} * U * I * \cos(\phi)$
Potencia Reactiva (VAR)	$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin(\phi)$
Desfase o cos (j)	$\cos\phi = \frac{P}{S}$ $= \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$

2.2.10.5. Potencia de distorsión

La potencia de distorsión es cuando la instalación tiene cargas que generan armónicos. Hay otro componente que debe tenerse en cuenta al calcular la potencia aparente, conocido como la letra D y se calcula mediante la ecuación 2.10.

$$D = U_1 * I_D \quad (2.10)$$

D: Potencia de distorsión

U1: Voltaje de red

ID: Corriente distorsionada

El rendimiento de distorsión se puede ver en la Tabla 2.11 y concluimos que esta potencia es la real que actualmente mide el analizador debido a que la carga no lineal produce distorsión armónica de la red y afecta directamente el factor de potencia [18].

Tabla 2.11: Triángulo de potencias de distorsión

Triángulo de potencias de distorsión	
<ul style="list-style-type: none"> • Potencia $S > S_1$ • Mayores niveles de corriente • Factor de potencia $\cos \phi$ y menor que el $\cos \phi$ 	
Factor de potencia	
$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2 + D^2}}$	$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U}$

2.2.11. Factor de Potencia

El factor de potencia se consigue al dividir la potencia activa sobre la potencia aparente, esta es una relación que indica la cantidad de potencia que se transforma en trabajo.

El factor de potencia es un guía del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, el cual nos señala el consumo de energía reactiva en la instalación en comparación con el consumo de energía activa. En el factor de potencia $\cos \phi$ o tangente ϕ , la potencia activa P y la potencia reactiva Q se suman entre sí en forma vectorial dando como resultado la potencia aparente como se muestra en la Figura 2.2.

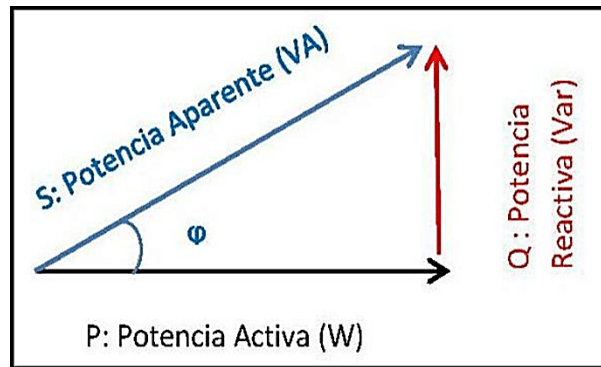


Figura 2.2: Triángulo de potencias

Se calcula mediante mediante la ecuación 2.11:

$$\cos\phi = \frac{P(W)}{S(VA)} = \frac{P(W)}{\sqrt{P(W)^2 + Q(VAR)^2}} \quad (2.11)$$

Donde:

$\cos \phi$: Factor de potencia

P: Potencia activa

Q: Potencia reactiva

S: Potencia Total

2.2.11.1 Índice de calidad del factor de potencia

Para efectos del cálculo en cuanto a la calidad, y al factor de potencia, si en el 5 % o más del tiempo estimado el valor del factor de potencia es debajo a los límites establecidos, el cliente está infringiendo con el índice de calidad permitido.

2.2.11.2 Límites de factor de potencia según ARCERNNR

Según ARCERNNR 002/20 el valor mínimo es 0,92. Las empresas distribuidoras de energía eléctrica, por su parte, miden operativamente la calidad de sus productos, recopilan, analizan y mantienen registros de información relacionada con la calidad de sus productos y servicios,

para analizar y llevar a cabo al respectivo reporte a la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables [19].

2.2.11.3. Cargos por bajo factor de potencia

Para los consumidores de la categoría general con medidas de potencia reactiva que registren un factor de potencia promedio mensual menor a 0,92 el distribuidor calculará los cargos establecidos en el decreto de tarifas de especificación y las tarifas ecuatorianas como cargos de factor de potencia bajo.

De esto se puede concluir que la penalización por bajo factor de potencia es igual al cargo mensual resultante de: demanda, consumo de energía, pérdidas de transformadores y comercialización, multiplicado por el factor [19].

A través de la ecuación 2.12 se puede calcular el factor de potencia por bajo factor de demanda.

$$Bfp = \left(\frac{0.9}{fpr} \right) - 1 \quad (2.12)$$

Dónde:

Bfp: Factor de penalización por bajo factor de potencia.

fpr: Factor de potencia registrado.

2.2.12. Curva de carga

Es la representación gráfica 2.3 se puede visualizar como cambia la demanda o carga eléctrica en un intervalo de tiempo. En la siguiente figura se observa el intervalo del tiempo elegido para realizar el análisis, puede ser diario, semanal, mensual, anual. La carga no es constante en el periodo analizado.

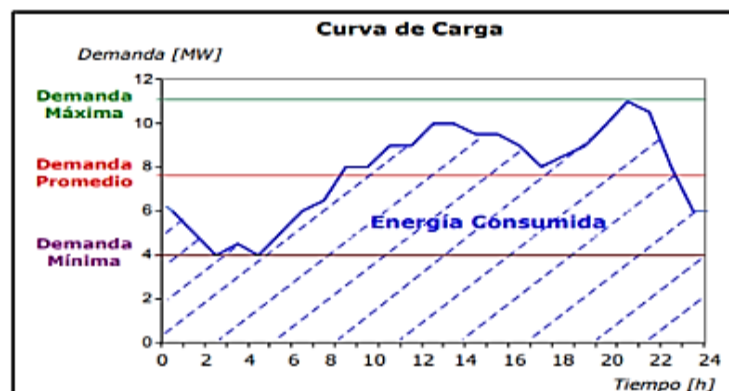


Figura2.3: Intervalo de tiempo – curva de carga

El eje horizontal muestra el tiempo y el eje vertical muestra la potencia requerida. El área bajo la curva formada es el requerimiento de energía.

La forma de figura depende básicamente de si es residencial, comercial o industrial, el día de la semana, la época del año y los factores climáticos.

2.2.12.1. El Consumo Industrial

La elevada utilización de la Potencia Reactiva (aumento de la necesidad de magnetizar conforme se coloca más equipo a la red) no solo ocasiona lo que es la mala regulación de voltaje o bajo voltaje en una industria, sino que también puede llegar a afectar a otros usuarios reduciendo la eficiencia con la cual los equipos conectados a la red aprovechan la energía que se les abastece.

La figura 2.4 representa una curva muy común de un consumidor industrial, y en la misma se puede visualizar que su mayor régimen de consumo es a lo largo del día y parte de la noche, es decir durante los itinerarios de demanda media y punta.

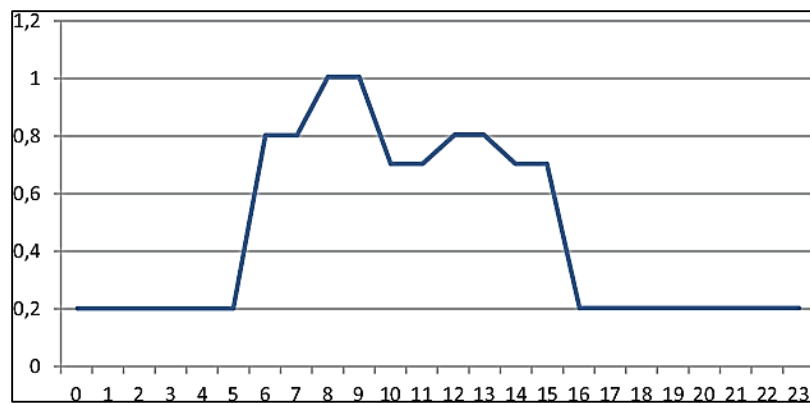


Figura 2.4: Curva de carga típica de carga Industrial

2.2.13. Tipos de Cargas

2.2.13.1. Cargas Lineales

Un elemento lineal en un sistema de potencia es un componente en el que la corriente es proporcional al voltaje en cualquier momento. En general, esto significa que la forma de onda de la corriente (sinusoidal) será la misma que la del voltaje como se muestra en la figura 2.5 [20].

Ejemplos típicos de cargas lineales incluyen: condensadores de mejora del factor de potencia, motores y cargas resistivas como resistencias de calentamiento, lámparas incandescentes.

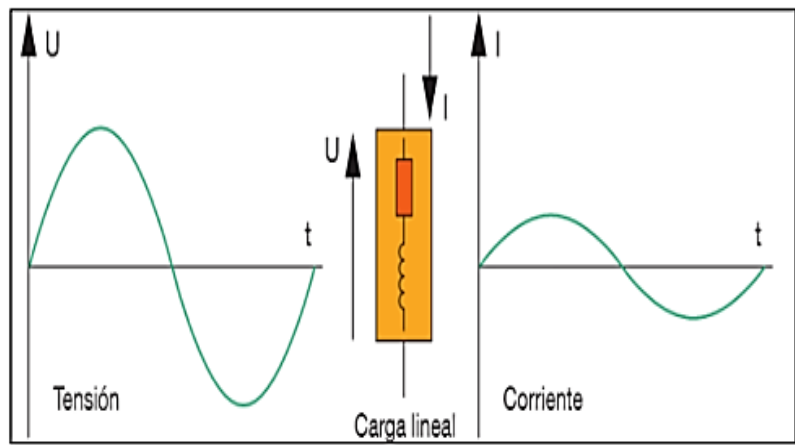


Figura 2.5: Carga lineal

La resistencia pura, la inductancia y la capacitancia son todas lineales. Esto significa que, si se introduce una onda senoidal de voltaje de cierta magnitud en un circuito con resistencia pura, como la corriente en el circuito que obedece la ley de Ohm. En la figura 2.6 se puede verificar que para un valor particular de ohmios, la relación entre voltios y amperios es una línea recta.



Figura 2.6: Curva del comportamiento de una carga lineal

2.2.13.2. Cargas no lineales

Por otro lado, las cargas no lineales cambian la forma de la onda actual de una onda sinusoidal a alguna otra forma. La naturaleza de las cargas no lineales es generar armónicos en la forma de onda actual. Esta distorsión de la corriente forma de onda eventualmente conduce a la distorsión de la forma de onda de voltaje, especialmente si la rejilla de alimentación es débil (gran impedancia) y la proporción de corrientes no sinusoidales es lo suficientemente alta. En la figura 2.7 se muestra que bajo estas condiciones, la forma de onda de voltaje ya no es proporcional a la corriente [20].

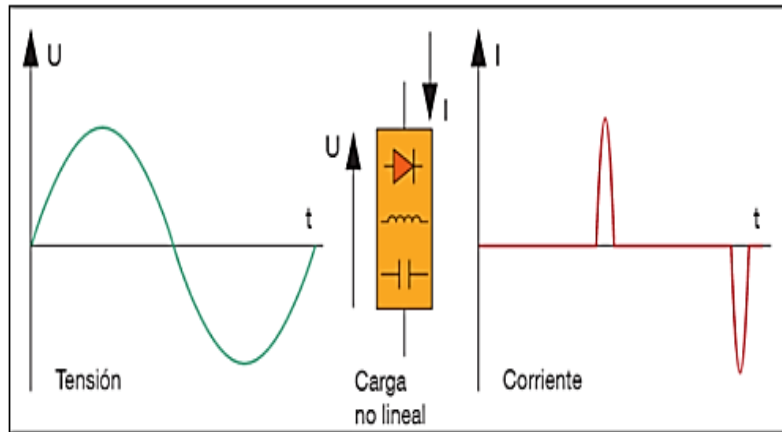


Figura 2.7: Carga no lineal

Los ejemplos típicos de cargas no lineales incluyen: rectificadores (fuentes de alimentación, iluminación de descarga), impulsores de motores de velocidad ajustable, dispositivos ferromagnéticos, impulsores de motores de CC y equipos de arco (hornos de arco).

En la figura 2.8 se puede visualizar que una carga no lineal no tiene relación entre corriente y voltaje a diferencia de las cargas lineales.

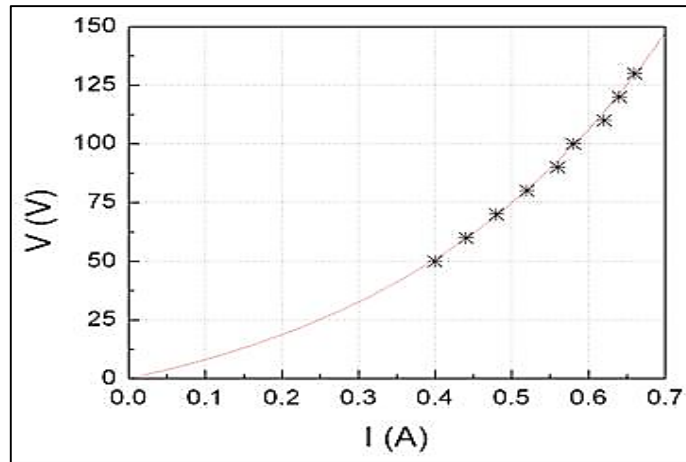


Figura 2.8: Curva del comportamiento de una carga no lineal

Se sabe que la alta distorsión de corriente causa sobrecalentamiento de conductores y transformadores e interferencia en equipos de comunicación, mientras que la distorsión de voltaje causa problemas para equipos sensibles (computadoras, micros. control).

Los efectos que ocurren en los sistemas eléctricos de las cargas no lineales son:

- Distorsión de voltaje en el sistema eléctrico.
- Limitación en los procesos productivos.
- Niveles altos de neutro a tierra.

- Sobrecalentamientos en los transformadores.
- Elevados campos electromagnéticos
- Reducción en la capacidad de los equipos.
- Penalización tarifaria por parte de la empresa eléctrica debido al bajo factor de potencia.

2.2.14. Variación de voltaje de corta duración de los disturbios

Significa una disminución o aumento temporal en la amplitud del voltaje RMS, causando debido a un mal funcionamiento remoto en algún lugar del sistema eléctrico. ¿Podrían sus miradas, algunos a veces, la pantalla de visualización de imágenes parpadea o el nivel desciende encienda la lámpara o reduzca el área de visualización en la pantalla del televisor o computadora [21].

2.2.14.1. Sobre voltaje de las variaciones de voltaje

La sobretensión es una variación de voltaje que demuestra valores de tensión constantes mayores al voltaje ideal de una línea eléctrica ya establecido [23].

2.2.14.2. Bajo voltaje de las variaciones de voltaje

Se considera sobre voltaje cuando el voltaje RMS de C.A. va en aumento, es decir, es mayor del 110% con respecto a la frecuencia de alimentación, misma que tiene una duración mayor a dos minutos. Normalmente los sobre voltajes son el resultado de las conmutaciones de cargas.

2.2.14.3. Impulso de variaciones de voltaje

En la figura 2.9 se muestra la forma de onda de corriente alterna (C.A), con un disturbio de duración menor a 0.5 ciclos, misma que se caracteriza por la forma de onda y el cambio brusco que tiene la onda. Esto se produce principalmente por descargas atmosféricas, grandes descargas por switcheo o a su vez por fallas en la red eléctrica [24].

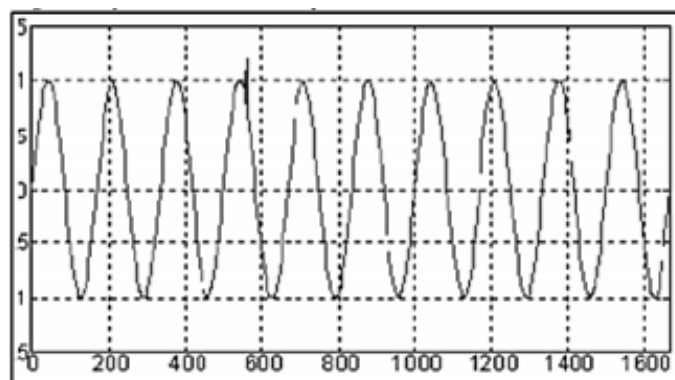


Figura 2.9: Impulso de las variaciones de voltaje

2.2.15. Analizador de Calidad de Energía CVM-A1500

En la figura 2.12 se observa el analizador, el cual es una herramienta capaz de adquirir datos y permite la visualización de formas de ondas de señales eléctricas de corrientes, potencias, voltajes, armónicos, gráficas fasoriales, formas de ondas y demás parámetros [25].



Figura 2.10: Analizador de calidad de energía

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. METODOLOGÍA

Para el presente proyecto se aplicarán diferentes tipos de metodología, tales como la cualitativa que será de utilidad para determinar las características técnicas del analizador que se instalará en la red de bombas, la experimental y de campo, por la parte que se debe implementar el equipo en el sistema de bombeo para determinar la eficiencia y calidad de energía.

Además, se conoce que existe una inmensa gama de equipos analizadores de redes que son empleados en las industrias con el fin de monitorear a un sistema eléctrico o a la red, ya que estos equipos son de importancia por el motivo que proporcionan lecturas en cuanto a la calidad y eficiencia energética, por lo que es fácil para el técnico interpretar si llegaron a existir anomalías y así dar una solución.

Sin embargo, en este caso se empleará un analizador de red de tipo CVM-A1500, debido a que dicho equipo es muy eficiente y puede realizar mediciones correctas en cuanto a la eficiencia, calidad, potencia, desfase, armónicos de red, entre otros, teniendo en cuenta que su instalación es sencilla.

3.1.1. Características técnicas del analizador CVM-A1500

En la siguiente tabla 3.12, se observa las características técnicas que puede poseer el analizador de red CVM-A1500, ya que este modelo puede tener entradas digitales, salidas a relé y a transistores, comunicación ethernet o RS485. Para determinar el tipo de conexión del analizador va a depender del criterio técnico que posea cada profesional, teniendo en cuenta que realizarán las mismas funciones [25].

Tabla 3.12: Relación de bornes del analizador CVMA-1500, parte superior

Bornes del equipo de la cara superior	
1: V_{REF} , Entrada de la tensión de referencia	10: T_1 , Salida de transistor 1
2: N_{REF} , Neutro de la tensión de referencia	11: T_2 , Salida digital de transistor
3: N , Neutro de las entradas de tensión	12: T_c , Común de las salidas Digitales
4: V_{I3} , Entrada de tensión L3	13: A(+), RS485
5: V_{I2} , Entrada de tensión L2	14: B(+), RS485
6: V_{I1} , Entrada de tensión L1	15: S, GND para RS485
7: I_1 , Entrada digital 1	16,17: R_1 , Salida digital de relé 1
8: I_2 , Entrada digital 2	18,19: R_2 , Salida digital de relé 2
9: I_C GND para las entradas digitales	20: Ethernet

La tabla 3.13, muestra las borneras que posee el equipo en la parte inferior, siendo estas de alimentación, y entradas de corriente [25].

Tabla 3.13. Relación de bornes del analizador CVM-A1500, parte inferior

Bornes del equipo	
21: Alimentación Auxiliar ~+, CVM-A1×00-ITF -, CVM-A1×00-ITF-SDC	26: S2, Entrada de corriente L2
22: Alimentación Auxiliar ~+, CVM-A1×00-ITF -, CVM-A1×00-ITF-SDC	27: S1, Entrada de corriente L3
23: S1, Entrada de corriente L1	28: S2, Entrada de corriente L3
24: S2, Entrada de corriente L1	29: S1, Entrada de corriente de Neutro, LN
25: S1, Entrada de corriente L2	30: S2, Entrada de corriente de Neutro, LN

3.1.2. Diagrama de conexión del analizador de red CVM-A1500

Se debe tener en consideración que el analizador de red puede estar conectado en una red monofásica y trifásico dependiendo de la aplicación que el usuario lo quiera dar, la figura 3.11 y la figura 3.12 se muestran la configuración para los tipos de sistemas.

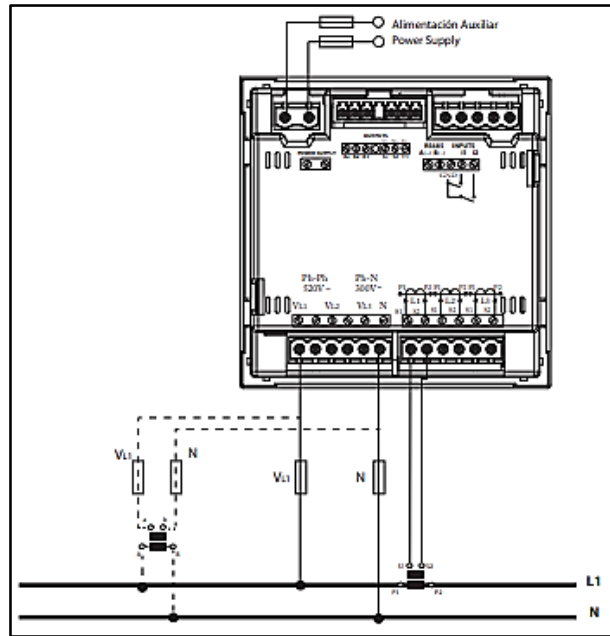


Figura 3.11: Conexión con o sin transformador de tensión

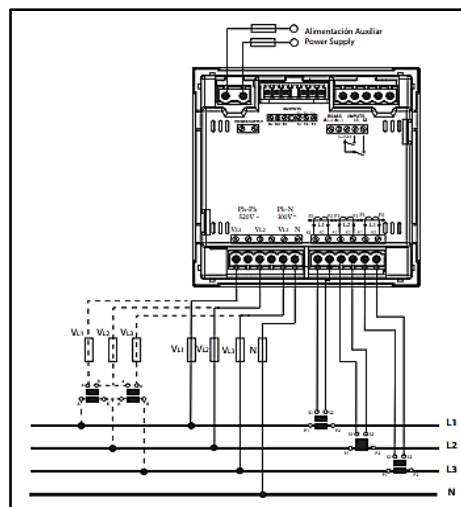


Figura 3.12: Conexión trifásica + neutro con o sin transformadores de tensión

3.1.3. Protección para el analizador de red CVM-A1500

Es de importancia que el analizador de red CVM-A1500 disponga de una protección contra sobrecarga y cortocircuito, ya que este dispositivo es electrónico y a través de un transformador de corriente tipo (TC5) 60/5 clase 0.5 el mismo que es el encargado de realizar las mediciones de corriente alterna del sistema, teniendo un porcentaje de error máximo de $\pm 3\%$.

Por lo tanto, para realizar la respectiva protección del equipo el fabricante de CVM recomienda que se coloque un fusible gl (IEC 269) o de tipo M, ya que estos soportan entre 1 a 2 A. También

se debe considerar que en el instante que se conecte al secundario del transformador, se lo realice con un cable que tenga una sección mínima de 2.5mm^2 , lo que corresponde a un 14AWG [26].

A continuación, en la figura 3.13 se observa la configuración del Transformador de corriente.

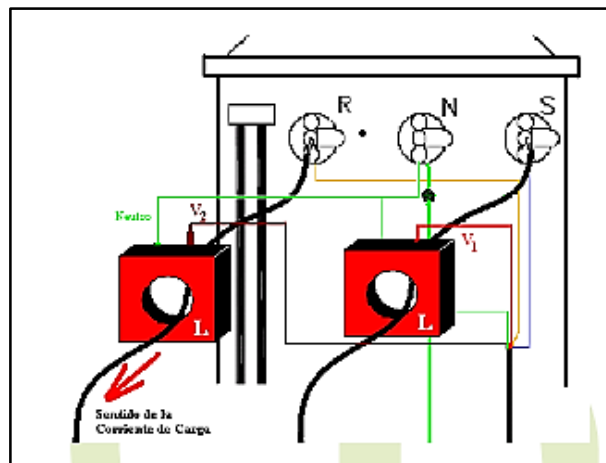


Figura 3.13: Configuración de TC5 60/5A clase 0.5

3.1.4. Parámetros de medida del analizador de red CVM-A1500

Se tiene en cuenta que el analizador de red de la serie CVM-A1500 mide y visualiza una variedad de parámetros, entre las más importantes tiene lo que se refiere a la calidad, eficiencia, tensiones, corrientes, frecuencia, potencias, factor de potencia, energías, demandas, asimetría de tensión, asimetría de corriente y desbalance del sistema. Con la finalidad de monitorear el sistema en caso de fallas [26].

La figura 3.14, muestra los eventos de calidad que se pueden formar en una lectura proporcionada por el analizador de red CVM-A1500, siendo:

t_0 : Sobretensión.

t_1 y t_3 : Huevo de tensión

t_2 : Corte de tensión.

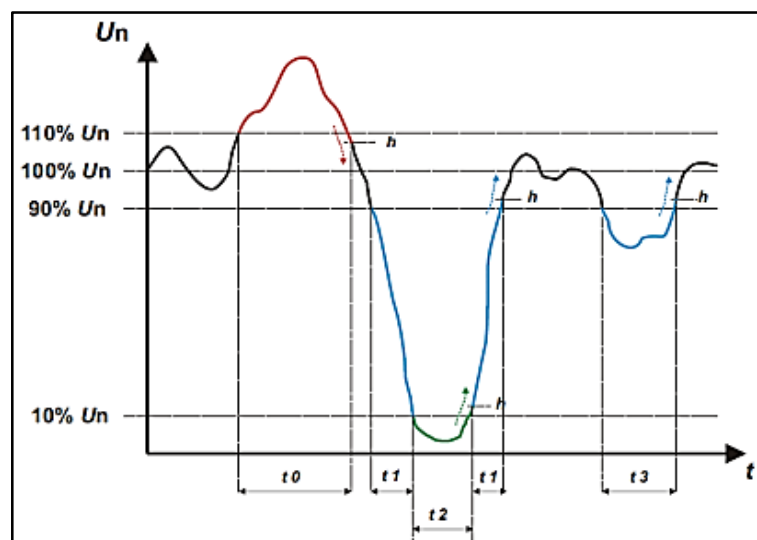


Figura 3.14: Eventos de calidad

3.1.5. Registro del equipo analizador CVM-A1500

El analizador de red CVM-A1500 posee tres tipos de ficheros, los mismo que son los encargados de registrar los eventos realizados en el equipo. A continuación, en la tabla 3.14 se detallarán los tres tipos de ficheros que dispone.

Tabla 3.14: Registro de eventos de analizador de red

FICHERO	DESCRIPCIÓN
EVA	Registran todos los eventos realizados por el equipo, desde la última vez que se borró la base de datos.
EVQ	Guardan todos los eventos de calidad del último registro.
STD	Registran todos los parámetros de medida del último registro.

Además, se tiene en consideración que el fichero STD de la tabla anterior tiene una subdivisión los cuales son los flickers PST, armónicos y desequilibrio.

3.1.5.1. Flicker PST

Es el que se encarga de registrar un valor durante el periodo de registro, el mismo que es calculado por el equipo, en este caso por el analizador de red.

3.1.5.2. Armónicos

De acuerdo a la versión del analizador de red CVM-A mide y registra el valor promedio de la tasa de distorsión armónica individual hasta el armónico 63, el valor de THD de tensión y corriente hasta el armónico 40. Además, cada registro corresponde al bloque de 10 ciclos, dentro del periodo que se encuentre trabajando o de registro.

3.1.5.3. Desequilibrio de tensiones y corrientes en un sistema trifásico

El analizador de red de la serie CMV-A calcula los coeficientes de asimetría y de desequilibrio de las tensiones y corrientes del sistema trifásico. A continuación, mediante la ecuación 3.13 se podrá determinar el coeficiente de asimetría y el de desequilibrio que se produce en una red.

$$K_a \% = \frac{|U_o|}{|U_d|} * 100 \quad (3.13)$$

Donde:

K_a : Coeficiente de asimetría, (%)

U_o : Componente homopolar, (V)

U_d : Componente directo, (V)

$$K_d \% = \frac{|U_i|}{|U_d|} * 100 \quad (3.14)$$

Donde:

K_d : Coeficiente de asimetría, (%)

U_o : Componente homopolar, (A)

U_d : Componente directo, (A)

3.1.5.4. Factor de cresta

Dicho valor es la relación entre el valor pico y el valor eficaz de una tensión o corriente periódica. Por lo tanto, el factor de cresta representa un pico de la onda y fundamentalmente se usa para ondas de corriente.

A continuación, mediante la ecuación 3.15 se puede determinar el factor de cresta en una onda sinusoidal.

$$CF = \frac{|U_{pico}|}{|U_{RMS}|} * 100 \quad (3.15)$$

Donde:

CF: Factor de cresta, (adimensional)

U_{pico} : Voltaje pico, (V)

U_{RMS} : Voltaje rms, (V)

Sin embargo, se debe tener en cuenta que en una onda sinusoidal perfecta, el valor pico es $\sqrt{2}$ veces mayor que valor RMS, por lo tanto, el factor de cresta es igual a 1,41. Mientras que para ondas con valores pico muy alto el factor de cresta es mayor de 1,41.

3.1.6. Funcionamiento del analizador de red CVM-A1500

Se tiene como indicador del encendido del analizador de red, el led del CPU el cual mediante un parpadeo de 1 segundo significa que está funcionando correctamente, pero en el caso que el parpadeo sea mayor indica que el equipo posee algún fallo interno, por lo que se recomienda ser revisado.

Dicho equipo también cuenta de un led de alarma, el cual indica que existe algún problema en el equipo. Además, posee de teclas de navegación que permitiente acceder a varias funciones del analizador de red teniendo en cuenta que en el encendido posee una intensidad baja.

A continuación, en la siguiente figura 3.15 se puede observar la pantalla del analizado de red de la clase CMV-A.

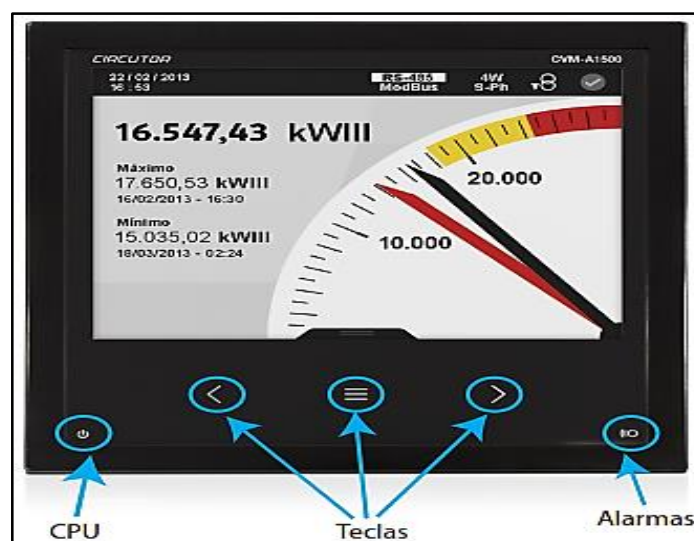


Figura 3.15: Pantalla del analizador CVM-A con indicadores LED [25]

El analizador de red dispone de dos entradas digitales, las cuales pueden ser programables para entrada lógica, de impulso y selección de tarifa. Con respecto a sus salidas cuentan con dos digitales a relé y dos digitales a transistor, en la figura 3.13, se puede observar mayor detalle técnico del equipo.

3.1.7. Módulo DATALOGGER

Los equipos de la serie CVM-A permiten el almacenamiento de datos mediante el uso de la plataforma PowerStudio la cual se encuentra incorporada en el analizador de red. Además, la información que se llega almacenar es accesible mediante un navegador web compatible con HTML5 o mediante HTTP.

Sin embargo, para realizar la comunicación del analizador con respecto a la web, es necesario realizar una conexión vía Ethernet a la cual se deberá asignar una dirección IP, teniendo en cuenta que el entorno de PowerStudio de los equipos de la serie CVM-A permite la visualización de los datos en tiempo real, así como los datos almacenados a lo largo del tiempo.

La figura 3.16, muestra el esquema de conexionado que se debe realizar al momento de utilizar el DATALOGGER en el analizador de red.

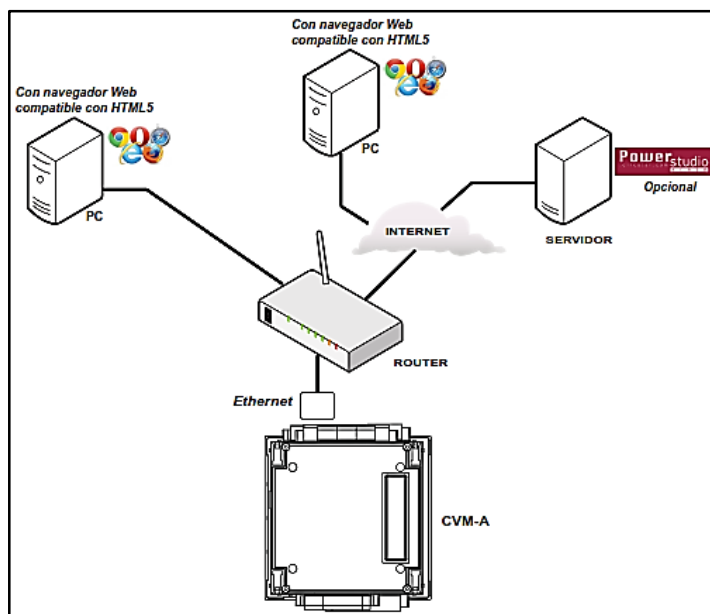


Figura 3.16: Esquema del conexionado, DATALOGGER – analizador de red [25]

3.1.8. Parámetros de calidad del analizador de red CVM-A1500

El analizador de red CVM-A, permite visualizar los parámetros de calidad de la red, con la finalidad de observar si el sistema al cual se encuentre conectado tiene alguna anomalía y esta pueda ser corregida, para ingresar a dicha función se debe seguir un procedimiento como se observa en la figura 3.17.

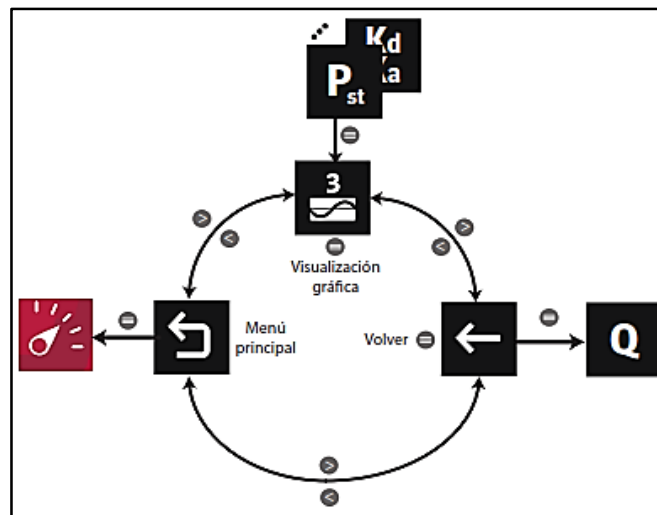


Figura 3.17: Procedimiento para el parámetro de calidad [25]

Además, el analizador de red en la función de calidad se puede visualizar las gráficas en cuanto al factor de cresta de voltaje, corriente, el desequilibrio del sistema ya sea monofásico o trifásico y la asimetría de voltajes y corrientes.

3.1.9. Fasores en el analizador de red CVM-A1500

En el instante que el analizador es conectado a la red, también se deben analizar los fasores que dispondrá el sistema, ya que ahí se podrá determinar si el sistema se encuentra balanceado o desbalanceado, dicho parámetro mide valores de voltaje y los ángulos que se producen entre fases.

En la figura 3.18 y la figura 3.19, se muestra la forma en la cual se debe ingresar a dicho parámetro en el analizador de red de la serie CVM-A1500 y la visualización de los fasores.

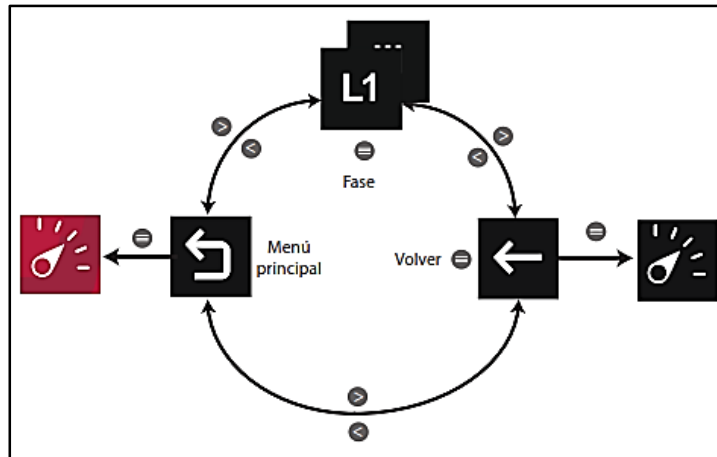


Figura 3.18. Procedimiento para el parámetro de fasores [25]

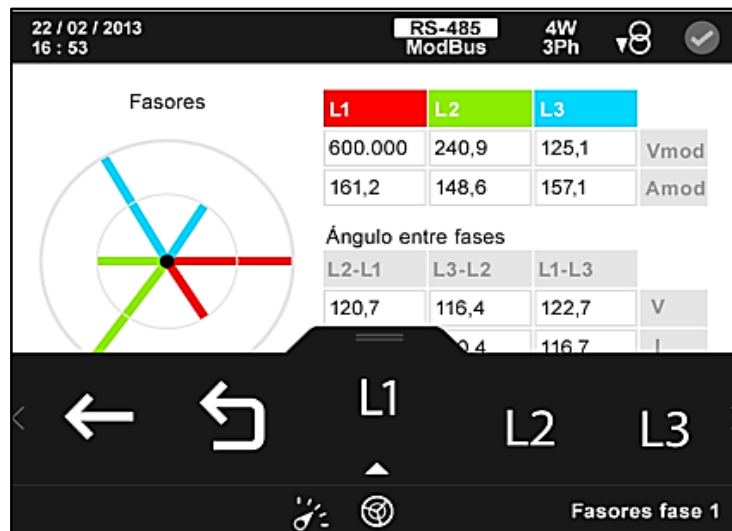


Figura 3.19: Pantalla de visualización de fasores [25]

3.1.10. Armónicos en el analizador CVM-A1500

Una de las funciones o parámetros que puede medir y ser visualizado con el analizador CVM-A son los armónicos que se generan en la red ya sean de corriente en las líneas o de tensiones en las fases y el neutro.

La figura 3.20, muestra el procedimiento que se debe realizar para ingresar al parámetro de armónicos.

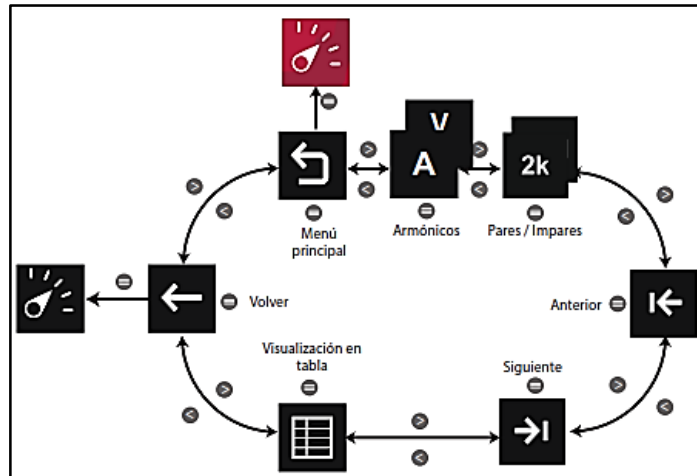


Figura 3.20: Procedimiento para el parámetro de armónicos [25].

A continuación, en la figura 3.21 se puede observar cómo se generan los armónicos en el analizador de red CVM-A.

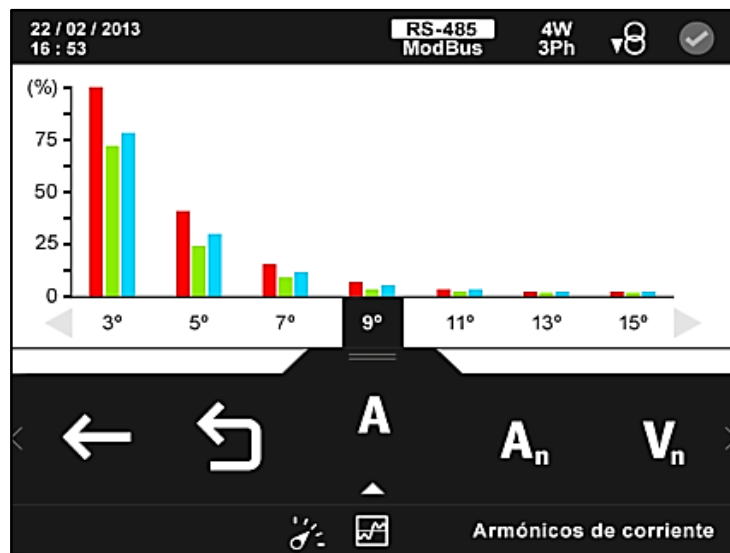


Figura 3.21: Pantalla de visualización de armónicos [25]

3.1.11. Demanda y energía de consumo del analizador de red CVM-A1500

El analizador de la serie CVM-A puede reflejar como resultados la demanda que se tiene en la red de cualquier sistema, esto es con la finalidad de analizar cuanto consume el sistema en potencia y en dinero.

A continuación, en la siguiente figura 3.22 se observa el protocolo para acceder al control de demanda del equipo, teniendo en cuenta que el tiempo de integración viene dado en minutos con un valor máximo de 60 min y mínimo de 1 min.



Figura 3.22: Procedimiento para el parámetro de demanda [25]

3.1.12. Reseteo de parámetros del analizador de red CVM-A1500

En caso que el usuario requiera realizar el reseteo de todo el sistema se debe seguir el siguiente flujograma como se observa en a figura 3.23, teniendo en cuenta que es el que se emplea en el equipo de la serie CVM-A.

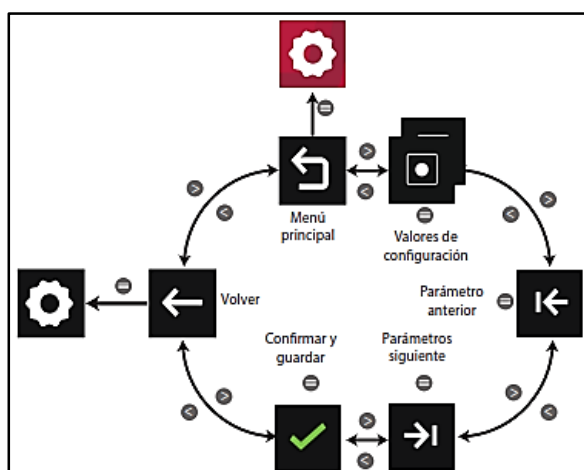


Figura 3.23: Procedimiento para el reseteo de parámetros [25]

Además, dicho equipo puede resetear valores máximos y mínimos de voltajes y corrientes, energías, demanda máxima, cierre de energía, eventos y energías y el contador de eventos de calidad, como se observa en la siguiente figura 3.24.

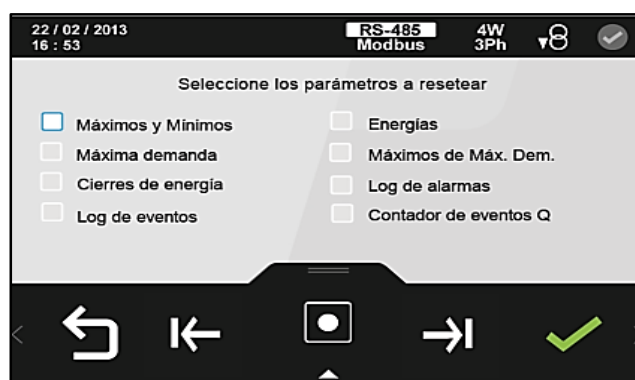


Figura 3.24: Pantalla de visualización de parámetros de reseteo [25]

3.1.13. Comunicaciones integradas

Para realizar la comunicación el analizador dispone de la comunicación RS-485, la cual mediante un cable de par trenzado con malla y mínimo a tres hilos se la puede realizar, en la figura 3.25 se observa el tipo de comunicación.

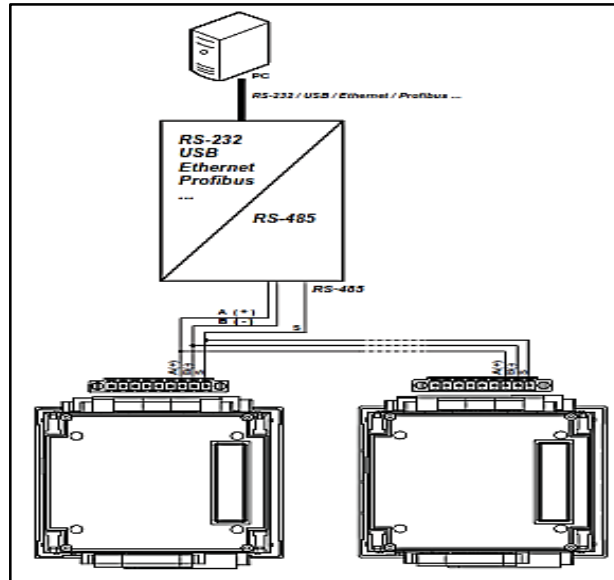


Figura 3.25: Conexión RS-485 [25]

También posee de la comunicación MODBUS, la cual es empleada en la parte de la industria, ya que permite realizar la conexión en red de múltiples equipos, donde existe un maestro y múltiples esclavos. Otro tipo de conexión que se realiza al analizador de red CVM-A es la comunicación Ethernet, misma que se observa en la figura 3.26.

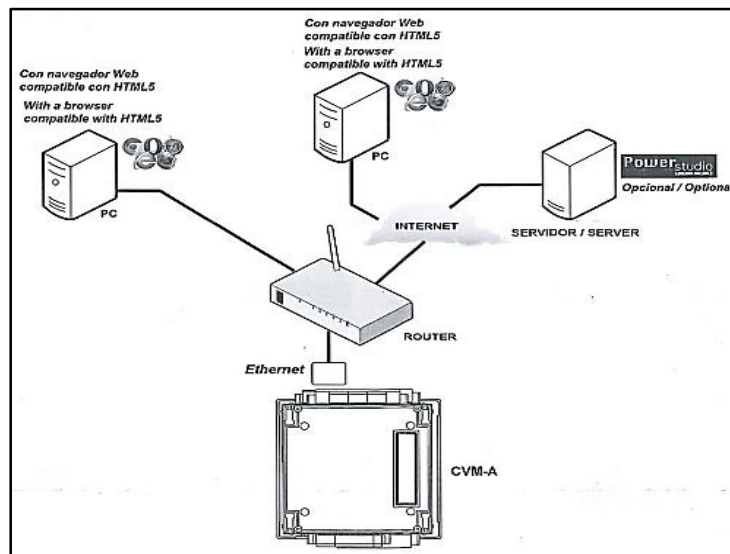


Figura 3.26: Conexión Ethernet [24]

3.2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.2.1. Descripción de la carga instalada en el sistema de bombeo

En la tabla 3.15, se muestra la carga total instalada en el sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la cual es de 75,80 KW, teniendo en cuenta que las cargas más representativas pertenecen a las 2 bombas instaladas que poseen una potencia de 37,28 KW, mismas que representan un porcentaje de 49,18 % del total de carga instalada.

Tabla 3.15: Carga instalada

ITEM	CARGAS ELECTRICAS EN SISTEMA		CANT	POTENCIA		
				HP	W	KW
1	STD1	BOMBA DE AGUA 1	1	6.6		4,92
2		BOMBA DE AGUA 2	1	15		11,19
3		BOMBA DE AGUA 3	1	15		11,19
4		BOMBA DE AGUA 4	1	15		11,19
5		BOMBA DE AGUA 5	1	25		18,64
6		BOMBA DE AGUA 6	1	25		18,64
8	STD2	ILUMINACIÓN	1	0,052	39	0,039
TOTAL CARGA INSTALADA						75,80

3.2.2. Analizador de red CVM-A1500

De acuerdo a lo mencionado en el literal de 3.1, antes de conectar el analizador de red se debe conocer las características técnicas del equipo en cuanto a entradas y salidas, ya que el equipo dispone de relés y transistores.

Para el presente proyecto se empleará el analizador CVM-A1500 debido a sus características técnicas, la ficha técnica se la puede observar en el Anexo I y II.

3.2.3. Implementación del analizador de red CVM-A1500

El analizador de red de la serie CVM-A1500 fue conectado a la red del sistema de bombas como se observa en la siguiente figura 3.27, con la finalidad de determinar valores de calidad, energía y los armónicos que se generan en la misma.

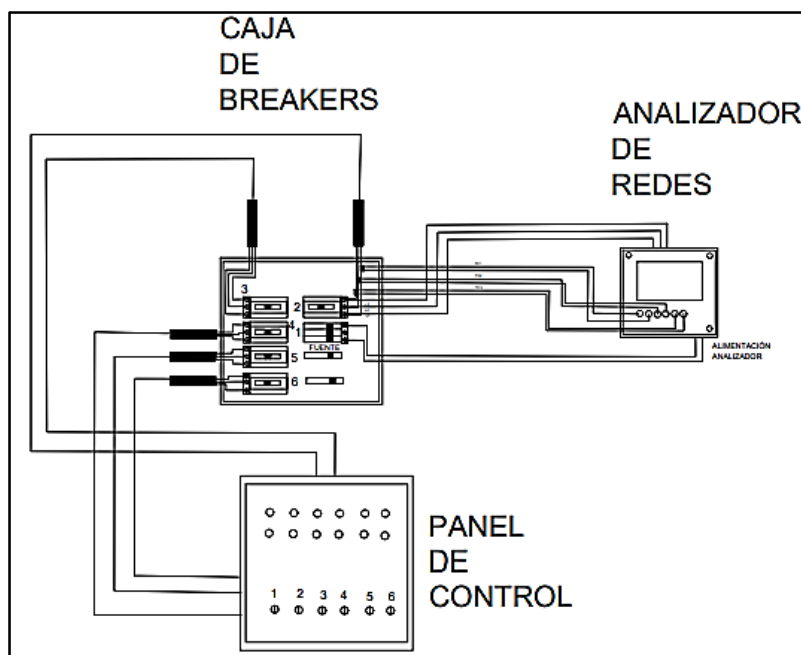


Figura 3.27: Diagrama de conexión

En la figura 3.28, se observa la implementación del analizador CVM-A1500 en el sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, que tiene como finalidad monitorear la eficiencia y calidad de dicho sistema.

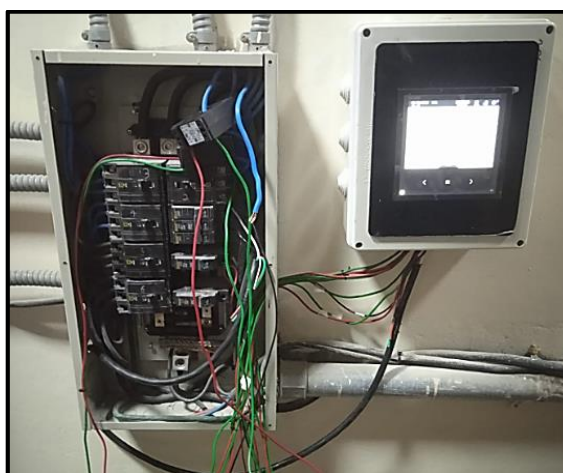


Figura 3.28: Conexión del analizador de red

En la figura 3.28, se observa que el analizador se conectó a la caja de breakers del cuarto de bombeo, para realizar sus respectivas mediciones y toma de datos, haciendo uso de entradas y salidas digitales a relés.

3.2.4. Datos obtenidos por el analizador de red CVM-A1500

Una vez realizada la conexión del analizador se realizó la recopilación de los datos en cuanto a valores de voltajes, corrientes, eficiencia, calidad, potencia y frecuencia.

3.2.4.1. Niveles de voltaje del sistema mediante analizador CVM-A1500

La figura 3.29, muestra el comportamiento de la línea 1 en 7 días que se realizaron las pruebas del sistema en funcionamiento, teniendo como observaciones que posee un incremento de tensión de 125 Vca a 133.38 Vca en el sexto día de haber realizado pruebas con el analizador de red de la serie CVM-A.

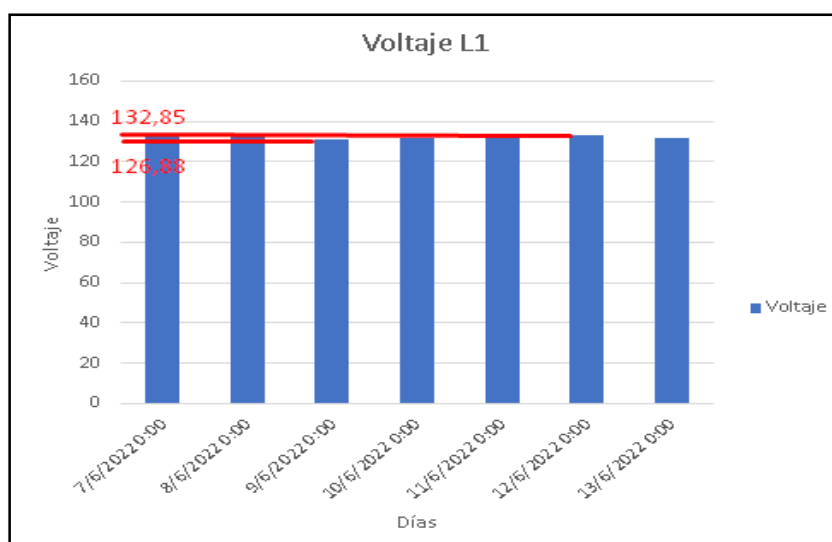


Figura 3.29: Nivel de tensión L1

La tabla 3.16, muestran los valores de voltaje máximos que se midieron con el analizador de red en siete días de prueba, teniendo como conclusión que los valores se encuentran en el rango establecido por el ARCERNNR 002-20 del 5 %.

Tabla 3.16. Voltajes en la L1

Voltaje L1									
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Voltaje promedio	V %	Tolerancia ARCERNNR 5%
126,88	131,42	131,29	131,51	131,2	132,85	131,4	130,94	4,53	Si cumple

Además, en el Anexo III se puede observar que durante el periodo de recolección de datos se realizaron 312 mediciones, teniendo una variación de voltaje del 4,53 %, lo que significa que dicho valor está en el rango del ARCERNNR 002/20, ya que tiene un máximo y mínimo del 5 % de variación de voltaje.

La figura 3.30, muestra el voltaje máximo que se produce en la línea 2 del sistema, siendo este de 133,38 Vca, dicha medición se la analizó en el sexto día de pruebas realizadas con el analizador de red CVM-A1500.

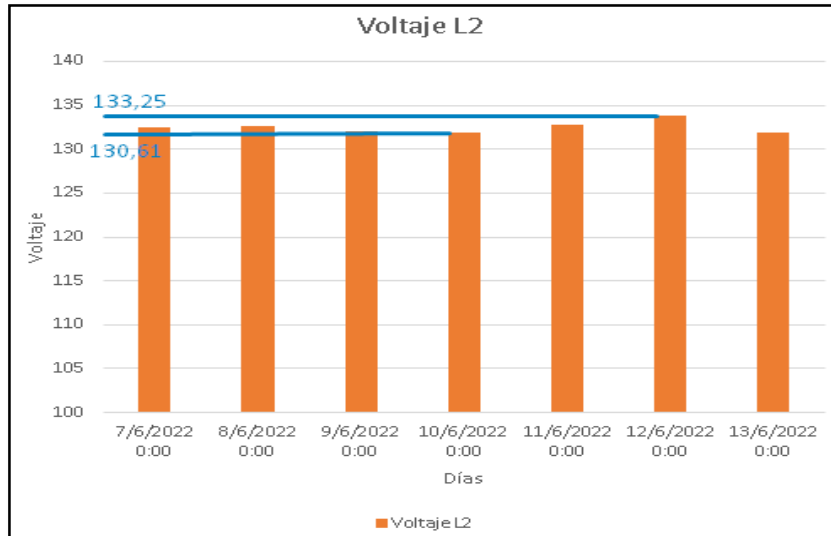


Figura 3.30: Nivel de tensión L2

Sin embargo, se pudo determinar que la línea 2 se encuentra en el rango que establece el ARCERNNR el cual es del 5 %, ya que dicho porcentaje de voltaje es de 3,52%, en el Anexo IV se observa que se realizó una medición de 312 datos.

La tabla 3.17, muestra que los valores de voltajes máximos que se tomaron como datos mediante el analizador de red, teniendo en cuenta que se encuentran en el rango establecido por el ARCERNNR 002/20.

Tabla 3.17. Voltajes en la L2

Voltaje L2									
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Voltaje promedio	V %	Tolerancia ARCERNNR 5%
130,61	131,61	131,67	131,88	131,5	132,85	133,3	131,66	5,06	Si cumple

A continuación, en la figura 3.31 se observa que la mayor variación de voltaje se produjo en el sexto día con un valor de 134,05 Vca, teniendo como variación de tensión de la línea un porcentaje de 4.15 %, lo que significa que se encuentra en el rango establecido por el ARCERNNR 002/20.

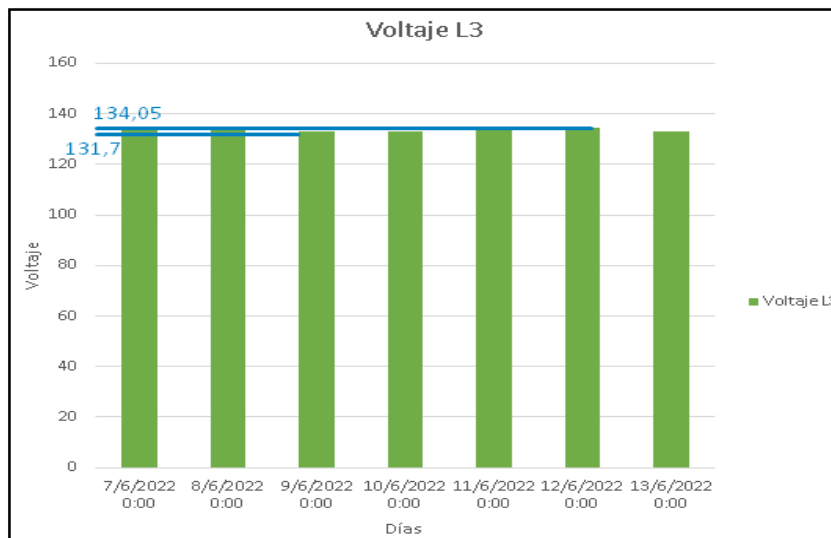


Figura 3.31: Nivel de tensión L3

La tabla 3.18, indica que los valores de voltaje máximos obtenidos en los siete días de análisis se encuentran en el rango establecido por el ARCERNNR 002/20 el cual se maneja un rango del 5 %.

Tabla 3.18. Voltajes en la L3

Voltaje L3									
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Voltaje promedio	V %	Tolerancia ARCERNNR 5%
128,45	132,6	132,69	132,91	132,7	134,05	133,3	131,66	5,06	Si cumple

Sin embargo, en el Anexo V se observa que se recopilaban 312 datos con el analizador de red CVM-A1500 para determinar el rango de porcentaje del voltaje en la línea 3.

3.2.4.2. Armónicos de tensión del sistema mediante analizador CVM-A1500

Haciendo uso del software Power Studio se llegó a descargar los datos en la PC, los cuales fueron analizados para verificar el comportamiento de las tres líneas de alimentación del sistema de bombas.

La gráfica 3.32, muestra la distorsión de armónicos del 1 al 11 que se generan en la línea 1 del sistema de bombeo, teniendo en cuenta que el más pronunciado es el quinto armónico, debido a que posee un valor máximo del 1,44 % en el séptimo día que se realizó las mediciones.

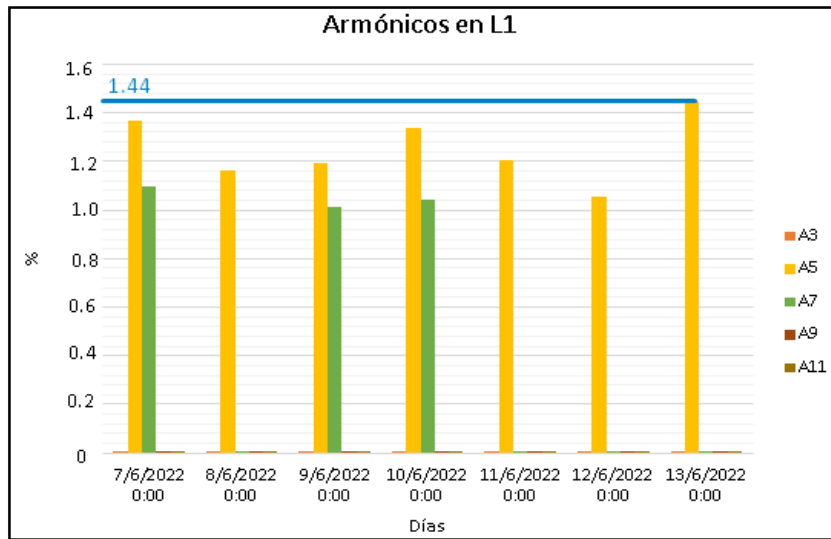


Figura 3.32: Armónicos de tensión L1

Por lo tanto, en la tabla 3.19 se concluye que el sistema se encuentra en el rango establecido por el ARCERNNR 002/20 del 5 %, lo que significa que la línea no presenta algún defecto. Además, en el Anexo VI se observan las gráficas de armónicos obtenidos por el analizador de red.

Tabla 3.19. Armónicos de voltaje en L1

Armónicos de Voltaje en L1							
Armónicos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
5	1,345	0,1	1,195	1,335	1,205	1,055	1,445
7	1,095	1,125	1,015	1,045	0,1	0,1	0,1
9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Promedio	0,548	0,305	0,502	0,536	0,321	0,291	0,369
Tolerancia ARCERNNR 5%	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple

La figura 3.33, indican los armónicos que se generan en la línea 2 del sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, dando como resultado un porcentaje máximo de 1,505 % en el séptimo día de recolección de datos a las 8:30am en el quinto armónico. De acuerdo a lo obtenido se determina que se encuentra en el rango establecido por el ARCERNNR 002-20 del 5 %.

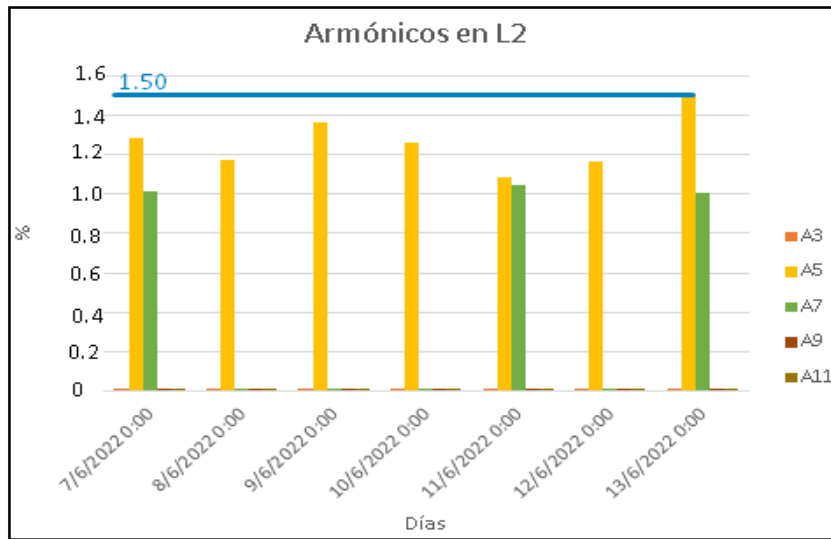


Figura 3.33: Armónico de tensión L2

En la tabla 3.20, se observan los valores de los armónicos impares los cuales cumplen con los rangos establecidos por el ARCERNNR 002/20.

Tabla 3.20: Armónicos de voltaje en L2

Armónicos de Voltaje en L2							
Armónicos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
5	1,245	1,145	1,365	1,235	1,075	1,165	1,495
7	0,1	0,1	0,1	0,1	1,045	0,1	1,005
9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Promedio	0,329	0,309	0,353	0,327	0,484	0,313	0,56
Tolerancia ARCERNNR 5%	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple

En el Anexo VII, se observan los armónicos producidos en la línea 2 de acuerdo al analizador de red CVM-A1500.

En la figura 3.34, se observa que existe un porcentaje mayor en el primer día de 1,505 % en el quinto armónico a las 17:00, por lo tanto, se nota que se encuentra en el rango del 5 % establecido por el ARCENNR 002-20, ya que no existe una distorsión armónica elevada.

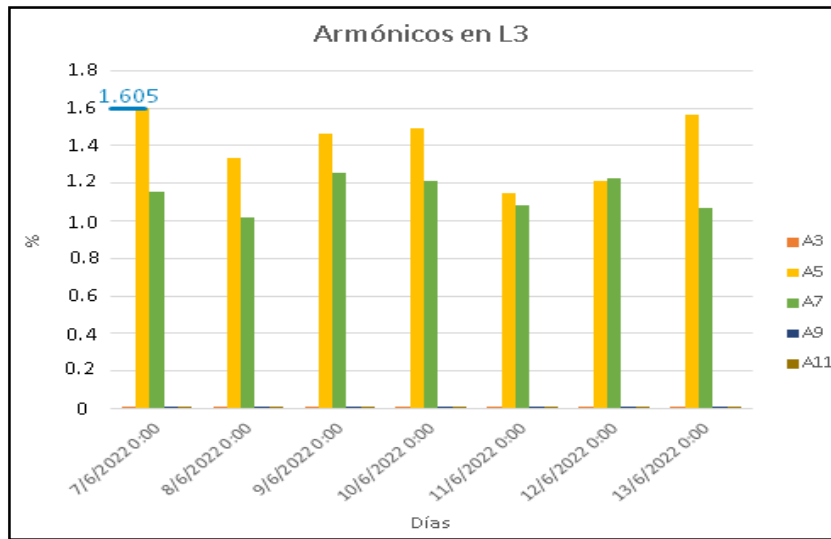


Figura 3.34: Armónico de tensión L3

A continuación, se observa en la tabla 3.21 que los armónicos impares se encuentran en el rango establecido por el ARCERNNR en un 5 %.

Tabla 3.21: Armónicos de voltaje en L3

Armónicos de Voltaje en L3							
Armónicos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
5	1,605	1,275	1,465	1,445	1,095	1,215	1,505
7	1,125	1,015	1,255	1,215	1,085	1,225	1,025
9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Promedio	0,606	0,518	0,604	0,592	0,496	0,548	0,566
Tolerancia ARCERNNR 5%	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple

Sin embargo, en el Anexo VIII se observa la distorsión de armónicos de la línea 3 que se obtuvo del analizador de red.

3.2.4.3. Armónicos de corriente del sistema mediante analizador CVM-A1500

La figura 3.35, muestra los armónicos impares del 3 al 11 que se generan en el sistema de bombeo obteniendo un valor máximo de 5,37 % en el séptimo día y un mínimo de 4,62 % en el quinto en el armónico tres, mientras que en quinto armónico se consiguió un 2,76 % y 2,68 %.

Además, se observa que los armónicos menores son el noveno y el décimo primero con valores inferiores al 0,5 %, lo que significa que el sistema se encuentra en el rango establecido por ARCENNR 002-20, del 4 % para armónicos impares.

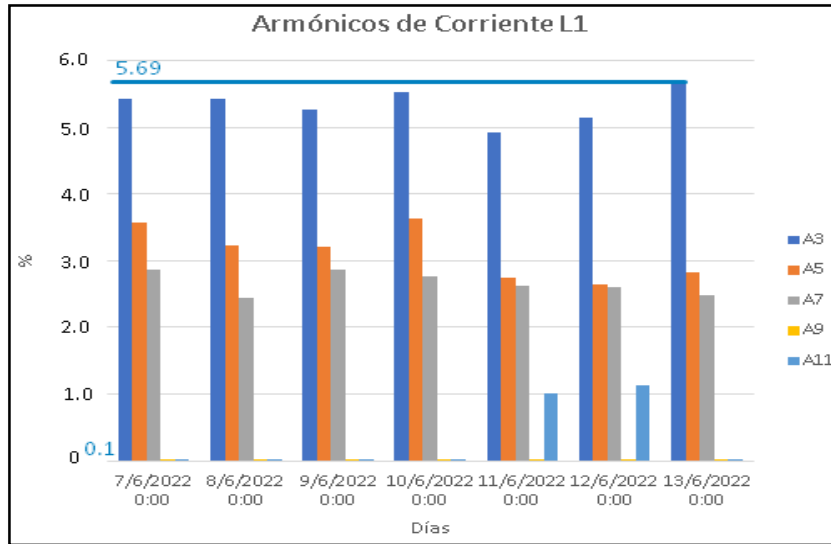


Figura 3.35: Armónico de corriente L1

En la tabla 3.22, se observa que los armónicos impares de corriente en la línea 1, llegan a cumplir con el porcentaje establecido por el ARCENNR 002-20, que es del 4 % para este punto.

Tabla 3.22. Armónicos de corriente en L1

Armónicos de Corriente en L1							
Armónicos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
3	5,295	5,425	5,255	5,505	4,835	5,135	5,695
5	3,575	3,235	3,215	3,545	2,685	2,495	2,765
7	2,815	2,375	2,865	2,705	2,505	2,595	2,425
9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
11	0,1	0,1	0,1	0,1	1,015	1,135	0,1
Promedio	2,377	2,247	2,307	2,391	2,228	2,292	2,217
Tolerancia ARCENNR 4%	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple

En el Anexo IX, se observan las curvas proporcionadas por el analizador de red CVM-A1500 instalado en el sistema de bombeo.

A continuación, en la figura 3.36 se observa que el armónico tres tiene un valor mayor en el tercer día de análisis en la línea 2 con un valor de 6,705 % y un mínimo de 5,815 % en el quinto mientras que los armónicos 9 y 11 se encuentran por debajo del 0,5 %. Además, el resto de

armónicos son inferiores al 3 % lo que significa que el sistema se encuentra en el rango establecido por el ARCERNNR 002/20, del 4 %.

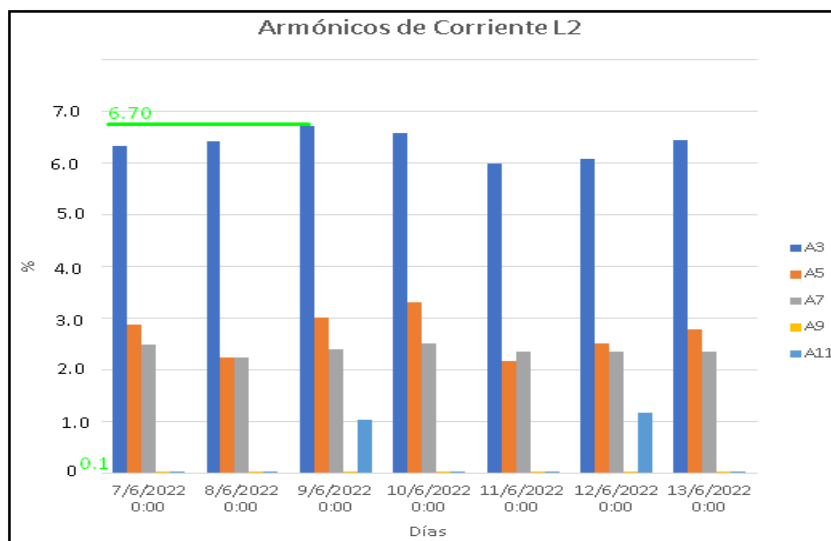


Figura 3.36: Armónico de corriente L2

A continuación, en la tabla 3.23 se observa el cumplimiento del rango establecido por el ARCERNNR 002/20, en cuanto a los armónicos impares del sistema de bombeo en la línea 2.

Tabla 3.23: Armónicos de corriente en L2

Armónicos de Corriente en L2							
Armónicos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
3	6,335	6,225	6,705	6,445	5,815	5,825	6,305
5	2,555	2,015	2,925	3,095	1,995	2,495	2,775
7	2,155	2,075	2,275	2,215	2,065	2,355	2,195
9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
11	0,1	0,1	1,015	0,1	0,1	1,155	0,1
Promedio	2,249	2,103	2,604	2,391	2,015	2,386	2,295
Tolerancia ARCERNNR 4%	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple

En el Anexo X, se pueden observar las curvas que se generan en los armónicos proporcionados por el analizador de red en los siete días de pruebas y recolección de datos.

La figura 3.37, muestra que el armónico tercero tiene un valor máximo de 5,135 % en el séptimo día de la toma de datos y un mínimo de 4,275 % en el quinto, teniendo en cuenta que el resto de armónicos que se producen en la línea 3 son inferiores al 3,795 % que se generó en el quinto

armónico del primer día de pruebas. Por lo tanto, se determina que los armónicos impares se encuentran en el rango establecido por el ARCERNNR 002/20, que es del 4 % para corrientes.

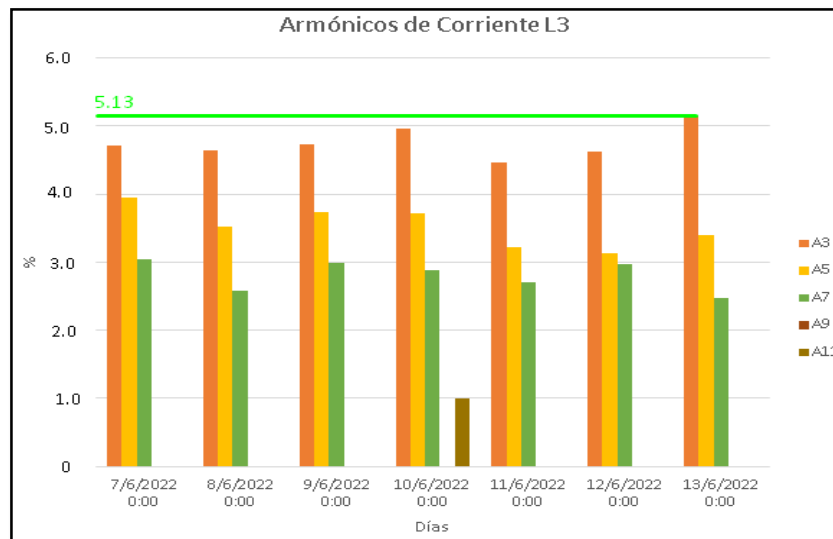


Figura 3.37: Armónico de corriente L3

La tabla 3.24 se muestran los resultados de los armónicos impares en la línea 3 del sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, teniendo en cuenta que los valores se encuentran en el rango establecido por el ARCERNNR 002/20.

Tabla 3.24: Armónicos de corriente en L3

Armónicos de Corriente en L3							
Armónicos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
3	4,715	4,575	4,585	4,755	4,455	4,415	5,135
5	3,795	3,515	3,735	3,565	3,225	3,125	3,405
7	2,855	2,495	2,925	2,745	2,655	2,975	2,395
9	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1,005	0	0	0
Promedio	2,273	2,117	2,249	2,414	2,067	2,103	2,187
Tolerancia ARCERNNR 4%	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Si cumple

Los resultados en cuanto a las curvas que se generaron de los armónicos en la red mediante el analizador CVM-A1500, se lo puede observar en el Anexo XI.

3.2.5. Análisis de potencia activa del sistema mediante analizador CVM-A1500

En la siguiente figura, se observan las curvas de potencias activas que se generó en el sistema de bombas de la Universidad Técnica de Cotopaxi mediante el analizador de red de la serie CVM-A1500, para lo cual se tomaron lecturas de 7 días.

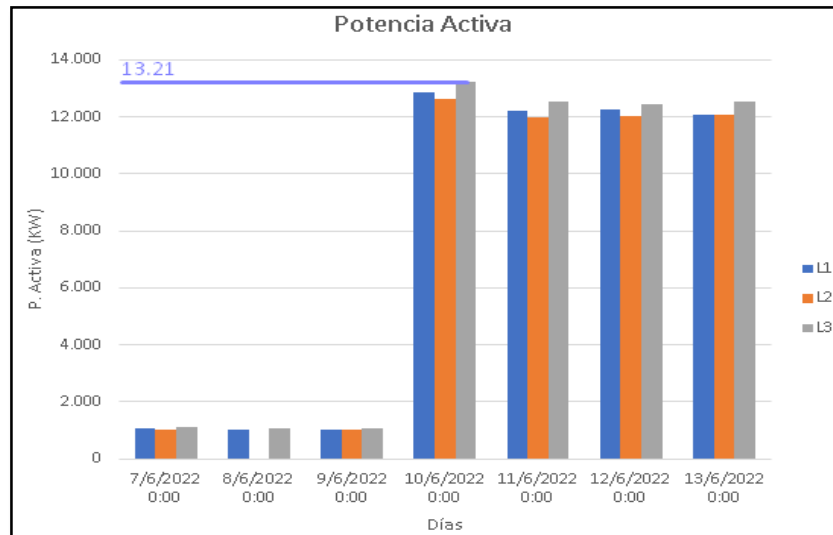


Figura 3.38: Potencia activa del sistema en 7 días

La figura anterior, muestra que la potencia activa mayor del sistema se dio el cuarto día con valores de 12,876 KW en L1, 12,631 KW en L2 y 13,219 KW en L3, mientras que la lectura mínima ocurrió en el tercer día de medición, teniendo como resultados una lectura de 1,007 KW en L1, 1,005 KW en L2 y 1,033 KW en L3, por lo que se da a entender que el sistema se encuentra desbalanceado en un 4,44 %. Por lo tanto, de acuerdo al ARCERNNR 002/20 el sistema se encuentra en el rango permitido del 5 %.

Además, en el Anexo XII se observa la gráfica de potencias activas que se obtuvieron del analizador de red CVM-A1500.

3.2.6. Análisis de potencia aparente del sistema mediante analizador CVM-A1500

A continuación, en la figura 3.39 se observan las potencias aparentes del sistema de bombeo en el lapso de 7 días de lecturas con el analizador de red CVM-A1500.

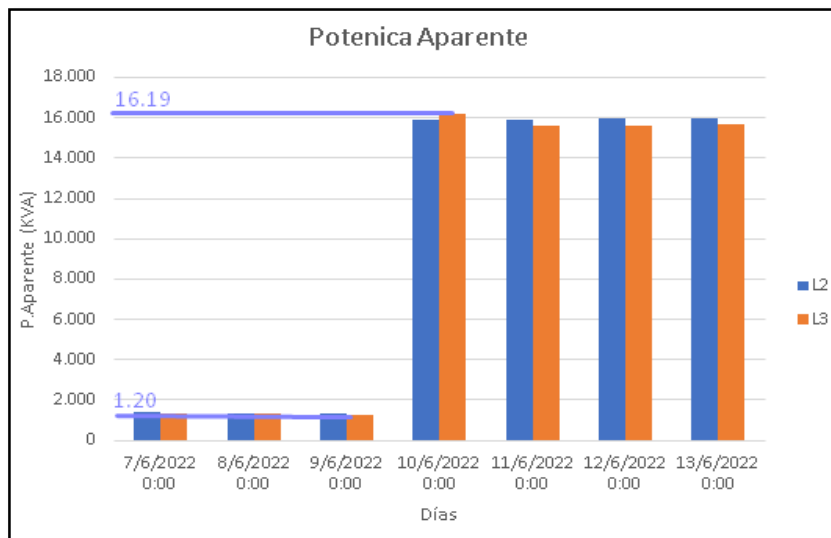


Figura 3.39: Potencia aparente del sistema en 7 días

La figura 3.39, muestra que en el cuarto día se obtiene mayor potencia aparente, debido a que la línea L2 posee un valor de 15,44 KVA, L3 un valor de 16,19 KVA, mientras que, en los tres primeros días, las líneas dan lecturas de 1,204 KVA, por lo que puede notar que el sistema de bombeo no se encontraba accionado en toda su capacidad. Además, se concluye que el sistema posee un valor de desbalanceo del 4,63 % por lo que se encuentra en el rango establecido por el ARCERNNR 002/20 del 5 % para que el sistema sea rediseñado.

Sin embargo, en el Anexo XIII se puede observar las gráficas que se obtuvo mediante el uso del analizador de red CVM-A1500 instalado en el sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.2.7. Análisis de potencia reactiva del sistema mediante analizador CVM-A1500

La figura 3.40, muestra el comportamiento de la potencia reactiva producida en el sistema de bombeo, teniendo en cuenta que los datos fueron tomados por siete días, mediante el analizador CVM-A1500, el cual fue conectado en la red eléctrica.

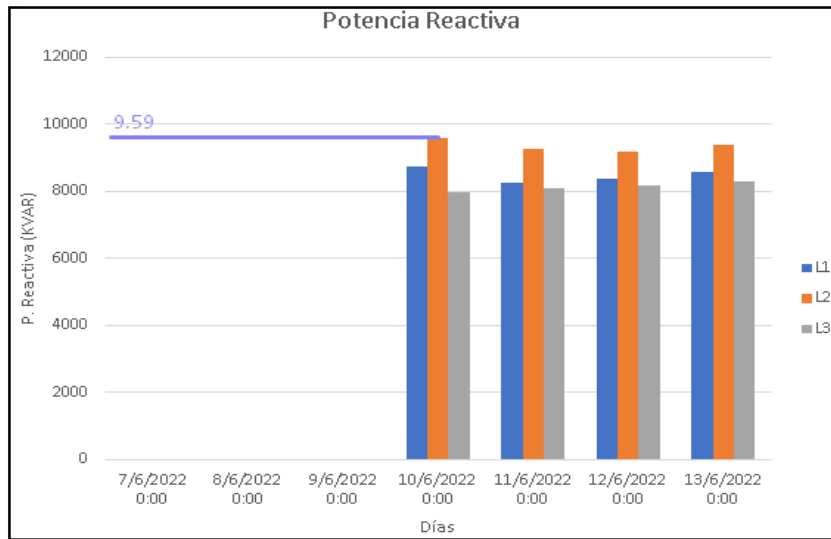


Figura 3.40: Potencia reactiva del sistema en 7 días

En la figura 3.40, se puede apreciar que los valores máximos de potencias reactivas se obtuvieron en el cuarto día de análisis en la red de bombeo teniendo un valor máximo de 9,59 kVAr en L2, mientras que en L1 se obtuvo 8,73 KVAR y en L3 un valor de 7,97 kVAr. También se observa que en los tres primeros días el sistema no se encontraba en funcionamiento ya que no se observan lecturas. Además, en el Anexo XIV se observa la gráfica proporcionada por el analizador CVM-A1500 que fue instalado en la red del sistema de bombeo.

3.2.8. Factor de potencia del sistema mediante analizador CVM-A1500

En la figura 3.41, se observa que el factor de potencia del sistema se encuentra en los rangos correctos, ya que no posee valores inferiores a la unidad (1), por lo que se puede concluir que la red del sistema de bombeo está funcionando adecuadamente.

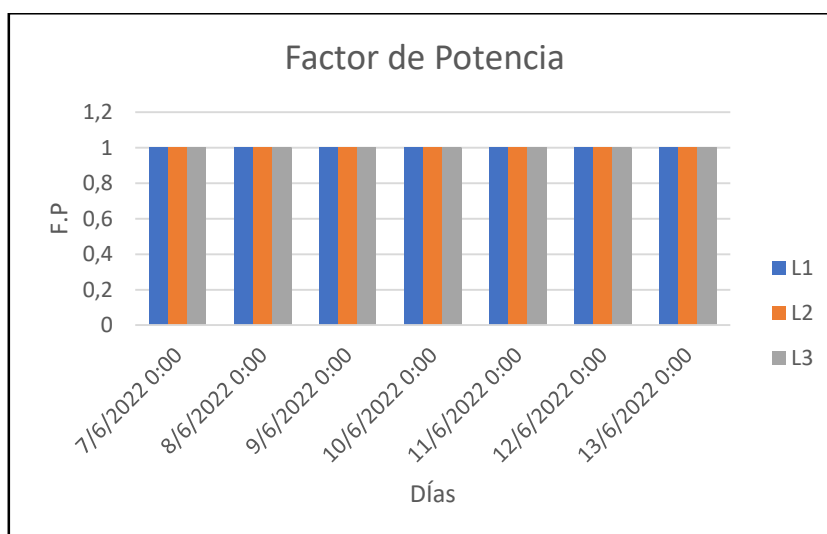


Figura 3.41: Factor de potencia del sistema en 7 días

3.2.9. Análisis de distorsión armónica THD de Voltaje del sistema mediante analizador CVM-A1500

La figura 3.42, muestra el registro de THD obtenidos por el analizador CVM-A1500 instalado en el área del sistema de bombeo, con la finalidad de determinar si se encuentra la red en el rango establecido por el ARCERNNR 002-20.

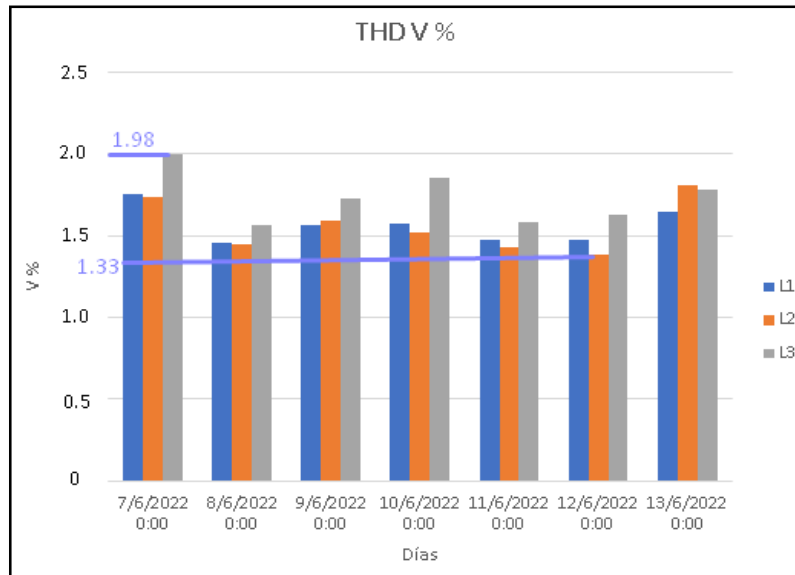


Figura 3.42: THD V% en 7 días

En la figura 3.42, se puede determinar que la mayor distorsión armónica se produjo en el primer día de pruebas, teniendo un porcentaje de 1,98 % en L3, en el L2 un valor de 1,505 % y en el L1 se obtuvo 1,609 %. Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos se verifica que se encuentra en el rango del 8 % establecido por el ARCENNR 002-20.

La tabla 3.25, muestra los valores de voltaje del THD máximo, mínimo y promedio que se generaron en las líneas mediante los siete días que se realizó con el analizador de red, concluyendo que se encuentran en el rango establecido por el ARCENNR 002-20.

Tabla 3.25: Armónicos THD de voltaje

Armónico de Voltaje					
THD Voltaje	THD L1	THD L2	THD L3	THD promedio	Tolerancia ARCERNNR 8%
THD máximo	1,445	1,605	1,505	1,52	Si cumple
THD mínimo	0,1	0,1	0,1	0,10	Si cumple
THD promedio	0,7725	0,8525	0,8025	0,81	Si cumple

Además, en el Anexo XV se observan las curvas que fueron proporcionadas por el analizador de red en el sistema de bombeo.

3.2.10. Análisis de distorsión armónica THD de corriente del sistema mediante analizador CVM-A1500

A continuación, en la figura 3.45, se observa la distorsión armónica THD de corrientes del sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, teniendo como resultados que en las tres líneas posee un porcentaje del 1 %, lo que significa que se encuentra dentro del rango del 5 % establecido por el ARCERNNR 002-20.

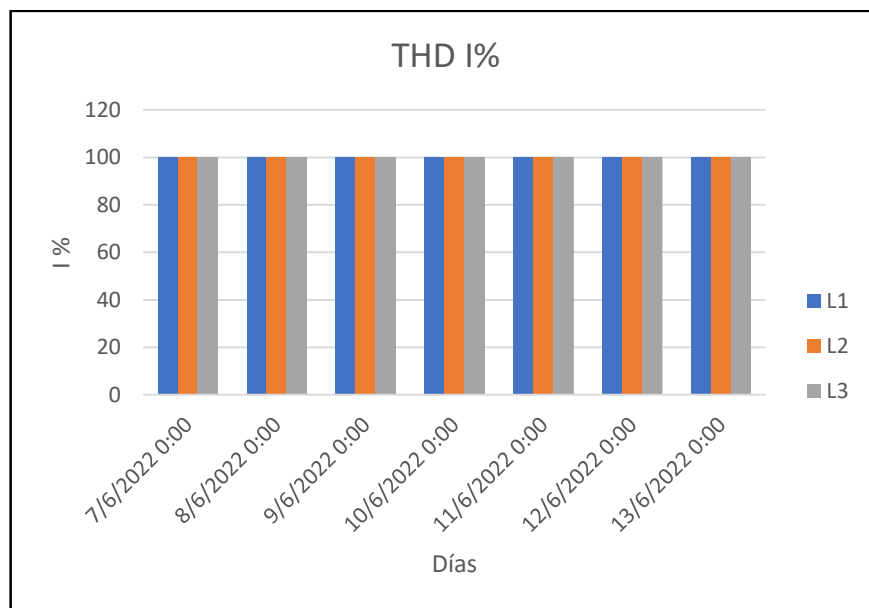


Figura 3.43: THD I% en 7 días

La tabla 3.26, indican los valores máximos, mínimos y promedio que se generan en los armónicos de corriente del sistema, por lo que se puede concluir que se encuentra en el rango establecido por el ARCERNNR 002/20 del 5 % en este caso.

Tabla 3.26: Armónicos THD de corriente

Armónico de Corriente					
THD Voltaje	THD L1	THD L2	THD L3	THD promedio	Tolerancia ARCERNNR 8%
THD máximo	5,695	6,705	5,135	5,85	Si cumple
THD mínimo	0,1	0,1	1,005	0,40	Si cumple
THD promedio	2,8975	3,4025	3,07	3,12	Si cumple

Sin embargo, en el Anexo XVI se puede observar las curvas que se generó con el analizador de red CVM-A1500, tenido como resultados porcentajes en el rango establecido del 5 %.

3.2.11. Eficiencia del sistema mediante analizador CVM-A1500

A continuación, en las figuras 3.44 proporcionadas por el analizador de red CVM-A1500 indican la potencia reactiva generada y consumida del sistema en siete días, por lo que se llegará a analizar su comportamiento.

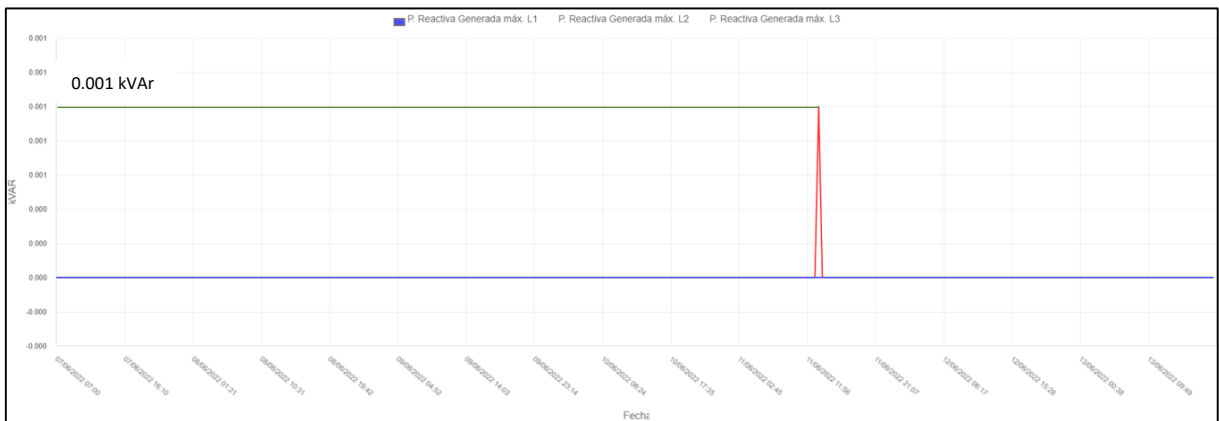


Figura 3.44: Potencia reactiva generada

En la fig. 3.44, se puede apreciar que en el quinto día de hacer el análisis posee un pico de potencia reactiva en la línea 1, el cual posee un valor de 0,001 kVAr, lo que significa que el sistema se encuentra sin desfases excesivos y esta balanceado.

Sin embargo, en la figura 4,45 se observa que la potencia reactiva consumida del sistema tiene picos mayores en los últimos cuatro días, lo que da a entender que en ese tiempo los equipos que conforman el cuarto de bombas de la Universidad Técnica de Cotopaxi están trabajando a su máxima capacidad, ya que la tienen como potencia consumida máxima un valor de 9,52kVAr, mientras que en los primeros tres días tiene un valor de aproximadamente 1 kVAr.

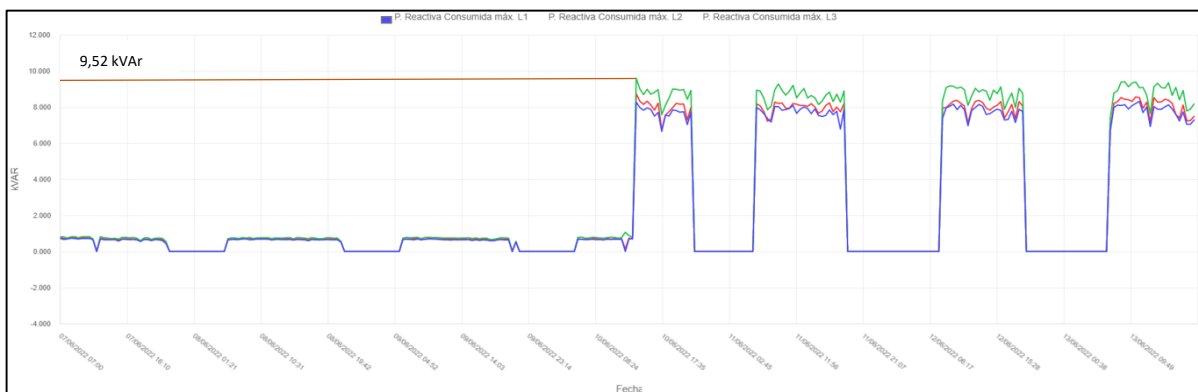


Figura 3.45: Potencia reactiva consumida

A continuación, se procederá a realizar un análisis en cuanto a la eficiencia de los respectivos motores que posee el sistema de bombo de la Universidad Técnica de Cotopaxi, teniendo en cuenta que disponen de potencias de 6.6, 15 y 25 HP.

La figura 3.46, muestra el comportamiento en cuanto a la eficiencia de la bomba 1 del sistema, siendo esta de 6.6 HP, por lo que se puede observar que la eficiencia en el instante de trabajar a su velocidad recomendada de 3480 rpm es del 79.07%, por lo que se puede demostrar que en ese parámetro no tendría ningún problema de operación. Además, se puede observar que en una velocidad máxima de 3600 rpm su eficiencia aumentaría a 81,79%, teniendo en cuenta que se reduciría su vida útil.

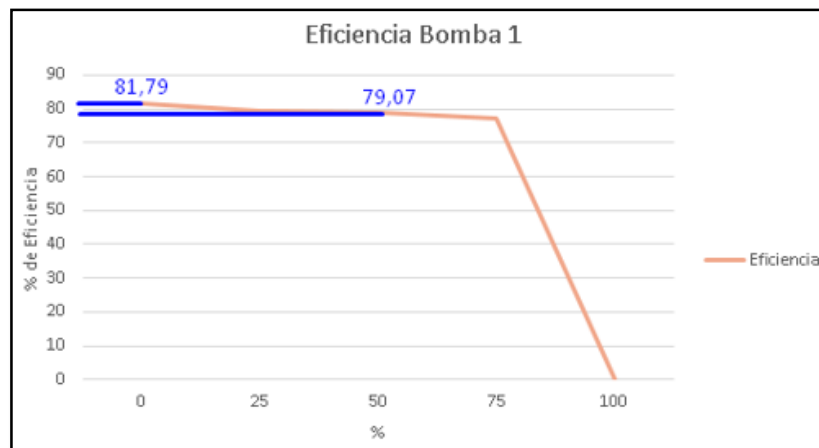


Figura 3.46: Eficiencia de la bomba 1

Se conoce que las bombas 2, 3 y 4 del cuarto de bombeo poseen las mismas características técnicas, ya que son bombas de 15 HP. Por lo tanto, en la figura 3.47, se observa la eficiencia de las misma, teniendo en cuenta que trabajarían a una velocidad nominal de 3500 rpm, obteniendo una eficiencia del 81,3%. Además, si dicha bomba llegara a trabajar a una velocidad de 3600 rpm esta incrementaría su eficiencia al 86,8%.

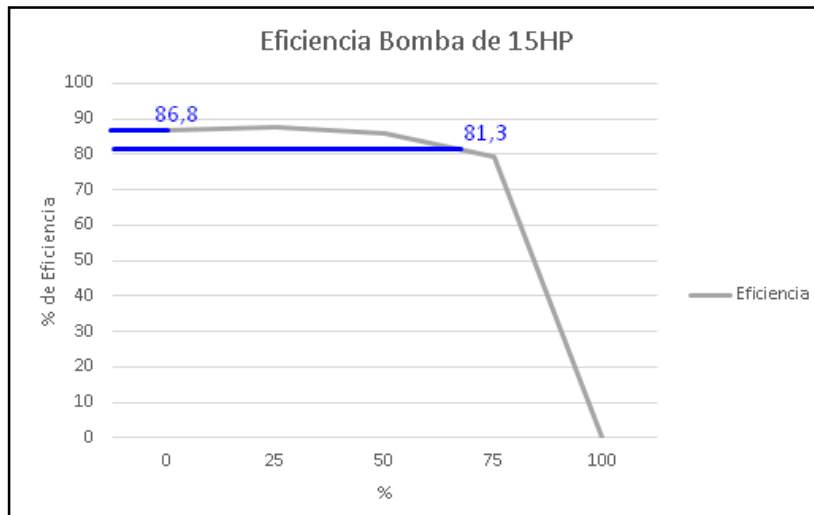


Figura 3.47: Eficiencia de bombas 2, 3 y 4

La figura 3.48, muestra la eficiencia que poseen las bombas 5 y 6, ya que tiene la misma potencia la cual es de 25HP. Dicha bomba trabaja a una velocidad angular de 3510 rpm con una eficiencia de 88,4% en el instante de trabajo, en caso que esta sobrepasara a 3600 rpm tendría un cambio en la parte de eficiencia la cual aumentaría al 90,66%.

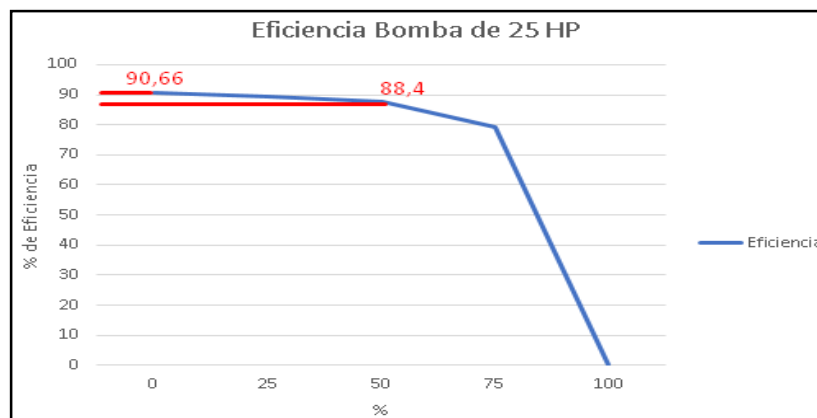


Figura 3.48: Eficiencia de bombas 5 y 6

Sin embargo, se puede concluir de los tres tipos de bombas que existe en el sistema de bombeo de le Universidad Técnica de Cotopaxi que la bomba con mayor eficiencia en el instante de trabajo es la de 25HP, debido a que tiene un valor de 88,4% a condiciones normales de operación.

3.2.12. Resumen del sistema mediante analizador CVM-A1500

En la tabla 3.27, se realizó un resumen general de todo el sistema para determinar si se encuentra en buen estado o a su vez si requiere de un rediseño, teniendo en consideración que estarán voltajes, corrientes, armónicos, THD y potencias.

Tabla 3.27: Resumen del sistema mediante datos tomados con el analizador de red

Resumen del Sistema		
Variables	Porcentaje (%)	Tolerancia ARCONEL
Voltajes L1	4,53	Si cumple
Voltajes L2	5,06	Si cumple
Voltajes L3	5,06	Si cumple
Armónico 3 de voltaje L1	0,10	Si cumple
Armónico 5 de voltaje L1	1,10	Si cumple
Armónico 7 de voltaje L1	0,65	Si cumple
Armónico 9 de voltaje L1	0,10	Si cumple
Armónico 11 de voltaje L1	0,10	Si cumple
Armónico 3 de voltaje L2	0,10	Si cumple
Armónico 5 de voltaje L2	1,25	Si cumple
Armónico 7 de voltaje L2	0,36	Si cumple
Armónico 9 de voltaje L2	0,10	Si cumple
Armónico 11 de voltaje L2	0,10	Si cumple
Armónico 3 de voltaje L3	0,10	Si cumple
Armónico 5 de voltaje L3	1,37	Si cumple
Armónico 7 de voltaje L3	1,14	Si cumple
Armónico 9 de voltaje L3	0,10	Si cumple
Armónico 11 de voltaje L3	0,10	Si cumple
Armónico 3 de corrientes L1	5,31	Si cumple
Armónico 5 de corrientes L1	3,07	Si cumple
Armónico 7 de corrientes L1	2,61	Si cumple
Armónico 9 de corrientes L1	0,10	Si cumple
Armónico 11 de corrientes L1	0,38	Si cumple
Armónico 3 de corrientes L2	6,24	Si cumple
Armónico 5 de corrientes L2	2,55	Si cumple
Armónico 7 de corrientes L2	2,19	Si cumple
Armónico 9 de corrientes L2	0,10	Si cumple
Armónico 11 de corrientes L2	0,38	Si cumple
Armónico 3 de corrientes L3	4,66	Si cumple
Armónico 5 de corrientes L3	3,48	Si cumple
Armónico 7 de corrientes L3	2,72	Si cumple
Armónico 9 de corrientes L3	0,00	Si cumple
Armónico 11 de corrientes L3	0,14	Si cumple
THD máximo de voltaje	1,52	Si cumple
THD mínimo de voltaje	0,10	Si cumple
THD máximo de corriente	5,85	Si cumple
THD mínimo de corriente	0,40	Si cumple

En la tabla 3.27, se observa que el sistema de bombas si está correctamente diseñado de acuerdo a lo que establece el ARCERNNR 002/20, dichos valores fueron tomados con el analizador CMV-A1500, el cual es fácil de implementar en la red eléctrica, ya sea a nivel domiciliario o industrial. Por lo tanto, se puede observar que sistema actualmente no requiere de un rediseño debido a que se encuentra trabajando correctamente, en el Anexo XVIII se observa el diagrama unifilar del sistema.

3.3. PRESUPUESTO E IMPACTOS

3.3.1. Presupuesto para la elaboración de proyecto

En esta sección de la propuesta tecnológica se detalla el aspecto económico del desarrollo e implementación del sistema para la obtención de la eficiencia y calidad de la energía en la barra que alimenta al sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Tabla 3.28: Presupuesto del proyecto de implementación

COSTOS DIRECTOS				
EQUIPOS Y ELEMENTOS	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO(\$)	COSTO (\$)
Analizador de redes CVMA-1500	1	c/u	1800	1800
Transformadores de corriente 60/05 A	3	c/u	16,25	48,75
Conductor eléctrico flexible calibre 14 AWG	20	m	1,30	26
Fusibles (1 Amperio)	3	c/u	0,50	1.50
Porta fusibles	3	c/u	4	12
Breaker (10 Amperios)	1	c/u	4,50	4,50
Breaker (12 Amperios)	1	c/u	5	5
Breaker (40 Amperios)	1	c/u	8	8
Taype	1	c/u	0,50	0,50
TOTAL				1906,25 \$

3.3.1.1. Gastos indirectos

Tabla 3.29: Gatos indirectos

Detalle	V. unidad	V. Total
Transporte	100 \$	100 \$
Alimentación	60 \$	60 \$
	TOTAL	160 \$

3.3.1.2. Gastos totales

Tabla 3.30: Gatos totales

Gatos Directos	1906,25 \$
Gastos indirectos	160 \$
TOTAL	2066,25 \$

3.3.2. Análisis de impactos

3.3.2.1. Factibilidad operativa

Mediante el estudio de análisis de calidad y eficiencia el proyecto tiene grandes ventajas, tales como incrementar la vida útil de los equipos y de su instalación, además mejora el proceso continuo de los servicios y procesos productivos dentro de las industrias.

3.3.2.2. Factibilidad económica

El detalle más importante de este proyecto, es el ahorro por penalizaciones que existen o pueden existir a futuro por motivos de bajo factor de potencia, en el caso de existir, en la penalización se considerará la facturación mensual correspondiente al consumo de energía, demanda, pérdidas en transformadores y comercialización multiplicado por el factor Bfp y con la implementación del sistema y corrección, esta facturación se disminuirá significativamente.

4. CONCLUSIONES

- Se llegó a instalar un analizador CMV-A1500 en la red del sistema de bombeo con la finalidad de recolectar datos de voltajes, corrientes, potencias y THD para de esa manera analizar el comportamiento eléctrico del mismo.
- Se analizaron los parámetros eléctricos durante siete días, en el cual dio como resultados que los armónicos impares de voltaje y corriente que se generaron en la red eléctrica se encuentran en el rango de porcentaje establecido por el ARCERNNR 002/20, ya que no superan el 5 % establecidos por dicha entidad.
- Mediante la recolección de datos obtenidos por el analizador CVM-A1500, se concluyó que la que la capacidad máxima a la cual trabaja el sistema de bombeo de la Universidad Técnica de Cotopaxi es de 9,52 kVAr, lo cual hay que tomar en cuenta que es la potencia que consume cuando se encuentran todos los equipos trabajando.
- Se llegó analizar los parámetros de calidad del cuarto de bombeo, por lo que tomaron parámetros de referencia en cuanto a los armónicos impares del 3 al 11 para determinar su comportamiento y si en realidad se encuentran en el rango establecido por el ente regulador ARCERNNR 002/20, en el cual se comprobó que se encuentran en el porcentaje del 5 % y el 8 %, mientras que para la parte de eficiencia se analizó la potencia reactiva que consume el sistema, dándose a notar que en los cuatro días de estar instalado el analizador de red se tuvo una potencia de 9,52 kVAr.
- Mediante los datos proporcionados por el analizador de red CMV-A1500, se determinó que los parámetros en cuanto armónicos, THD y potencias se encuentran en los rangos establecidos por el ARCERNNR 002/20, por lo que se llegó a concluir que el sistema se encuentra en buen estado por lo que no requiere de un rediseño eléctrico.

5. RECOMENDACIONES

- Tener un constante monitoreo mediante el analizador CMV-A1500, debido a que en el cuarto de bombero se pudieran implementar mayores cargas, por lo que el sistema podría llegar a distintos resultados y no cumplir con los porcentajes establecidos por el ARCERNNR.
- En caso que exista un aumento de cargas en el sistema de bombeo, se recomienda realizar un rediseño debido a que afectarían a los armónicos, parámetros de calidad y la potencia reactiva de consumo que se encarga de verificar la eficiencia del sistema.
- Instalar un analizador de red de distinto fabricante con la finalidad de comparar los parámetros de medición entre los dos equipos, ya que de esta manera se podría deducir la eficiencia y precisión del CVM-A1500.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. M. L. Sebastián, «ANÁLISIS DE PÉRDIDAS ENERGÉTICAS PARA MEJORA DE EFICIENCIA EN EL SISTEMA CABINA DE PINTURA AUTOMOTRIZ DE CIAUTO,» Marzo 2022. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Tesis%20I.M.%20674%20-%20Lozada%20Mart%C3%ADnez%20Luis%20Sebasti%C3%A1n%20f-signed-signed%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Tesis%20I.M.%20674%20-%20Lozada%20Mart%C3%ADnez%20Luis%20Sebasti%C3%A1n%20f-signed-signed%20(1).pdf). [Último acceso: Julio 2022].
- [2] R. J. y. H. Vargas, «ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA FLORÍCOLA AGRORAB CIA LTDA. UBICADA EN EL CANTÓN PUJILÍ,» 16 Julio 2019. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/hp/Downloads/eficiencia%20calidad%20de%20energia%20energia.pdf>. [Último acceso: 2019].
- [3] O. G. A. Bastidas, «Características físicas del suministro eléctrico,» Quito, 2015.
- [4] C. G. V. Valdiviezo, *Auditoría Energética de los Laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato*, Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [5] C. E. Berasategui Aguirre y J. M. González, «Rumbos tecnológicos,» Universidad Tecnológica Nacional, 11 septiembre 2019. [En línea]. Available: <http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/areas-tematicas/ingenieria-electrica/analisis-de-perturbaciones-en-redes-electricas-causas-y-consecuencias-en-sistemas-de-control-industrial/>.
- [6] ARCONEL, «Regulación No. ARCONEL - 053/18,» Quito, 2019, p. 38.
- [7] L. D. Hiler Kevin, *Análisis de Calidad de Energía en la Industria Alimenticia Agrovanic S.A.*, Guayaquil, 2018.
- [8] R. C. Herdman, EFICIENCIA ENERGÉTICA, Washington, DC: Congreso de EE. UU, 1993.
- [9] A. Augustyn., «Encyclopaedia Britannica,» Electric Power, 14 June 2018. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/electric-power>.
- [10] N. E. Selin, «Noelle Eckley Selin,» Wind Power, 14 July 2018. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/electric-power>.

- [11] P. P. J. D. P. G. Proaño Xavier, «Evaluación de Eficiencia Energética del Sistema Eléctrico para Mejorar los Indicadores de Desempeño IDEn en la Finca “La Cordillera”,» *Revista Técnica Energía*, vol. 19, n° 1, p. 19, 2022.
- [12] M. Z. Lowenstein, «Harmonic Current and Voltage Distortion,» *EC&M*, 1 November 2002. [En línea]. Available: <https://www.ecmweb.com/content/article/20887165/harmonic-current-and-voltage-distortion>.
- [13] M. y. A. Molina, «ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO, DE LA EMPRESA PROVEFRUT EN EL CANTÓN LATACUNGA DE ELEPCO S.A, PARA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA,» Mayo 15 2019. [En línea]. Available: [https://www.dielco.co/articulos/factor-potencia#:~:text=El%20factor%20de%20potencia%20\(fp,la%20potencia%20reactiva%20es%20cero..](https://www.dielco.co/articulos/factor-potencia#:~:text=El%20factor%20de%20potencia%20(fp,la%20potencia%20reactiva%20es%20cero..) [Último acceso: 2019].
- [14] A. D. R. Y. C. D. E. Y. R. N. N. RENOVABLES, «ARCERNR,» 13 noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/Regulacion-002-20.pdf>.
- [15] C. J. E. P. a. H. N. E. J. Currence, "Harmonic Resonance at a Medium-Sized Industrial Plant, Vol 31, NO. 4: IEEE Transactions on Industry Applications, 2017.
- [16] ARCONEL, «PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN,» Enero-Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/resoluciones-pliegos-tarifarios/>. [Último acceso: 2020].
- [17] G. Lemieux, Power System Harmonic Resonance - A Documented Case, IEEE Transactions on Industry Applications, 1990 Mayo/Junio.
- [18] J. Camacho, «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PLANTA INDUSTRIAL,» 23 Marzo 2019. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/hp/Downloads/108T0111.pdf>. [Último acceso: 2019].
- [19] C. M. y. K. Paucar, «ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN LA ILUMINACIÓN LED DE SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN LA CIUDAD DE AMBATO Av. LUIS ANÍBAL GRANJA SECTOR HUACHI CHICO,» 10 Febrero 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5593/1/PI-001116.pdf>. [Último acceso: 2019].
- [20] N. Lovinskiy, «Effects of Imbalances and Non-linear Loads in Electricity,» 2010. [En línea]. Available: <sgemfinalreport.fi/files/Lovinskiy-FIN-2010.pdf>.

- [21] J. F. J. Ramos, «ARMONICOS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS,» Junio 20 2017. [En línea]. Available: file:///C:/Users/hp/Downloads/pdf-paper-armonicos-en-los-sistemas-electricos-final_compress.pdf. [Último acceso: 2018].
- [22] G. Á. Atamba Bryan, «ESTUDIO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA,» Latacunga, 2021.
- [23] H. F. Claudia Sánchez, «EFICIENCIA ENERGÉTICA,» *ResearchGate*, vol. 1, p. 13, 2014.
- [24] B. Autonell, Eficiencia en el uso de la energía eléctrica, Barcelona: Lexus, 2012.
- [25] J. D. Barroso, Escritor, *Eficiencia energética*. [Performance]. Consejo Europeo, 21 de marzo de 2014.
- [26] CIRCUITOR, Analizador de redes CVM-A1000, CVM-A1500.
- [27] CVM, «Analizadores de redes eléctricas,» 28 05 2016. [En línea]. Available: https://docs.circuitor.com/docs/CT_AnalizadoresFijos_SP.pdf.
- [28] «Eficiencia y calidad,» Santa Cruz de Tenerife, 2021. [En línea]. Available: <https://mentorday.es/wikitips/eficiencia-y-calidad/#:~:text=El%20nivel%20de%20eficiencia%20y,que%20est%C3%A1n%20de%20su%20>.

ANEXOS

ANEXO

Informe de antiplagio



Document Information

Analyzed document	TESIS_Gavilanes_Vega.docx (D143373461)
Submitted	2022-08-30 01:09:00
Submitted by	
Submitter email	luis.cruz@utc.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	luis.cruz.utc@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Andy Felix_Stalin Acosta_Anexo 7_FINAL.docx Document Andy Felix_Stalin Acosta_Anexo 7_FINAL.docx (D143365917) Submitted by: luis.cruz@utc.edu.ec Receiver: luis.cruz.utc@analysis.orkund.com	 6
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / ANTAMBA_GOMEZ.pdf Document ANTAMBA_GOMEZ.pdf (D111014598) Submitted by: edgar.salazar7619@utc.edu.ec Receiver: edgar.salazar7619.utc@analysis.orkund.com	 11
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / PROYECTO DE INVESTIGACION.pdf Document PROYECTO DE INVESTIGACION.pdf (D125025548) Submitted by: carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec Receiver: carlos.quinatoa7864.utc@analysis.orkund.com	 1
W	URL: http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionyposgrado.com/areas-tematicas/ingenieria-electrica/analisis-de-perturbaciones-en-redes-electricas-causas-y-consecuencias-en-sistemas-de-control-industrial/ Fetched: 2022-08-30 01:09:00	 1
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Tesis_Antamba_Gomez.pdf Document Tesis_Antamba_Gomez.pdf (D110772450) Submitted by: edgar.salazar7619@utc.edu.ec Receiver: edgar.salazar7619.utc@analysis.orkund.com	 13
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / Tesis final.pdf Document Tesis final.pdf (D143301911) Submitted by: carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec Receiver: carlos.quinatoa7864.utc@analysis.orkund.com	 6

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANEXO I

Ficha técnica

Marcado de bornes / Terminal connections designations	
1	V_{REF} , Entrada de tensión referencia / Reference voltage input
2	N_{REF} , Neutro de la tensión de referencia Neutral to the reference voltage
3	N, neutro / neutral
4	V_{L3} , entrada de tensión L3/ L3 voltage input
5	V_{L2} , entrada de tensión L2/ L2 voltage input
6	V_{L1} , entrada de tensión L1/ L1 voltage input
7	I_1 , entrada digital 1/ digital input 1
8	I_2 , entrada digital 2/ digital input 2
9	I_G , GND entradas digitales / GND digitals inputs
10	T_1 , Salida digital 1 / digital output 1
11	T_2 , Salida digital 2 / digital output 2
12	T_G , Común de las salidas digitales / Digital output common
13	A(+), RS-485
14	B(-), RS-485
15	S, GND para RS-485 / GND for RS-485
16,17	R1, Salida relé 1 / Relay output 1
18,19	R2, Salida relé 2 / Relay output 2
20	Ethernet
21	Alimentación auxiliar / Auxiliary power supply ~ +, CVM-A1500-ITF ~, CVM-A1500-ITF- SDC
22	Alimentación auxiliar / Auxiliary power supply ~ -, CVM-A1500-ITF +, CVM-A1500-ITF- SDC
23	S_1 , entrada de corriente L1 / L1 current input
24	S_2 , entrada de corriente L1 / L1 current input
25	S_1 , entrada de corriente L2 / L2 current input
26	S_2 , entrada de corriente L2 / L2 current input
27	S_1 , entrada de corriente L3 / L3 current input
28	S_2 , entrada de corriente L3 / L3 current input
29	S_1 , entrada de corriente LN / LN current input
30	S_2 , entrada de corriente LN / LN current input

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANEXO II

Ficha técnica

Características técnicas / Technical features / Caractéristiques techniques / Technische Merkmale / Caratteristiche Tecniche / Características t

Alimentación en CA		AC Power supply		CVM-A1500-ITF	
Tensión nominal	Rated voltage	100 ... 240 V ~			
Frecuencia	Frequency	45 ... 65 Hz			
Consumo	Consumption	max. 29.4 VA			
Categoría de la instalación	Installation category	CAT III 300V			
Alimentación en CC		DC Power supply		CVM-A1600-ITF -SDC	
Tensión nominal	Rated voltage	20... 120V ===		120... 300V ===	
Consumo	Consumption	max. 13.8 W		max. 11.9 W	
Categoría de la instalación	Installation category	CAT III 300V			
Circuito de medida de tensión		Voltage measurement circuit		Standard	
Margen de medida de tensión	Voltage measurement margin	20 ... 600V ~		Bornes/Terminals BOLD	
Margen de medida de frecuencia	Frequency measurement margin	40 ... 70Hz		2) ... 300V ~	
Impedancia de entrada	Input impedance	1.2MΩ			
Tensión mínima de medida (Vstart)	Min. voltage measurement (Vstart)	10 V ~			
Consumo máximo entrada de tensión	Max. consumption of the voltage input	0.15 VA			
Categoría de la instalación	Installation category	CAT III 600V		CAT III 300V	
Circuito de medida de corriente		Current measurement circuit			
Corriente nominal (In)	Rated current (In)	.../5A , .../1A o .../0.250 A			
Margen de medida de corriente de fase	Phase current measurement margin	In : .../5A	In : .../1A	In : .../0.250A	
		0.01 ... 10A	0.01 ... 2A	0.01 ... 0.5A	
Margen de medida de corriente de neutro	Neutral current measurement margin	.../5A	.../1A	.../A (calculada / calculated)	
		0.02 ... 10A	0.02 ... 2A	0.02 ... 10A (In:.../5A) 0.02 ... 2A (In:.../1A) 0.02 ... 0.5A (In:.../0.250A)	
Corriente máxima, impulso < 1s	Maximum current, impulse < 1s	100 A			
Corriente mínima de medida (Istart)	Min. current measurement (Istart)	0.01 A	0.01 A	0.01 A	
Consumo máximo entrada de corriente	Max. consumption of the voltage input	0.9 VA			
Categoría de la instalación	Installation category	Standard : CAT III 600V - Bornes/Terminals BOLD :		CAT III 300V	

Salidas digitales de relé ⁽¹⁾		Relay digital output ⁽¹⁾	
Cantidad	Quantity	2	
Tensión máxima contactos abiertos	Max. voltage open contacts	250 V ~	
Corriente máxima	Maximum current	3A	
Potencia máxima de conmutación	Maximum switching power	1500 VA (AC1)	
Vida eléctrica (máxima carga)	Electrical life (Maximum load)	3x10 ⁶ ciclos / cycles	
Vida mecánica	Mechanical life	1x10 ⁶ ciclos / cycles	

Entradas digitales ⁽¹⁾		Digital inputs ⁽¹⁾	
Cantidad	Quantity	2	
Tipo	Type	Contacto libre de potencial / Potential free contact	
Aislamiento	Insulation	4kV	
Corriente máxima en cortocircuito	Max current in short circuit	5 mA	
Tensión máxima en circuito abierto	Max voltage in open circuit	15V ===	

Interfaz con el usuario		User interface	
Display	Display	TFT color VGA(640x480)	
Teclado	Keyboard	Capacitivo / Capacitive, 3 teclas / keys	
LED	LED	5 LED	

Comunicaciones XML		Communications XML		Módulo Datalogger / Datalogger module	
Conector	Connector	RJ-45			
Protocolo de comunicaciones	Protocol	XML			
Velocidad	Baud rate	Ethernet 10BT / 100BT			

Comunicaciones		Communications		Modbus RTU		BACNet	
Bus de campo	Bus	RS-485		MS/TP			
Protocolo de comunicaciones	Protocol	Modbus RTU		BACnet			
Velocidad	Baud rate	9600-19200-38400-57600-76800-115200					
Bits de stop	Stop bits	1-2		1			
Paridad	Parity	sin-par-impar/ without-even-odd		sin / without			

Características ambientales		Environmental features	
Temperatura de trabajo	Operating temperature	-10°C... +50°C	
Temperatura de almacenamiento	Storage temperature	-20°C ... +80°C	
Humedad relativa (sin condensación)	Relative humidity (non-condensing)	5 ... 95%	
Altitud máxima	Maximum altitude	2000 m	

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ANEXO III

Armónicos línea 1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ITEM	Fecha/hora	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,
1	7/6/2022 7:00	126,88	0,01	0,195	0,01	1,345	0,005	0,735	0
2	7/6/2022 7:30	126,62	0,01	0,2	0,01	1,41	0,01	0,83	0,01
3	7/6/2022 8:00	125,59	0,01	0,175	0	1,35	0,005	0,765	0
4	7/6/2022 8:30	124,85	0,01	0,135	0,01	1,365	0,01	0,795	0
5	7/6/2022 9:00	125,44	0,01	0,15	0,01	1,15	0,01	0,775	0,01
6	7/6/2022 9:30	125,53	0,01	0,18	0,01	1,22	0,005	0,91	0
7	7/6/2022 10:00	125,6	0,03	0,13	0,01	1,295	0,01	0,92	0,005
8	7/6/2022 10:30	125,38	0,02	0,125	0,01	1,16	0,01	0,905	0,01
9	7/6/2022 11:00	125,41	0,01	0,135	0,01	1,245	0	0,905	0
10	7/6/2022 11:30	125,96	0,01	0,125	0,01	1,22	0	0,925	0
11	7/6/2022 12:00	126,75	0,01	0,07	0,01	1,255	0	0,855	0,005
12	7/6/2022 12:30	127,62	0,045	0,1	0,02	1,21	0,01	0,87	0,005
13	7/6/2022 13:00	128,38	0,02	0,115	0,01	1,245	0,01	0,975	0,01
14	7/6/2022 13:30	128,39	0,02	0,14	0,005	1,355	0,005	0,94	0
15	7/6/2022 14:00	127,5	0,01	0,15	0,01	1,38	0,01	1,015	0,01
16	7/6/2022 14:30	126,94	0,01	0,13	0,01	1,37	0,005	0,96	0
17	7/6/2022 15:00	126,94	0,02	0,17	0,005	1,27	0,01	0,925	0,005
18	7/6/2022 15:30	127,07	0,01	0,15	0,01	1,195	0,005	0,965	0
19	7/6/2022 16:00	127,79	0,01	0,1	0,005	1,25	0,005	1,025	0
20	7/6/2022 16:30	128,56	0,02	0,06	0,01	1,29	0,01	0,975	0
21	7/6/2022 17:00	129,25	0,02	0,18	0,01	1,2	0,01	1,02	0,005
22	7/6/2022 17:30	130,23	0,01	0,21	0,005	1,06	0	1,07	0

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
294	13/6/2022 9:30	126,77	0,02	0,165	0,03	0,855	0,01	0,61	0,01
295	13/6/2022 10:00	126,63	0,01	0,13	0,01	1,145	0	0,755	0,005
296	13/6/2022 10:30	126,11	0,01	0,1	0,02	1,125	0,005	0,74	0
297	13/6/2022 11:00	126,07	0,01	0,09	0,03	1,09	0,01	0,725	0,005
298	13/6/2022 11:30	126	0,01	0,095	0,01	1,105	0	0,7	0
299	13/6/2022 12:00	126,6	0,01	0,065	0,01	1,045	0	0,81	0
300	13/6/2022 12:30	127,08	0,01	0,07	0,02	0,845	0,01	0,75	0
301	13/6/2022 13:00	127,32	0,01	0,075	0,01	0,83	0,005	0,725	0
302	13/6/2022 13:30	127,36	0,01	0,14	0,01	0,905	0,02	0,735	0,01
303	13/6/2022 14:00	127,07	0,01	0,145	0,01	0,975	0,005	0,79	0
304	13/6/2022 14:30	126,96	0,01	0,18	0,01	0,765	0,01	0,735	0
305	13/6/2022 15:00	126,76	0,01	0,135	0,01	0,86	0,005	0,65	0,005
306	13/6/2022 15:30	126,89	0,01	0,135	0,01	0,89	0,005	0,61	0
307	13/6/2022 16:00	127,44	0,01	0,14	0,01	0,925	0,01	0,675	0
308	13/6/2022 16:30	127,94	0,01	0,185	0,01	0,99	0,01	0,64	0,01
309	13/6/2022 17:00	129,06	0,02	0,165	0,035	0,95	0,035	0,925	0,02
310	13/6/2022 17:30	129,45	0,01	0,105	0,01	0,96	0	0,915	0,01
311	13/6/2022 18:00	129,18	0,01	0,17	0,005	1,045	0	0,855	0,005
312	13/6/2022 18:30	127,77	0,01	0,27	0,01	1,05	0	0,82	0,01
	TOTAL	129,23							

ANEXO IV

Armónicos línea 2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ITEM	Fecha/hora	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,	CVM-A1500,
1	7/6/2022 7:00	127,15	0,01	0,145	0	1,245	0,01	0,73	0
2	7/6/2022 7:30	127,05	0,01	0,165	0,005	1,33	0,01	0,825	0,005
3	7/6/2022 8:00	126,06	0,01	0,135	0,005	1,24	0,005	0,835	0,005
4	7/6/2022 8:30	125,39	0,01	0,085	0,01	1,265	0,005	0,86	0
5	7/6/2022 9:00	125,90	0,01	0,115	0	1,06	0,01	0,74	0
6	7/6/2022 9:30	125,77	0,01	0,125	0,005	1,09	0,01	0,77	0
7	7/6/2022 10:00	125,89	0,01	0,09	0	1,23	0,01	0,785	0
8	7/6/2022 10:30	125,59	0,01	0,15	0	1,075	0,01	0,77	0
9	7/6/2022 11:00	125,67	0,01	0,08	0	1,26	0,005	0,75	0
10	7/6/2022 11:30	126,36	0,01	0,085	0	1,265	0,005	0,76	0
11	7/6/2022 12:00	127,37	0,01	0,13	0	1,28	0	0,835	0
12	7/6/2022 12:30	128,00	0,06	0,105	0,015	1,235	0,015	0,85	0,005
13	7/6/2022 13:00	128,55	0,01	0,13	0,01	1,275	0,01	0,885	0
14	7/6/2022 13:30	128,46	0,01	0,13	0,01	1,34	0,005	0,825	0
15	7/6/2022 14:00	127,72	0,01	0,155	0	1,37	0,01	0,935	0
16	7/6/2022 14:30	127,20	0,01	0,145	0,005	1,285	0	0,895	0
17	7/6/2022 15:00	127,30	0,01	0,085	0	1,225	0,01	0,855	0
18	7/6/2022 15:30	127,38	0,01	0,09	0,005	1,23	0,005	0,865	0
19	7/6/2022 16:00	128,05	0,01	0,115	0,01	1,29	0	0,85	0
20	7/6/2022 16:30	128,91	0,01	0,12	0,01	1,38	0,005	0,91	0,005
21	7/6/2022 17:00	129,71	0,01	0,25	0,005	1,19	0,005	1,015	0
22	7/6/2022 17:30	130,61	0,01	0,27	0,01	1,165	0,005	0,995	0
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
294	13/6/2022 9:30	127,35	0,01	0,19	0,04	0,98	0	0,8	0
295	13/6/2022 10:00	127,25	0,01	0,15	0,005	1,215	0	0,855	0
296	13/6/2022 10:30	126,63	0,01	0,15	0,02	1,125	0	0,785	0
297	13/6/2022 11:00	126,57	0,01	0,17	0,04	1,105	0	0,76	0
298	13/6/2022 11:30	126,44	0,01	0,175	0,01	1,135	0	0,75	0
299	13/6/2022 12:00	127,10	0,01	0,2	0,01	1,045	0	0,84	0
300	13/6/2022 12:30	127,68	0,01	0,15	0,05	0,835	0	0,815	0
301	13/6/2022 13:00	127,98	0,01	0,205	0,02	0,885	0	0,74	0
302	13/6/2022 13:30	127,98	0,01	0,23	0,035	1,005	0	0,725	0,005
303	13/6/2022 14:00	127,70	0,01	0,215	0,01	1,1	0	0,8	0
304	13/6/2022 14:30	127,76	0,01	0,24	0,02	0,98	0	0,77	0
305	13/6/2022 15:00	127,51	0,01	0,25	0,02	1,075	0,005	0,69	0
306	13/6/2022 15:30	127,65	0,01	0,255	0,01	1,11	0	0,675	0
307	13/6/2022 16:00	128,04	0,01	0,215	0,02	1,105	0	0,69	0
308	13/6/2022 16:30	128,67	0,01	0,135	0,01	1,125	0	0,67	0
309	13/6/2022 17:00	129,63	0,01	0,23	0,035	1,175	0,02	0,9	0,005
310	13/6/2022 17:30	130,07	0,01	0,225	0,01	1,13	0	1,005	0
311	13/6/2022 18:00	129,84	0,01	0,235	0,01	1,155	0	0,87	0
312	13/6/2022 18:30	128,54	0,01	0,315	0,01	1,135	0	0,72	0
	TOTAL	129,57							

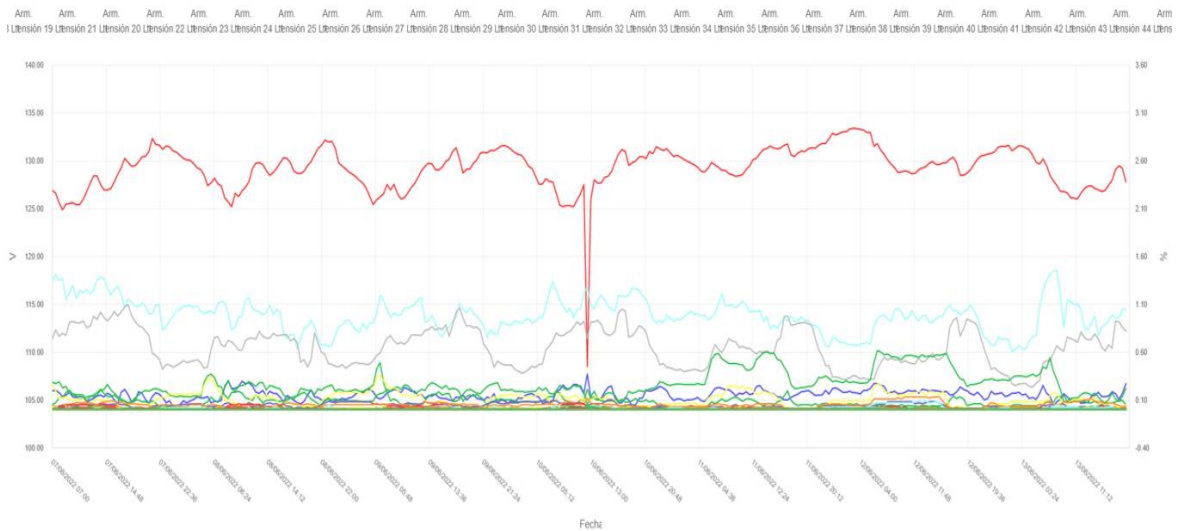
ANEXO V

Armónicos línea 3

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ITEM	Fecha/hora	CVM-A1500,1	CVM-A1500,2	CVM-A1500,3	CVM-A1500,4	CVM-A1500,5	CVM-A1500,6	CVM-A1500,7	CVM-A1500,8
1	7/6/2022 7:00	127,15	0,01	0,145	0	1,245	0,01	0,73	0
2	7/6/2022 7:30	127,05	0,01	0,165	0,005	1,33	0,01	0,825	0,005
3	7/6/2022 8:00	126,06	0,01	0,135	0,005	1,24	0,005	0,835	0,005
4	7/6/2022 8:30	125,39	0,01	0,085	0,01	1,265	0,005	0,86	0
5	7/6/2022 9:00	125,90	0,01	0,115	0	1,06	0,01	0,74	0
6	7/6/2022 9:30	125,77	0,01	0,125	0,005	1,09	0,01	0,77	0
7	7/6/2022 10:00	125,89	0,01	0,09	0	1,23	0,01	0,785	0
8	7/6/2022 10:30	125,59	0,01	0,15	0	1,075	0,01	0,77	0
9	7/6/2022 11:00	125,67	0,01	0,08	0	1,26	0,005	0,75	0
10	7/6/2022 11:30	126,36	0,01	0,085	0	1,265	0,005	0,76	0
11	7/6/2022 12:00	127,37	0,01	0,13	0	1,28	0	0,835	0
12	7/6/2022 12:30	128,00	0,06	0,105	0,015	1,235	0,015	0,85	0,005
13	7/6/2022 13:00	128,55	0,01	0,13	0,01	1,275	0,01	0,885	0
14	7/6/2022 13:30	128,46	0,01	0,13	0,01	1,34	0,005	0,825	0
15	7/6/2022 14:00	127,72	0,01	0,155	0	1,37	0,01	0,935	0
16	7/6/2022 14:30	127,20	0,01	0,145	0,005	1,285	0	0,895	0
17	7/6/2022 15:00	127,30	0,01	0,085	0	1,225	0,01	0,855	0
18	7/6/2022 15:30	127,38	0,01	0,09	0,005	1,23	0,005	0,865	0
19	7/6/2022 16:00	128,05	0,01	0,115	0,01	1,29	0	0,85	0
20	7/6/2022 16:30	128,91	0,01	0,12	0,01	1,38	0,005	0,91	0,005
21	7/6/2022 17:00	129,71	0,01	0,25	0,005	1,19	0,005	1,015	0
22	7/6/2022 17:30	130,61	0,01	0,27	0,01	1,165	0,005	0,995	0
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
294	13/6/2022 9:30	127,35	0,01	0,19	0,04	0,98	0	0,8	0
295	13/6/2022 10:00	127,25	0,01	0,15	0,005	1,215	0	0,855	0
296	13/6/2022 10:30	126,63	0,01	0,15	0,02	1,125	0	0,785	0
297	13/6/2022 11:00	126,57	0,01	0,17	0,04	1,105	0	0,76	0
298	13/6/2022 11:30	126,44	0,01	0,175	0,01	1,135	0	0,75	0
299	13/6/2022 12:00	127,10	0,01	0,2	0,01	1,045	0	0,84	0
300	13/6/2022 12:30	127,68	0,01	0,15	0,05	0,835	0	0,815	0
301	13/6/2022 13:00	127,98	0,01	0,205	0,02	0,885	0	0,74	0
302	13/6/2022 13:30	127,98	0,01	0,23	0,035	1,005	0	0,725	0,005
303	13/6/2022 14:00	127,70	0,01	0,215	0,01	1,1	0	0,8	0
304	13/6/2022 14:30	127,76	0,01	0,24	0,02	0,98	0	0,77	0
305	13/6/2022 15:00	127,51	0,01	0,25	0,02	1,075	0,005	0,69	0
306	13/6/2022 15:30	127,65	0,01	0,255	0,01	1,11	0	0,675	0
307	13/6/2022 16:00	128,04	0,01	0,215	0,02	1,105	0	0,69	0
308	13/6/2022 16:30	128,67	0,01	0,135	0,01	1,125	0	0,67	0
309	13/6/2022 17:00	129,63	0,01	0,23	0,035	1,175	0,02	0,9	0,005
310	13/6/2022 17:30	130,07	0,01	0,225	0,01	1,13	0	1,005	0
311	13/6/2022 18:00	129,84	0,01	0,235	0,01	1,155	0	0,87	0
312	13/6/2022 18:30	128,54	0,01	0,315	0,01	1,135	0	0,72	0
TOTAL		129,57							

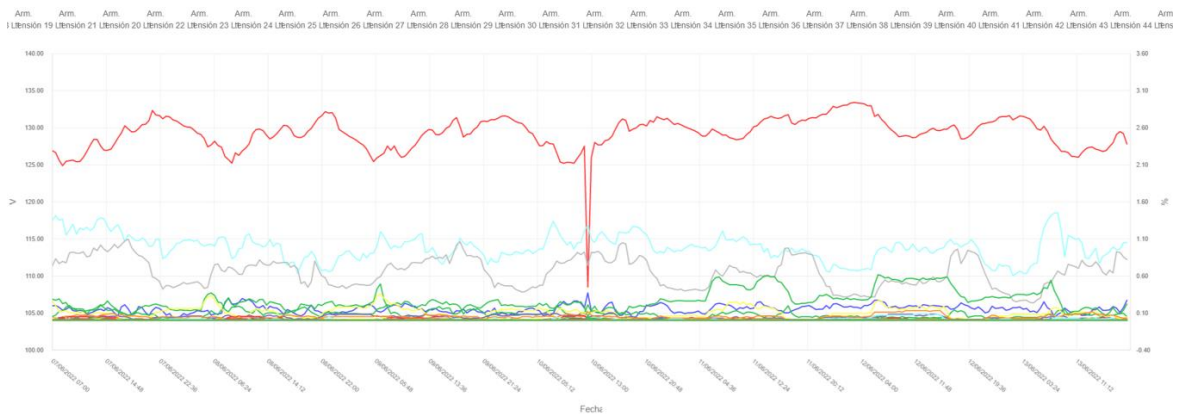
ANEXO VI

Armónicos de Voltaje L1



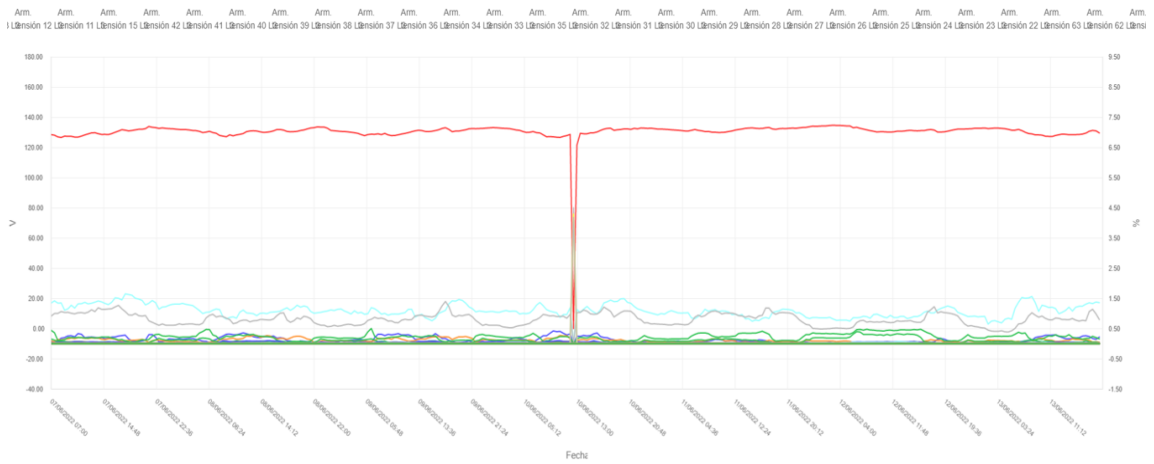
ANEXO VII

Armónicos de Voltaje L2



ANEXO VIII

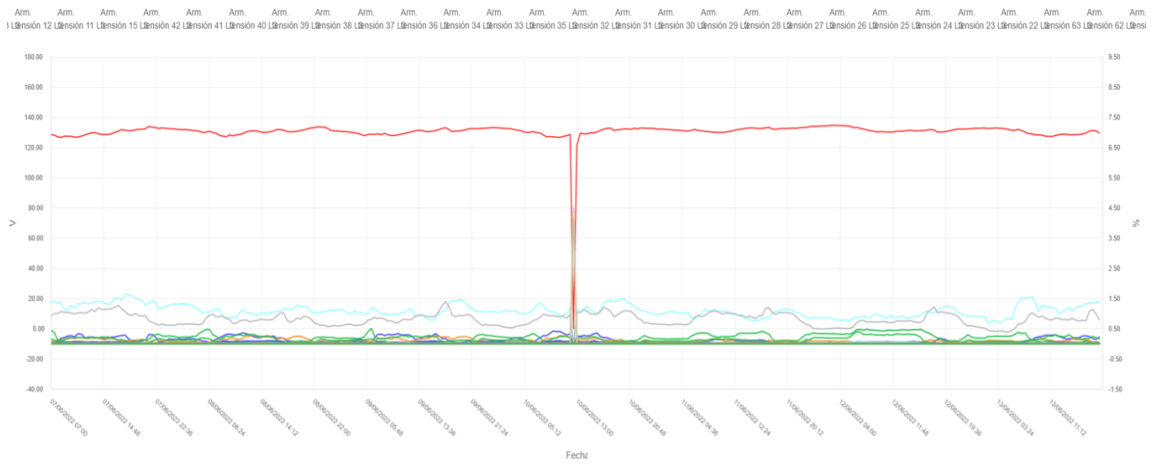
Armónicos de Voltaje L3





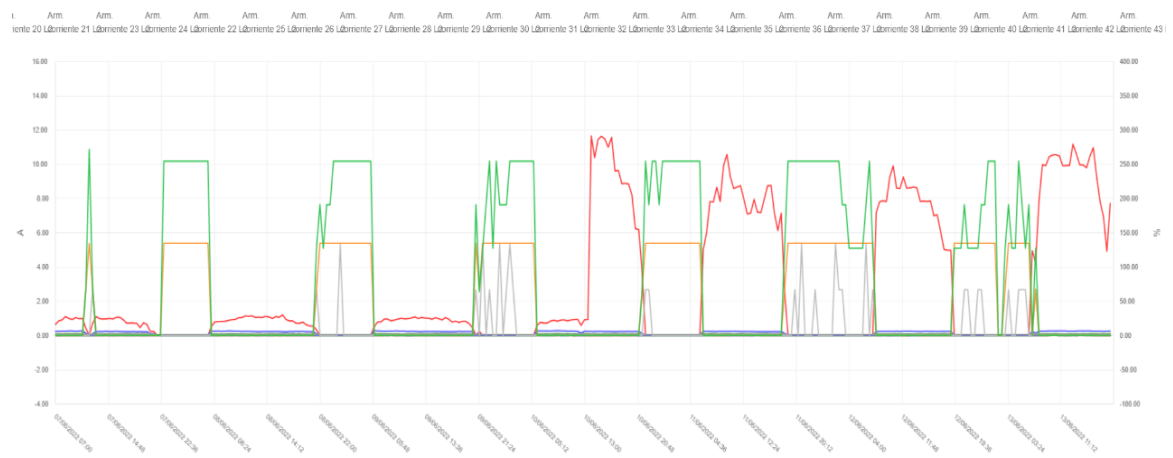
ANEXO IX

Armónicos de Corriente L1



ANEXO X

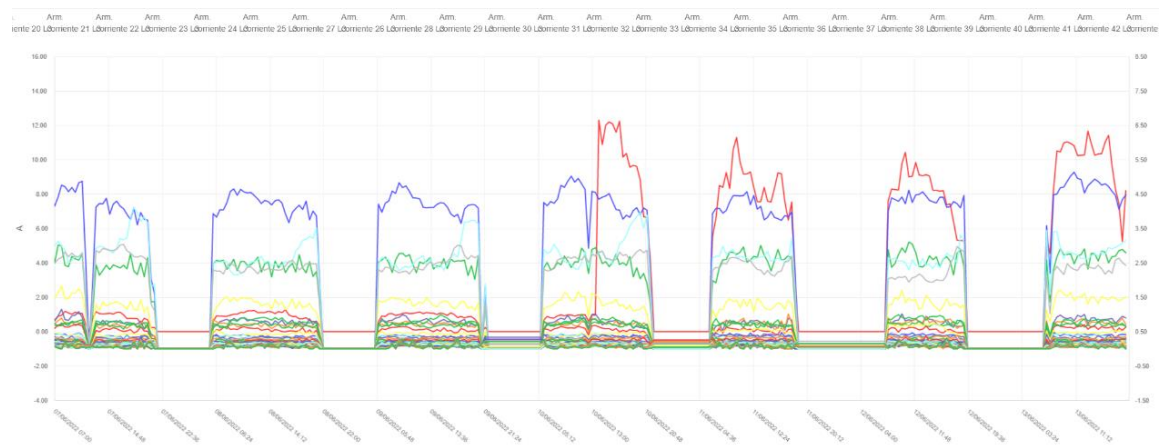
Armónicos de Corriente L2





ANEXO XI

Armónicos de Corriente L3



ANEXO XII

Potencias Activa





ANEXO XIII

Potencias Aparentes





ANEXO XIV

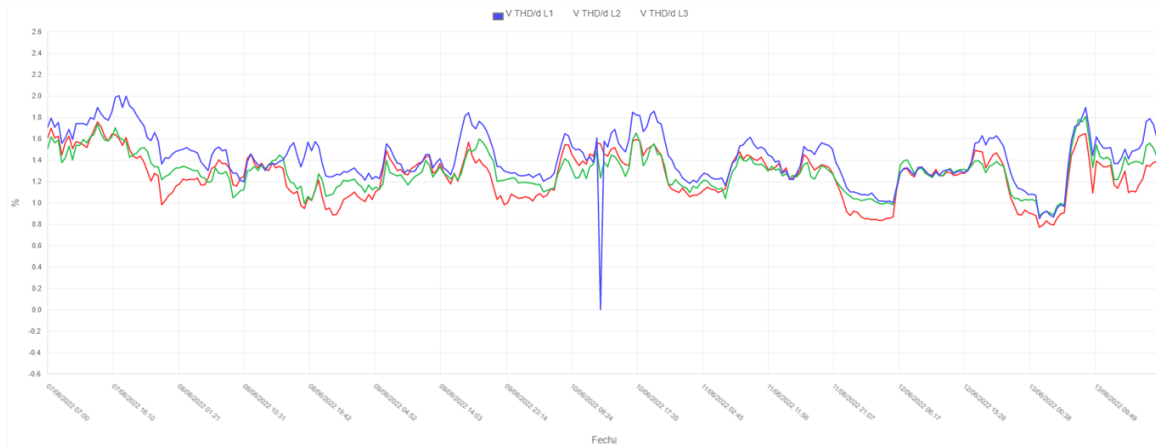
Potencias Reactivas





ANEXO XV

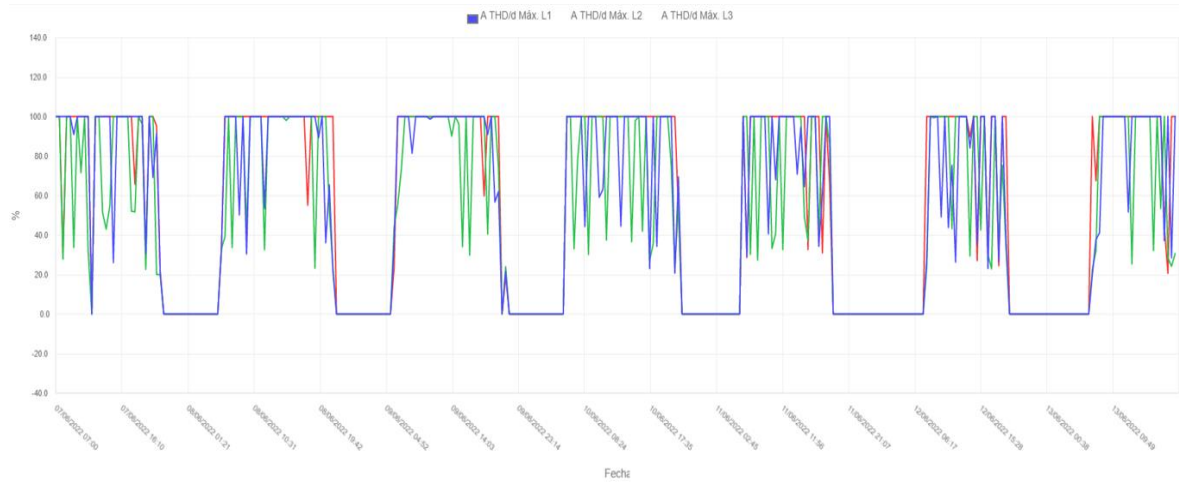
THD V%





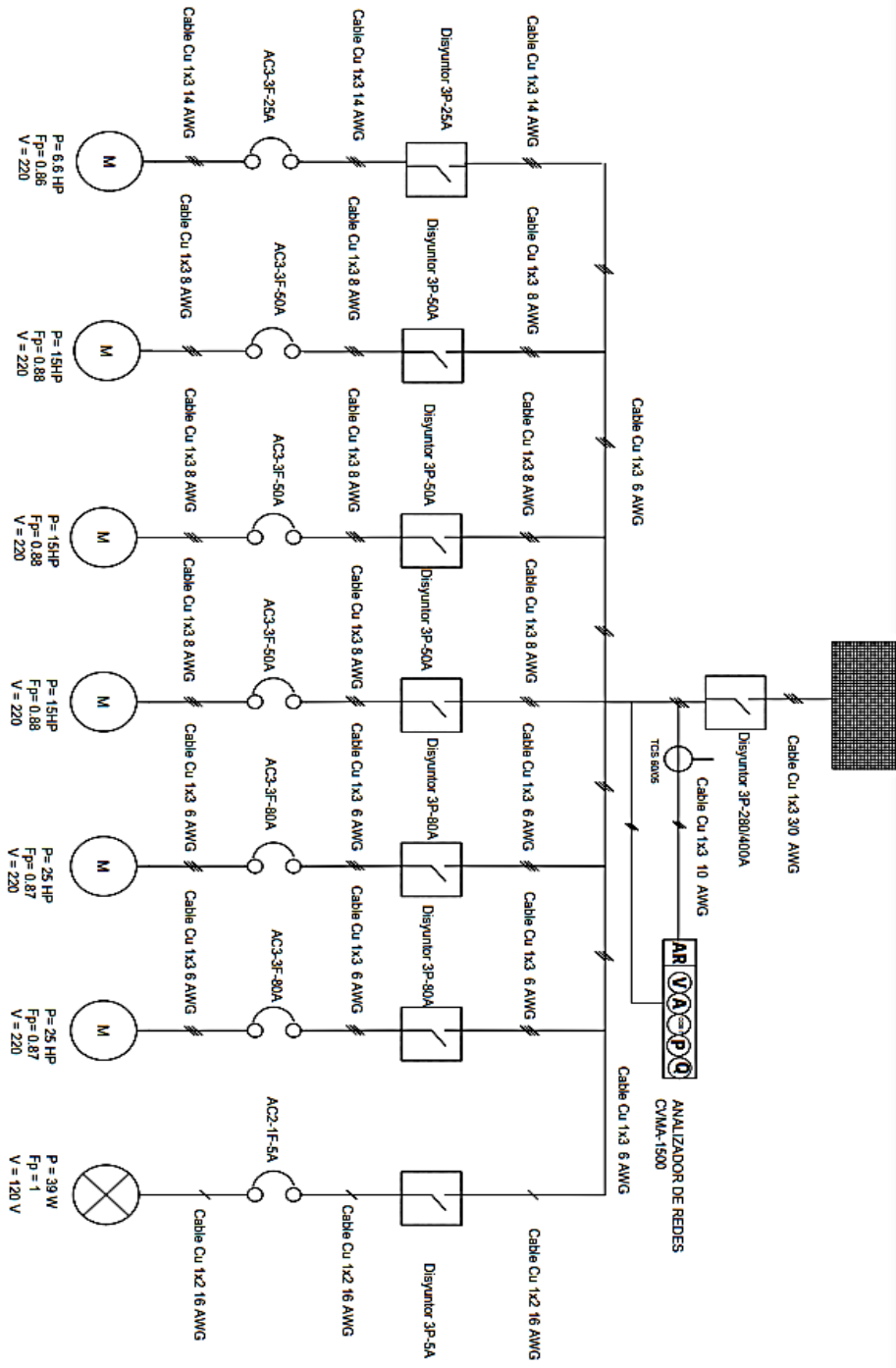
ANEXO XVI

THD I%



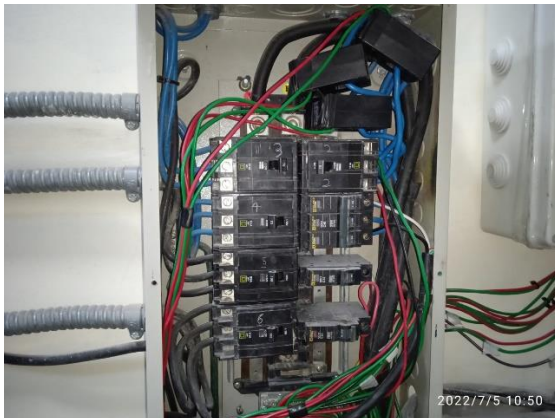
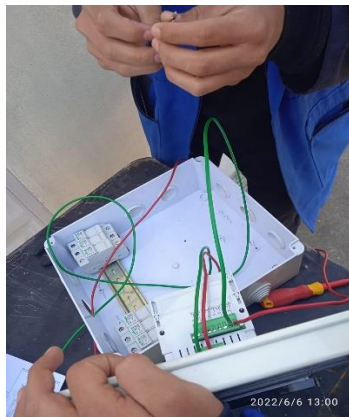
ANEXO XVII

Diagrama Unifilar del sistema



ANEXO XVIII

Fotografías de instalación e implementación del sistema



ANEXO XIX
Fotografías de campo

