



**Universidad
Técnica de
Cotopaxi**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

**“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA
FLORÍCOLA AGRORAB CIA LTDA. UBICADA EN EL CANTÓN PUJILÍ”**

Autores:

Jácome Segovia Robinson Daniel

Vargas Cerda Henry Néstor

Tutor:

Ing. MSc. Gabriel Pesantez

Latacunga- Ecuador

2019

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicada por cuanto los postulantes: **Robinson Daniel Jácome Segovia** y **Henry Néstor Vargas Cerda** con el título de Proyecto de titulación: **“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA FLORÍCOLA AGRORAB CIA LTDA. UBICADA EN EL CANTÓN PUJILÍ”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga 16 de Julio 2019

Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)
MSc, Carlos Pacheco
CC: 050357290-2



Lector 2
MSc. Wilian Guamán
CC: 060357895-6



Lector 3
MSc, Ángel León Segovia
CC: 050204135-3

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **Robinson Daniel Jácome Segovia** y **Henry Néstor Vargas Cerda**, se declara ser autores del presente proyecto de investigación: “**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA FLORÍCOLA AGRORAB CIA LTDA. UBICADA EN EL CANTÓN PUJILÍ**”, siendo Ing. MSc. Gabriel Pesantez tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



Robinson Daniel Jácome Segovia
C.I. 050275385-8



Henry Néstor Vargas Cerda
C.I. 150089448-8

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA FLORÍCOLA AGRORAB CIA LTDA. UBICADA EN EL CANTÓN PUJILÍ” de los señores **Robinson Daniel Jácome Segovia** y **Henry Néstor Vargas Cerda**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio 2019

El Tutor:



.....
Ing. MSc. Gabriel Pesantez
CC: 030189388-9

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a mis padres que me dieron la vida, a mi familia, a mi hija Arianita que es ese motor fundamental para no darme por vencido, a mi esposa Rose que me apoyado y me animado a seguir luchando.

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

Finalmente agradezco a la vida.....

Robinson.....

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios por darme un día más de vida y gozar de felicidad.

Doy gracias a toda mi familia que siempre estuvo en las buenas y en las malas, en especial a mi Padre Leonardo que siempre confió en mí para seguir adelante, a mi Madre Lucila que me dio la fortaleza.

A mi hija Scarleth y mi novia Carla que es la parte fundamental para luchar constantemente y alcanzar la meta soñada, además agradecer a todos mis compañeros que me han estado acompañando durante toda la trayectoria académica.....

Henry.....

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo quiero dedicar a mi familia, a mi hija Arianita, mi esposa y amigos que siempre me dieron ese empujón de no rendirme....

Robinson..

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en especial a mi Hija Scarleth, a mi novia Carla y mis abuelitos que los quiero mucho.....

Henry.....

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-------|
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN | ii |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA | iii |
| AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN..... | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiv |
| ÍNDICE DE TABLAS | xv |
| RESUMEN..... | xviii |
| ABSTRACT | xix |
| AVAL DE TRADUCCIÓN | xx |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL..... | 1 |
| 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 2 |
| 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO | 3 |
| 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO..... | 3 |
| 5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | 4 |
| 6. OBJETIVOS:..... | 5 |
| 6.1. Objetivo General | 5 |
| 6.2. Objetivos Específicos..... | 5 |
| 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS | 5 |
| 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA..... | 6 |
| 8.1. Calidad de energía..... | 6 |
| 8.2. Definición de Armónicos..... | 7 |
| 8.2.1. Orden de armónico (n)..... | 7 |
| 8.2.2. Tasa de distorsión individual | 8 |
| 8.2.3. Tasa de distorsión total..... | 8 |
| 8.3. Calidad del producto | 9 |

| | |
|---|----|
| 8.4. Nivel de voltaje..... | 9 |
| 8.4.1. Índice | 9 |
| 8.4.2. Límites | 9 |
| 8.4.3. Cumplimiento del índice de nivel de voltaje en el punto de medición..... | 10 |
| 8.5. Distorsión Armónicas de voltaje | 10 |
| 8.5.1. Índices..... | 10 |
| 8.5.2. Límites | 11 |
| 8.5.3. Cumplimiento de los índices de armónicos en el punto de medición | 11 |
| 8.6. Distorsión Armónica de corriente..... | 12 |
| 8.6.1. Índice | 12 |
| 8.6.2. Límites | 12 |
| 8.6.3. Estándar IEEE 519..... | 13 |
| 8.6.4. Distorsión Total de Demanda..... | 13 |
| 8.6.5. Relación de Corriente de Cortocircuito a la Corriente de Carga | 13 |
| 8.6.6. Contenido armónico de corriente..... | 14 |
| 8.7. Tipos de potencias | 14 |
| 8.7.1. Potencia Activa | 14 |
| 8.7.2. Potencia Reactiva..... | 14 |
| 8.7.3. Potencia Aparente | 15 |
| 8.7.4. Desfase en ángulos..... | 15 |
| 8.7.5. Potencia de Distorsión..... | 16 |
| 8.8. Factor de potencia | 17 |
| 8.8.1. Índice de Calidad | 17 |
| 8.8.2. Limite..... | 17 |
| 8.8.3. Cargos por bajo factor de potencia | 17 |
| 8.9. Curva de carga..... | 18 |
| 8.9.1. El Consumo Industrial..... | 19 |

| | |
|---|----|
| 8.10. Importancia de la calidad de la energía..... | 19 |
| 8.11. Tipos de carga..... | 19 |
| 8.11.1. Cargas lineales..... | 19 |
| 8.11.2. Cargas no lineales | 21 |
| 8.12. Variación de voltaje de corta duración de los disturbios | 22 |
| 8.12.1. Amplificación “swells” de las variaciones de voltaje | 22 |
| 8.12.2. Depresión “sags” de las variaciones de voltaje..... | 22 |
| 8.13. Variaciones de voltaje de larga duración de los disturbios..... | 23 |
| 8.13.1. Sobre voltaje “Overvoltage” de las variaciones de voltaje | 23 |
| 8.13.2. Bajo voltaje “Undervoltage” de las variaciones de voltaje | 23 |
| 8.14. Analizador de Calidad de Energía..... | 24 |
| 8.15. Resonancia | 24 |
| 8.15.1. Resonancia en serie..... | 24 |
| 8.15.2. Resonancia en paralelo | 25 |
| 8.16. Filtros para la mitigación de armónicas | 25 |
| 8.16.1. Filtro Pasivo Sintonizado | 26 |
| 8.16.2. Ventajas del filtro Pasivo Sintonizado..... | 27 |
| 8.16.3. Cálculo de parámetros de filtros pasivos de armónicos | 27 |
| 8.16.4. Se calcula la reactancia efectiva del filtro: | 28 |
| 8.16.5. Reactor..... | 28 |
| 8.16.6. Factor de calidad | 29 |
| 8.16.7. Resistencia de un filtro | 29 |
| 8.16.8. Sintonización a la frecuencia: | 29 |
| 8.16.9. Corrientes armónicas | 30 |
| 8.16.10. Voltaje del diseño del capacitor | 30 |
| 8.16.11. Norma IEEE-1531-2003..... | 31 |
| 8.16.12. Principales consideraciones de diseño..... | 31 |

| | |
|--|----|
| 8.16.13. Criterios de desempeño | 31 |
| 8.16.14. Frecuencia de sintonía: | 31 |
| 9. HIPÓTESIS | 32 |
| 9.1. Variable independiente: Medición del Sistema Eléctrico | 32 |
| 9.2. Variable dependiente: Calidad de servicio energético..... | 33 |
| 10. METODOLOGIA Y DISEÑO EXPERIMENTAL | 33 |
| 10.1. Metodología de Investigación | 33 |
| 10.1.1. Método inductivo y deductivo..... | 33 |
| 10.1.2. Método Analítico y Sintético | 34 |
| 10.2. Tipos de Investigación | 34 |
| 10.2.1. Investigación Bibliográfica | 34 |
| 10.2.2. Investigación Exploratoria | 34 |
| 10.2.3. Investigación Descriptiva | 34 |
| 10.2.4. Investigación Propositiva | 34 |
| 10.3. Técnicas de Investigación | 35 |
| 10.3.1. Observación Directa y Participativa | 35 |
| 10.3.2. Instrumentos de Investigación | 35 |
| 11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS..... | 35 |
| 11.1. Descripción del sistema eléctrico de la Florícola | 35 |
| 11.2. Censo de carga..... | 36 |
| 11.3. Carga instalada | 36 |
| 11.4. Análisis de los registros tomados con el analizador de carga FUKKE 435. | 37 |
| 11.4.1. Demanda del transformador. | 37 |
| 11.4.2. Análisis de potencia Activa en KW | 38 |
| 11.4.3. Análisis de potencia Aparente en kVA..... | 39 |
| 11.4.4. Análisis de potencia Reactiva en kVAr | 40 |
| 11.4.5. Resumen de Potencias | 41 |

| | |
|--|----|
| 11.4.6. Curva de carga | 41 |
| 11.4.7. Análisis de Factor de Potencia | 42 |
| 11.4.8. Análisis de Distorsión armónica total THD de voltaje | 43 |
| 11.4.9. Armónicos de voltaje individuales | 44 |
| 11.4.10. Análisis de Niveles de Voltaje | 44 |
| 11.5. Cálculo de armónico de corriente | 45 |
| 11.5.1. Distorsión de demanda total de corriente THD | 48 |
| 11.5.2. Armónico de corriente individuales | 49 |
| 11.6. Análisis del desbalance de voltaje | 50 |
| 11.7. Estado actual del sistema | 51 |
| 11.8. Simulación del estado actual del sistema eléctrico | 52 |
| 11.9. Resultados obtenidos de la simulación del estado actual. | 53 |
| 11.9.1. Análisis del resultados | 53 |
| 11.10. Solución a los problemas encontrados en el sistema eléctrico..... | 56 |
| 11.10.1. Primer escenario | 56 |
| 11.10.1.1. Inversión primer escenario. | 59 |
| 11.10.2. Segundo escenario | 59 |
| 11.10.2.1. Calculo del banco de capacitores automático. | 59 |
| 11.10.2.2. Elementos del banco de capacitores. | 61 |
| 11.10.2.3. Calculo del filtro activo | 61 |
| 11.10.2.4. Resultados de la simulación segundo escenario. | 69 |
| 11.10.2.5. Reducción de armónicos de corriente..... | 69 |
| 11.10.2.6. Selección del filtro | 70 |
| 11.10.2.7. Características Técnicas del filtro | 71 |
| 11.10.2.8. Inversión del segundo escenario. | 71 |
| 12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONOMICOS)..... | 71 |
| 12.1. Factibilidad Operativa..... | 71 |

| | |
|--|----|
| 12.2. Factibilidad Económica..... | 72 |
| 13. PRESUPUESTO DEL PROYECTO | 72 |
| 13.1. Cálculo del TIR y TMAR..... | 72 |
| 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 74 |
| 14.1. Conclusiones..... | 74 |
| 14.2. Recomendaciones | 74 |
| 15. BIBLIOGRAFIA..... | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.Descomposición armónica..... | 7 |
| Figura 2.Triangulo de potencias. | 17 |
| Figura 3. Curva de carga diaria..... | 18 |
| Figura 4. Curva de carga típica de carga Industrial. | 19 |
| Figura 5.Ondas de voltaje y corriente de una carga lineal. | 20 |
| Figura 6.Curva del comportamiento de una carga lineal. | 20 |
| Figura 7.Distorsión de voltaje provocada por carga no lineal..... | 21 |
| Figura 8.Curva del comportamiento de una carga no lineal..... | 21 |
| Figura 9. Amplificación “swells” de las variaciones de voltaje..... | 22 |
| Figura 10.Depresión “sags” de las variaciones de voltaje. | 23 |
| Figura 11.Impulso de variaciones de voltaje..... | 24 |
| Figura 12.Características principales de un analizador de redes. | 24 |
| Figura 13.Circuito con resonancia en serie. | 25 |
| Figura 14.Resonancia en paralelo de condensadores con la impedancia de corto-circuito. | 25 |
| Figura 15. Principio de utilización de filtro Pasivo. | 26 |
| Figura 16. Filtro Sintonizado 5to armónico. | 26 |
| Figura 17. Circuito Sintonizado en Serie. | 27 |
| Figura 18.Curva de potencia activa fase - neutro. | 38 |
| Figura 19.Curva de potencia aparente fase - neutro. | 39 |
| Figura 20.Curva de potencia reactiva fase - neutro.. | 40 |
| Figura 21.Curva de demanda..... | 41 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. THD Voltaje Línea - Neutro..... | 43 |
| Figura 23. Armónicos de voltaje Línea - Neutro..... | 44 |
| Figura 24. Perfil de voltaje del sistema. | 45 |
| Figura 25. THD de corriente. | 48 |
| Figura 26. THD de corrientes individuales. | 49 |
| Figura 27. Esquema del sistema eléctrico inicial simulado en EASYPOWER. | 53 |
| Figura 28. Valores de filtro. | 68 |
| Figura 28. Filtro activo..... | 70 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Beneficiarios directos e indirectos de proyecto. | 4 |
| Tabla 2. Actividades, resultados y medios de verificación de los objetivos planteados | 5 |
| Tabla 3. Orden de n armónico. | 8 |
| Tabla 4. Distorsión global en voltaje y corriente..... | 8 |
| Tabla 5. Límites de Variaciones de Voltaje. | 10 |
| Tabla 6. Límites máximos de armónicos de voltaje. | 11 |
| Tabla 7. Límite de Distorsión armónica de Corriente..... | 13 |
| Tabla 8. Triangulo de Potencias. | 15 |
| Tabla 9. Triangulo de Potencias de distorsión..... | 16 |
| Tabla 10. Variable Independiente | 32 |
| Tabla 11. Variable dependiente | 33 |
| Tabla 12. Características del transformador..... | 36 |
| Tabla 13. Carga Instalada al Transformador. | 36 |
| Tabla 14. Valor de la carga instalada del factor de utilización total..... | 37 |
| Tabla 15. Potencia Activa en las Tres Líneas..... | 38 |
| Tabla 16. Valores de potencia aparente. | 39 |
| Tabla 17. Valores de potencia Reactiva..... | 40 |
| Tabla 18. Valores de potencias..... | 41 |
| Tabla 19. Valores de demanda diarios del sistema..... | 42 |
| Tabla 20. Valores de Factor de Potencia..... | 42 |
| Tabla 21. Valores de THD de Voltaje..... | 43 |
| Tabla 22. Valores de armónicos de voltaje individual..... | 44 |

| | |
|--|----|
| Tabla 23. Valores de Voltaje Mínimo, Medio y Máximo entre fases..... | 45 |
| Tabla 24. Valores de corriente de línea..... | 46 |
| Tabla 25. Cálculo de α para Verificar Armónicos de Corrientes. | 48 |
| Tabla 26. Valores THD de corriente..... | 48 |
| Tabla 27. Valores de armónicos de corriente individual. | 49 |
| Tabla 28. Valores de desbalance de voltaje entre fases. | 50 |
| Tabla 29. Valores de armónicos de corriente individual. | 51 |
| Tabla 30. Datos ingresados en el programa EASYPOWER. | 52 |
| Tabla 31. Validación de resultados..... | 54 |
| Tabla 32. Valores de armónicos iniciales..... | 54 |
| Tabla 33. Caídas de voltaje. | 55 |
| Tabla 34. Cargabilidad en las líneas del sistema eléctrico. | 56 |
| Tabla 35. Balance de carga..... | 57 |
| Tabla 36. Caídas de voltaje sistema actual..... | 57 |
| Tabla 37. Calculo de los nuevos conductores. | 58 |
| Tabla 38. Reducción de pérdidas con los calibres de conductores..... | 58 |
| Tabla 39. Inversión primer escenario 1..... | 59 |
| Tabla 40. Disminución de pérdidas con el escenario 2..... | 69 |
| Tabla 41. Disminución de pérdidas de armónicos con el escenario 2. | 69 |
| Tabla 42. Datos Técnicos del filtro..... | 71 |
| Tabla 43. Inversion escenario 2. | 71 |
| Tabla 44. Análisis técnico económico de los escenarios. | 72 |
| Tabla 45. Flujo de caja primer escenario | 72 |
| Tabla 46. Comparación económica de los escenarios..... | 73 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación (1) Tasa de distorsión individual de voltaje. | 8 |
| Ecuación (2) Tasa de distorsión individual de corriente | 8 |
| Ecuación (3) Índice de calidad del nivel de voltaje en un punto del sistema..... | 9 |
| Ecuación (4) Distorsión armónica individual de voltaje | 10 |
| Ecuación (5) Distorsión armónica total..... | 10 |
| Ecuación (6) Factor de distorsión armónica total de voltaje | 11 |

| | |
|---|----|
| Ecuación (7) Distorsión armónica individual de corriente..... | 12 |
| Ecuación (8) Distorsión de demanda total | 12 |
| Ecuación (9) Factor de distorsión de demanda total..... | 12 |
| Ecuación (10) Potencia Activa | 14 |
| Ecuación (11) Potencia Reactiva | 15 |
| Ecuación (12) Potencia Aparente | 15 |
| Ecuación (13) Potencia de Distorsión..... | 16 |
| Ecuación (14) Factor de potencia | 17 |
| Ecuación (15) Cargos por bajo factor de potencia..... | 18 |
| Ecuación (16) Potencia reactiva eficaz | 28 |
| Ecuación (17) Reactancia efectiva del filtro | 28 |
| Ecuación (18) Frecuencia de sintonía | 28 |
| Ecuación (19) Cálculo del capacitor | 28 |
| Ecuación (20) Calculo de la impedancia..... | 28 |
| Ecuación (21) Reactancia inductiva..... | 29 |
| Ecuación (22) Inductor..... | 29 |
| Ecuación (23) Resistencia del filtro. | 29 |
| Ecuación (24) Sintonización a la frecuencia. | 29 |
| Ecuación (25) Corrientes armónicas | 30 |
| Ecuación (26) Corriente total que circula por el filtro. | 30 |
| Ecuación (27) Margen de corriente en porcentaje. | 30 |
| Ecuación (28) Voltaje de diseño del capacitor. | 30 |
| Ecuación (29) Verificación de la norma diseño capacitor | 31 |
| Ecuación (30) Frecuencia de sintonía | 31 |
| Ecuación (31) Factor C/K sintonía | 31 |

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

TEMA: “ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA FLORÍCOLA AGRORAB CIA LTDA. UBICADA EN EL CANTÓN PUJILÍ”.

Autor/es:

Jácome Segovia Robinson Daniel
Vargas Cerda Henry Néstor

RESUMEN

El presente trabajo investigativo se lo realizó en la Florícola AGRORAB CIA.TDA., que está dedicada a la producción de rosas, se encuentra ubicado en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Pujilí, el proyecto tiene el propósito de mejorar la calidad del suministro de energía eléctrica según las normas estipuladas por regulación del ARCONEL 053/18.

En el proyecto se utilizó la investigación de campo e investigación bibliográfica, con la finalidad de elaborar el tema que se propuso, en la empresa Florícola se instaló un analizador de carga Fluke 435 en el tablero de distribución en la cual se obtuvo el respectivo análisis de las mediciones, y se procedió al análisis de los datos obtenido, posteriormente se realizó el diagrama unifilar eléctrico, con el uso del programa EASY POWER se efectuó el análisis del flujo de carga para determinar las caídas de voltaje, pérdidas de potencia, flujos de potencia, factor de potencia y cargabilidad del sistema eléctrico. Asimismo, se realizó un análisis de armónicos en la Empresa Florícola AGRORAB CIA LTDA.

Al terminar el análisis se propone dar soluciones para disminuir los costos de penalización por el bajo factor de potencia que la Empresa Eléctrica de Cotopaxi (ELEPCO) facturaba mensualmente, de igual forma mejorar la contaminación armónica que producía por las cargas no lineales de la florícola.

Se procede a plantear una propuesta técnica – económica al final de este proyecto y se agrega conclusiones y recomendaciones.

Palabras claves: EASY POWER, flujos de potencia, armónicos, cargabilidad, calidad de energía.

UNIVERSITY TECHNICAL OF COTOPAXI

THEME: "ELECTRICAL ENERGY QUALITY ANALYSIS OF THE FLOWER-GROWING COMPANY AGRORAB LTDA. LOCATED IN PUJILÍ CANTON"

Authors: Jácome Segovia Robinson Daniel
Vargas Cerda Henry Néstor

ABSTRACT

This research work was carried out in the AGRORAB TDA. Flower-growing company, which is dedicated to the production of roses, it is located in the Cotopaxi Province, Pujili Canton; the project has the purpose of improving the quality of the energy supply according to the norms stipulated by ARCONEL 053/18 regulation.

In the project, field research and bibliographical research were used, in order to elaborate the proposed theme; in the flower-growing company, a Fluke 435 load analyzer was installed in the distribution board in which the respective analysis of the measurements was obtained after that, the researchers proceeded to the analysis of the data, subsequently a one-line diagram was made, with the use of the EASY POWER software, the load flow analysis was performed to determine the voltage drops, power losses, power flows, power factor and chargeability of the electrical system. Likewise, a problem analysis was carried out in AGRORAB LTDA.

Once the analysis was done, it is proposed to provide solutions to reduce the penalization costs due to the low power factor that the Electricity Company of Cotopaxi (ELEPCO) monthly invoiced, in the same way, to improve the pollution troubles that is produced by the non-linear loads of the flower-growing company.

Researchers proceed to propose a technical - economic proposal at the end of this project, and they add conclusions and recommendations as well.

Keywords: EASY POWER, power flows, troubles, chargeability, power quality.

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 del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por los estudiantes de la Carrera de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **VARGAS CERDA HENRY NÉSTOR** y **JÁCOME SEGOVIA ROBINSON DANIEL**, cuyo título versa “**ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELECTRICA DE LA EMPRESA FLORÍCOLA AGRORAB CIA LTDA. UBICADA EN EL CANTÓN PUJILÍ**”, 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 certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Julio de 2019

Atentamente,



Lcdo. WILMER PATRICIO COLLAGUAZO VEGA Mg.

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS

C.C. 172241757-1

1. INFORMACIÓN GENERAL.

Título del Proyecto.

“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA FLORÍCOLA AGRORAB CIA LTDA. UBICADA EN EL CANTÓN PUJILÍ”

Fecha de inicio: Abril– 2018.

Fecha de finalización: Agosto– 2019.

Lugar de ejecución: Cantón Pujilí-Provincia Cotopaxi.

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

Carrera que auspicia: Ingeniería Eléctrica.

Equipo de Trabajo:

Tutor del Proyecto de Investigación:

Datos Personales:

Nombre: Ing. MSc. Gabriel Pesantez.

Domicilio: Latacunga.

Cedula de Identidad: 0301893889.

Numero de celular: 0998596423.

E-mail: gabriel.pesantes3889@utc.edu.ec.

Coordinadores del Proyecto:

Datos personales:

Nombres: Henry Néstor.

Apellidos: Vargas Cerda.

Domicilio: Latacunga.

Cedula de Identidad: 1500894488.

Numero de celular: 09831733562.

E-mail: henry.vargas8@utc.edu.ec.

Datos personales:

Nombre: Robison Daniel.

Apellidos: Jácome Segovia.

Cedula de Identidad: 0502753858.

Domicilio: Pujilí.

Numero de celular: 0987266831.

E-mail: robinjs12@hotmail.es.

Área de Conocimiento: Ingeniería, diseño y construcción.

Línea de investigación: Explotación y diseño de Sistemas eléctricos de potencia.

Sub líneas de investigación de la Carrera: Calidad de energia.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La Empresa AGRORAB CIA LTDA., tiene como objetivo la producción florícola la misma que requiere mantener en buenas condiciones de operación la maquinaria e instalaciones que se utilizan en los procesos de producción de la empresa, pero por diversas situaciones no ha sido posible tener una proyección real de las instalaciones eléctricas en baja y media tensión, convirtiéndose esto en una prioridad que debe ser solucionada.

La seguridad del personal que opera esta maquinaria es otro tema importante a considerar ya que estaría exponiendo al trabajador a diferentes riesgos laborales que pueden aminorar con el estudio adecuado. Finalmente hay condiciones que se debe a la falta de una planificación adecuada puede verse reflejado en problemas técnicos económico como el tener bajo factor de potencia lo cual produce que se deba pagar determinadas penalizaciones a la empresa distribuidora incurriendo en gastos adicionales.

Al ser una empresa que incrementa su producción por la alta demanda existente, requiere una mayor capacidad en el suministro de energía eléctrica para cubrir los requerimientos necesarios y de esta manera permitir la mejora e incremento de su planta de producción y procesamiento.

La florícola debido al constante crecimiento que presenta debe ingresar cada vez más equipos eléctricos, pero carece de un plan de ampliación a largo y mediano plazo lo que dificulta y produce una mayor cantidad de inconvenientes tales como la sobrecarga en los equipos de transformación, dimensionamiento de las protecciones entre otros.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente trabajo de investigación se enfocará en el análisis de calidad energética en la florícola AGRORAB CIA LTDA, de esta manera conocer el sistema actual instalado y conocer si la capacidad es necesaria para satisfacer a toda la florícola.

La importancia del estudio permitirá minimizar las fallas de alimentación eléctrica, así como su continuidad y confiabilidad de servicio en condiciones seguras y económicas, mejorando el proceso de producción. Además, se evaluará problemas, indicadores de calidad eléctrica transitorios; armónicos, regulación de voltaje, consumo, factor de potencia, revisión del sistema de tierras y fluctuaciones dinámicas de voltaje mediante la utilización de instrumentos de mediciones apropiadas para el mismo.

Con los resultados encontrados se puede proponer correcciones técnicas en la empresa con el fin de mejorar el funcionamiento de la misma, disminuyendo la cantidad de fallas causadas por problemas eléctricos.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

En la tabla 1 se detalla los beneficiarios directos e indirectos, ya que al obtener una buena calidad de energía eléctrica, se logra obtener un servicio eléctrico continuo, además la reducción de pago en la planilla eléctrica y evitar el pago de penalización por bajo factor de potencia.

Tabla 1.Beneficiarios directos e indirectos de proyecto.

| | |
|-------------------|---|
| Directos | -Propietario de la Empresa Florícola AGRORAB CIA LTDA. -Empleados. |
| Indirectos | -Clientes de la empresa. -Empresa eléctrica de Cotopaxi. |

Realizada por: Los Autores.

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el Ecuador la electricidad es utilizada por todo tipo de industria, en mayor medida está se ha destinado en el funcionamiento principalmente en equipos y maquinarias, por otro lado, también ha presentado otros beneficios tales como; iluminación, refrigeración y aires acondicionados en edificaciones, contribuyendo en la comodidad y satisfacción de las personas en sus trabajos.

La Provincia de Cotopaxi se caracteriza por tener empresas florícolas, la misma que han permitido evaluar la calidad de energía en transformadores y redes eléctricas, que se les suministra mediante los alimentadores por parte de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi (ELEPCO)., la regulación actual ha mejorado el control y evaluación de la calidad del beneficio eléctrico tanto para las distribuidoras como para las consumidores, llegando a soluciones técnicas económicas a los problemas de las redes eléctricas. Es por esto que surge la necesidad de estudiar las variaciones en el sistema eléctrico y el uso de la electricidad en la florícola AGRORAB CIA LTDA., ya que esta generado bajo factor de potencia, calentamiento de cables, caídas de voltaje, mal funcionamiento de los equipos, exceso de pago de planillas de la energía eléctrica y por tal razón la presencia de armónicos en redes de distribución.

El proyecto se realizara en su gran mayoría práctico, también se realizara un análisis presencial en la florícola AGRORAB CIA LTDA para recaudar la suficiente información a partir de las mediciones de las instalaciones internas. El propósito es establecer el estado de la florícola para verificar el correcto funcionamiento de los parámetros eléctricos mediante la utilización de analizador de redes.

6. OBJETIVOS:

6.1. Objetivo General

Analizar la calidad energética de la empresa florícola AGRORAB CIA LTDA, a través de la medición del sistema eléctrico, para mejorar los indicadores de calidad.

6.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diagnóstico de la instalación, a través del levantamiento de carga y mediciones registradas con el analizador carga FLUKE 435 para conocer el estado actual del sistema eléctrico de la Florícola AGRORAB CIA LTDA.
- Efectuar el análisis de los parámetros eléctricos, mediante la comparación entre los valores registrados por el analizador de carga, mediciones y simulaciones para conocer los problemas que tiene el sistema eléctrico de la Florícola AGRORAB CIA LTDA.
- Presentar propuestas de solución a los problemas existentes, a través del análisis técnico económico para reducir el consumo energético y mejorar el proceso de producción.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Mediante la tabla de actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados como se describe en la tabla 2, se puede obtener el resultado de las actividades y la descripción de las mismas.

Tabla 2. Actividades, resultados y medios de verificación de los objetivos planteados

| Objetivos | Actividad | Resultado de la actividad | Descripción de la actividad |
|---|--|---|---|
| Realizar el diagnóstico de la instalación, a través del levantamiento de carga y mediciones registradas con el analizador carga FLUKE 435 para conocer el estado actual del sistema eléctrico de la | Efectuar el análisis de las cargas y las mediciones del sistema eléctrico. | Identificación del estado de los equipos y levantamiento del diagrama unifilar de la instalación. | Observación directa y medición de carga con el analizador de carga FLUKE 345. |

| | | | |
|--|--|---|---|
| Florícola AGRORAB CIA LTDA. | | | |
| Efectuar el análisis de los parámetros eléctricos, mediante la comparación entre los valores registrados por el analizador de carga, mediciones y simulaciones para conocer los problemas que tiene el sistema eléctrico de la Florícola AGRORAB CIA LTDA. | Análisis de datos, cálculos y simulaciones de los parámetros eléctricos. | Obtener resultados actuales de la instalación y buscar soluciones a los problemas encontrados. | Simulación del sistema utilizando la herramienta EasyPower. |
| Presentar propuestas de solución a los problemas existentes, a través del análisis técnico económico para reducir el consumo energético y mejorar el proceso de producción. | Realizar un análisis mediante medidas técnicas y económicas de la industria. | Reducir el pago en la planilla eléctrica y obtener el máximo rendimiento de los equipos eléctricos, además elevar el proceso de producción de la Florícola. | Comparación de resultados de las posibles soluciones técnicas y económicas. |

Realizada por: Los Autores.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1. Calidad de energía

La calidad de energía se tiene cuando la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin afectar su desempeño ni provocar fallas a sus componentes [1].

En semejanza con la energía eléctrica, la expresión “Calidad” lo podemos explicar como: “grado en que la energía eléctrica suministrada satisface las expectativas de los usuarios”. La calidad de energía se define como la variación permitida de tensión, corriente y frecuencia en el sistema eléctrico [2].

Ventajas de una buena calidad de energía:

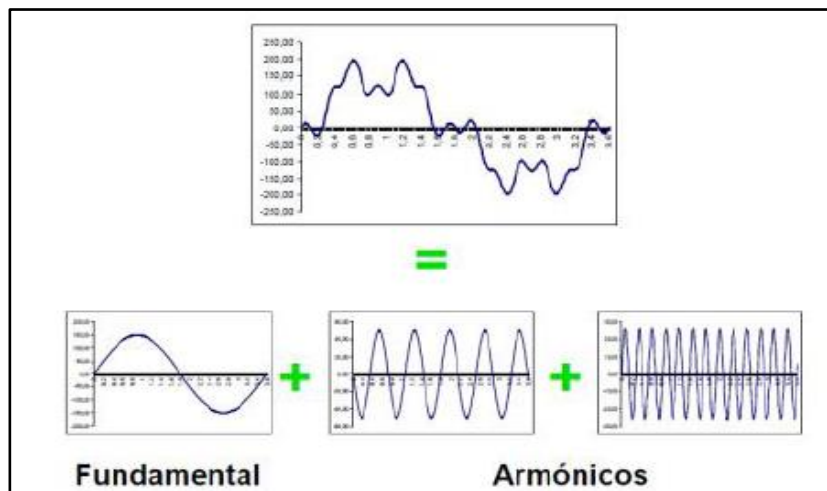
- Mayor confiabilidad
- Aumenta eficiencia y vida útil
- Disminución de riesgos de multas

8.2. Definición de Armónicos

Las cargas no lineales tales como; rectificadores, inversores, variadores de velocidad, hornos, etc., absorben de la red corrientes periódicas no sinusoidales. Estas corrientes están hechas por un componente principal de frecuencia 50 o 60 Hz, más una cadena de corrientes aplicadas de frecuencias, múltiplos de la fundamental, que denominan armónicos eléctricos, que crean costos técnicos y económicos importantes [3].

En consecuencia, es una deformación de la corriente que se observa la figura 1, y como consecuencia de la tensión, con lleva una serie de efectos secundarios asociados.

Figura 1.Descomposición armónica.



Fuente: [3].

Para efectuar el análisis y las medidas realizadas en instalaciones con armónicos se definen una serie de parámetros:

8.2.1. Orden de armónico (n)

Hace referencia al valor de su frecuencia fundamental (60 HZ). Por ejemplo, un armónico de orden 5 tiene una frecuencia 5 veces superior a la fundamental, es decir $5 \times 60 \text{ HZ} = 300 \text{ HZ}$ como se puede observar en la tabla 3 [4].

Tabla 3. Orden de n armónico.

| n (orden armónico) | Frecuencia de red | |
|--------------------|-------------------|--------|
| | 50 HZ | 60 HZ |
| 5 | 250 HZ | 300 HZ |
| 7 | 350 HZ | 420 HZ |
| 11 | 550 HZ | 660 HZ |

Fuente: [4].

8.2.2. Tasa de distorsión individual

Relación, expresada en tanto por ciento, entre el valor eficaz de un armónico de tensión o corriente U_n o I_n y el valor eficaz de la correspondiente componente fundamental [4].

$$U_n(\%) = \frac{U_n}{U_1} \cdot 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$U_n(\%) = \frac{I_n}{I_1} \cdot 100 \quad \text{Ecuación (2)}$$

8.2.3. Tasa de distorsión total

Relación, en tanto por ciento, entre el valor eficaz del residuo armónico en tensión o corriente y el correspondiente valor eficaz de la componente fundamental. En la tabla 4 se menciona la distorsión global en voltaje y corriente, para ello se define la tasa de distorsión total o THD [4].

Tabla 4. Distorsión global en voltaje y corriente

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

Fuente: [4]

8.3. Calidad del producto

Los aspectos de calidad del producto es la forma de cómo son entregados las señales de voltaje por parte de la distribuidora a los consumidores, esto se caracteriza por el nivel de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje y armónicos, siendo el agente comprometido de verificar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos levantados, la disposición de las compensaciones que pudieran referirse a los consumidores afectados y su pago a los mismo [5].

Mediante el directorio de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad ARCONEL 053/18, establece los indicadores, índices y límites de calidad del servicio y comercialización de energía eléctrica [5].

8.4. Nivel de voltaje

Se establece los siguientes niveles de tensión. Para voltajes de suministro en el lugar de entrega de inferiores a 600 V es considerada nivel de baja tensión. Para voltajes en el lugar de entrega entre 600 V y 40 KV es considerado nivel de media tensión y mientras para voltajes de suministro en el sitio de entrega mayor a 40 KV y hasta 138 KV es considerada nivel de alta tensión [6].

8.4.1. Índice

El índice de calidad del nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con el siguiente índice [5].

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100 [\%] \quad \text{Ecuación (3)}$$

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 .

8.4.2. Límites

En la tabla 5 se observa las variaciones de voltaje aceptadas con relación al valor del voltaje nominal [5].

Tabla 5. Límites de Variaciones de Voltaje.

| Nivel de voltaje | Rango admisible |
|-------------------------------------|-----------------|
| Alto voltaje (Grupo 1 y Grupo 2) | $\pm 5,0 \%$ |
| Medio voltaje | $\pm 6,0 \%$ |
| Bajo Voltaje | $\pm 8,0 \%$ |

Fuente: [5]

8.4.3. Cumplimiento del índice de nivel de voltaje en el punto de medición

La distribuidora cumple con el nivel de voltaje en un punto de medición cuando el 95 % o más de los registros de las variaciones de voltaje, en el periodo de evaluación de al menos 7 días continuos, se encuentra dentro del rango admisible [5].

8.5. Distorsión Armónicas de voltaje

Las armónicas de voltaje se producen principalmente, entre la relación de corriente armónica atraída por las cargas no lineales y la impedancia de las fuentes del transformador de alimentación, esto está regido por la ley de OHM [7].

La propia red de suministro consigue ser una fuente indirecta de armónicas de voltaje. Todas las cargas que conforman un transformador o un ramal, con fuerte carga armónica pudieran resultar perjudicadas por las armónicas de voltaje producidas [7].

8.5.1. Índices

Se evaluará la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, acorde los siguientes índices [5].

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} * 100 \text{ [%]} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_n} * 100 \text{ [%]} \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$THD_K = \left[\frac{1}{V_n} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] * 100 \text{ [%]} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Dónde:

$V_{h,k}$ = Armónica de voltaje h en el intervalo k de 10 minutos.

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

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

THD_K = Factor de distorsión armónica total de voltaje.

V_n = Voltaje nominal en el punto de medición.

8.5.2. Límites

Los límites máximos de distorsión armónica individual de voltaje y distorsión armónica total de voltaje, esto se detalla en la tabla 6:

Tabla 6. Límites máximos de armónicos de voltaje.

| Nivel de voltaje | 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 |

Fuente: [5]

8.5.3. Cumplimiento de los índices de armónicos en el punto de medición

La distribuidora cumple con el factor de distorsión armónica individual de voltaje y con el factor de distorsión armónica total de voltaje en un punto de medición, cuando el 95 % o más

de los valores registrados, en el periodo de evaluación de al menos 7 días continuos, son menores a los límites máximos establecidos, en la tabla 6 se menciona el límite máximo de armónica de voltaje [5].

8.6. Distorsión Armónica de corriente

Las armónicas de corriente son creadas por cargas no lineales que absorben corrientes en impulsos bruscos en vez de hacerlo suavemente en forma de onda sinusoidal. Estos impulsos crean ondas de corriente distorsionadas, que originan a su vez corrientes armónicas, de retorno hacia otras partes del sistema de alimentación [7].

8.6.1. Índice

Se evaluará la distorsión armónica individual de corriente y la distorsión de demanda total, conforme los siguientes índices:

$$I_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (I_{h,i})^2} * 100 \text{ [%]} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$DI_{h,k} = \frac{I_{h,k}}{I_L} * 100 \text{ [%]} \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$TDD_k = \left[\frac{1}{I_L} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (I_{h,k})^2} \right] * 100 \text{ [%]} \quad \text{Ecuación (9)}$$

$I_{h,k}$ = 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).

8.6.2. Límites

En la tabla 7 se muestra los límites de distorsión armónica individual de corriente y distorsión de demanda total son los siguientes:

Tabla 7. Límite de Distorsión armónica de Corriente

| Nivel máximo de armónicos impares (% de la corriente máxima de demanda) | | | | | | |
|---|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|
| $\frac{I_{cc}}{I_L}$ | $3 \leq h < 11$ | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \leq h < 50$ | 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 |
| <p>Dónde: I_{cc} = Máxima corriente de cortocircuito en el PCC</p> <p>I_L = Máxima corriente de carga a frecuencia fundamental (60 Hz)</p> | | | | | | |

Fuente: [5].

Además, para los armónicos pares corresponden al 25 % de los límites indicados en la tabla.

8.6.3. Estándar IEEE 519

Esta norma norteamericana ofrece una amplia información acerca de las causas y efectos de las perturbaciones armónicas en redes eléctricas. Está enfocada a limitar el contenido armónico de los sistemas de potencia. Separa y fija el grado de distorsión armónica máximo en voltaje (responsabilidad del suministrador de energía) y el de corriente (responsabilidad del consumidor de energía) [8].

8.6.4. Distorsión Total de Demanda

TDD es la distorsión armónica basada en la máxima corriente de demanda (componente fundamental). Es una medida de la distorsión armónica total de la corriente en el PCC (punto de conexión común) para la carga total conectada [8].

8.6.5. 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 rigidez del sistema eléctrico relativo a la carga [8].

8.6.6. Contenido armónico de corriente

Se calcula sobre la base de índices que consideran el porcentaje de contenido armónico individual en la onda de corriente y el valor del TDD (Factor de Distorsión Total de la Demanda) de la carga conectada por los Agentes en los puntos de conexión. Para efectos de esta Regulación, se consideran las armónicas comprendidas entre la 2° y la 30°, incluyendo las mismas [8]. Clases de potencia

Existen diferentes tipos de potencias con sus respectivas definiciones y características para el estudio de la calidad de energía.

8.7. Tipos de potencias

8.7.1. Potencia Activa

La potencia activa se la define como la potencia que se transforma íntegramente en trabajo o en calor (pérdidas). El concepto anterior se deduce que todas las máquinas eléctricas alimentadas con corriente alterna convierten la energía eléctrica suministrada en trabajo mecánico y calor, esta energía se mide en KW [9].

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varnothing) \quad \text{Ecuación (10)}$$

P: Potencia activa

U: Voltaje de la red (voltaje de línea)

I: Corriente de línea

\varnothing : Angulo de desfase entre voltaje y la corriente

8.7.2. Potencia Reactiva

Ciertos receptores necesitan campos magnéticos para su funcionamiento (motores, transformadores, etc.) y consumen otro tipo de energía denominada energía reactiva.

El motivo es que este tipo de cargas (denominadas inductivas) absorben energía de la red durante la creación de los campos magnéticos que necesitan para su funcionamiento y la entregan durante la destrucción de los mismos y se mide en VAR con la siguiente ecuación [9].

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \text{sen}(\phi)$$

Ecuación (11)

8.7.3. Potencia Aparente

Es el valor real demandado a la red y que es la suma vectorial de las potencias activas y reactivas. Es importante destacar que es la energía generada y transportada por las líneas el cual se mide en VA con la siguiente expresión [9].

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

(12)

Ecuación

8.7.4. Desfase en 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 [4].

En la siguiente tabla 8 se observan los conceptos explicados, así como su forma de cálculo.

Tabla 8. Triangulo de Potencias.

| Triangulo de potencias | | | |
|------------------------|-------------------------------------|---|---|
| | | | |
| Potencia aparente (VA) | Potencia Activa (W) | Potencia Reactiva (VAR) | Desfase o cos j |
| $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ | $P = \sqrt{3} * U * I * \cos(\phi)$ | $Q = \sqrt{3} * U * I * \text{sen}(\phi)$ | $\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$ |

Fuente: [4].

8.7.5. Potencia de Distorsión

Potencia de distorsión es cuando la instalación cuenta con cargas que producen armónicos, aparece una componente más a tener en cuenta en el cálculo de la potencia aparente se la conoce con la letra D. La potencia de distorsión se observa en la tabla 9, lo que se concluye que actualmente esta potencia es la real medida por los analizadores, debido a las cargas no lineal, misma que producen distorsiones armónicas de la red y a su vez inciden directamente en el factor de potencia [4].

$$D = U_1 * I_D \tag{Ecuación (13)}$$

D: Potencia de distorsión

U₁: Voltaje de red

I_D: Corriente distorcionada

Tabla 9. Triangulo de Potencias de distorsión

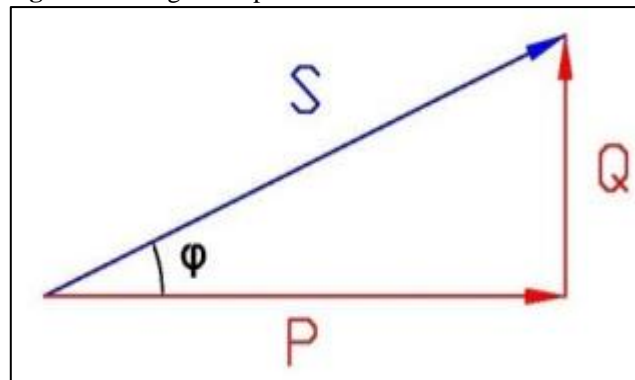
| Triangulo de Potencias de distorsión | |
|---|------------------------------|
| | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Potencia $S > S_1$ - Mayores niveles de corriente - Factor de potencia $\cos \gamma$ y menor que el $\cos \phi$ | |
| Factor de potencia | |
| $FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2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

Fuente: [4]

8.8. Factor de potencia

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 $\cos \varphi$ 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 [10].

Figura 2. Triangulo de potencias.



Fuente: [10]

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

Ecuación (14)

8.8.1. Índice de Calidad

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

8.8.2. Limite

El valor mínimo es de 0,92 según la Regulación ARCONEL 053/18. Entonces operativamente las empresas eléctricas distribuidoras poseen la necesidad de realizar las mediciones de la calidad del producto, recopilar, analizar y mantener registros de la información relacionada con la calidad del producto y del servicio, para analizar y reportar a la Agencia de Regulación y Control de Electricidad [5].

8.8.3. Cargos por bajo factor de potencia

Para los consumidores de la Categoría General, con medida de energía reactiva, que registren un factor de potencia medio mensual menor a 0,92 el distribuidor designará los cargos

establecidos en el Reglamento de Tarifas del Pliego y Cargos Tarifarios de Ecuador, en concepto de cargos por bajo factor de potencia [5].

Donde la penalización por bajo factor de potencia será similar a la facturación mensual correspondiente a: consumo de energía, demanda, pérdidas en transformadores y comercialización, multiplicando por el siguiente factor [5].

$$\mathbf{Bfp} = \left(\frac{0.92}{\mathbf{fpr}} \right) - 1 \quad \mathbf{Ecuación (15)}$$

Dónde:

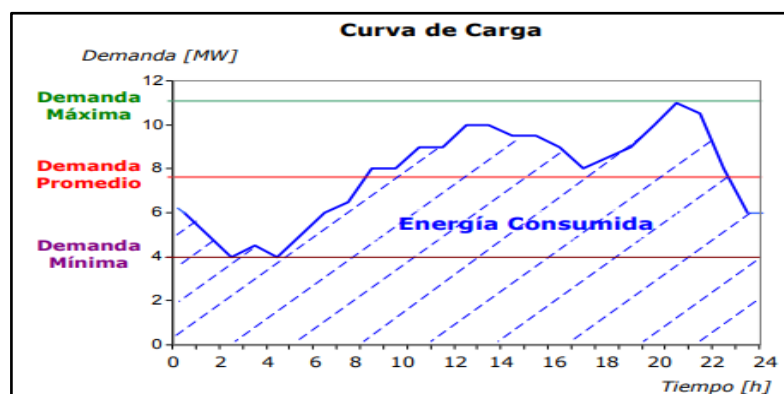
Bfp:Factor de penalización por bajo factor de potencia

fpr:Factor de potencia registrado

8.9.Curva de carga

Es la representación gráfica 3 se observa como varia la demanda o carga eléctrica en el transcurso del 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 contante en el periodo analizado [11].

Figura 3. Curva de carga diaria.



Fuente: [11].

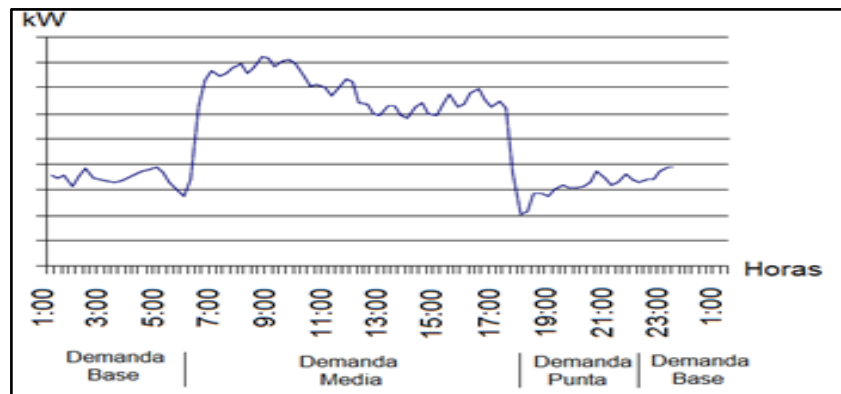
En las abscisas se representan el tiempo y en la ordenadas potencia eléctrica demandada. El área que está por debajo de la curva formada, es la energía demanda.

La forma de la cura de carga, depende fundamentalmente si es una carga de tipo residencial, comercial, industrial, del día de la semana, d la estación y de los factores climáticos.

8.9.1. El Consumo Industrial

El elevado consumo de la Potencia Reactiva (aumento de la necesidad de magnetizar conforme se coloca más equipo a la red) ocasiona no solo mala regulación de voltaje o bajo voltaje en una industria, sino que también puede afectar a otros usuarios disminuyendo la eficiencia con la cual los equipos conectados a la red aprovechan la energía que se les suministra [12].

Figura 4. Curva de carga típica de carga Industrial.



Fuente: [12].

La figura 4 representa una curva típica de un cliente industrial, y en la misma se puede observar que su mayor régimen de consumo es a lo largo del día y parte de la noche, es decir durante los horarios de demanda media y punta.

8.10. Importancia de la calidad de la energía

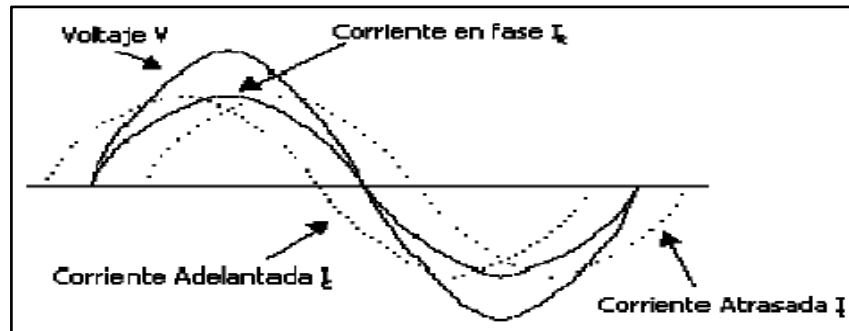
La importancia de la calidad de la energía es localizar caminos efectivos para corregir los disturbios y variaciones de voltaje en el sitio del usuario y plantear soluciones para minimizar las fallas que se presentan del lado del sistema de la compañía suministradora de energía eléctrica, para lograr con ello un suministro de la energía eléctrica de calidad [12].

8.11. Tipos de carga

8.11.1. Cargas lineales

Esto sucede cuando en la carga posee elementos como resistencias, inductancias y condensadores de valores fijos. Con estas características en el sistema se obtiene un voltaje sinusoidal, y por lo general existe un desfase entre ellos. Como se muestra en la figura 5, en los circuitos A.C la corriente se incrementa proporcionalmente al incremento del voltaje y disminuye proporcionalmente al voltaje [12].

Figura 5.Ondas de voltaje y corriente de una carga lineal.



Fuente: [12].

Corrientes lineales: I_R es una corriente pura de circuito resistivo; I_L es una corriente de circuito parcialmente inductivo (atrasado); e I_C es una corriente de circuito parcialmente capacitivo (adelantado) [12].

Una resistencia pura, una inductancia y una capacitancia son todas lineales. Esto significa que, si una onda senoidal de voltaje de una cierta magnitud es puesta en un circuito que contiene una resistencia pura, por ejemplo, la corriente en el circuito cumple a la Ley de Ohm. Para un valor específico de ohmios, la relación entre los voltios y los amperios es una línea recta. Esta relación es mostrada en la Figura 6. De igual manera sucede para las capacitancias, inductancias o una combinación entre las tres [12].

Figura 6.Curva del comportamiento de una carga lineal.



Fuente: [12]

Con una carga lineal, la relación entre el voltaje y la corriente es lineal y proporcional. La línea diagonal cuando posee un valor de m representa una resistencia fija de valor m [12].

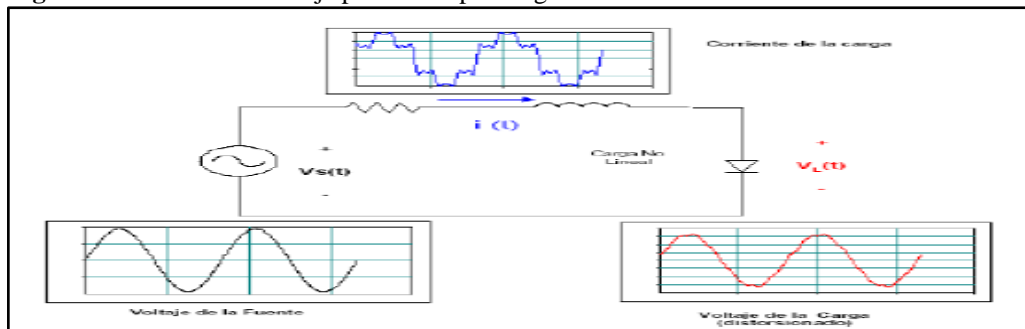
Este tipo de cargas no representan un problema de distorsión de la forma de onda por el hecho de comportarse de manera lineal.

8.11.2.Cargas no lineales

En estas cargas no lineales demandan una corriente no senoidal, el paso por la impedancia del sistema incita una caída de voltaje no senoidal, esto se traduce en una distorsión de voltaje en terminales de la carga como se muestra en la figura 7 [12].

Entre las cargas no lineales más comunes tenemos los convertidores estáticos, dispositivos magnéticos saturados y hornos de arco [12].

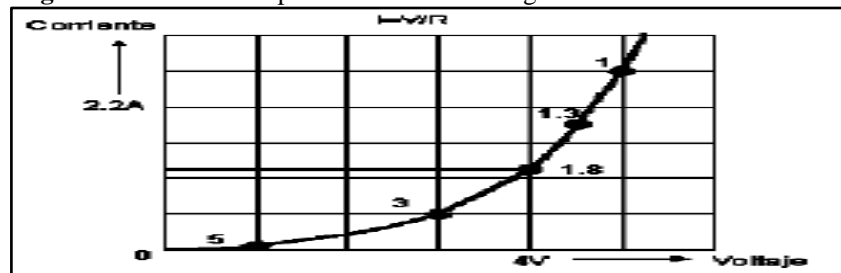
Figura 7.Distorsión de voltaje provocada por carga no lineal.



Fuente: [12]

Con una carga no lineal no se tiene relación directa entre el voltaje y la corriente como las lineales. Un ejemplo se observa en la figura 8.

Figura 8.Curva del comportamiento de una carga no lineal.



Fuente: [12].

La carga no lineal se ha acrecentado considerablemente en los últimos años. Los convertidores estáticos son las cargas no lineales más manejadas en la industria donde se las usa para una gran diversidad de aplicaciones, como fuentes de poder para procesos electroquímicos, variadores de velocidad [12].

Se sabe si una alta distorsión de corriente provoca calentamiento excesivo en conductores y transformadores, así como interferencia en equipos de comunicación mientras que la distorsión del voltaje incita una operación incorrecta de equipos sensibles (computadoras, micro controladores) [12].

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

- Distorsión de voltaje en el Sistema eléctrico
- Interrupción de procesos productivos
- Altos niveles de voltaje de neutro a tierra
- Sobrecalentamientos en los transformadores y elevados campos electromagnéticos
- Disminución en la capacidad de los equipos de distribución
- Penalizaciones tarifarias debido al bajo factor de potencia

8.12. Variación de voltaje de corta duración de los disturbios

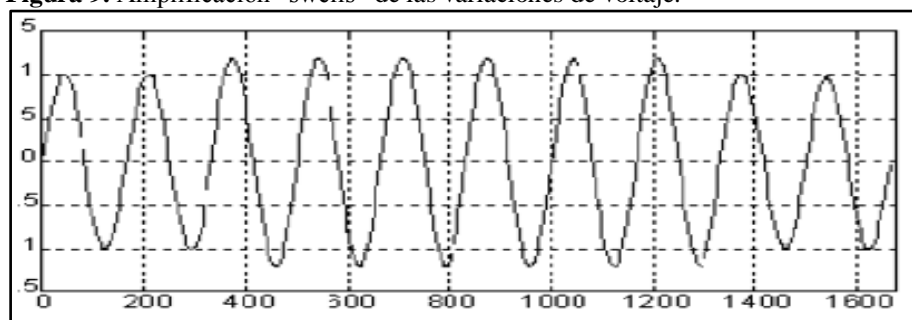
Significa la disminución o elevación momentánea en la magnitud del voltaje RMS, causados por una falla remota en algún lugar del sistema de potencia. Su apariencia puede, algunas veces, mostrar visualmente al presentarse un parpadeo o disminución del nivel de iluminaciones lámparas o en la disminución del área de despliegue en monitores de televisión o computadoras [13].

Las fluctuaciones se dividen en dos casos:

8.12.1. Amplificación “swells” de las variaciones de voltaje

Es un aumento en el voltaje de C.A, con duración de 0.5 ciclos a unos 120 ciclos (8ms hasta 2s) como se observa en la figura 5. Es producido por la desconexión de cargas grandes y no llega a ser un sobre voltaje como se observa en la figura 9 [13].

Figura 9. Amplificación “swells” de las variaciones de voltaje.

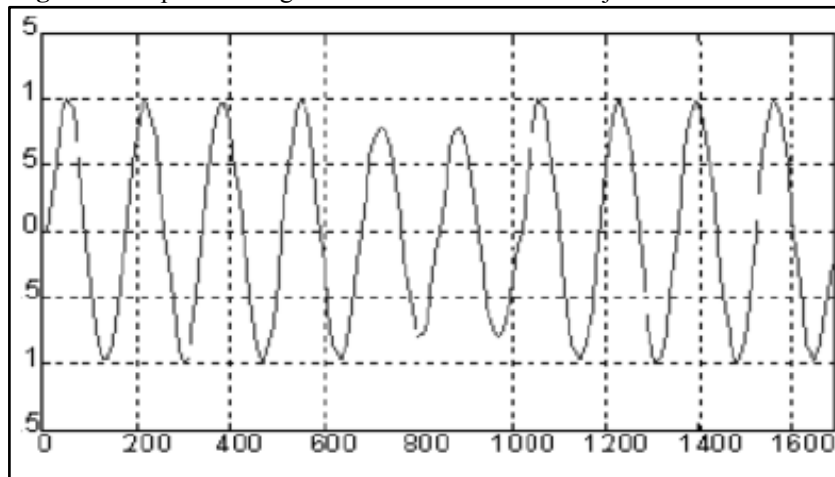


Fuente: [13]

8.12.2. Depresión “sags” de las variaciones de voltaje

Es una reducción en el voltaje de C.A, con duración de 0.5 ciclos a unos 120 ciclos (de 8ms hasta 2s). Es debido a la conexión de grandes cargas, descargas atmosféricas y fallas en la red eléctrica como se muestra en la figura 10 [13].

Figura 10.Depresión “sags” de las variaciones de voltaje.



Fuente: [13].

8.13. Variaciones de voltaje de larga duración de los disturbios

Las variaciones de voltaje de larga duración contienen las desviaciones rms en frecuencias de energía para más de un minuto. Las variaciones de voltaje de larga duración pueden ser sobre voltajes “overvoltages” o bajo voltajes “undervoltages”. Habitualmente los sobre voltajes o bajo voltajes no son resultado de fallas en el sistema si no son causados por las variaciones de carga en el sistema y en el sistema de operaciones de conmutación [13].

8.13.1. Sobre voltaje “Overvoltage” de las variaciones de voltaje

Un sobre voltaje es un aumento en el voltaje RMS de C.A mayor del 110 % en la frecuencia de alimentación con una duración de más de dos minutos. Los sobre voltajes son el resultado de la conmutación de cargas [13].

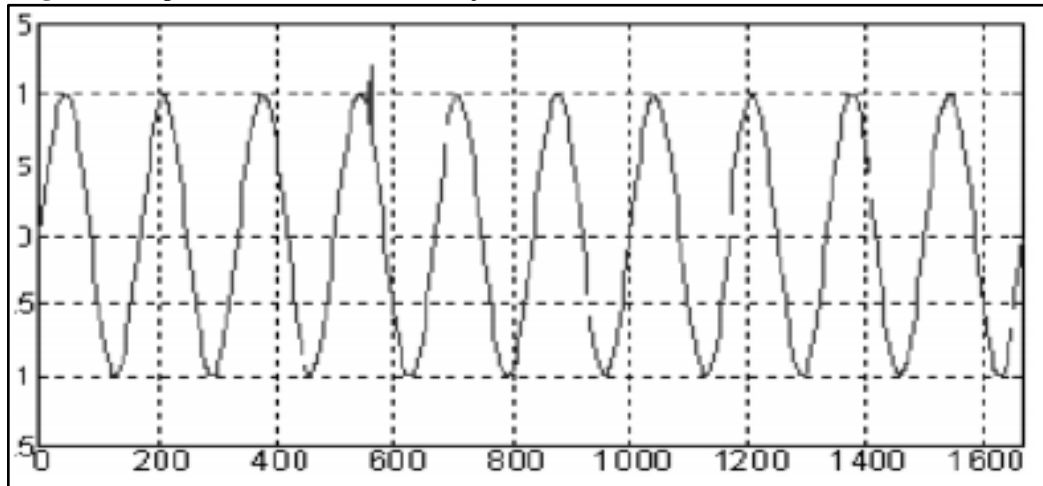
8.13.2. Bajo voltaje “Undervoltage” de las variaciones de voltaje

Un bajo voltaje es la disminución del voltaje eficaz de C.A menor al 90 % en la frecuencia de alimentación con una duración de más de dos minutos. Los bajo voltajes es el efecto de eventos de conmutación. Por ejemplo, sacar un banco de capacitores puede causar bajo voltaje [13].

8.13.3. Impulso de variaciones de voltaje

En la figura 11 se ilustra el disturbio con duración menor a 0.5 ciclos en la forma de onda de C.A que tiene como característica un cambio brusco en la forma de onda. Es debido principalmente por fallas en la red eléctrica, descargas atmosféricas y switcheo de grandes cargas [13].

Figura 11. Impulso de variaciones de voltaje.



Fuente: [13].

8.14. Analizador de Calidad de Energía

En la figura 12 se observa el analizador es un instrumento capaz de mostrar datos y formas de ondas de las señales eléctricas de voltajes, corrientes, potencias, armónicos, en forma de histogramas, gráficas fasoriales, formas de onda, espectros de armónicos, estos como parámetros principales [12].

Figura 12. Características principales de un analizador de redes.



Fuente: [12].

8.15. Resonancia

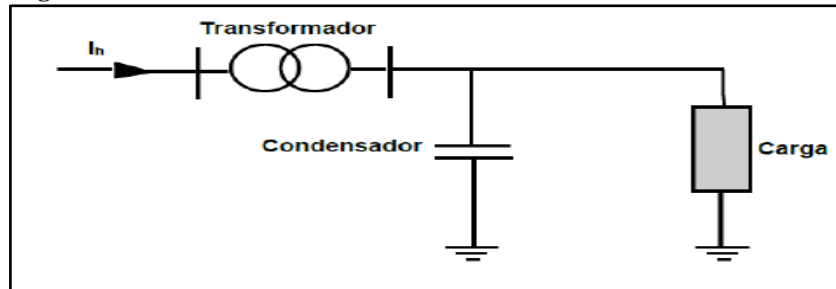
La presencia de capacitores y reactores para compensación del factor de potencia puede causar resonancias, las cuales, a su vez, originan corrientes o voltajes excesivos que afectan a los equipos del sistema [11].

8.15.1. Resonancia en serie

La resonancia serie ocurre cuando una reactancia inductiva y capacitiva que están en serie son iguales, para alguna frecuencia. Esta condición ocurre como resultado de la combinación serie de un banco de condensadores y una línea o un transformador [11].

Bajo condiciones de resonancia serie, el sistema brinda una impedancia muy baja a voltajes armónicos de frecuencia similar a la de resonancia. Aquí los pequeños voltajes armónicos en el sistema pueden ocasionar eminentes corrientes armónicas en los equipos como se muestra en la figura 13 [11].

Figura 13.Circuito con resonancia en serie.

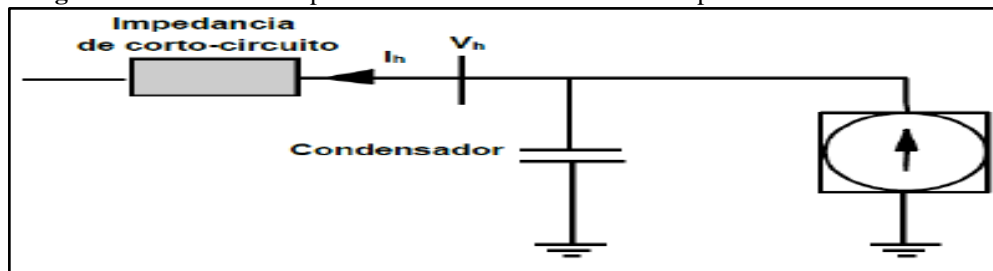


Fuente. [11]

8.15.2. Resonancia en paralelo

Una resonancia paralela se da en una impedancia muy alta mostrada por el sistema a la corriente armónica correspondiente a la frecuencia de resonancia. Puesto que la totalidad de cargas generadoras de armónicos son consideradas como fuentes de corriente, el fenómeno resulta en elevados voltajes y corrientes armónicas en las ramas de la impedancia paralelo como se muestra en la figura 14 [11].

Figura 14.Resonancia en paralelo de condensadores con la impedancia de corto-circuito.



Fuente. [11].

8.16. Filtros para la mitigación de armónicas

En un contexto general, nos podemos referir a los filtros para la mitigación de armónicos como filtros pasivos y activos. Su diferencia esencial, radica sobre si ellos proveen una acción de filtración dentro de un ancho de banda seleccionado (pasivo) o como resultado de un proceso de monitoreo en tiempo real que cancela las corrientes armónicas (activo) [14].

Uno de los métodos más comunes para el control de la distorsión armónica en la industria es el uso de las técnicas de filtración pasiva, que hacen uso de filtros sintonizados que proveen un camino de baja impedancia las corrientes armónicas a una frecuencia puntual o como

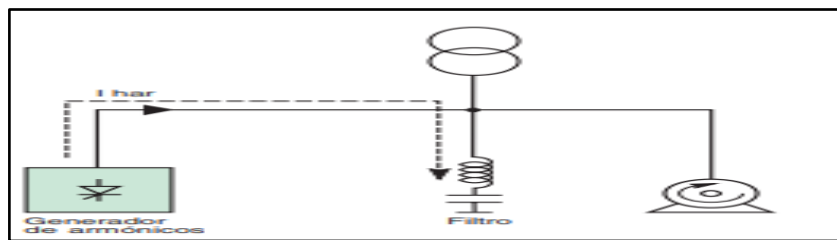
componentes pasa altas o pasa banda que pueden filtrar armónicas sobre un cierto rango de frecuencia.

8.16.1. Filtro Pasivo Sintonizado

Son filtros pasivos que se conectan en paralelo al sistema de distribución general o a cargas individuales significativas que se aprecia en la figura 15, para reducir el contenido armónico generado por los dispositivos no lineales., además de proporcionar potencia reactiva fundamental para compensar el factor de potencia de desplazamiento.

Este filtro es una combinación serie de una inductancia y una capacitancia. En realidad, en la ausencia de un resistor diseñado físicamente, estará siempre una resistencia serie, la cual es la resistencia intrínseca del reactor serie, algunas veces usando como un punto para evitar sobrecalentamiento del filtro [7].

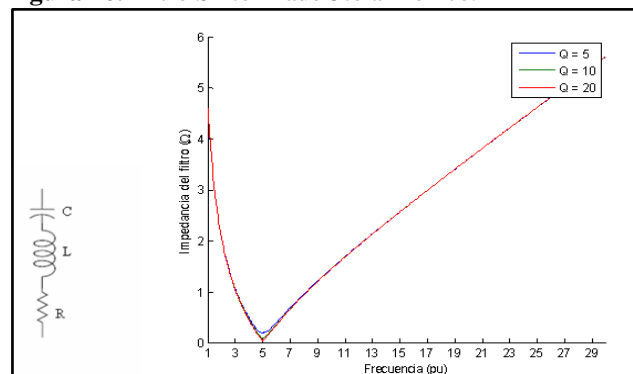
Figura 15. Principio de utilización de filtro Pasivo.



Fuente: [7].

En general, el filtro pasivo se sintoniza a un orden de armónico próximo al que se quiere eliminar. Cuando se requiere una reducción importante en la tasa de distorsión sobre una serie de órdenes, se pueden utilizar más filtros conectados en paralelo. Todas las corrientes armónicas cuyas frecuencias coinciden con la del filtro encontrarán un camino de baja impedancia a través del filtro. En la figura 16 se muestra una curva característica de este tipo de filtro [7].

Figura 16. Filtro Sintonizado 5to armónico.



Fuente: [7].

Se denomina frecuencia de sintonía o frecuencia de resonancia cuando la impedancia de filtro se hace cero, lo que permite que las corrientes de esa frecuencia fluyan en su totalidad a través de él. La frecuencia de sintonía debe ser inferior a la menor armónica dominante, para que atenúe a esta y a las de orden superior, comportándose el filtro como un elemento inductivo, por lo que las corrientes armónicas de mayor orden ya no estarán expuestas a condiciones de resonancia, reduciéndose la potencia distorsionantes del sistema [14].

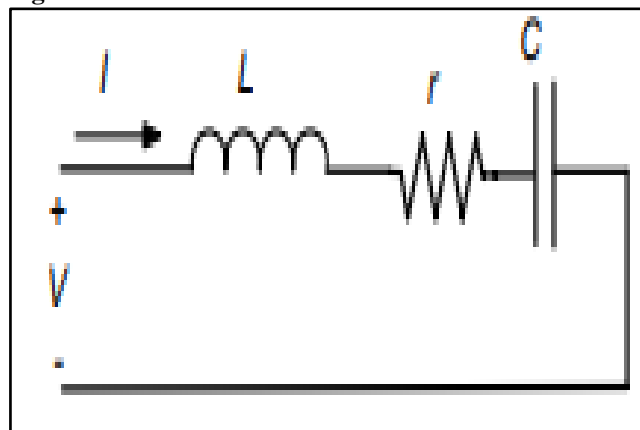
8.16.2. Ventajas del filtro Pasivo Sintonizado

- Mejora el factor de Potencia en el circuito secundario de bajo voltaje lo que hace que mejore el sistema de distribución aguas arriba.
- Reducción de distorsión armónica de voltaje y corriente en circuitos de bajo voltaje.
- Optimización de la capacidad de entrega de energía a un mayor número de usuarios por transformador.
- Aumento de la vida útil del transformador y de equipos.
- Mejora la calidad de potencia de suministro en especial de la forma de onda de la señal de voltaje y regulación de voltaje.
- Bajo costo de implementación.

8.16.3. Cálculo de parámetros de filtros pasivos de armónicos

En condiciones ideales, se supone que la resistencia del alambre de la bobina es despreciable ($r=0$), y que la resistencia del dieléctrico del condensador es infinita, es decir, a corriente continua la bobina se comporta como un circuito y el condensador como un circuito abierto. Así mismo, en condiciones reales, es necesario tener en cuenta la resistencia en serie de la bobina. En la figura 17 se observa el circuito sintonizado en serie [15].

Figura 17. Circuito Sintonizado en Serie.



Fuente: [15].

Primeramente hay que calcular la potencia reactiva que se necesita para compensar de donde:

$$Q_{eff} = (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) * P \quad \text{Ecuación (16)}$$

θ_1 =Ángulo de factor de potencia actual.

θ_2 =Ángulo de factor de potencia deseado.

8.16.4. Se calcula la reactancia efectiva del filtro:

$$X_{eff} = \frac{V_{ll}}{Q_{eff}} \quad \text{Ecuación (17)}$$

Teniendo identificada la armónica que se desea filtrar, se debe de considerar un porcentaje menor de la frecuencia de sintonía, como lo sugiere la norma IEEE-1531, para evitar posibles resonancias de sintonía en el sistema.

En este proyecto se manejará el 6 % menor de la frecuencia de sintonía para los cálculos a realizar.

$$X_c = \frac{(h*0.6)^2}{(h*0.6)^2} * X_{eff} \quad \text{Ecuación (18)}$$

Dónde:

$$h = \frac{f \text{ fundamental}}{f \text{ armónico}}$$

En la ecuación que se muestra a continuación se realiza el cálculo del capacitor, su unidad de medida es el faradio.

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad \text{Ecuación (19)}$$

8.16.5. Reactor

Para sacar valores de la impedancia, nos remitimos a la ecuación que se muestra a continuación:

$$Z = R + [WL - \frac{1}{wC}] \quad \text{Ecuación (20)}$$

Donde R, L, C son las resistencia, inductancias y capacitancia de los elementos del filtro, respectivamente, y ω es la frecuencia angular del sistema de potencia. Si la XL:

$$XL = \frac{X_C}{h^2} \quad \text{Ecuación (21)}$$

Para el cálculo de inductor, expresando en henrios:

$$L = \frac{XL}{2\pi F} \quad \text{Ecuación (22)}$$

8.16.6. Factor de calidad

Dentro del análisis de los filtros pasivos sintonizados, un parámetro muy importante es el factor de calidad, el cual relaciona la habilidad de un filtro para disipar energía absorbida a la frecuencia sintonizada. Un valor grande Q_f implica un valle a la frecuencia resonante de un filtro y por lo tanto captura el amontonamiento de frecuencia armónica. Factor de calidad debe considerar entre 20 a 30.

8.16.7. Resistencia de un filtro

El cálculo de la resistencia de un filtro está dado por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{X_L * h * 0.6}{X_C - X_L} \quad \text{Ecuación (23)}$$

Dónde:

h= es el orden armónico a que se encuentra.

6 %= es el porcentaje en que debe disminuir el valor del orden armónico para evitar resonancia.

Q_f = Factor de calidad.

Comprobación de diseño del Filtro que establece la norma IEEE-18-2002

8.16.8. Sintonización a la frecuencia:

$$X_C = X_L \quad \text{Ecuación (24)}$$

8.16.9. Corrientes armónicas

Para comprobar que el filtro no vaya a sufrir daño por posibles sobre corrientes debido a la presencia de corrientes armónicas, se procede a corroborar que no rebase un 1.35 % de la corriente fundamental:

$$I_{fund} = \frac{V_{LLsist}}{X_c - X_L} \quad \text{Ecuación (25)}$$

Para el cálculo de las corrientes armónicas inyectadas por la carga no lineal se usa el porcentaje de la corriente fundamental.

$$I_h = \%$$

h= armónica inyectada por la carga no lineal.

%= porcentaje de la corriente armónica con respecto a la fundamental, obtenido del espectro armónico de corriente de la carga lineal, proporcionado como dato del sistema.

Si observamos la ecuación que sigue nos da la corriente total que circula por el filtro, la cual viene dada por:

$$I_{total\ rms} = \sqrt{I_h^2 + \dots + I_n^2} \quad \text{Ecuación (26)}$$

Dónde:

h= armónica inyectada por la carga no lineal.

n= Numero armónica inyectadas por la caga no lineal.

$$\% \text{ Margen de corriente} = \frac{I_{total\ rms}}{I_{fund}} * 100 \leq 135 \% I_{fund} \quad \text{Ecuación (27)}$$

8.16.10. Voltaje de diseño del capacitor

Como siguiente paso está el cálculo del voltaje a frecuencia fundamental, además de los voltajes provocados por los armónicos. El valor de voltaje pico del filtro no debe sobrepasar el 120 % del voltaje pico del sistema.

$$V_c(h) = \sum_h^n (V(h)) = \sum_h^n (h) x \frac{X_c}{n} \quad \text{Ecuación (28)}$$

La verificación de la norma se realiza por medio de la ecuación:

$$\frac{V_{cL-N \text{ total pico}}}{V_{cL-N \text{ pico sist}}} * 100 \leq 120 \% \quad \text{Ecuación (29)}$$

8.16.11. Norma IEEE-1531-2003

La instalación de un filtro de armónicos de derivación pasiva cerca de cargas que producen armónicas es uno de los métodos comunes para mitigar la distorsión armónica. El propósito del filtro de armónicos es derivar parte de la corriente armónica de la carga en el filtro para reducir la cantidad que va al sistema de energía eléctrica.

8.16.12. Principales consideraciones de diseño

8.16.13. Criterios de desempeño

Requisitos de energía reactiva (kVAR) Es esencial conocer la potencia reactiva capacitiva necesaria y sus correspondientes ahorros, para optimizar los costes del sistema. Además, los requisitos de potencia reactiva y de control de voltaje podrían dictar la necesidad de que el banco de filtros de armónicos se conmute en pasos o no. Posteriormente, los tamaños kVAR totales y de paso se determinan normalmente por el flujo de carga de frecuencia fundamental y los requisitos de control de voltaje. Limitaciones armónicas Estos se definen en términos de lo siguiente: Limitaciones del sistema Estos se definen para garantizar que el equipo funcionará correctamente y no fallará debido a la distorsión armónica excesiva.

8.16.14. Frecuencia de sintonía:

Partiendo de que la frecuencia fundamental es de 50 o 60 Hz, el número de orden determina el número de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que la fundamental: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, orden natural de los números. También se define como la relación que hay entre la frecuencia de armónico (f_n) y la frecuencia fundamental (f_{60}).

$$h = \frac{f_n}{f_{60}} \quad \text{Ecuación (30)}$$

La constante C/K se define por el límite de la frecuencia para que entre en resonancia.

$$C/K = \frac{\frac{Q_1}{\sqrt{3} * U}}{\frac{250}{5}} \quad \text{Ecuación (31)}$$

9. HIPÓTESIS

Si al realizar la medición del sistema eléctrico en la Florícola AGRORAB CIA LTDA., esto mejorará la calidad del servicio energético en condiciones confiables que disminuya las pérdidas de energía, logrando el buen funcionamiento en los equipos utilizados en el transcurso de producción.

9.1. Variable independiente: Medición del Sistema Eléctrico

Tabla 10. Variable Independiente

| CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIONES | INDICADORS | ÍTEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|--|-------------|-------------------------------------|-------|-------------------------|
| Mediante el uso de los equipos eléctricos de medición, indican diferentes magnitudes de energía eléctrica. Además, esto permite localizar las fallas de operación de los aparatos eléctricos en un punto específico. | Voltaje | Voltaje mínimo, promedio y máximo | [V] | Analizador FLUKE 435 |
| | Potencia | Potencias mínimo, promedio y máximo | [W] | Analizador FLUKE 435 |
| | Armónico | Nivel de armónicos | [%] | Recolección de datos |

Realizada por: Los Autores.

9.2. Variable dependiente: Calidad de servicio energético.

Tabla 11. Variable dependiente

| CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES | ÍTEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|------------------------------|---------------------------------|---------------|-------------------------|
| La definición de la calidad del servicio eléctrico es proporcionar a los usuarios finales el suministro eléctrico, continuo y confiable, permitido por las regulaciones relacionadas, con las normas de mínimas de calidad y procedimientos técnicos de medición. | Voltaje y corriente Armónico | Nivel de contaminación armónica | [%] | Simulación |
| | Factor de potencia | Bajo Factor de potencia | $\cos \theta$ | Recolección de datos |
| | Facturación | Costos de facturación | [KWh] | Observación |

Realizada por: Los Autores.

10. METODOLOGIA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

10.1. Metodología de Investigación

Para el desarrollo de la investigación, se empleó los siguientes métodos: inductivo - deductivo y analítico - sintético.

10.1.1. Método inductivo y deductivo

En el actual proyecto de investigación se utilizó el método inductivo y deductivo, primeramente se realizó la recolección de datos de placa de los equipos y maquinarias de la instalación, para seguidamente efectuar la medición del sistema actual mediante el analizador de carga FLUKE 435, A continuación realizar el análisis de datos de los parámetros de

calidad. Finalmente hacer la simulación en el software EasyPower con los datos obtenidos del analizador y corregir mediante la propuesta a los problemas encontrados. Esto permitirá mejorar la confiabilidad del servicio eléctrico y la reducción de pago en la planilla de la Florícola.

10.1.2. Método Analítico y Sintético

En este método se manejó el análisis y la información referente al tema de investigación, en base a documentos, Internet, fuentes bibliográficas y libros que se usaron en el proceso del marco teórico. Se realizó la investigación bibliográfica, para de esta manera analizar los diferentes encauces referente al tema investigado. Con lo realizado con la simulación que arrojó, se solucionará los respectivos problemas con la que cuenta la Florícola y así contribuir para la realización de una propuesta.

10.2. Tipos de Investigación

10.2.1. Investigación Bibliográfica

Esta investigación permitió la búsqueda de bibliografía, páginas web, libros, artículos. Que ha permitido obtener conocimientos para poder tener un análisis amplio sobre el tema.

10.2.2. Investigación Exploratoria

Esta investigación fue fundamental ya que permitió conocer como está constituida la parte eléctrica de la Florícola, posteriormente para la realización del levantamiento de carga y el respectivo diagrama unifilar.

10.2.3. Investigación Descriptiva

En este método se utilizó el análisis para de esta forma detallar las necesidades y cada uno de los problemas que generó los distintos componentes con la que cuenta cada cuarto de bombas.

El período de medición fue de 7 días, 168 horas continuos tomado muestras cada 10 minutos según lo estipulado en la regulación ARCONEL 053/18.

10.2.4. Investigación Propositiva

Si es propositiva por lo que se proporcionó la respectiva solución al problema, con el análisis y las mediciones con el analizador de carga que se obtuvieron y buscar la solución más adecuada desde un punto de vista técnico económico.

10.3. Técnicas de Investigación

10.3.1. Observación Directa y Participativa

Se realizará una observación directa del sistema de bajo voltaje, equipos eléctricos que se encuentran instalados en la Florícola AGRORAB S.A., y de esta se desarrollará el análisis de calidad.

Esta técnica se aplicará al Gerente de la Florícola AGRORAB S.A., la misma que permitirá adquirir la información necesaria, para la realización del proyecto.

10.3.2. Instrumentos de Investigación

Se utilizó los siguientes instrumentos de investigación:

- Fotografías: Se tomó fotografías para su respectivo proceso de análisis en la Florícola y las situaciones en que se encontraban todos los elementos y partes eléctricas.
- Registro en la que se apuntaban las características de placas de los equipos eléctricos instalados.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La Florícola AGRORAB CIA LTDA., es una empresa dedicada al cultivo, comercialización y exportación de rosas y claveles; en la actualidad el sistema eléctrico de la empresa viene evidenciando calentamiento de cables, mal funcionamiento de los equipos, exceso de pago de planillas de la energía eléctrica; mismos que pueden ser provocados por caídas de voltaje, bajo factor de potencia o la presencia de armónicos. Es por esto que surge la necesidad de realizar el diagnóstico del sistema eléctrico que ayudara a elevar los índices de calidad de energía eléctrica que se encuentran vigentes en la norma ARCONEL 053/18. Finalmente el análisis del sistema eléctrico ayudara al crecimiento y fortalecimiento de la Florícola AGRORAB CIA LTDA.

11.1. Descripción del sistema eléctrico de la Florícola

El sistema eléctrico de la Florícola AGRORAB CIA LTDA está compuesta por un transformador trifásico de 75 KVA con un voltaje de 13.8 kV a 220/127 V, el transformador es utilizado para la alimentación de dos cuartos de bombas, el primer cuarto de bombas consta de: (3 bombas de agua, 2 agitadores, 1 máquina de hidratación, 1 computador de control de

riego), el segundo cuarto de bombas consta de: (2 bombas de agua, 1 computador de control de riego), y finalmente de un pozo de agua y una garita.

El sistema se alimenta de tres conductores por fase, dos conductores de 1/0 AWG y un conductor de calibre 2/0 TTU como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12.Características del transformador.

| Detalle | Datos |
|---------------------------|--------------|
| Potencia de Transformador | 75 KVA |
| Voltaje primario | 13,8 KV |
| Voltaje secundario | 220/127 V |
| Corriente Secundario | 197 AMP |
| Impedancia(Z) | 2,7 OHM |

Realizada por: Los Autores.

11.2. Censo de carga

Para el desarrollo del proyecto se realiza el levantamiento de carga que consiste en registrar los datos de placa de todos los equipos conectados al sistema eléctrico y conocer la potencia total instalada presente en la florícola AGRORAB CIA LTDA.

11.3. Carga instalada

En la tabla 13 se muestra la carga total instalada del sistema eléctrico de la Florícola AGRORAB CIA LTDA que es de 74,08 kW, la carga más representativa pertenece a la bomba de pozo y tiene una potencia de 29,8 kW que representa un porcentaje de 40,22% del total de carga instalada.

Tabla 13.Carga Instalada al Transformador.

| ITEM | CARGAS ELECTRICAS FLORICOLA | CANT. | POTENCIA | | |
|------|-----------------------------|-------|----------|-----|--------|
| | | | HP | W | kW |
| 1 | BOMBA DE AGUA 1 | 1 | 15 | | 11,190 |
| 2 | BOMBA DE AGUA 2 | 1 | 15 | | 11,190 |
| 3 | MÁQUINA DE HIDRATAR | 1 | 5 | | 3,730 |
| 4 | STD 1 BOMBA DE AGUA 3 | 1 | 2 | | 1,492 |
| 5 | COMPUTADORA DE RIEGO | 1 | | 100 | 0,100 |
| 6 | AGITADOR 1 | 1 | 1 | | 0,746 |
| 7 | AGITADOR 2 | 1 | 1 | | 0,746 |
| 8 | STD 2 BOMBA DE POZO | 1 | 40 | | 29,840 |

| | | | | | | |
|-----------------------|-------|----------------------|---|----|-----|--------|
| 9 | STD 3 | ILUMINACIÓN | 1 | | 25 | 0,025 |
| 10 | | BOMBA DE AGUA 4 | 1 | 15 | | 11,190 |
| 11 | STD 4 | BOMBA DE AGUA 5 | 1 | 5 | | 3,730 |
| 12 | | COMPUTADORA DE RIEGO | 1 | | 100 | 0,100 |
| TOTAL CARGA INSTALADA | | | | | | 74,079 |

Realizada por: Los Autores.

11.4. Análisis de los registros tomados con el analizador de carga FUKKE 435.

11.4.1. Demanda del transformador.

El registro de los datos del comportamiento de la carga se realiza con el analizador de carga Fluke 435 en un periodo de 7 días con intervalos de 5 minutos. El registro de los datos se realizó en la tercera semana del mes de agosto del 2018, que inicia el lunes 20 de agosto y finaliza 7 días después como lo establece la regulación ARCONEL 053/18.

La tabla 14, muestra el valor de la demanda máxima del sistema eléctrico que tuvo su origen el 23/08/2018 a las 11:17:52 minutos con valor de 44,94 kW, un factor de potencia de 0,75; una potencia aparente de 59,92 kVA y una cargabilidad de 79,89 %. Además se establece la demanda media del sistema de 7,5 kW, un factor de potencia de 0,77; una potencia aparente de 9,67 kVA con los cuales se establece la cargabilidad de 12,89 %.

Tabla 14. Valor de la carga instalada del factor de utilización total.

| TRANSFORMADOR 75 KVA | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| DEMANDA MAXIMA (kW) | CARGABILIDAD | DEMANDA MEDIA (kW) | CARGABILIDAD |
| 44,94 | 79,89 % | 7,5 | 12,89 % |

Realizada por: Los Autores.

Se establece el factor de utilización del transformador que se calcula mediante la aplicación de la ecuación 10. En donde se toma la demanda máxima del sistema que es de 59,92 kVA, obteniendo de esta manera un factor de utilización de 0,79.

$$f_u = \frac{KVA_{DMAX}}{KVA_{INSTALADOS}}$$

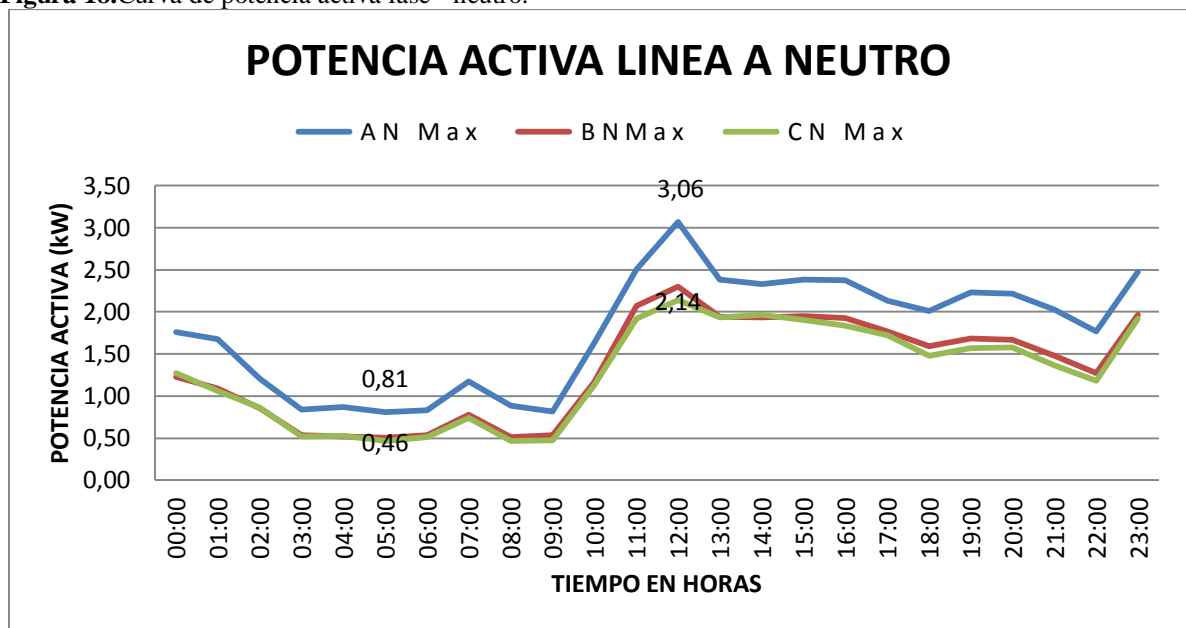
$$f_u = \frac{59,92 \text{ KVA}}{75 \text{ KVA}}$$

$$f_u = 0,79$$

11.4.2. Análisis de potencia Activa en KW

La figura 18 muestra las curvas de potencia activa máxima, mínima y promedio del sistema eléctrico por cada una de las fases; mismas que permiten apreciar que la demanda máxima del sistema ocurre en la fase A en el horario de 12:00 pm a 13:00 pm con un valor de 3,06 kW; con una demanda mínima de 0,81 kW y un promedio de 1,77 kW; además se establece que la demanda mínima del sistema está en la fase C con un valor de 0,46 kW mientras que la demanda máxima de esta fase es de 2,14 kW.

Figura 18. Curva de potencia activa fase - neutro.



Realizada por: Los Autores.

En la tabla 15 se detalla los valores de la Potencia Activa por fase, además se puede evidenciar que la demanda máxima total del sistema es de 7,50 kW mientras que la demanda mínima total es de 1,77 kW, por otro parte la tabla 15 muestra los porcentaje de desbalance existentes entre la fase A y la fase C que representa un valor de 30,15% mismo que ocurre a las 12:00pm.

Tabla 15. Potencia Activa en las Tres Líneas.

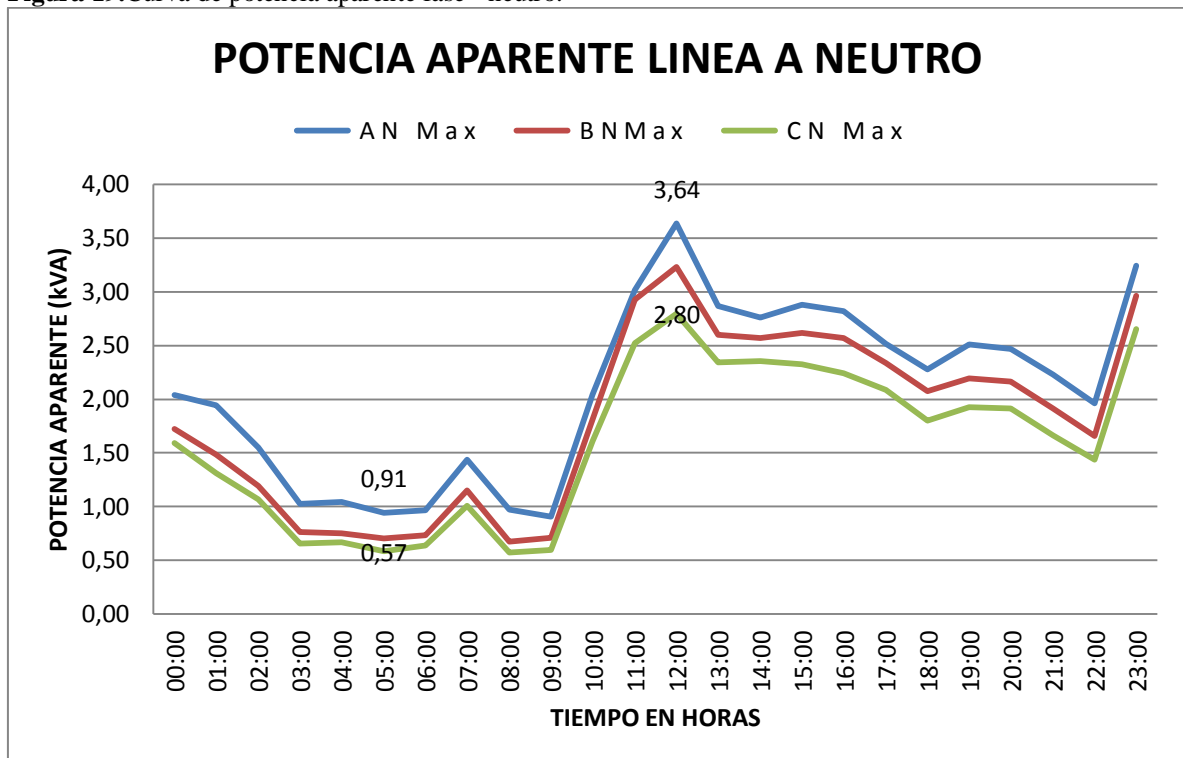
| VALORES | POTENCIA ACTIVA (kW) | | | | | HORA | Norma 053/18 |
|----------|----------------------|--------|--------|-------|------------------|--------|--------------|
| | FASE A | FASE B | FASE C | TOTAL | % DESVALANCE A-C | | 5% |
| MAXIMO | 3,06 | 2,30 | 2,14 | 7,50 | 30,06% | 12:00 | No cumple |
| MINIMO | 0,81 | 0,50 | 0,46 | 1,77 | 43,20% | 05:00 | No cumple |
| PROMEDIO | 1,77 | 1,33 | 1,27 | 4,37 | 28,24% | DIARIO | No cumple |

Realizada por: Los Autores.

11.4.3. Análisis de potencia Aparente en kVA

La figura 19 muestra las curvas de potencia aparente máxima, mínima y promedio del sistema eléctrico por cada una de las fases; donde se puede apreciar que la demanda máxima del sistema ocurre en la fase A en el horario de 12:00 pm a 13:00 pm con un valor de 3,64 kVA; con una demanda mínima de 0,91 kVA y un promedio de 2,09 kVA; además se establece que la demanda mínima del sistema está en la fase C con un valor de 0,57 kVA mientras que la demanda máxima de esta fase es de 2,80 kVA.

Figura 19. Curva de potencia aparente fase - neutro.



Realizada por: Los Autores.

Se registra una potencia aparente total máxima de 9,67 kVA, mientras que la potencia aparente mínima es de 2,16 kVA, se observa el desbalance que existe entre las tres líneas arrojando un valor máximo de 23,09 % que sobrepasa al 5 % del desbalance máximo permitido. El análisis de los valores de la potencia aparente se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Valores de potencia aparente.

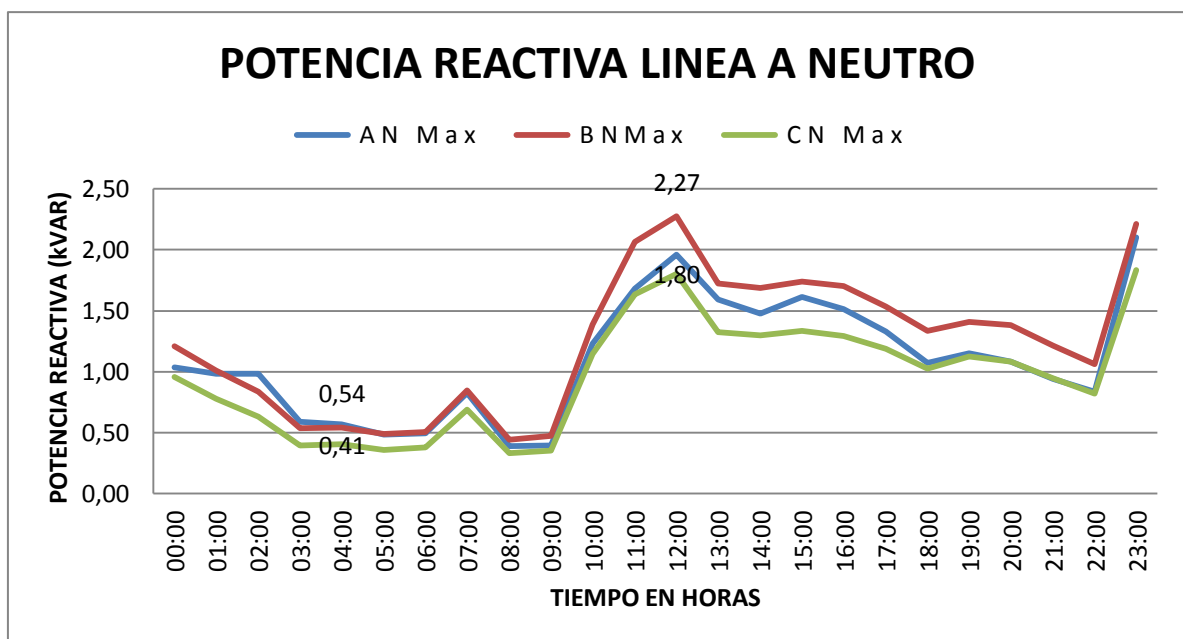
| VALORES | POTENCIA APARENTE (kVA) | | | | | HORA | Norma 053/18 |
|----------|-------------------------|--------|--------|-------|------------------|--------|--------------|
| | FASE A | FASE B | FASE C | TOTAL | % DESVALANCE A-C | | 5% |
| MAXIMO | 3,64 | 3,23 | 2,80 | 9,67 | 23,07% | 12:00 | No cumple |
| MINIMO | 0,91 | 0,67 | 0,57 | 2,15 | 37,36% | 05:00 | No cumple |
| PROMEDIO | 2,09 | 1,81 | 1,60 | 5,50 | 23,44% | DIARIO | No cumple |

Realizada por: Los Autores.

11.4.4. Análisis de potencia Reactiva en kVAr

La figura 20 muestra las curvas de potencia reactiva máxima, mínima y promedio del sistema eléctrico por cada una de las fases; donde se puede apreciar que la potencia reactiva máxima del sistema ocurre en la fase B en el horario de 12:00pm a 13:00pm con un valor de 2,27 kVAr; con una potencia reactiva mínima de 0,44 kVAr y un promedio de 1,23 kVAr; además se establece que la potencia reactiva mínima del sistema está en la fase C con un valor de 0,33 kVAr mientras que la potencia activa máxima de esta fase es de 1,83 kVAr.

Figura 20. Curva de potencia reactiva fase - neutro.



Realizada por: Los Autores.

En la tabla 17 se registra la potencia reactiva total máxima de 6,21kVAr y una mínima total de potencia reactiva de 1,17 kVAr, además se aprecia el porcentaje de desbalance de 19,38 % entre las fases B y C.

Tabla 17. Valores de potencia Reactiva

| VALORES | POTENCIA APARENTE (kVAr) | | | | | HORA | Norma 053/18 |
|----------|--------------------------|--------|--------|-------|------------------|--------|--------------|
| | FASE A | FASE B | FASE C | TOTAL | % DESVALANCE A-C | | 5% |
| MAXIMO | 2,10 | 2,27 | 1,83 | 6,20 | 19,38 % | 12:00 | No cumple |
| MINIMO | 0,39 | 0,44 | 0,33 | 1,16 | 25,00 % | 05:00 | No cumple |
| PROMEDIO | 1,10 | 1,23 | 0,96 | 3,29 | 21,95 % | DIARIO | No cumple |

Realizada por: Los Autores.

Se concluye que el desbalance supera el límite establecido en regulación ARCONEL 053/18, puesto que el desbalance entre fases es mayor al límite máximo permitido del 5 %.

11.4.5. Resumen de Potencias

La tabla 18 muestra los valores totales de las potencias máximas del sistema eléctrico en donde se puede apreciar una demanda media de 7,50 kW, misma que es suministrada por el transformador de 75 kVA, estableciendo de esta manera que el transformador no se encuentra sobrecargado.

Tabla 18. Valores de potencias

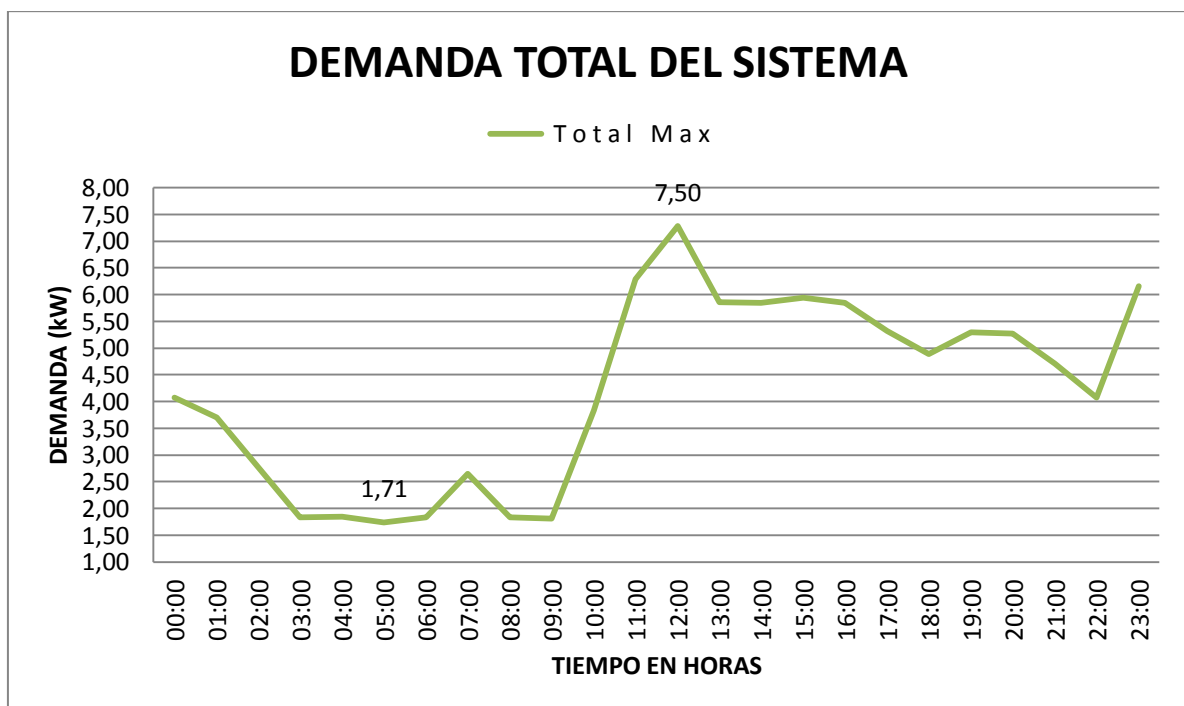
| POTENCIAS | L1 | L2 | L3 | TOTAL | fp |
|-------------------|------|------|------|-----------|-------|
| POTENCIA ACTIVA | 3,06 | 2,30 | 2,14 | 7,50 kW | 0,776 |
| POTENCIA REACTIVA | 2,10 | 2,27 | 1,83 | 6,21 kVAr | |
| POTENCIA APARENTE | 3,64 | 3,23 | 2,80 | 9,67 kVA | |

Realizada por: Los Autores.

11.4.6. Curva de carga

La figura 21 representa la curva de demanda diaria típica del sistema eléctrico, en donde se puede evidenciar que la demanda pico ocurre a las 12:00 pm con un valor de 7,5 kW, mientras que la demanda mínima tiene su origen a las 05:00 am y su valor es de 1,74 kW, con un promedio de 4,20 kW, la curva de demanda refleja los valores de demanda más representativos que se obtuvieron con el analizador Fluke 435.

Figura 21. Curva de demanda.



Realizada por: Los Autores.

Para la representación de la curva de carga se tomó en consideración los valores de demanda que se muestran en la tabla 19. Que refleja el comportamiento de la carga.

Tabla 19. Valores de demanda diarios del sistema.

| H o r a | DEMANDA (kW) |
|---------|--------------|
| 00:00 | 4,08 |
| 01:00 | 3,70 |
| 02:00 | 2,77 |
| 03:00 | 1,84 |
| 04:00 | 1,85 |
| 05:00 | 1,71 |
| 06:00 | 1,83 |
| 07:00 | 2,65 |
| 08:00 | 1,83 |
| 09:00 | 1,81 |
| 10:00 | 3,83 |
| 11:00 | 6,29 |
| 12:00 | 7,50 |
| 13:00 | 5,86 |
| 14:00 | 5,84 |
| 15:00 | 5,94 |
| 16:00 | 5,84 |
| 17:00 | 5,32 |
| 18:00 | 4,89 |
| 19:00 | 5,30 |
| 20:00 | 5,27 |
| 21:00 | 4,70 |
| 22:00 | 4,07 |
| 23:00 | 6,16 |

Realizada por: Los Autores.

11.4.7. Análisis de Factor de Potencia

Los registros obtenidos en la tabla 20 indican un factor de potencia total de 0,776; el valor se encuentra por debajo del 0.92 permitidos por la regulación del ARCONEL 053/18, mientras que el valor de factor de potencia más alto se registra en la fase 1.

Tabla 20. Valores de Factor de Potencia.

| Valores | MIN | MED | MAX |
|---------------|------|------|------|
| F.P L1 | 0,76 | 0,85 | 0,92 |
| F.P L2 | 0,64 | 0,73 | 0,77 |
| F.P L3 | 0,70 | 0,80 | 0,84 |
| F.P. PROMEDIO | 0,70 | 0,79 | 0,84 |

Realizada por: Los Autores.

11.4.8. Análisis de Distorsión armónica total THD de voltaje

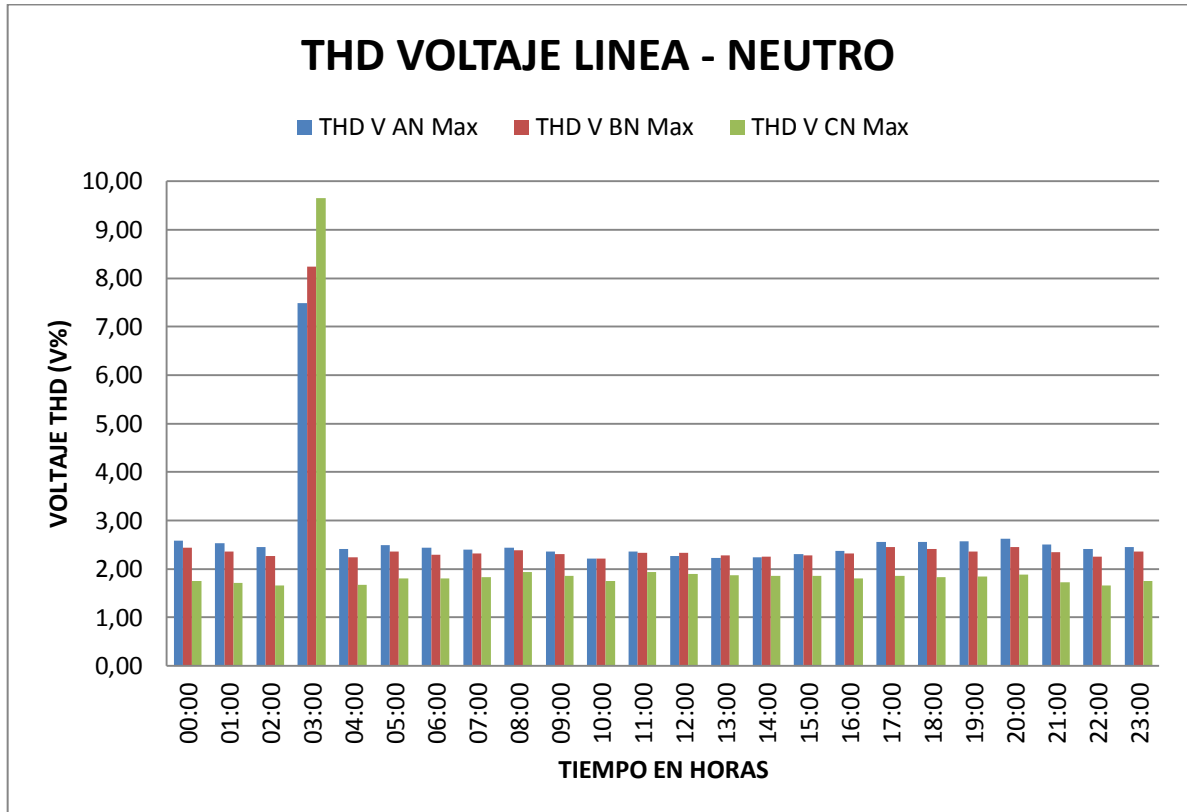
En la tabla 21, se muestra los porcentajes de THD registrados por el analizador de carga Fluke 435, estos datos fueron comparados con el valor establecido en la regulación ARCONEL 053/18, que asigna el límite máximo permitido para THD de voltaje debe estar por debajo del 8.0 %. La norma también establece que si un 95% del total de los valores registrados están dentro del límite máximo permitido se acepta el THD del sistema. La gráfica de la distorsión armónica total THD de voltaje se muestra en el gráfico 22:

Tabla 21. Valores de THD de Voltaje.

| THD VOLTAJE | THD PROMEDIO | THD L _A | THD L _B | THD L _C | ARCONEL 053/18 |
|---------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| THD mínimo | 2,03 | 2,22 | 2,22 | 1,65 | Si cumple |
| THD promedio | 2,03 | 2,22 | 2,22 | 1,65 | Si cumple |
| THD máximo | 8,46 | 7,48 | 8,24 | 9,66 | Si cumple |
| OBSERVACIONES | El analizador registra el límite máximo del THD de las tres líneas, que es un 9,66 % donde excede el 8 % de lo determinado por la regulación. Pero esta se da únicamente en una hora (03:00 am) y representa un 4,17% del total de datos registrados. | | | | |

Realizada por: Los Autores.

Figura 22. THD Voltaje Línea - Neutro.



Realizada por: Los Autores.

11.4.9. Armónicos de voltaje individuales

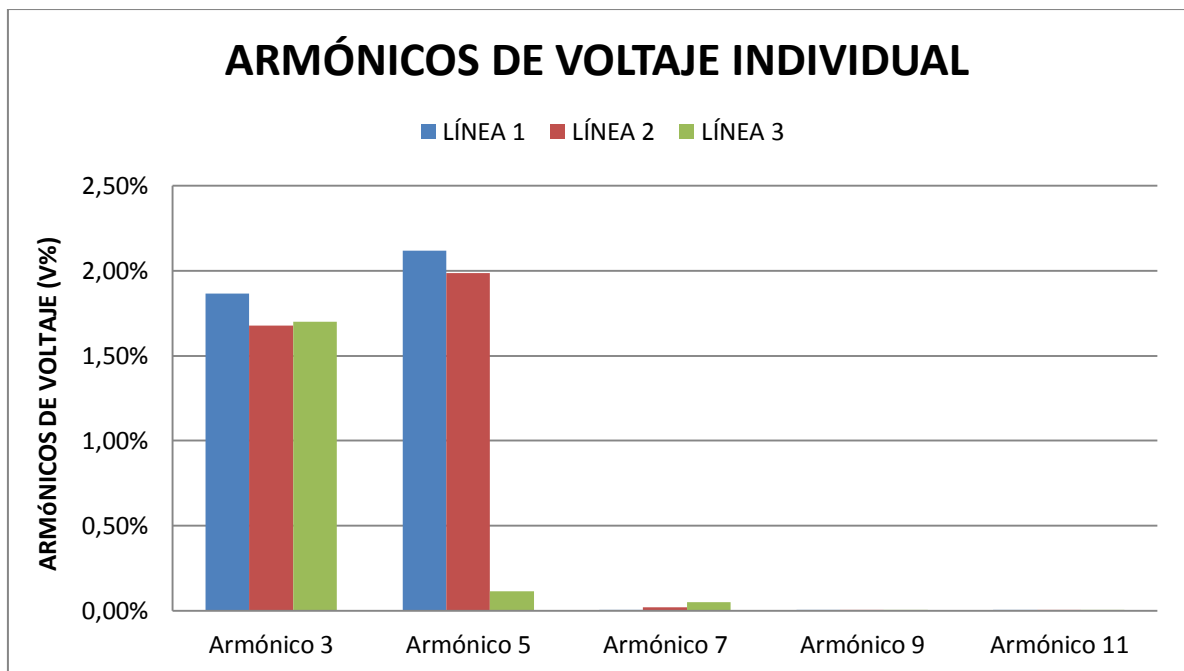
En la tabla 22 se detallan los valores de armónicos de voltaje individual registrados por el analizador Fluke 435, que están dentro del límite máximo permitido según la regulación ARCONEL 053/18. En el grafico 19 se muestra la curva de armónicos individuales de voltaje:

Tabla 22. Valores de armónicos de voltaje individual.

| ARMÓNICOS DE VOLTAJE | | | | PROMEDIO | ARCONEL 053/18 Rangos Establecidos | OBSERVACIONES |
|----------------------|---------|---------|---------|----------|------------------------------------|---------------|
| | LÍNEA 1 | LÍNEA 2 | LÍNEA 3 | | | |
| Armónico 3 | 1,8652% | 1,6788% | 1,7010% | 1,7483% | 5,00% | Cumple |
| Armónico 5 | 2,1174% | 1,9854% | 0,1154% | 1,4060% | 5,00% | Cumple |
| Armónico 7 | 0,0005% | 0,0193% | 0,0491% | 0,0230% | 5,00% | Cumple |
| Armónico 9 | 0,0003% | 0,0003% | 0,0002% | 0,0003% | 5,00% | Cumple |
| Armónico 11 | 0,0005% | 0,0003% | 0,0005% | 0,0004% | 5,00% | Cumple |

Realizada por: Los Autores.

Figura 23. Armónicos de voltaje Línea - Neutro.



Realizada por: Los Autores.

11.4.10. Análisis de Niveles de Voltaje

Los niveles de voltajes dependen en la zona donde se ha realizado la medición, en este caso la florícola corresponde a la categoría bajo voltaje, en zona rural; por lo tanto la caída máxima de voltaje no debe superar el $\pm 8 \%$, según la regulación ARCONEL 053/18.

En la tabla 23 se registra una variación del 12,60 % del voltaje máximo esto indica que se encuentra fuera de la normativa.

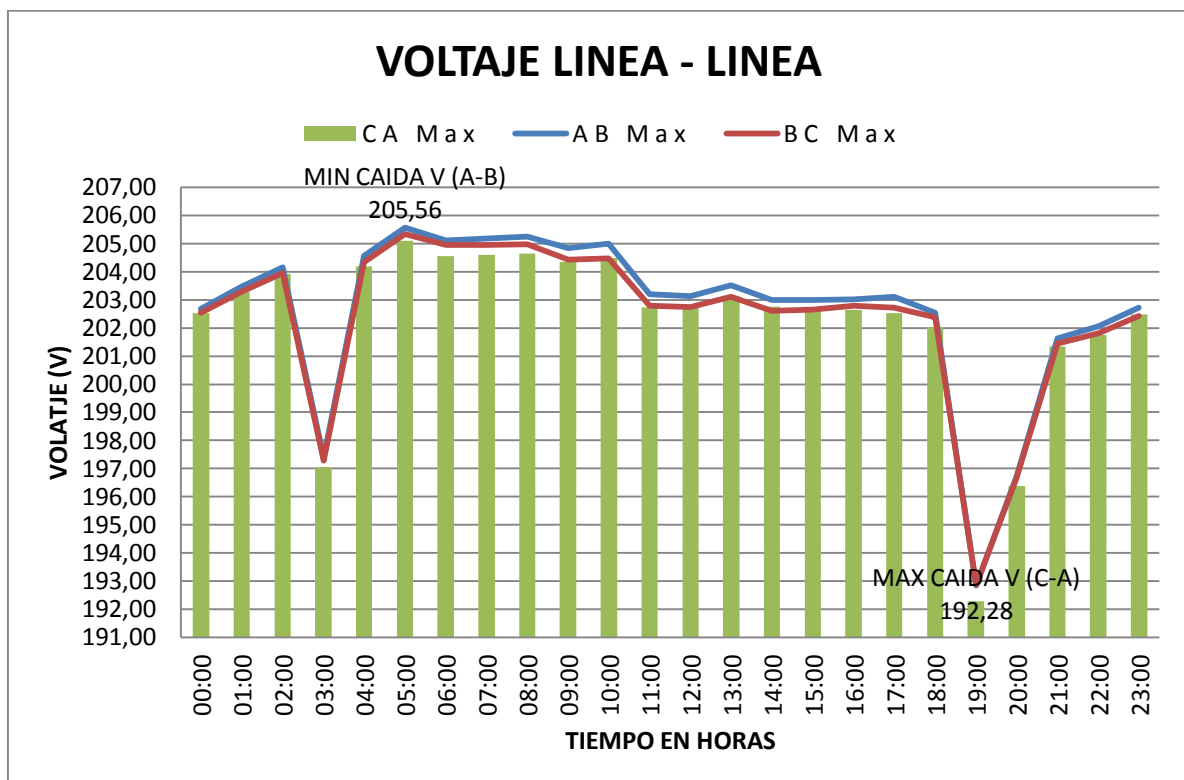
Tabla 23. Valores de Voltaje Mínimo, Medio y Máximo entre fases.

| Voltaje | Máximo | Promedio | Mínimo | % de variación | | ARCONEL 053/18 |
|-----------|--------|----------|--------|----------------|--------|-------------------|
| | | | | Máximo | mínimo | |
| V_{A-B} | 205,56 | 202,65 | 192,84 | 12,35% | 6,56% | No cumple |
| V_{B-C} | 205,34 | 202,40 | 192,85 | 12,34% | 6,66% | No cumple |
| V_{C-A} | 205,11 | 202,26 | 192,28 | 12,60% | 6,77% | No cumple |

Realizada por: Los Autores.

La figura 24 muestra el perfil de voltaje presente en el sistema eléctrico, en donde se puede destacar la máxima caída de voltaje que es de 27,72 V mismos que representa un porcentaje de 12,60% que es mayor al límite máximo permitido de 8%. Así también se puede evidenciar que la caída de voltaje mínima se origina a las 05:00 am con una caída de 14,44 V y representa un 6,56%.

Figura 24. Perfil de voltaje del sistema.



Realizada por: Los Autores.

11.5. Cálculo de armónico de corriente

Para determinar los límites de armónicos de corriente en el sistema se debe realizar el siguiente cálculo según la norma IEEE519. Se toma el dato del transformador de la florícola

AGRORAB que es de 75 KVA y tiene la impedancia es de 2,7 %, y que se empleara para empezar los cálculos correspondientes, mediante la ecuación 7.

$$I_{cc} = \frac{1}{x_{pu}}$$

$$I_{cc} = \frac{1}{0,027}$$

$$I_{cc} = 37,04$$

Para calcular el valor de la relación se determina mediante la ecuación 8.

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_{Lpu}}$$

Primeramente, se calcula la corriente de carga I_L en amperios, para seguidamente demostrar la corriente de carga en valores por unidad I_{Lpu} . A continuación, se calcula la corriente de carga con la ecuación 10.

$$S = V * I_L * \sqrt{3}$$

$$I_L = \frac{S}{V * \sqrt{3}}$$

La potencia que se considera es la del transformador 75 KVA, el voltaje es el del secundario del transformador 220 V.

$$I_L = \frac{75000}{220 * \sqrt{3}} = 196,82 \text{ A}$$

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_{Lpu}} = \frac{37,04}{196,82}$$

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_{Lpu}} = 0.18$$

Para determinar la corriente de carga se debe obtener los valores de corriente medidos por el analizador que está en la tabla 24.

Tabla 24. Valores de corriente de línea.

| | A1 RMS | A2 RMS | A3 RMS |
|--------------|---------------|---------------|---------------|
| A RMS MINIMA | 7,73 | 6,00 | 5,42 |
| A RMS MEDIA | 17,44 | 15,46 | 14,72 |
| A RMS MÁXIMA | 30,76 | 27,23 | 26,21 |

Realizada por: Los Autores.

Fase 1:

$$I_{L,pu} = \frac{30,76}{196,82}$$

$$I_{L,pu} = 0,156$$

El factor α es igual a:

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_l}$$

$$\alpha = \frac{37,04}{0,156} = 237,43$$

Fase 2:

$$I_{L,pu} = \frac{27,23}{196,82}$$

$$I_{L,pu} = 0,138$$

El factor α es igual a:

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_L}$$

$$\alpha = \frac{37,04}{0,138} = 268,40$$

Fase 3:

$$I_{L,pu} = \frac{26,21}{196,82}$$

$$I_{L,pu} = 0,133$$

El factor α es igual a:

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_L}$$

$$\alpha = \frac{37,04}{0,133} = 278,49$$

En la tabla 25 se detalla el cálculo de la relación entre las corrientes de cortocircuito y la corriente de línea en pu (α), que sirve para Verificar los Armónicos de Corrientes.

Tabla 25. Cálculo de α para Verificar Armónicos de Corrientes.

| FASES | X (p.u) | I _{cc} (A) | I línea (p.u) | I _{cc} /I línea (A) |
|-------|---------|---------------------|---------------|------------------------------|
| I1 | 0,027 | 37,04 | 0,156 | 237,43 |
| I2 | 0,027 | 37,04 | 0,138 | 268,40 |
| I3 | 0,027 | 37,04 | 0,133 | 278,49 |

Realizada por: Los Autores.

Según la Norma IEEE-519, que consta en la tabla 7 el cálculo de la relación máximo de distorsión armónica de corriente (I_{cc}/I_{Lpu}) es 278,49 A, estableciendo de esta manera el rango de $100 < 1000$ que permite un 15 % del TDD y el 12 % de los armónicos individuales, como se detalla en la tabla 25.

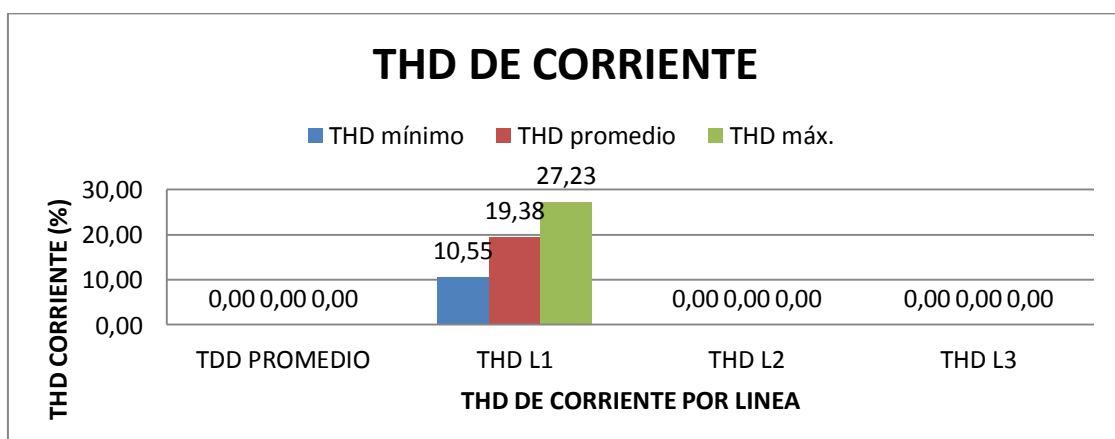
11.5.1. Distorsión de demanda total de corriente THD

En la tabla 26 se detalla de acuerdo a la norma IEEE-519, el valor establecido del THD de corriente de acuerdo al nivel de reactancia inductiva del transformador, es por debajo del 15 %. A continuación, se registra los datos de THD, en donde se puede apreciar el valor máximo de THD de corriente que tiene un valor de 27,23%, que corresponde a la fase A; mientras que la THD de corriente mínima es de 0,57 % correspondiente a la línea 2. Estos registros constan en la figura 25:

Tabla 26. Valores THD de corriente.

| THD CORRIENTE | THD PROMEDIO | THD L1 | THD L2 | THD L3 | IEEE - 519 |
|---------------|--------------|--------|--------|--------|------------|
| THD mínimo | 4,67 | 10,55 | 0,57 | 2,89 | Cumple |
| THD promedio | 8,25 | 19,38 | 1,06 | 4,31 | No cumple |
| THD máx. | 11,49 | 27,23 | 1,81 | 5,44 | No cumple |

Realizada por: Los Autores.

Figura 25. THD de corriente.

Realizada por: Los Autores.

11.5.2. Armónico de corriente individuales

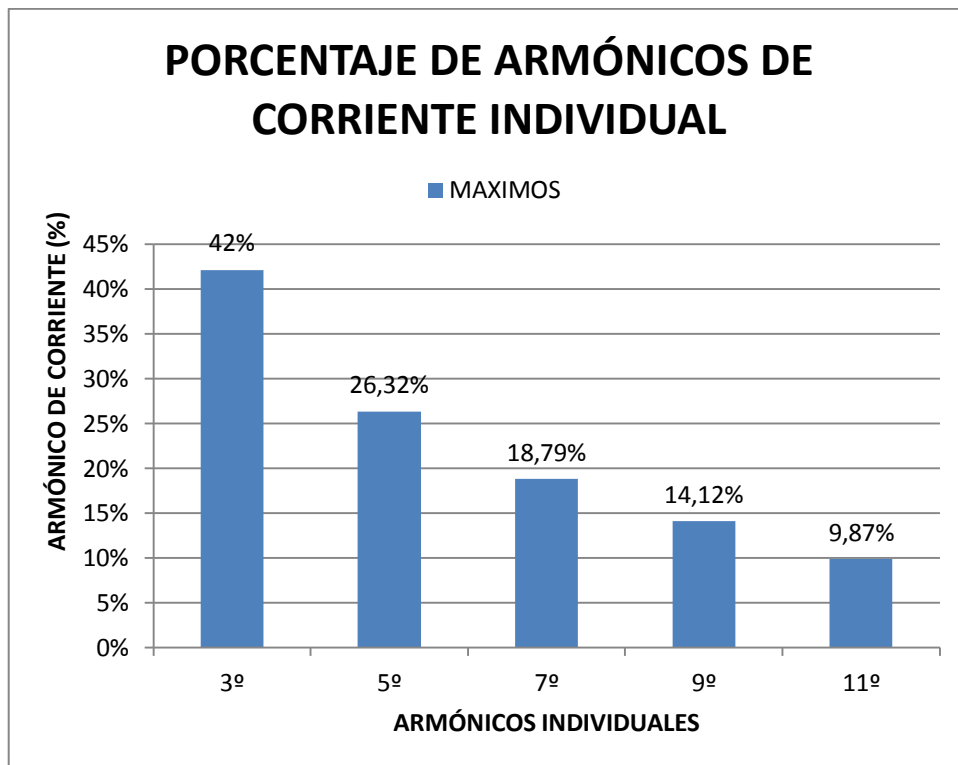
La tabla 27 muestra los valores de armónicos de corrientes individuales registrados en cada una de las líneas del sistema eléctrico. En donde se puede apreciar que el mayor porcentaje de armónicos de corriente individual está en el armónico 3°, cuyo valor es de 42,12 %, que sobrepasa el límite máximo permitido de 12%. La figura 22 permite observar los porcentajes de armónicos individuales promedio del sistema.

Tabla 27. Valores de armónicos de corriente individual.

| ARMÓNICOS DE CORRIENTE | | | | PROMEDIO | IEEE – 519 Rangos Establecidos | OBSERVACIONES |
|------------------------|------------|------------|--------|----------|--------------------------------------|---------------|
| LÍNEA 1 | LÍNEA 2 | LÍNEA 3 | | | | |
| Armónico 3 | 50,54% | 38,74% | 37,08% | 42,12% | 12% | NO cumple |
| Armónico 5 | 37,76% | 18,69% | 22,50% | 26,32% | 12% | NO cumple |
| Armónico 7 | 27,49% | 11,25% | 17,62% | 18,79% | 12% | NO cumple |
| Armónico 9 | 21,01% | 9,07% | 12,27% | 14,12% | 12% | NO cumple |
| Armónico 11 | 12,60% | 6,14% | 10,88% | 9,87% | 12% | SI cumple |

Realizada por: Los Autores.

Figura 26. THD de corrientes individuales.



Realizada por: Los Autores.

Con los datos registrados en la tabla 27 se procede a calcular la TDD

$$TDD = \frac{\sqrt{h3^2 + h5^2 + h7^2 + h9^2 + h11^2}}{IL} * 100$$

$$TDD = \frac{\sqrt{42,12^2 + 26,32^2 + 18,79^2 + 14,12^2 + 9,87^2}}{196,82} * 100$$

$$TDD = 28,36 \%$$

Se establece una distorsión de la demanda total TDD cuyo valor es de 28,36% que sobrepasa el valor máximo permitido en la norma IEEE519 que establece el valor de 15%.

11.6. Análisis del desbalance de voltaje

Para demostrar los desbalances de voltaje se utiliza la siguiente ecuación de la regulación ARCONEL 053/18:

$$\text{Desbalance entre fases} = \frac{\text{Voltaje Fase Mayor} - \text{voltaje Fase Menor}}{\text{Voltaje Fase Mayor}} * 100 \%$$

$$\text{Desbalance entre fases} = \frac{205,56 - 205,11}{205,56} * 100 \%$$

$$\text{Desbalance entre fases} = 0,22 \%$$

$$0,22 \% < 5 \%$$

Mediante cálculo realizado no existe desbalance de voltaje entre las fases debido a que no supera el 5 % establecido por la regulación ARCONEL 053/18 y que se puede apreciar en la tabla 28.

Tabla 28. Valores de desbalance de voltaje entre fases.

| Voltaje | Máximo V | Promedio V | Mínimo V | % de desbalance de voltaje entre fases | | ARCONEL 053/18 |
|------------------|-------------|---------------|-------------|---|--------|-------------------|
| | | | | Máximo | mínimo | |
| V _{A-B} | 205,56 | 202,65 | 192,84 | 0,11% | 0,01% | Cumple |
| V _{B-C} | 205,34 | 202,40 | 192,85 | 0,12% | 0,30% | Cumple |
| V _{C-A} | 205,11 | 202,26 | 192,28 | 0,22% | 0,29% | Cumple |

Realizada por: Los Autores.

11.7. Estado actual del sistema

Una vez terminado con el diagnóstico del sistema eléctrico de la Florícola AGRORAB CIA LTDA, se puede evidenciar los siguientes problemas: desbalance de potencias, altas caídas de voltaje, bajo factor de potencia, armónicos de corriente y pérdidas de energía considerables que sobrepasan el límite máximo permitido y establecidos en la regulación ARCONEL 053/18 y la norma IEEE519; mismos que obligan o tomar medidas correctivas para reducirlos al mínimo. La tabla 29 muestra el resumen del diagnóstico del sistema eléctrico.

Tabla 29. Valores de armónicos de corriente individual.

| ESTADO INICIAL DEL SISTEMA | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| Capacidad del transformador | 75 kVA | |
| Cargabilidad | 79,89 | |
| Reserva | 20,11 % | |
| Desbalances entre potencia | | |
| POTENCIA ACTIVA | | |
| | P (%) | P (kW) |
| Máxima | 30,06% | 2,254 |
| Mínimo | 43,20% | 0,764 |
| Promedio | 28,24% | 1,234 |
| POTENCIA REACTIVA | | |
| | Q (%) | Q (kVAr) |
| Máxima | 19,38 % | 1,201 |
| Mínimo | 25,00 % | 0,290 |
| Promedio | 21,95 % | 0,722 |
| POTENCIA APARENTE | | |
| | S (%) | S (kVA) |
| Máxima | 23,07% | 2,230 |
| Mínimo | 37,36% | 0,803 |
| Promedio | 23,44% | 1,289 |
| CAIDAS DE VOLTAJE MAXIMAS | | |
| | ΔV (%) | ΔV (V) |
| V_{A-B} | 13,09% | 28,798 |
| V_{B-C} | 13,02% | 28,644 |
| V_{C-A} | 13,23% | 29,106 |
| FACTOR DE POTENCIA | | |
| F_p | 0,776 | |
| armónicos de corriente % | | |
| VALOR | PROMEDIO % | |
| Armónico 3 | 42,12% | |
| Armónico 5 | 26,32% | |

| | |
|--------------------------------|---------|
| Armónico 7 | 18,79% |
| Armónico 9 | 14,12% |
| Armónico 11 | 9,87% |
| Perdidas de potencia y energía | |
| kWh/mensual | 414,56 |
| kVArh/mensual | 3988,06 |

Realizada por: Los Autores.

11.8. Simulación del estado actual del sistema eléctrico

Para corroborar el presente análisis se ha planteado la simulación del sistema eléctrico de la florícola AGRORAB CIA LTDA en el software EASYPOWER. Mismo que permitirá identificar los puntos más críticos dentro de la instalación eléctrica de la florícola; permitiendo realizar un plan de mejoras para reducir al máximo los problemas mencionados en el diagnóstico del estado actual del sistema y que serán comparados con los resultados de la simulación que entrega el software EASYPOWER con los datos registrados con el analizador de carga Fluke 435.

La tabla 30 muestra los datos ingresados en el programa EASYPOWER, además se toman los valores de Armónicos de corrientes ya calculados y que constan en la tabla 28, de igual manera las características del transformador de toma de la tabla 12.

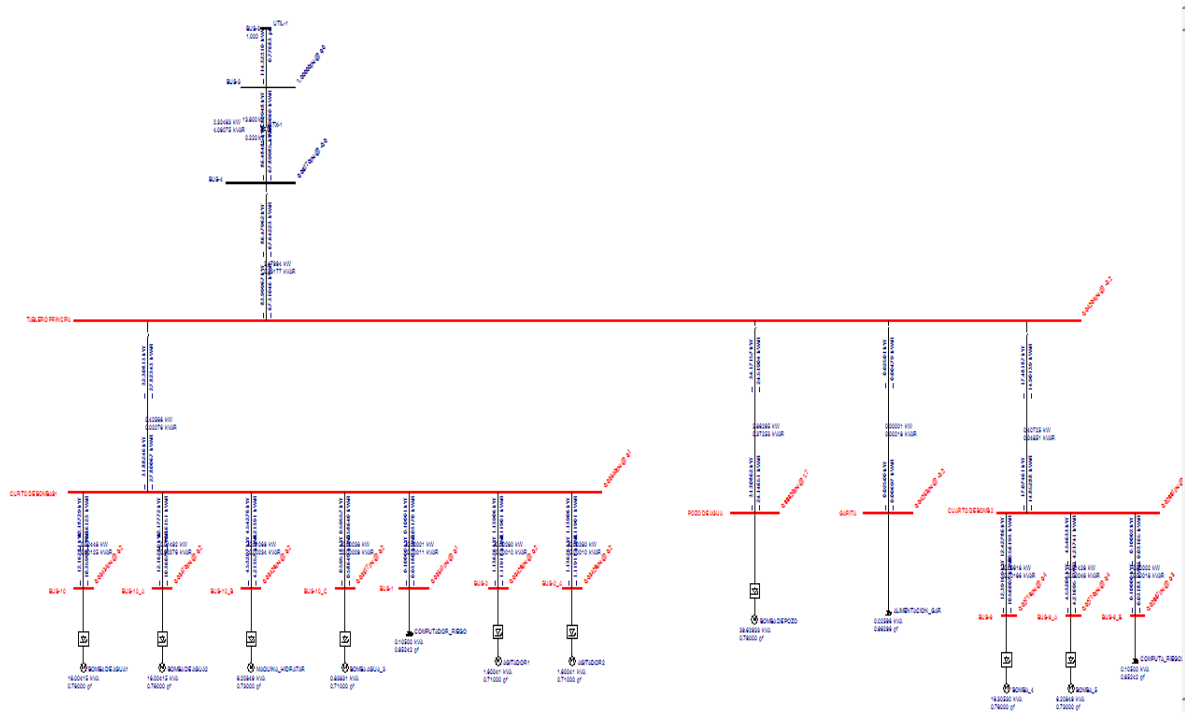
Tabla 30. Datos ingresados en el programa EASYPOWER.

| TRANSFORMADOR 75KVA | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|----------------------|------|----------|-----|------|-------|-------------------|--------|----------------------|--------------------------|---------|----------|
| ITEM | CARGAS ELECTRICAS FLORICOLA | | CANT | POTENCIA | | fp | Eff | Distancias LINEAS | | Conductor Calibre | Subtableros distribución | | |
| | | | | HP | kW | | | m | ft | | m | ft | Calibre |
| 1 | STD 1 | BOMBA DE AGUA 1 | 1 | 15 | | 0,76 | 0,903 | 5 | 16,40 | 8 AWG Cu | 12 | 39,37 | 2 AWG Al |
| 2 | | BOMBA DE AGUA 2 | 1 | 15 | | 0,76 | 0,903 | 3 | 9,84 | 8 AWG Cu | | | |
| 3 | | MÁQUINA DE HIDRATAR | 1 | 5 | | 0,73 | 0,823 | 3 | 9,84 | 10 AWG Cu | | | |
| 4 | | BOMBA DE AGUA 3 | 1 | 2 | | 0,71 | 0,749 | 6 | 19,68 | 10 AWG Cu | | | |
| 5 | | COMPUTADORA DE RIEGO | 1 | | 100 | 0,95 | 0,97 | 6 | 19,68 | 12 AWG Cu | | | |
| 6 | | AGITADOR 1 | 1 | 1 | | 0,71 | 0,66 | 12 | 39,37 | 10 AWG Cu | | | |
| 7 | | AGITADOR 2 | 1 | 1 | | 0,71 | 0,66 | 12 | 39,37 | 10 AWG Cu | | | |
| 8 | STD 2 | BOMBA DE POZO | 1 | 40 | | 0,79 | 0,92 | 210 | 688,97 | 2 AWG Al | 27 | 88,58 | 2 AWG Al |
| 9 | STD 3 | ILUMINACIÓN | 1 | | 25 | 0,95 | 0,92 | 120 | 984,25 | 12 AWG Cu | | | |
| 10 | STD 4 | BOMBA DE AGUA 4 | 1 | 15 | | 0,76 | 0,90 | 7 | 22,96 | 8 AWG Cu | 100 | 328,084 | 2 AWG Al |
| 11 | | BOMBA DE AGUA 5 | 1 | 5 | | 0,73 | 0,82 | 4 | 13,12 | 10 AWG Cu | | | |
| 12 | | COMPUTADORA DE RIEGO | 1 | | 100 | 0,95 | 0,97 | 10 | 32,80 | 12 AWG Cu | | | |

Realizada por: Los Autores.

La figura 27 muestra la simulación del estado actual del sistema en el software EASYPOWER. El diagrama unifilar del sistema eléctrico consta en el anexo 1.

Figura 27. Esquema del sistema eléctrico inicial simulado en EASYPOWER.



Realizada por: Los Autores.

11.9. Resultados obtenidos de la simulación del estado actual.

Los resultados obtenidos mediante la simulación del sistema eléctrico en el programa EASYPOWER se comparan y se establece un error máximo de 4,39% entre los datos tomados por el analizador de carga y la simulación; la simulación permite conocer los puntos más críticos dentro del sistema eléctrico y que no se puede verificar con los datos del analizador de carga. A continuación se detallan los resultados más importantes dentro del sistema eléctrico para posteriormente tomar medidas correctivas: los resultados de la simulación del estado actual consta en el anexo 3.

11.9.1. Análisis del resultados

La tabla 31 muestra los resultados correspondientes a las potencias totales del sistema en donde se puede apreciar el error de 4,39% que es el valor máximo entre software y datos registrados por el analizador, además en esta tabla se puede observar las comparaciones entre las caídas de voltaje máximas y mínimas; y finalmente se aprecia el margen de error de pérdidas del sistema.

Tabla 31. Validación de resultados

| POTENCIAS TOTALES | | | | |
|---------------------|------------|-------|------------|--------|
| | kW | kVAR | kVA | Pf |
| SIMULADO | 9,99 | 8,08 | 12,79 | 0,767 |
| CALCULADO | 9,55 | 7,91 | 12,40 | 0,77 |
| % ERROR | 4,39% | 2,06% | 3,06% | -0,39% |
| CAIDAS DE VOLTAJE | | | | |
| | MAXIMA (V) | | MINIMA (V) | |
| CALCULADO | 192,28 | | 205,56 | |
| SIMULADO | 194,92 | | 207,46 | |
| % ERROR | 1,35% | | 0,91% | |
| PERDIDAS DE ENERGIA | | | | |
| | kWh | | kVArh | |
| CALCULADO | 414,56 | | 3988,06 | |
| SIMULADO | 418,035 | | 3978,54 | |
| % ERROR | 0,83% | | -0,24% | |

Realizada por: Los Autores.

Mediante la tabla 32 se puede verificar el error entre los armónicos de corriente ITHD registrados con el analizador de carga y la simulación, se establece un en error máximo de 3,70 %, presente en la bomba 1.

Tabla 32. Valores de armónicos iniciales.

| Nombre | Corrientes armónicas | | | ERROR |
|------------------|----------------------|------------------|--------------------------|---------|
| | Base kV | ITHD(%) Software | ITHD(%) Datos analizador | ITHD(%) |
| AGITADOR1 | 0.220 | 45,47% | 44,12% | 2,96% |
| AGITADOR2 | 0.220 | 45,47% | 44,12% | 2,96% |
| ALIMENTACION_GAR | 0.220 | 45,82% | 44,12% | 3,70% |
| BOMBA 1 | 0.220 | 45,47% | 44,12% | 2,96% |
| BOMBA DE AGUA1 | 0.220 | 45,47% | 44,12% | 2,96% |
| BOMBA DE AGUA2 | 0.220 | 45,47% | 44,12% | 2,96% |
| BOMBA DE POZO | 0.220 | 43,12% | 44,12% | -2,33% |
| BOMBA_4 | 0.220 | 45,12% | 44,12% | 2,21% |
| BOMBA_5 | 0.220 | 45,12% | 44,12% | 2,21% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 45,56% | 44,12% | 3,15% |
| BUS-4 | 0.220 | 44,60% | 44,12% | 1,07% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 45,64% | 44,12% | 3,33% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 45,64% | 44,12% | 3,33% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 45,56% | 44,12% | 3,15% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 43,20% | 44,12% | -2,13% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 45,56% | 44,12% | 3,15% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 45,56% | 44,12% | 3,15% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 45,56% | 44,12% | 3,15% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 45,64% | 44,12% | 3,33% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 45,21% | 44,12% | 2,40% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 45,12% | 44,12% | 2,21% |

| | | | | |
|------------------|--------|--------|--------|-------|
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 45,21% | 44,12% | 2,40% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 45,30% | 44,12% | 2,59% |
| COMPUTADOR_RIEGO | 0.220 | 45,47% | 44,12% | 2,96% |
| COMPUTA_RIEGO2 | 0.220 | 45,12% | 44,12% | 2,21% |
| MAQUINA_HIDRATAR | 0.220 | 45,47% | 44,12% | 2,96% |
| TX-1 | 13.800 | 44,51% | 44,12% | 0,87% |
| UTIL-1 | 13.800 | 44,51% | 44,12% | 0,87% |

Realizada por: Los Autores.

El porcentaje de error máximo para las caídas de voltaje entre la simulación y los datos tomados del analizador representa 1,35%; además en la tablas 33 se observa los puntos más críticos dentro del sistema eléctrico. Se destaca la caída de voltaje en la línea que alimenta a la bomba del pozo de agua. Además se registró los voltajes que se midieron con el multímetro DIGITAL CLAMP METER con el cual se establece un erro máximo de 4,90; mientras que en la carga de la bomba de pozo se tomó el promedio porque no fue posible medirlo.

Tabla 33. Caídas de voltaje.

| Caída de voltaje en el sistema simulado | | | Datos Medidos Simulador | Datos Medidos multímetro | Error |
|---|---------|-------|-------------------------|--------------------------|--------|
| Nombre de barra (Bus) | Base kV | Vpu | kV | kV | % |
| BUS-1 | 0.220 | 0,935 | 0.206 | 0,213 | -3,40% |
| BUS-2 | 0.220 | 0,934 | 0.206 | 0,213 | -3,40% |
| BUS-2_A | 0.220 | 0,934 | 0.206 | 0,213 | -3,40% |
| BUS-9 | 0.220 | 0,927 | 0.204 | 0,214 | -4,90% |
| BUS-9_A | 0.220 | 0,927 | 0.204 | 0,214 | -4,90% |
| BUS-9_B | 0.220 | 0,929 | 0.204 | 0,213 | -4,41% |
| BUS-10 | 0.220 | 0,934 | 0.206 | 0,214 | -3,88% |
| BUS-10_A | 0.220 | 0,935 | 0.206 | 0,214 | -3,88% |
| BUS-10_B | 0.220 | 0,934 | 0.206 | 0,214 | -3,88% |
| BUS-10_C | 0.220 | 0,935 | 0.206 | 0,214 | -3,88% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0,929 | 0.204 | 0,214 | -4,90% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0,935 | 0.206 | 0,212 | -2,91% |
| GARITA | 0.220 | 0,943 | 0.207 | 0,217 | -4,83% |
| POZO DE AGUA | 0.220 | 0,886 | 0.195 | 0,187 | -4,10% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0,943 | 0.207 | 0,212 | -2,42% |

Realizada por: Los Autores.

Mediante la tabla 34 se puede verificar la cargabilidad en las líneas del sistema, se observa que únicamente la línea que alimenta a la barra 4 estaría sobrecargada y tiene una un valor de 11% de sobrecarga. Se establece que la línea que alimenta a la Garita es la que tiene mayor cantidad de reserva ya que solamente utiliza un 0,3 % de la capacidad total del conductor 12AWG, mientras que la línea que menor reserva tiene es la que alimenta al cuarto de bombas

2, con un porcentaje de 49,9 % de su capacidad nominal 2 AWG. El promedio de reserva de los conductores por capacidad de conducción representa un 76%.

Tabla 34. Cargabilidad en las líneas del sistema eléctrico.

| Cargabilidad en las líneas del sistema | | | | | |
|--|-----------------------|------------|---------|--------------|------------------|
| Descripción | Capacidad máxima Amps | Carga Amps | Carga % | Sobrecarga % | Comentario |
| Barra -4 | 270.0 | 299.6 | 111.0% | 11.0% | Fuera de rango |
| CUARTO DE BOMB 2 | 150.0 | 46.1 | 30.7% | -69.3% | Dentro del rango |
| CUARTO DE BOMB 2 | 25.0 | 0.3 | 1.2% | -98.8% | Dentro del rango |
| CUARTO DE BOMB 2 | 35.0 | 17.5 | 50.1% | -49.9% | Dentro del rango |
| CURTO DE BOMBAS1 | 150.0 | 44.9 | 29.9% | -70.1% | Dentro del rango |
| CURTO DE BOMBAS1 | 105.0 | 17.4 | 16.6% | -83.4% | Dentro del rango |
| CURTO DE BOMBAS1 | 35.0 | 2.3 | 6.7% | -93.3% | Dentro del rango |
| CURTO DE BOMBAS1 | 35.0 | 4.5 | 12.8% | -87.2% | Dentro del rango |
| CURTO DE BOMBAS1 | 35.0 | 4.5 | 12.8% | -87.2% | Dentro del rango |
| CURTO DE BOMBAS1 | 150.0 | 44.9 | 29.9% | -70.1% | Dentro del rango |
| CURTO DE BOMBAS1 | 25.0 | 0.3 | 1.2% | -98.8% | Dentro del rango |
| TABLERO PRINCIPA | 270.0 | 63.9 | 23.7% | -76.3% | Dentro del rango |
| TABLERO PRINCIPA | 25.0 | 0.1 | 0.3% | -99.7% | Dentro del rango |
| TABLERO PRINCIPA | 150.0 | 118.7 | 79.1% | -20.9% | Dentro del rango |
| TABLERO PRINCIPA | 270.0 | 117.1 | 43.4% | -56.6% | Dentro del rango |

Realizada por: Los Autores.

Una vez identificado los puntos más críticos se propone alternativas de solución para reducir los problemas encontrados en el sistema eléctrico de la Florícola.

11.10. Solución a los problemas encontrados en el sistema eléctrico.

Se propone dos alternativas de solución a los problemas encontrados; la primera alternativa consiste en el balance de carga y cambio de conductores, y la segunda alternativa se adicionaría un banco de capacitores automático y un filtro activo a la alternativa antes mencionada.

11.10.1. Primer escenario

Antes de realizar la simulación en el Software EASYPOWER se debe realizar el balance de carga y calcular el calibre de los nuevos conductores para disminuir las caídas de voltaje. La tabla 35 muestra el balance de carga del sistema eléctrico.

Tabla 35. Balance de carga.

| ANÁLISIS DE CARGA CARGAS CONECTADA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------|----------------------------|---------------|------------------------|---------|---------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|---------------------|--------------------|-----------------------|---|-------------------------|------|--------------|------|--------------------|------|------|
| Proyecto: | | FLORICOLA AGRORAB CIA LTDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instalación: | | TABLERO GENERAL T1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fecha: | | 12/07/2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | CARGA CONSUMIDA | | | | | | |
| No. | EQUIPOS | | | | MOTORES | | | | | OTRAS CARGAS | | Corriente Nominal (A) | Factor Operac. según Tipo de Carga (fm) | CONTINUA | | INTERMITENTE | | STAND BY (RESERVA) | | |
| | Tag. | Descripción | Tipo de Carga | Tensión de Operac. (V) | Fases | Tensión Nominal (V) | Potencia Nominal (HP) | Factor de Potencia (fp) | Eficiencia (η) | Carga Nominal (kVA) | Carga Nominal (kW) | | | Factor de Potencia (fp) | kW | kVA | kW | kVA | kW | kVA |
| AREA DE PROCESOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | BOMBA DE AGUA 1 | C | 220 | 3 | 220 | 15,0 | 0,76 | 0,903 | 16,31 | | | 42,77 | 0,13 | 0,52 | 0,45 | 0,52 | 0,45 | 0,52 | 0,45 |
| 2 | | BOMBA DE AGUA 2 | C | 220 | 3 | 220 | 15,0 | 0,76 | 0,903 | 16,31 | | | 42,77 | 0,13 | 0,52 | 0,45 | 0,52 | 0,45 | 0,52 | 0,45 |
| 3 | | MÁQUINA DE HIDRATAR | C | 220 | 1 | 220 | 5,0 | 0,73 | 0,823 | 6,21 | | | 28,21 | 0,13 | | | 0,58 | 0,54 | -- | -- |
| 4 | | BOMBA DE AGUA 3 | C | 220 | 1 | 220 | 2,0 | 0,71 | 0,749 | 2,81 | | | 12,75 | 0,13 | 0,25 | 0,25 | -- | -- | -- | -- |
| 5 | POTENCIA TOTAL | COMPUTADORA DE RIEGO | C | 127 | 1 | 220 | 0,0 | 0,95 | 0,97 | 0,00 | 0,10 | 0,95 | 0,79 | 0,13 | | | 0,00 | 0,00 | -- | -- |
| 6 | KW / 220 V | AGITADOR 1 | C | 220 | 1 | 220 | 1,0 | 0,71 | 0,66 | 1,59 | | | 7,23 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | -- | -- | -- | -- |
| 7 | 10,55 | AGITADOR 2 | C | 220 | 1 | 220 | 1,0 | 0,71 | 0,66 | 1,59 | | | 7,23 | 0,13 | 0,14 | 0,14 | -- | -- | -- | -- |
| 8 | | BOMBA DE POZO | C | 220 | 3 | 220 | 40,0 | 0,79 | 0,92 | 41,06 | | | 107,70 | 0,13 | 1,37 | 1,07 | 1,37 | 1,07 | 1,37 | 1,07 |
| 9 | | ILUMINACIÓN | C | 127 | 1 | 220 | | 0,95 | 0,92 | 0,00 | 0,03 | 0,95 | 0,20 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | -- | -- | -- | -- |
| 10 | | BOMBA DE AGUA 4 | C | 220 | 3 | 220 | 15,0 | 0,76 | 0,903 | 16,31 | | | 42,77 | 0,13 | 0,52 | 0,45 | 0,52 | 0,45 | 0,52 | 0,45 |
| 11 | | BOMBA DE AGUA 5 | C | 220 | 3 | 220 | 5,0 | 0,73 | 0,823 | 6,21 | | | 16,29 | 0,13 | | | -- | -- | 0,58 | 0,54 |
| 12 | | COMPUTADORA DE RIEGO | C | 127 | 1 | 220 | | 0,95 | 0,97 | 0,00 | 0,10 | 0,95 | 0,79 | 0,13 | 0,01 | 0,00 | -- | -- | -- | -- |
| SUBTOTALES | | | | | | | | | | | | | | 3,50 | 2,95 | 3,52 | 2,95 | 3,52 | 2,95 | |
| KVA (TOTAL) | | | | | | | | | | | | | | 4,58 | | 4,59 | | 4,59 | | |
| SOBRECARGA (2 HORAS) | | | | | | | | | | | | | | 1,30 | | | | | | |
| CAPACIDAD DE TRANSFORMADOR | | | | | | | | | | | | | | 10,59 | | | | | | |
| FACTOR AJUSTADO (20% RESERVA) | | | | | | | | | | | | | | 1,20 | | | | | | |
| TRANSFORMADOR NORMALIZADO | | | | | | | | | | | | | | 30,00 | | | | | | |
| DEMANDA MAXIMA AJUSTADA (A) | | | | | | | | | | | | | | 78,82 | | | | | | |

Realizada por: Los Autores.

Seguidamente se calcula los nuevos conductores para reducir las caídas de voltaje y que serán ingresados en el simulador EASYPOWER. El cómputo de las caídas de voltaje del sistema eléctrico actual se establece en la tabla 36. Las caídas de voltaje tienen similitud con el software EASYPOWER y los registrados por el analizador.

Tabla 36. Caídas de voltaje sistema actual.

| COMPUTO CAIDA DE TENSION | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|----------------------------|---------|----------------|------|---------|-----------------------------|--|--------------------|-------|
| PROYECTO: | | FLORICOLA AGRORAB CIA LTDA | | | | | | | | |
| FECHA: | | 12/07/2019 | | | | | | | | |
| DESCRIPCION | DATOS | | | | | | CONDUCTOR | | % CAIDA DE TENSION | |
| | FASE | POTENCIA | TENSION | RENDIMIEN.T. % | fp | LONG. m | CALIBRE AWG | | PARCIAL | TOTAL |
| TG 1 PRINCIPAL (220V) | 3 | 74079 | 220 | 78,9 | 0,77 | 12 | 3x2+2 AWG (PVC 450/750 V) | | 4,31 | |
| TSDG 2 | 3 | 29194 | 220 | 78,9 | 0,77 | 27 | 3x2+2 AWG (PVC 450/750 V) | | 2,71 | 7,02 |
| TSDG 3 | 3 | 15020 | 220 | 78,9 | 0,77 | 100 | 3x2+2 AWG (PVC 450/750 V) | | 4,88 | 9,19 |
| BOMBA DE AGUA 1 | 3 | 11190 | 220 | 90,3 | 0,76 | 5 | 3x8+8 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,25 | 7,27 |
| BOMBA DE AGUA 2 | 3 | 11190 | 220 | 90,3 | 0,76 | 3 | 3x8+8 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,15 | 7,17 |
| MÁQUINA DE HIDRATAR | 1 | 3730 | 220 | 82,3 | 0,73 | 3 | 3x10+10 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,23 | 7,25 |
| BOMBA DE AGUA 3 | 1 | 1492 | 220 | 74,9 | 0,71 | 6 | 3x10+10 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,19 | 7,21 |
| COMPUTADORA DE RIEGO | 1 | 100 | 127 | 97 | 0,95 | 6 | 3x12+12 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,04 | 7,42 |
| AGITADOR 1 | 1 | 746 | 220 | 66 | 0,71 | 12 | 3x10+10 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,21 | 7,23 |
| AGITADOR 2 | 1 | 746 | 220 | 66 | 0,71 | 12 | 3x10+10 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,21 | 7,23 |
| BOMBA DE POZO | 3 | 29840 | 220 | 92 | 0,79 | 210 | 2x2+2 AWG (PVC 450/750 V) | | 5,99 | 10,30 |
| ILUMINACIÓN | 1 | 25 | 127 | 92 | 0,95 | 120 | 3x12+12 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,08 | 4,39 |
| BOMBA DE AGUA 4 | 3 | 11190 | 220 | 90,3 | 0,76 | 7 | 3x8+8 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,37 | 9,56 |
| BOMBA DE AGUA 5 | 1 | 3730 | 220 | 82,3 | 0,73 | 4 | 3x10+10 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,45 | 9,63 |
| COMPUTADORA DE RIEGO | 1 | 100 | 127 | 97 | 0,95 | 10 | 2x8+8 AWG (PVC 450/750 V) | | 0,02 | 9,21 |
| POTENCIA TOTAL KW | | 74079,000 | KW | | | | | | | |

Realizada por: Los Autores.

Con los porcentajes de caídas de voltaje se calcula los nuevos conductores para que no exceda el límite máximo permitido 5%. La tabla 37 muestra el cálculo de los nuevos conductores.

Tabla 37. Calculo de los nuevos conductores.

| COMPUTO CAIDA DE TENSION | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|----------------------------|-----------|--------------|------|---------------------------------|--------------------|-------|
| PROYECTO: | | FLORICOLA AGRORAB CIA LTDA | | | | | | |
| FECHA: | | 12/07/2019 | | | | | | |
| DESCRIPCION | DATOS | | | | | CONDUCTOR | % CAIDA DE TENSION | |
| | FASE | POTENCIA | TENSION | RENDIMIEN. % | fp | CALIBRE AWG | PARCIAL | TOTAL |
| TG 1 PRINCIPAL (220V) | 3 | 74079 | 220 | 78,9 | 0,77 | 3x2/0+ 2/0 AWG (PVC 450/750 V) | 1,38 | |
| TSDG 2 | 3 | 29194 | 220 | 78,9 | 0,77 | 3x4+ 4 AWG (PVC 450/750 V) | 0,87 | 2,25 |
| TSDG 3 | 3 | 15020 | 220 | 78,9 | 0,77 | 3x2/0+ 2/0 AWG (PVC 450/750 V) | 1,16 | 2,54 |
| BOMBA DE AGUA 1 | 3 | 11190 | 220 | 90,3 | 0,76 | 3x8+ 8 AWG (PVC 450/750 V) | 0,25 | 2,50 |
| BOMBA DE AGUA 2 | 3 | 11190 | 220 | 90,3 | 0,76 | 3x8+ 8 AWG (PVC 450/750 V) | 0,15 | 2,40 |
| MÁQUINA DE HIDRATAR | 1 | 3730 | 220 | 82,3 | 0,73 | 3x10+ 10 AWG (PVC 450/750 V) | 0,23 | 2,47 |
| BOMBA DE AGUA 3 | 1 | 1492 | 220 | 74,9 | 0,71 | 3x10+ 10 AWG (PVC 450/750 V) | 0,19 | 2,43 |
| COMPUTADORA DE RIEGO | 1 | 100 | 127 | 97 | 0,95 | 3x12+ 12 AWG (PVC 450/750 V) | 0,04 | 2,65 |
| AGITADOR 1 | 1 | 746 | 220 | 66 | 0,71 | 3x10+ 10 AWG (PVC 450/750 V) | 0,21 | 2,45 |
| AGITADOR 2 | 1 | 746 | 220 | 66 | 0,71 | 3x10+ 10 AWG (PVC 450/750 V) | 0,21 | 2,46 |
| BOMBA DE POZO | 3 | 29840 | 220 | 92 | 0,79 | 2x3/0 + 3/0 AWG (PVC 450/750 V) | 1,13 | 2,51 |
| ILUMINACIÓN | 1 | 25 | 127 | 92 | 0,95 | 3x12+ 12 AWG (PVC 450/750 V) | 0,08 | 1,46 |
| BOMBA DE AGUA 4 | 3 | 11190 | 220 | 90,3 | 0,76 | 3x4+ 4 AWG (PVC 450/750 V) | 0,11 | 2,65 |
| BOMBA DE AGUA 5 | 1 | 3730 | 220 | 82,3 | 0,73 | 3x6+ 6 AWG (PVC 450/750 V) | 0,03 | 2,57 |
| COMPUTADORA DE RIEGO | 1 | 100 | 127 | 97 | 0,95 | 2x8+ 8 AWG (PVC 450/750 V) | 0,04 | 2,59 |
| POTENCIA TOTAL KW | | 74079,000 | KW | | | | | |

Realizada por: Los Autores.

Una vez realizado el cambio de conductores y el balance de cargas se obtiene los siguientes resultados que se muestran en la tabla 38. Los resultados totales de la simulación con el cambio de los nuevos calibres de conductores constan en el anexo 3.

Tabla 38. Reducción de pérdidas con los calibres de conductores.

| Análisis escenario 1 | | |
|----------------------|--------|---------|
| | kWh | kVArh |
| Inicial | 414,56 | 4106,88 |
| Final | 307,52 | 2973,95 |
| Reducción | 107,04 | 1132,93 |
| Reducción % | 25,82% | 27,59% |

Realizada por: Los Autores.

Las pérdidas del sistema se reducen en un porcentaje de 25,82 % con la incorporación de los nuevos calibres de conductores, el valor de reducción es de 107,04 kWh y 1132,93 kVAr que representa el 27,59 % de la total.

11.10.1.1. Inversión primer escenario.

La tabla 39 muestra el detalle de inversión que tendría la alternativa 1 que consiste en cambiar el calibre de ciertos conductores que alimentan a cargas relativamente lejos y de potencias considerables. La inversión total para el primer escenario asciende a \$ 6754,58.

Tabla 39. Inversión primer escenario 1

| INVERSION PRIMER ESCENARIO | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-------|--------|--------------|-------------|
| Ítem | Descripción | CANT. | UNIDAD | PRECIO U. | PRECIO U. |
| 1 | Conductor de Cu TTU 3/0 AWG | 210 | m | \$ 15,5 | \$ 3255 |
| 2 | Conductor de Cu TTU 2/0 AWG | 112 | m | \$ 12,4 | \$ 1388,8 |
| 3 | Conductor de Cu TTU 4 AWG | 34 | m | \$ 4,65 | \$ 158,1 |
| 4 | Conductor de Cu TTU 6 AWG | 4 | m | \$ 5,7 | \$ 22,8 |
| | | | | SUBTOTAL | \$ 4824,7 |
| | | | | MANO DE OBRA | \$ 1206,175 |
| | | | | IVA | \$ 723,705 |
| | | | | TOTAL | \$ 6754,58 |

Realizada por: Los Autores.

11.10.2. Segundo escenario

Se contempla adicionar un banco de capacitores automático y un filtro activo al trabajo descrito en el primer escenario para reducir los armónicos y corregir el bajo factor de potencia.

La instalación de este tipo de sistema ayuda a compensar de una forma más eficaz el problema de bajo factor de potencia y la presencia de armónicos, además debido al comportamiento de la carga que no es constante, por lo tanto el conjunto de un banco de capacitores automático junto con un filtro activo ayudaran a mejorar la instalación eléctrica de la florícola AGRORAB CIA LTDA. No es recomendable colocar el banco de capacitor primero y luego el filtro, ya que podrían entrar en resonancia.

11.10.2.1. Calculo del banco de capacitores automático.

Después de efectuar las mediciones para un estudio de calidad de la energía en una planta industrial se han obtenido los siguientes datos. Se aplica la norma IEEE 18, estándar IEEE para condensadores de potencia de derivación.

- Frecuencia de operación: 60Hz.
- Tensión de operación del sistema: 220V, 3F+N.
- Potencia aparente del transformador de potencia: 75 kVA.
- Tensión de cortocircuito del transformador de potencia: 2,7%.

- Factor de potencia mínimo: 0,75.
- Factor de potencia cuando la potencia activa es máxima: 0,77.
- Potencia activa cuando el factor de potencia es mínimo: 7,5 kW.
- Potencia activa máxima: 44,94 kW.
- THD(I): 26,32%, 9no armónico
- THD(V): 8,46 %

Potencia media consumida del sistema = 7,5 kW

Datos de partida

$$f_{p1}=0.75 \quad \theta_1 = \cos^{-1}(0.75) = 41.40$$

$$f_{p1}=0.77 \quad \theta_1 = \cos^{-1}(0.77) = 39.64$$

$$f_{p2}=0.98 \quad \theta_2 = \cos^{-1}(0.98) = 11.48$$

Con los datos de los ángulos se obtiene los kVAR necesarios para elevar el factor de potencia.

$$Q_{\text{eff1}} = PD_{\text{med}} (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$Q_{\text{eff1}} = 7,5 (\tan (39,64) - \tan (11,48))$$

$$Q_{\text{eff1}} = 4,69 \text{ kVAR}$$

$$Q_{\text{eff2}} = PD_{\text{max}} (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$Q_{\text{eff2}} = 44,94 (\tan (41,40) - \tan (11,48))$$

$$Q_{\text{eff2}} = 30,49 \text{ kVAR}$$

Una vez conocido la potencia máxima y mínima del banco de capacitores, se determina el número de escalones que tendrá el banco de capacitores, el banco de capacitores estará formado por los siguientes escalones 5 + 5 + 10+10, tiene una regulación 1.1.2, ya que los dos primeros escalones tienen la mitad que el resto de escalones.

Se calcula la corriente nominal del banco de capacitores automático mediante la aplicación de la ecuación 11.

$$I_n = \frac{30kVAr}{0,220kV * \sqrt{3}} = 236,15$$

11.10.2.2. Elementos del banco de capacitores.

El regulador.

Se calcula el factor de C/K tomando en cuenta que el disyuntor principal es de 250 A. El TI que se deberá instalar será 250/5 y el cálculo del C/K será:

$$C/K = \frac{\frac{Q_1}{\sqrt{3} * U}}{\frac{250}{5}} \quad \rightarrow \quad C/K = \frac{\frac{5kVAr}{\sqrt{3} * 0,220kV}}{\frac{250}{5}} = 0,012$$

Disyuntor.

La corriente nominal del disyuntor principal debe tener una corriente de 350 A. para equipos clase SAH (sintonizados a 215 Hz) de la marca Schneider Electric SN800 mas un seccionador INS800.

$$1,36 * I_n \text{ para los equipos clase SAH (sintonizados a 215 Hz).} = 321,16 \text{ A.}$$

Fusibles.

La corriente nominal de los fusibles debe tener una corriente de 350 A. para equipos clase SAH (sintonizados a 215 Hz) de la marca Schneider Electric.

$$1,5 * I_n \text{ para los equipos clase SAH (sintonizados a 215 Hz).} = 354,22 \text{ A.}$$

Conductores

Los conductores para el banco de condensadores automáticos debe tener una capacidad de conducción igual o aproximada a la corriente máxima de los fusibles, es decir, 350 A.

11.10.2.3. Calculo del filtro activo

El siguiente paso es calcular la reactancia efectiva del filtro. Se aplica la norma IEEE 519, control de armónicos en SEP.

$$X_{\text{eff}} = \frac{(V_{\text{ll sist}})^2}{Q_{\text{eff}}}$$

$$X_{\text{eff}} = \frac{(220 \text{ v})^2}{30 \times 10^3}$$

$$X_{\text{eff}} = 1,61 \Omega \text{ x fase}$$

$$h = \frac{f \text{ armónico}}{f \text{ fundamental}}$$

$$h = \frac{540}{60} ; h=9 ; \quad 9 * 14,12 \% = 1,27 ; \quad 9 - 1,27 = 7,73$$

Cálculo de la reactancia capacitiva. –

$$X_c = \frac{(h * 7,73)^2}{(h * 7,73)^2 - 1} * X_{\text{eff}} \quad C = \frac{1}{2 * \pi * f * X_c}$$

$$X_c = \frac{(7,73)^2}{(7,73)^2 - 1} * 1,61 \Omega \quad C = \frac{1}{2 * \pi * 60 * 1,63} = 0,00162 \text{ F} = 1,62 \times 10^{-3} \text{ mF}$$

$$X_c = 1,63 \Omega$$

$$C = 1,62 \text{ mF}$$

Se encuentra la capacitancia que deberá tener nuestro capacitor y tiene el valor de 0.0269 mF.

Cálculo de la reactancia inductiva. –

$$X_i = \frac{X_c}{h^2} \quad L = \frac{X_L}{2 * \pi * f}$$

$$X_i = \frac{1,63}{9^2} \quad L = \frac{0,024 \Omega}{2 * \pi * 60}$$

$$X_i = \frac{9,21}{81} \quad L = 0,063 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$X_i = 0,024 \Omega$$

$$L = 0,063 \text{ mH}$$

La inductancia del filtro será de 0,063 mH.

Cálculo de la Resistencia del Filtro

$$R = \frac{X_i * h * 0,6}{Q_f}$$

$$R = \frac{0,024 \Omega \times 7,73}{20}$$

$$R=0,00927 \Omega$$

Cálculo de la Impedancia del Filtro

$$Z=R+j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)$$

$$Z=0.00927 \Omega + j \left(2 \times \pi \times 60 \times 0,063 \times 10^{-3} - \frac{1}{2\pi \times 60 \times 1,62 \times 10^{-3}} \right)$$

$$Z=0.00927 \Omega + j (0.023 - 1,63)$$

$$Z=0.00927 - j 1,607$$

Cálculo de los kVAR del Filtro

$$Kvar_{\text{filtro}} = \frac{V_i^2 (1-l)}{X_c - X_l}$$

$$Kvar_{\text{filtro}} = \frac{(220)^2}{1,63 - 0.024}$$

$$Kvar_{\text{filtro}} = 30136,98 \text{ kVAR}$$

$$Kvar_{\text{filtro}} = 30 \text{ kVAR}$$

Frecuencia de resonancia.

$$X_L = X_C$$

$$\omega_r * L = \frac{1}{\omega_r * C}$$

$$\omega_r^2 * L * C = 1$$

$$(2 * \pi * f_r)^2 = \frac{1}{L * C}$$

$$f_r = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{L * C}}$$

$$f_r = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{0,063 \text{ mH} * 1.26 \text{ mF}}} = 564,89 \text{ Hz}$$

$$f_r = \sqrt{\frac{P_{cc}}{Q}} * 60$$

$$f_r = \sqrt{\frac{2,77}{0,030}} * 60 = 573,54 \text{ Hz}$$

Una vez determinado la frecuencia de resonancia se establece el Factor de amplitud FA que ayuda al sistema a reducir el riesgo de resonancia, ya que mediante este medido podemos disminuir la frecuencia en la que puede entrar en resonancia para este caso en el 9 armónico que tiene una frecuencia de 540 Hz y desintonizarla por ejemplo 505 Hz.

COMPROBACIÓN.

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$X_c = X_l$$

$$X_L = X_C \times h$$

$$X_c = \frac{1,63}{7,72}$$

$$X_L = 0,024 \times 7,73$$

$$X_c = 0$$

$$X_L = 0$$

$$0 = 0$$

Corriente- El valor eficaz de la corriente en el filtro no debe sobrepasar los 135% de la corriente fundamental.

CORRIENTE FUNDAMENTAL.

$$I_{\text{fund}} = \frac{V_{\text{ll sist}}}{\frac{\sqrt{3}}{X_c - X_l}}$$

$$I_{\text{fund}} = \frac{\frac{220}{\sqrt{3}}}{1,63 - 0,024}$$

$$I_{\text{fund}} = 79,08 \text{ A}$$

CORRIENTES ARMÓNICAS

$$I_h = \% \times \text{fund}$$

$$I_{3\%} = 42.12 = \frac{I_3}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{79.08 \times 42.12}{100} \quad I_3 = 33.30 \text{ A}$$

$$I_{5\%} = 26,32 = \frac{I_5}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{79.08 \times 26,32}{100} \quad I_5 = 20.81 \text{ A}$$

$$I_{7\%} = 18.79 = \frac{I_7}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{79.08 \times 18,79}{100} \quad I_7 = 14.85 \text{ A}$$

$$I_{9\%} = 14.12 = \frac{I_9}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{79.08 \times 14.12}{100} \quad I_9 = 11.16 \text{ A}$$

$$I_{11\%} = 9.87 = \frac{I_{11}}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{79.08 \times 9,87}{100} \quad I_{11} = 7.80 \text{ A}$$

$$I_{\text{total rms}} = \sqrt{I_f^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2}$$

$$I_{\text{total rms}} = \sqrt{(79.08)^2 + (33.30)^2 + (20.81)^2 + (14.85)^2 + (11.16)^2 + (7.80)^2}$$

$$I_{\text{total rms}} = 90.56 \text{ A}$$

VERIFICACIÓN DE LA NORMA.

$$\% \text{margen de corriente} = \frac{I_{\text{total rms}}}{I_{\text{fundamental}}} \times 100\% \leq 135\% I_{Fund} \text{ Se encuentra dentro de la norma}$$

$$\% \text{margen de corriente} = \frac{90,56}{79,08} \times 100\% \leq 135\%$$

$$I_{\text{total rms}} = 114.51\% \leq 135\% \text{ SE ENCUENTRA DENTRO DE LA NORMA}$$

El valor de voltaje pico del filtro no debe sobrepasar el 120% del voltaje pico del sistema.

$$V_c = I_{\text{fund}} \times X_C$$

$$V_c = 79.08 \times 1,63$$

$$V_c=128,90 \text{ V}$$

$$V_{c(h)} = \sum_h^n (v(h)) = \sum_h^n \left(I(h) \times \frac{X_C}{n} \right)$$

$$V_{c(h)} = V_{(3)} + V_{(5)} + V_{(7)} + V_{(9)} + V_{(11)}$$

$$V_{c(h)} = (I_{(3)} \times \frac{3}{3}) + (I_{(5)} \times \frac{3}{5}) + (I_{(7)} \times \frac{3}{7}) + (I_{(9)} \times \frac{3}{9}) + (I_{(11)} \times \frac{3}{11})$$

$$V_{c(h)} = (6.53 \times \frac{3}{3}) + (4.08 \times \frac{3}{5}) + (2.91 \times \frac{3}{7}) + (2.19 \times \frac{3}{9}) + (1.53 \times \frac{3}{11})$$

$$V_{c(h)} = 6.53 + 2.44 + 1.24 + 0.73 + 0.41$$

$$V_{c(h)} = 11.35 \text{ V}$$

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = \sqrt{2} (V_c + V_{c(h)})$$

$$V_{\text{L-N SISTEMA}} = \frac{V_{\text{II sist}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = \sqrt{2} (46.53 + 11.35)$$

$$V_{\text{L-N SISTEMA}} = \frac{220 \text{ V}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = 81.85 \text{ V}$$

$$V_{\text{L-N SISTEMA}} = 127.02 \text{ V}$$

$$V_{\text{L-N pico sistema}} = \sqrt{2} \times V_{\text{L-N SISTEMA}}$$

$$V_{\text{L-N pico sistema}} = \sqrt{2} \times 127.02 \text{ V}$$

$$V_{\text{L-N pico sistema}} = 179.63 \text{ V}$$

VERIFICACIÓN DE LA NORMA.

$$\frac{V_{c \text{ L-N total pico}}}{V_{\text{L-N pico sistema}}} \times 100\% \leq 120\%$$

$$\frac{81.85 \text{ V}}{179.63 \text{ V}} \times 100\% \leq 120\%$$

$$45,56\% \leq 120\% \quad \text{SI CUMPLE}$$

El valor eficaz del voltaje del filtro no debe sobrepasar el 110% del voltaje eficaz del sistema.

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = \sqrt{(V_{c1})^2 + (V_{c3})^2 + (V_{c5})^2 + (V_{c7})^2 + (V_{c9})^2 + (V_{c11})^2}$$

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = \sqrt{(46.53)^2 + (2.13)^2 + (2.36)^2 + (0.91)^2 + (0.36)^2 + (0.56)^2}$$

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = 46.65 \text{ V}$$

$$V_{\text{L-N rms SISTEMA}} = \frac{V_{\text{ll sist}}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{L-N rms SISTEMA}} = \frac{220 \text{ V}}{\sqrt{3}} \qquad V_{\text{L-N rms SISTEMA}} = 127.017 \text{ V}$$

VERIFICACIÓN DE LA NORMA.

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{V_{c \text{ L-N total rms}}}{V_{\text{L-N rms SISTEMA}}} \times 100\% \leq 110\%$$

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{128,90 \text{ V}}{127.017} \times 100\% \leq 110\% V_{\text{L-N rms SISTEMA}}$$

$$\% \text{margen de voltaje} = 101.48\% \leq 110\% V_{\text{L-N rms SISTEMA}} \quad \text{SI CUMPLE_ DENTRO DE LA NORMA}$$

El último factor evalúa el calentamiento del dieléctrico del filtro.

$$Q_{3\phi \text{ recalculado}} = \frac{(V_{c \text{ L-N total rms}})^2}{X_c} \times 3 = \frac{(46.65)^2}{1,63} \times 3$$

$$Q_{3\phi \text{ recalculado}} = 4.01 \text{ kVAr}$$

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{Q_{3\phi \text{ recalculado}}}{Q_{3\phi}} \times 100\% \leq 135\%$$

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{4,01 \text{ kVAR}}{30 \text{ kVAr}} \times 100\% \leq 135\%$$

$$\% \text{margen de voltaje} = 13.36\% \leq 135\% \quad \text{SI CUMPLE}$$

CALENTAMIENTO DEL DIELECTRICO.

$$\sum \downarrow h = (V(h) \times I(h)) \leq 1.35 Q_{3\phi \text{ recalculado}}$$

$$\sum \downarrow h = 3((46.65)(79.08) + (2.13)(33.30) + (2.36)(20.81) + (0.91)(14.85) + (0.36)(11.16) + (0.56)(7.80))$$

$$\sum \downarrow_{h=3}(3831.02)$$

$$\sum \downarrow_{h=11493.06} \text{ VAr}$$

$$\sum \downarrow_{h=11.49} \text{ kVAr}$$

$$11,49 \leq 1.35 \times 4,1 \times 3$$

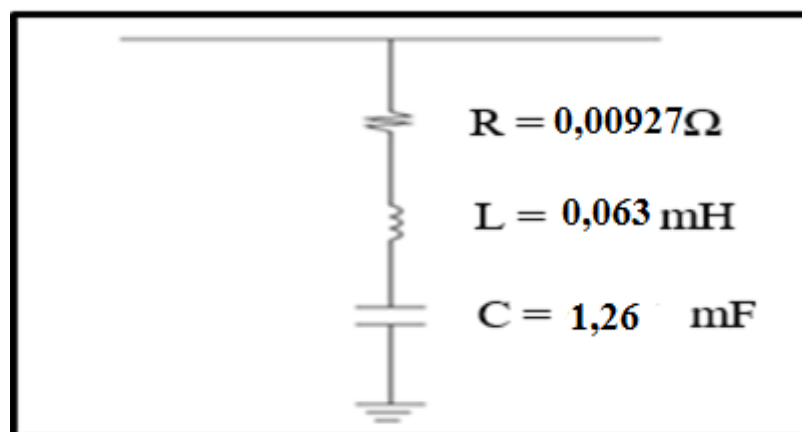
$$11,49 \leq 16,6 \quad \text{SI CUMPLE}$$

Una vez terminado el dimensionamiento se realiza la nueva simulación en el programa EASYPOWER con la incorporación del banco de capacitores automático y el filtro activo seleccionado; la simulación se realiza tomando en cuenta el cambio de conductores y el balance de cargas descrita en el escenario 1. Los resultados de la simulación al escenario 2 constan en el anexo 4.

El filtro seleccionado es un filtro activo sintonizado, que cuenta con una resistencia, inductancia y una capacitancia en serie. Se decidió colocar este filtro debido al bajo factor de potencia presente en el sistema. El filtro activo cuenta con un banco de capacitor en su interior que cumple la función de subir el factor de potencia al nivel establecido de acuerdo a la regulación de estudio, obteniendo como beneficio reducir los niveles de armónicos tanto de corriente como de voltaje y de elevar el factor de potencia.

Finalmente se establece los valores a utilizar en el filtro activo sintonizado y que se observa en la figura 28:

Figura 28. Valores de filtro.



Realizada por: Los Autores.

11.10.2.4. Resultados de la simulación segundo escenario.

La simulación para la escenario 2 se realizó con el sistema cambiado los conductores que constan en la propuesta 1, entonces la tabla 40 muestra la reducción de pérdidas incluyendo el 27,59 % que representa el ahorro con el cambio de conductores. Por lo tanto el ahorro del filtro seria de 31,41 % que equivale a 130,21 kWh, mientras que el factor de potencia se eleva de 0,776 a 0,954.

Tabla 40. Disminución de pérdidas con el escenario 2..

| Análisis escenario 2 | | | | |
|----------------------|-------------|---------|-------|-------|
| | kWh | kVArh | fp1 | fp 2 |
| Inicial | 414,56 | 4106,88 | 0,776 | 0,954 |
| Final | 177,32 | 1368,96 | | |
| Reducción | 237,2402039 | 2737,92 | | |
| Reducción % | 57,23% | 66,67% | | |

Realizada por: Los Autores.

11.10.2.5. Reducción de armónicos de corriente.

La tabla 41 muestra el porcentaje de reducción de armónicos de corriente, con la incorporación del filtro y su respectiva simulación en el Software EASYPOWER. En donde se eliminan la mayoría de los armónicos de corriente ITHD.

Tabla 41. Disminución de pérdidas de armónicos con el escenario 2.

| Armónicos de corriente | | | |
|------------------------|------------|------------|-----------|
| Nombre | Sin filtro | Con filtro | Reducción |
| | ITHD(%) | ITHD(%) | ITHD(%) |
| AGITADOR1 | 45,47% | 0,00% | 100,00% |
| AGITADOR2 | 45,47% | 0,00% | 100,00% |
| ALIMENTACION_GAR | 45,82% | 0,00% | 100,00% |
| BOMBA AGUA_3 | 45,47% | 0,10% | 99,78% |
| BOMBA DE AGUA1 | 45,47% | 0,10% | 99,78% |
| BOMBA DE AGUA2 | 45,47% | 0,20% | 99,56% |
| BOMBA DE POZO | 43,12% | 0,10% | 99,77% |
| BOMBA_4 | 45,12% | 0,00% | 100,00% |
| BOMBA_5 | 45,12% | 0,00% | 100,00% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 45,56% | 1,10% | 97,59% |
| BUS-4 | 44,60% | 0,00% | 100,00% |

| | | | |
|------------------|--------|-------|---------|
| CUARTO BOMBAS 1 | 45,64% | 0,00% | 100,00% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 45,64% | 0,20% | 99,56% |
| TABLERO PRINCIPA | 45,56% | 0,20% | 99,56% |
| TABLERO PRINCIPA | 43,20% | 0,00% | 100,00% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 45,56% | 0,10% | 99,78% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 45,56% | 0,10% | 99,78% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 45,56% | 0,00% | 100,00% |
| CUARTO BOMBAS 1 | 45,64% | 0,00% | 100,00% |
| TABLERO PRINCIPA | 45,21% | 0,10% | 99,78% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 45,12% | 0,10% | 99,78% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 45,21% | 0,00% | 100,00% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 45,30% | 0,00% | 100,00% |
| COMPUTADOR_RIEGO | 45,47% | 0,80% | 98,24% |
| COMPUTA_RIEGO2 | 45,12% | 0,80% | 98,23% |
| MAQUINA_HIDRATAR | 45,47% | 0,00% | 100,00% |
| TX-1 | 44,51% | 1,10% | 97,53% |
| UTIL-1 | 44,51% | 1,10% | 97,53% |

Realizada por: Los Autores

11.10.2.6. Selección del filtro

De acuerdo a los cálculos antes realizados y las especificaciones técnicas que se requiere se va a seleccionar el Filtro electrónico paso bajo / activo / trifásico /. En la figura 29 se observa el filtro para mitigar los armónicos y de la misma forma elevar el factor de potencia del sistema.

Figura 29. Filtro activo.



Realizada por: Los Autores.

11.10.2.7. Características Técnicas del filtro

El filtro electrónico pasivo trifásico cumple con las características técnicas, en la tabla 42 se detalla los datos técnicos para la reducción de los armónicos y compensar el factor de potencia del sistema eléctrico de la Florícola

Tabla 42.Datos Técnicos del filtro.

| Características | Datos |
|------------------------|-----------------------------------|
| Ancho de banda | Paso bajo |
| Tensión | 440, 480 V |
| Tipo | Activo |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Otras características | Trifásico, compacto, de armónicos |

Realizada por: Los Autores.

11.10.2.8. Inversión del segundo escenario.

La inversión para el segundo escenario asciende a \$ 7112, que incluye la instalación se muestra en la tabla 43.

Tabla 43.Inversion escenario 2.

| ITEM | EQUIPO | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL |
|------------------|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | Filtro electrónico paso bajo /pasivo/ trifásico / compacto FN3440 | 1 | \$ 6.350,00 | \$ 6.350,00 |
| SUB TOTAL | | | | \$ 6.350,00 |
| IVA 12 % | | | | \$ 762,00 |
| TOTAL | | | | \$ 7.112,00 |

Realizada por: Los Autores.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

12.1. Factibilidad Operativa

Mediante el estudio de análisis de calidad el proyecto tiene grandes ventajas, tales como incrementar la vida útil de los equipos y de su instalación, además mejora el proceso productivo de la florícola.

12.2. Factibilidad Económica

Mediante el análisis y la comparación de las tres propuestas la más recomendable es la tercera que consiste en la instalación de un filtro para reducir los niveles de armónicos, para elevar el bajo factor de potencia y demás aspectos que se aprecian en los respectivos anexos. El presupuesto de la tercera propuesta incluye el cambio de conductores contemplado en la alternativa primera. Se establece una inversión inicial de \$ 13.866,58, con una vida útil de 15 años y con un TIR de 27 %. Los cálculos se justifican en las tablas 46,47 y 48.

13. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Seguidamente se presenta la tabla 44 en donde se detalla el resumen de las inversiones a las propuestas planteadas.

Tabla 44. Análisis técnico económico de los escenarios.

| Resumen de propuesta de mejora del sistema | | | | | | |
|--|--------------------|-------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| Descripción | Costo de inversión | Actividad a desarrollar | Caídas de voltaje | Fp | Armónicos | Vida útil |
| Escenario 1 | \$ 6.754,58 | Cambio de conductores | Si cumple | No cumple | No cumple | 10 |
| Escenario 2 | \$ 13.866,58 | Filtro de armónicos | Si cumple | Si cumple | Si cumple | 15 |

Realizada por: Los Autores.

13.1. Cálculo del TIR y TMAR

Para realizar en análisis técnico económico se toma en consideración que las propuesta 2 y 3 deben sumarse escenario 1 que es el cambio de conductores. Se establece el flujo de caja del escenario 2 que es la más rentable técnica y económicamente. Para el cálculo del TIR y del TMAR se debe considerar algunos parámetros y datos necesarios que se detalla a continuación:

- ✓ Costo de penalización por bajo factor de potencia= 1073,15 USD
- ✓ Costo de inversión del proyecto \$ 13.866,58 USD
- ✓ Tasa de inflación = 5,93%

Tabla 45. Flujo de caja primer escenario

| AÑO | PRECIO DE LA ENERGIA | AHORRO DE LA ENERGIA | BENEFICIO ANUAL BRUTO | FLUJO DE CAJA | VAN | SALDO |
|-----|----------------------|----------------------|----------------------------------|---------------|---------|----------|
| N | 1 | KWh/AÑO | INGRESO POR AHORRO DE ENERGIA \$ | \$ | 5,93% | |
| 1 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 1013,07 | -5741,51 |
| 2 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 956,36 | -4785,15 |

| | | | | | | |
|----|---|---------|---------|-------------------|--------------|----------|
| 3 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 902,82 | -3882,32 |
| 4 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 852,28 | -3030,04 |
| 5 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 804,57 | -2225,47 |
| 6 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 759,53 | -1465,94 |
| 7 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 717,01 | -748,93 |
| 8 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 676,87 | -72,05 |
| 9 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 638,98 | 566,93 |
| 10 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 603,21 | 1170,14 |
| 11 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 569,44 | 1739,58 |
| 12 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 537,57 | 2277,15 |
| 13 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 507,47 | 2784,62 |
| 14 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 479,06 | 3263,69 |
| 15 | 1 | 1073,15 | 1073,15 | 1073,15 | 452,25 | 3715,93 |
| | | | | Inversión inicial | \$ 13.866,58 | |
| | | | | VAN | 3715,93 | |
| | | | | TIR | 27% | |

Realizada por: Los Autores.

Tabla 46. Comparación económica de los escenarios

| DESCRIPCION | Escenario 1 | Escenario 2 |
|--------------------------|-------------------|--------------------|
| AÑOS | 13 | 13 |
| ENERGÍA ANUAL | 804,85 \$ kWh/año | 1073,15 \$ kWh/año |
| TAZA DE DESCUENTO | 5,93% | 5,93% |
| INVERSION | \$ 10.974,18 | \$ 13.866,58 |
| FLUJO DE EFECTIVO | \$ 804,87 | \$ 1.073,15 |
| VAN | \$ 1.098,40 | \$ 3.715,93 |
| TIR | 10% | 27% |

Realizada por: Los Autores.

TIR= 27 %

TMAR= 17,54 %

Tiempo de recuperación= 9 años

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusiones

- La demanda máxima del sistema se encuentra registrada en la fase A, misma que ocurre a las 12:00 pm y tiene un valor 3,06 kW además esta fase tiene una demanda mínima de 0,81 kW; mientras que la demanda mínima tiene su origen en la fase C y tiene un valor de 0,46 kW y una máxima de 2,14 kW.
- Se establece la mayor caída de voltaje que tiene un valor de 27,72 V que representa un porcentaje de 12,60 mientras que la menor caída de voltaje del sistema se da a las 05:00 am y representa un valor de 14,44 V.
- En la tabla 26 se detalla de acuerdo a la norma IEEE-519, el valor establecido del THD de corriente de acuerdo al nivel de reactancia inductiva del transformador, es por debajo del 15 %. A continuación, se registra los datos de THD, en donde se puede apreciar el valor máximo de THD de corriente que tiene un valor de 27,23%, que corresponde a la fase A; mientras que la THD de corriente mínima es de 0,57 % correspondiente a la línea 2. Estos registros constan en la figura 25.
- El máximo error registrado entre los datos registrados por el analizador de carga y la simulación en el programa EASYPOWER es de \$,39%.
- Las pérdidas del sistema se reducen en un porcentaje de 25,82 % con la incorporación de los nuevos calibres de conductores, el valor de reducción es de 107,04 kWh y 1132,93 kVAr que representa el 27,59 % de la total.

14.2. Recomendaciones

- La calidad de energía eléctrica en la actualidad viene tomando mayor importancia a nivel de las empresas eléctricas distribuidoras y obliga a los grandes clientes a tener sus instalaciones en óptimas condiciones de funcionamiento, para garantizar el correcto funcionamiento de todo el sistema de distribución.
- Se debe tener presente que un bajo factor de potencia genera más pérdidas, y se cae en sanciones que conllevan grandes pérdidas económicas en el caso de la empresa AGRORAB se registra una penalización por bajo factor de potencia de 1073 dólares, que mediante este tipo de estudios se puede controlar y obtener ganancias en un tiempo determinado.

- Se recomienda realizar la medición al menos 7 días, durante 168 continuos, tomando muestras cada 5 minutos según lo estipulado en la regulación ARCONEL 053/18, para obtener valores reales de cada uno de los parámetros eléctricos.
- Proponer el diseño de filtros activos

15. BIBLIOGRAFÍA

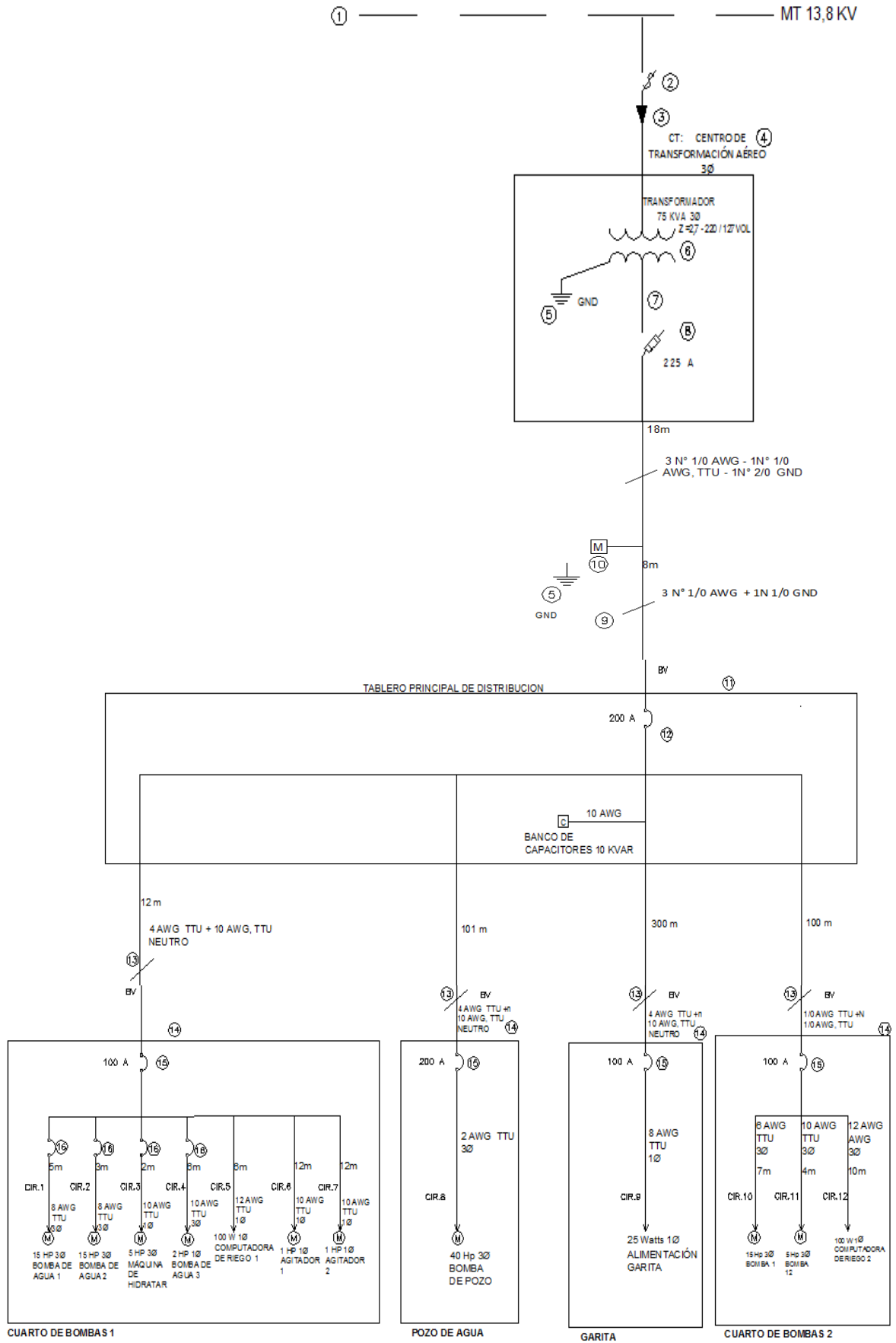
- [1] E. Téllez Ramírez, «Calidad de energía,» 05 Mayo 2004. [En línea]. Available: <http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Calidad%20de%20la%20Energia.pdf>. [Último acceso: 26 Junio 2019].
- [2] R. J. Arias Méndez, «Estudio de la calidad de la energía eléctrica en la agencia de viaje aeromundo para determinar la afectación que tiene sobre el sistema, equipos finales y verificar que cumpla con la norma provisional de "perturbaciones permisibles,» 08 Julio 2017. [En línea]. Available: <http://ribuni.uni.edu.ni/1214/1/80621.pdf>. [Último acceso: 26 Junio 2019].
- [3] J. Flores Chalco, «Armonicos,» DADOSPDF, 03 Junio 2017. [En línea]. Available: https://dadospdf.com/download/armonicos-_5a4c9e23b7d7bcab671b9a90_.pdf. [Último acceso: 11 Diciembre 2018].
- [4] J. Serra, «Guia Tecnica de Eficiencia Energetica Electrica,» Septiembre 2009. [En línea]. Available: http://circuitor.com/docs/GUIA_EEE_SP-LR.pdf. [Último acceso: 18 Diciembre 2018].
- [5] A. 053/18, «Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica,» 19 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/053-18-Proyect-Regulac-Sustitutiva-a-Reg-N-CONELEC-004-01-Calidad-del-servicio-de-dist-y-comercializaci%C2%A6n-de-EE.pdf>. [Último acceso: 26 Junio 2019].
- [6] ARCONEL, «Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución Codificado,» 04 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/02/Pliego-Tarifario-SPEE-2019.pdf>. [Último acceso: 26 Junio 2019].
- [7] J. D. Mora Sanchez y Y. J. Cevallos Chavez, «Estudio y Analisis de Calidad de Energia Enfocado en Nivel de Armonicos en el Sistema Electrico de la Subestacion Enfriadora de 1 de Holcim Ecuador Planta Guayaquil,» 19 Mayo 2004. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6848/1/UPS-GT000654.pdf>. [Último acceso: 14 Junio 2018].
- [8] I. S. 519, «IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems,» 2014. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6826459/>. [Último acceso: 07 julio 2018].
- [9] S. Electric, «Compensación de Energia Reactiva y Filtrado de Armonicos,» 2016. [En línea]. Available: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Cat%C3%A1logo+PFC+201

6_ESMKT01182A16.pdf&p_Doc_Ref=ESMKT01182A16. [Último acceso: 19 Diciembre 2018].

- [10] L. Aguirre y G. Herrera, «ANÁLISIS DE CARGA DEL HOSPITAL SAN VICENTE DE PAÚL DE LA CIUDAD DE IBARRA Y PROPUESTA PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA SEGÚN REGULACIÓN No. CONELEC 004/01,» Julio 2010. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/357/3/FECYT%20933%20TESIS%20FINAL.pdf>. [Último acceso: 19 Diciembre 2018].
- [11] H. S. Llamo Laborí, «Curvas de carga y generacion,» 15 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/centraleselectricas/wp-content/uploads/sites/19/2014/10/Curvas-de-Carga-y-Generaci%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 14 Julio 2019].
- [12] E. F. Tapia Chicaiza y M. V. Tipan Gualoto, «Incentivos tarifarios para clientes industriales,» Septiembre 2010. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4757>. [Último acceso: 14 Julio 2019].
- [13] M. Holguin y D. Gomez Coello, «Análisis de calidad de energía eléctrica "En el nuevo campus" de la Universidad Politécnica Salesiana.,» marzo 2010. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2110/13/UPS-GT000145.pdf>. [Último acceso: 29 julio 2018].
- [14] A. Arellano Martínez, D. Mireles Huerta y R. d. J. Samayoa Castillo, «CALIDAD DE LA ENERGÍA,» 08 marzo 2012. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/288/A5.pdf>. [Último acceso: 29 julio 2018].
- [15] J. M. Gers, «Teoría de diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos,» 2008. [En línea]. Available: http://app.tecsup.edu.pe/file/sga/documentos/revistaIi/Ii_3/3.pdf. [Último acceso: 06 Enero 2019].

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama unifilar.



Anexo 2: Instalación del analizador de carga



FLUJO DE POTENCIA

ANEXO 3. FLUJO DE POTENCIA ESTADO ACTUAL

| Iteration | MW Mismatch | | MVAR Mismatch | |
|-----------|--------------|----------|---------------|----------|
| | Number | Bus Name | pu | Bus Name |
| 0 | POZO DE AGUA | 0.00195 | POZO DE AGUA | 0.00101 |
| 1 | POZO DE AGUA | 0.00081 | POZO DE AGUA | 0.00065 |
| 2 | POZO DE AGUA | 0.00029 | POZO DE AGUA | 0.00027 |
| 3 | POZO DE AGUA | 0.00009 | POZO DE AGUA | 0.00010 |
| 4 | POZO DE AGUA | 0.00003 | POZO DE AGUA | 0.00003 |
| 5 | POZO DE AGUA | 0.00001 | POZO DE AGUA | 0.00001 |
| 6 | POZO DE AGUA | 0.00000 | POZO DE AGUA | 0.00000 |

REPORTE DEL GENERADOR

| Generator | | | Scheduled | | | Limits | | Solution | | | | | | |
|-----------|------|-----------|-----------|------|-------|----------|----------|----------|------|-----|-------|-------|------|-----|
| Name | Type | Rated kVA | kW | kVAR | Vpu | kVAR Min | kVAR Max | kW | kVAR | kVA | Pf | Vpu | Deg | Eq |
| UTIL-1 | Sw | | | | 1.000 | | | 89 | 72 | 114 | 0.777 | 1.000 | 0.00 | 1.0 |

REPORTE CARGAS DEL SISTEMA

| Bus | | Solution | | | | | | |
|------------------|---------|----------|-------|----|------|-----|-------|-------|
| Name | Base kV | kV | Vpu | kW | kVar | kVA | Deg | PF |
| BUS-1 | 0.220 | 0.206 | 0.935 | 0 | 0 | 0 | 0.13 | 0.952 |
| BUS-2 | 0.220 | 0.206 | 0.934 | 1 | 1 | 2 | 0.20 | 0.710 |
| BUS-2_A | 0.220 | 0.206 | 0.934 | 1 | 1 | 2 | 0.20 | 0.710 |
| BUS-3 | 13.800 | 13.800 | 1.000 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.000 |
| BUS-4 | 0.220 | 0.212 | 0.962 | 0 | 0 | 0 | -0.89 | 0.000 |
| BUS-9 | 0.220 | 0.204 | 0.927 | 12 | 11 | 16 | 0.42 | 0.760 |
| BUS-9_A | 0.220 | 0.204 | 0.927 | 5 | 4 | 6 | 0.43 | 0.730 |
| BUS-9_B | 0.220 | 0.204 | 0.929 | 0 | 0 | 0 | 0.35 | 0.952 |
| BUS-10 | 0.220 | 0.206 | 0.934 | 12 | 10 | 16 | 0.19 | 0.760 |
| BUS-10_A | 0.220 | 0.206 | 0.935 | 12 | 10 | 16 | 0.16 | 0.760 |
| BUS-10_B | 0.220 | 0.206 | 0.934 | 5 | 4 | 6 | 0.20 | 0.730 |
| BUS-10_C | 0.220 | 0.206 | 0.935 | 1 | 1 | 1 | 0.15 | 0.710 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0.204 | 0.929 | 0 | 0 | 0 | 0.34 | 0.000 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.206 | 0.935 | 0 | 0 | 0 | 0.13 | 0.000 |
| GARITA | 0.220 | 0.207 | 0.943 | 0 | 0 | 0 | -0.21 | 0.963 |
| POZO DE AGUA | 0.220 | 0.195 | 0.886 | 31 | 24 | 40 | 1.75 | 0.790 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0.207 | 0.943 | 0 | 0 | 0 | -0.22 | 0.000 |

REPORTE DEL SISTEMA

| Total | kW | kVAR | kVA | PF |
|----------------------|----|------|-----|-------|
| Generation in System | 89 | 72 | 114 | 0.777 |
| Load in System | 80 | 67 | 105 | 0.767 |
| Shunt Load in System | 0 | 0 | | |
| Losses in System | 9 | 5 | | |
| Check of Balance | 0 | 0 | | |

ESTADO DEL TRANSFORMADOR

| Transformer | Connection | | Base kV | | Tap kV | | LTC Description | | | | | | | |
|-------------|---------------|-------------|---------|-------|--------|-------|-----------------|-----|----------|--------------|----------|------------------|---------------|----------|
| | From Bus Name | To Bus Name | From | To | From | To | Type | LTC | LTC Type | Control Side | LTC Side | Control Value pu | Limits Min kV | Limits M |
| TX-1 | BUS-3 | BUS-4 | 13.800 | 0.220 | 13.800 | 0.220 | 2Wnd | No | | | | | | |

CAÍDAS DE VOLTAJE

Limits (MAX: 1.05, Min: 0.95)

| Bus Name | Base kV | Vpu | kV |
|------------------|----------|-------|--------|
| BUS-1 | 0.220 | 0,935 | 0.206 |
| BUS-2 | 0.220 | 0,934 | 0.206 |
| BUS-2_A | 0.220 | 0,934 | 0.206 |
| BUS-9 | 0.220 | 0,927 | 0.204 |
| BUS-9_A | 0.220 | 0,927 | 0.204 |
| BUS-9_B | 0.220 | 0,929 | 0.204 |
| BUS-10 | 0.220 | 0,934 | 0.206 |
| BUS-10_A | 0.220 | 0,935 | 0.206 |
| BUS-10_B | 0.220 | 0,934 | 0.206 |
| BUS-10_C | 0.220 | 0,935 | 0.206 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0,929 | 0.204 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0,935 | 0.206 |
| GARITA | 0.220 | 0,943 | 0.207 |
| POZO DE AGUA | 0.220 | 0,886 | 0.195 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0,943 | 0.207 |
| | MAXIMA | 0,943 | 207,46 |
| | MINIMA | 0,886 | 194,92 |
| | PROMEDIO | 0,931 | 204,92 |

CARGABILIDAD EN LINEAS

SOBRECARGA BUS 4 = 11.00 %

| Line | | | | Load | | | |
|------------------|------------------|-------------|------------|-----------|---------|-------------|-----------|
| From Bus Name | To Bus Name | Branch Name | Rated Amps | Load Amps | Loaded% | OverLoaded% | Comment |
| BUS-4 | TABLERO PRINCIPA | C-2 | 270.0 | 299.6 | 111.0% | 11.0% | VIOLATION |
| CUARTO DE BOMB 2 | BUS-9 | C-8 | 150.0 | 46.1 | 30.7% | -69.3% | |
| CUARTO DE BOMB 2 | BUS-9_B | C-8_B | 25.0 | 0.3 | 1.2% | -98.8% | |
| CUARTO DE BOMB 2 | BUS-9_A | C-8_A | 35.0 | 17.5 | 50.1% | -49.9% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-10_A | C-6_A | 150.0 | 44.9 | 29.9% | -70.1% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-10_B | C-6_B | 105.0 | 17.4 | 16.6% | -83.4% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-10_C | C-6_C | 35.0 | 2.3 | 6.7% | -93.3% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-2 | C-3 | 35.0 | 4.5 | 12.8% | -87.2% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-2_A | C-3_A | 35.0 | 4.5 | 12.8% | -87.2% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-10 | C-6 | 150.0 | 44.9 | 29.9% | -70.1% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-1 | C-1 | 25.0 | 0.3 | 1.2% | -98.8% | |
| TABLERO PRINCIPA | CUARTO DE BOMB 2 | C-7 | 270.0 | 63.9 | 23.7% | -76.3% | |
| TABLERO PRINCIPA | GARITA | C-4_B | 25.0 | 0.1 | 0.3% | -99.7% | |
| TABLERO PRINCIPA | CURTO DE BOMBAS1 | C-4 | 150.0 | 118.7 | 79.1% | -20.9% | |
| TABLERO PRINCIPA | POZO DE AGUA | C-4_A | 270.0 | 117.1 | 43.4% | -56.6% | |

SOBRECARGA DEL TRANSFORMADOR

| Transformer | | | | Load | | | |
|-------------|---------------|-------------|----------|-----------|---------|-------------|-----------|
| Name | From Bus Name | To Bus Name | Load kVA | Rated kVA | Loaded% | OverLoaded% | Comment |
| TX-1 | BUS-3 | BUS-4 | 114 | 75 | 152.4% | 52.4% | VIOLATION |

| From Bus | | To Bus | | Losses | |
|---------------------|---------|------------------|---------|----------|-------------|
| Name | Base kV | Name | Base kV | kW | kVAR |
| BUS-3 | 13.800 | BUS-4 | 0.220 | 2,3 | 4,1 |
| BUS-4 | 0.220 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 2,5 | 0,3 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9 | 0.220 | 0 | 0.0 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_B | 0.220 | 0.0 | 0.0 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_A | 0.220 | 0.0 | 0.0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_A | 0.220 | 0.0 | 0.0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_B | 0.220 | 0.0 | 0.0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_C | 0.220 | 0.0 | 0.0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2 | 0.220 | 0.0 | 0.0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2_A | 0.220 | 0.0 | 0.0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10 | 0.220 | 0.0 | 0.0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-1 | 0.220 | 0.0 | 0.0 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0,4 | 0.0 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | GARITA | 0.220 | 0.0 | 0.0 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0,4 | 0.0 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | POZO DE AGUA | 0.220 | 2,9 | 0,4 |
| Total System Losses | | | | 8.6 | 4.9 |
| | | | | MAXIMA | 2,9 4,100 |
| | | | | MINIMA | 0 0,3 |
| | | | | PROMEDIO | 1,629 2,225 |

REPORTE CAÍDAS DE VOLTAJE ENTRE BARRAS

| From Bus | | To Bus | | Drop |
|------------------|---------|------------------|---------|------|
| Name | Base kV | Name | Base kV | % |
| BUS-3 | 13.800 | BUS-4 | 0.220 | 3.8% |
| BUS-4 | 0.220 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 1.9% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9 | 0.220 | 0.2% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_A | 0.220 | 0.2% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_B | 0.220 | 0.0% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-1 | 0.220 | 0.0% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2 | 0.220 | 0.1% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2_A | 0.220 | 0.1% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10 | 0.220 | 0.1% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_A | 0.220 | 0.1% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_B | 0.220 | 0.1% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_C | 0.220 | 0.0% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | POZO DE AGUA | 0.220 | 5.7% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.7% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | GARITA | 0.220 | 0.0% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 1.4% |

REPORTE DE ARMÓNICOS

REPORTE DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE POR BARRAS

| Bus | | Voltages | | | |
|------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Name | Base kV | VTHD(%) | VRSS(pu) | VTIF(pu) | VSUM(pu) |
| BUS-1 | 0.220 | 11.0% | 0.942 | 124.340 | 1.183 |
| BUS-2 | 0.220 | 11.1% | 0.941 | 125.107 | 1.184 |
| BUS-2_A | 0.220 | 11.1% | 0.941 | 125.107 | 1.184 |
| BUS-3 | 13.800 | 0.0% | 1.000 | 0.500 | 1.000 |
| BUS-4 | 0.220 | 9.2% | 0.966 | 105.776 | 1.170 |
| BUS-9 | 0.220 | 11.9% | 0.935 | 133.602 | 1.194 |
| BUS-9_A | 0.220 | 11.9% | 0.935 | 133.498 | 1.194 |
| BUS-9_B | 0.220 | 11.8% | 0.936 | 132.429 | 1.193 |
| BUS-10 | 0.220 | 11.1% | 0.941 | 125.109 | 1.184 |
| BUS-10_A | 0.220 | 11.1% | 0.941 | 124.790 | 1.184 |
| BUS-10_B | 0.220 | 11.1% | 0.941 | 125.099 | 1.184 |
| BUS-10_C | 0.220 | 11.0% | 0.942 | 124.506 | 1.183 |
| CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 11.0% | 0.942 | 124.296 | 1.183 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 11.7% | 0.936 | 132.348 | 1.193 |
| GARITA | 0.220 | 10.5% | 0.948 | 119.652 | 1.179 |
| POZO DE AGUA | 0.220 | 15.8% | 0.900 | 174.955 | 1.239 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 10.5% | 0.949 | 119.453 | 1.179 |

REPORTE DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE POR CARGA

| Branch | From Bus | | Currents | | | Losses | |
|------------------|-----------------|---------|----------|-------------|------------|--------|-------|
| | Name | Base kV | ITHD(%) | IRSS(pu-pf) | ITprod(pu) | kW | kVar |
| AGITADOR1 | BUS-2 | 0.220 | 52.2% | 1.128 | | | |
| AGITADOR2 | BUS-2_A | 0.220 | 52.2% | 1.128 | | | |
| ALIMENTACION_GAR | GARITA | 0.220 | 52.6% | 1.130 | | | |
| BOMBA AGUA_3 | BUS-10_C | 0.220 | 52.2% | 1.128 | | | |
| BOMBA DE AGUA1 | BUS-10 | 0.220 | 52.2% | 1.128 | | | |
| BOMBA DE AGUA2 | BUS-10_A | 0.220 | 52.2% | 1.128 | | | |
| BOMBA DE POZO | POZO DE AGUA | 0.220 | 49.5% | 1.116 | | | |
| BOMBA_4 | BUS-9 | 0.220 | 51.8% | 1.126 | | | |
| BOMBA_5 | BUS-9_A | 0.220 | 51.8% | 1.126 | | | |
| C-1 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 52.3% | 1.129 | 267.6 | 0.000 | 0.000 |
| C-2 | BUS-4 | 0.220 | 51.2% | 1.123 | 262.4 | 3.830 | 0.730 |

| | | | | | | | |
|------------------|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C-3 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 52.4% | 1.129 | 267.0 | 0.004 | 0.000 |
| C-3_A | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 52.4% | 1.129 | 267.0 | 0.004 | 0.000 |
| C-4 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 52.3% | 1.129 | 266.8 | 0.668 | 0.052 |
| C-4_A | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 49.6% | 1.116 | 256.1 | 4.327 | 0.815 |
| C-4_B | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 58.4% | 1.158 | 352.1 | 0.000 | 0.000 |
| C-6 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 52.3% | 1.128 | 266.5 | 0.038 | 0.003 |
| C-6_A | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 52.3% | 1.128 | 266.6 | 0.023 | 0.002 |
| C-6_B | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 52.3% | 1.129 | 266.8 | 0.017 | 0.001 |
| C-6_C | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 52.4% | 1.129 | 267.2 | 0.001 | 0.000 |
| C-7 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 51.9% | 1.126 | 265.1 | 0.635 | 0.122 |
| C-8 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 51.8% | 1.126 | 264.9 | 0.056 | 0.005 |
| C-8_A | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 51.9% | 1.127 | 265.2 | 0.022 | 0.001 |
| C-8_B | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 52.0% | 1.127 | 266.8 | 0.000 | 0.000 |
| COMPUTADOR_RIEGO | BUS-1 | 0.220 | 52.2% | 1.128 | | | |
| COMPUTA_RIEGO2 | BUS-9_B | 0.220 | 51.8% | 1.126 | | | |
| MAQUINA_HIDRATAR | BUS-10_B | 0.220 | 52.2% | 1.128 | | | |
| TX-1 | BUS-3 | 13.800 | 51.1% | 1.123 | 262.1 | 2.932 | 8.935 |
| UTIL-1 | BUS-3 | 13.800 | 51.1% | 1.123 | 262.1 | 0.000 | 0.000 |

REPORTE DE PÉRDIDAS EN LAS CARGAS

| Branch | From Bus | | To Bus | | Losses | |
|--------|------------------|---------|------------------|---------|--------|------|
| | Name | Base kV | Name | Base kV | kW | kVar |
| C-1 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-1 | 0.220 | 0 | 0 |
| C-2 | BUS-4 | 0.220 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 4 | 1 |
| C-3 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-2 | 0.220 | 0 | 0 |
| C-3_A | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-2_A | 0.220 | 0 | 0 |
| C-4 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 1 | 0 |
| C-4_A | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | POZO DE AGUA | 0.220 | 4 | 1 |
| C-4_B | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | GARITA | 0.220 | 0 | 0 |
| C-6 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-10 | 0.220 | 0 | 0 |
| C-6_A | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-10_A | 0.220 | 0 | 0 |
| C-6_B | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-10_B | 0.220 | 0 | 0 |
| C-6_C | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-10_C | 0.220 | 0 | 0 |
| C-7 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 1 | 0 |
| C-8 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9 | 0.220 | 0 | 0 |
| C-8_A | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_A | 0.220 | 0 | 0 |
| C-8_B | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_B | 0.220 | 0 | 0 |
| TX-1 | BUS-3 | 13.800 | BUS-4 | 0.220 | 3 | 9 |
| UTIL-1 | BUS-3 | 13.800 | | | 0 | 0 |

REPORTE DEL TRANSFORMADOR

| Branch | From Bus | | To Bus | | Results | |
|--------|----------|---------|--------|---------|---------|------------|
| Name | Name | Base kV | Name | Base kV | K-Duty | Capability |
| TX-1 | BUS-3 | 13.800 | BUS-4 | 0.220 | 6.015 | 60.5% |

INFORME DE REDUCCION DE CONDUCTORES

| Branch | From Bus | | To Bus | | Results |
|--------|------------------|---------|------------------|---------|------------|
| Name | Name | Base kV | Name | Base kV | Capability |
| C-1 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-1 | 0.220 | 100.0% |
| C-2 | BUS-4 | 0.220 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 57.4% |
| C-3 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-2 | 0.220 | 99.5% |
| C-3_A | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-2_A | 0.220 | 99.5% |
| C-4 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | 80.3% |
| C-4_A | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | POZO DE AGUA | 0.220 | 95.1% |
| C-4_B | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | GARITA | 0.220 | 100.0% |
| C-6 | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-10 | 0.220 | 97.4% |
| C-6_A | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-10_A | 0.220 | 97.4% |
| C-6_B | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-10_B | 0.220 | 99.2% |
| C-6_C | CUARTO BOMBAS 1 | 0.220 | BUS-10_C | 0.220 | 99.9% |
| C-7 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 98.4% |
| C-8 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9 | 0.220 | 97.3% |
| C-8_A | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_A | 0.220 | 92.7% |
| C-8_B | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_B | 0.220 | 100.0% |

ANEXO. 4 PROPUESTA FINAL

FLUJO DE POTENCIA

REPORTE DE DESAJUSTE

| Iteration | MW Mismatch | | MVAR Mismatch | |
|-----------|--------------|----------|---------------|----------|
| | Number | Bus Name | pu | Bus Name |
| 0 | POZO DE AGUA | 0.00023 | BUS-10 | 0.00004 |
| 1 | POZO DE AGUA | 0.00001 | BUS-10 | 0.00000 |
| 2 | BUS-10 | 0.00000 | BUS-10 | 0.00000 |
| 3 | BUS-10 | 0.00000 | BUS-10 | 0.00000 |

REPORTE DEL GENERADOR

| Generator | | | Scheduled | | | Limits | | Solution | | | | | | |
|-----------|------|-----------|-----------|------|-------|----------|----------|----------|------|-----|-------|-------|------|-------|
| Name | Type | Rated kVA | kW | kVAR | Vpu | kVAR Min | kVAR Max | kW | kVAR | kVA | Pf | Vpu | Deg | Eq'pu |
| UTIL-1 | Sw | | | | 1.000 | | | 83 | 71 | 110 | 0.761 | 1.000 | 0.00 | 1.000 |

REPORTE DEL RESUMEN DE CARGA

| Bus | | Solution | | | | | | |
|------------------|---------|----------|-------|----|------|-----|-------|-------|
| Name | Base kV | kV | Vpu | kW | kVar | kVA | Deg | PF |
| BUS-1 | 0.220 | 0.210 | 0.953 | 0 | 0 | 0 | -0.57 | 0.952 |
| BUS-2 | 0.220 | 0.209 | 0.952 | 1 | 1 | 2 | -0.50 | 0.710 |
| BUS-2_A | 0.220 | 0.209 | 0.952 | 1 | 1 | 2 | -0.50 | 0.710 |
| BUS-3 | 13.800 | 13.800 | 1.000 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.000 |
| BUS-4 | 0.220 | 0.212 | 0.963 | 0 | 0 | 0 | -0.80 | 0.000 |
| BUS-9 | 0.220 | 0.209 | 0.951 | 12 | 11 | 16 | -0.56 | 0.760 |
| BUS-9_A | 0.220 | 0.209 | 0.951 | 5 | 4 | 6 | -0.56 | 0.730 |
| BUS-9_B | 0.220 | 0.209 | 0.951 | 0 | 0 | 0 | -0.58 | 0.952 |
| BUS-10 | 0.220 | 0.209 | 0.952 | 12 | 10 | 16 | -0.52 | 0.760 |
| BUS-10_A | 0.220 | 0.210 | 0.953 | 12 | 10 | 16 | -0.54 | 0.760 |
| BUS-10_B | 0.220 | 0.209 | 0.952 | 5 | 4 | 6 | -0.51 | 0.730 |
| BUS-10_C | 0.220 | 0.210 | 0.953 | 1 | 1 | 1 | -0.55 | 0.710 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0.209 | 0.951 | 0 | 0 | 0 | -0.59 | 0.000 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.210 | 0.953 | 0 | 0 | 0 | -0.57 | 0.000 |
| GARITA | 0.220 | 0.210 | 0.956 | 0 | 0 | 0 | -0.68 | 0.963 |
| POZO DE AGUA | 0.220 | 0.210 | 0.955 | 31 | 24 | 40 | -0.66 | 0.790 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0.210 | 0.956 | 0 | 0 | 0 | -0.68 | 0.000 |

REPORTE DEL RESUMEN DEL SISTEMA

| Total | kW | kVAR | kVA | PF |
|----------------------|----|------|-----|-------|
| Generation in System | 83 | 71 | 110 | 0.761 |
| Load in System | 80 | 67 | 105 | 0.767 |
| Shunt Load in System | 0 | 0 | | |
| Losses in System | 3 | 4 | | |
| Check of Balance | 0 | 0 | | |

REPORTE DEL TAP DEL TRANSFORMADOR

| Transformer | Connection | | Base kV | | Tap kV | | LTC Description | | | | | | | |
|-------------|---------------|-------------|---------|-------|--------|-------|-----------------|-----|----------|--------------|----------|------------------|---------------|------------|
| | From Bus Name | To Bus Name | From | To | From | To | Type | LTC | LTC Type | Control Side | LTC Side | Control Value pu | Limits Min kV | Limits Max |
| TX-1 | BUS-3 | BUS-4 | 13.800 | 0.220 | 13.800 | 0.220 | 2Wnd | No | | | | | | |

REPORTE DE SOBRECARGA EN LINEAS

Overload Threshold = 10.00 %

| Line | | | | Load | | | |
|------------------|------------------|-------------|------------|-----------|---------|-------------|---------|
| From Bus Name | To Bus Name | Branch Name | Rated Amps | Load Amps | Loaded% | OverLoaded% | Comment |
| BUS-4 | TABLERO PRINCIPA | C-2 | 525.0 | 287.8 | 54.8% | -45.2% | |
| CUARTO DE BOMB 2 | BUS-9 | C-8 | 255.0 | 45.0 | 17.7% | -82.3% | |
| CUARTO DE BOMB 2 | BUS-9_B | C-8_B | 25.0 | 0.3 | 1.2% | -98.8% | |
| CUARTO DE BOMB 2 | BUS-9_A | C-8_A | 65.0 | 17.1 | 26.4% | -73.6% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-10_A | C-6_A | 150.0 | 44.1 | 29.4% | -70.6% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-10_B | C-6_B | 105.0 | 17.1 | 16.3% | -83.7% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-10_C | C-6_C | 35.0 | 2.3 | 6.6% | -93.4% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-2 | C-3 | 35.0 | 4.4 | 12.6% | -87.4% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-2_A | C-3_A | 35.0 | 4.4 | 12.6% | -87.4% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-10 | C-6 | 150.0 | 44.1 | 29.4% | -70.6% | |
| CURTO DE BOMBAS1 | BUS-1 | C-1 | 25.0 | 0.3 | 1.2% | -98.8% | |
| TABLERO PRINCIPA | CUARTO DE BOMB 2 | C-7 | 525.0 | 62.4 | 11.9% | -88.1% | |
| TABLERO PRINCIPA | GARITA | C-4_B | 25.0 | 0.1 | 0.3% | -99.7% | |
| TABLERO PRINCIPA | CURTO DE BOMBAS1 | C-4 | 255.0 | 116.7 | 45.7% | -54.3% | |
| TABLERO PRINCIPA | POZO DE AGUA | C-4_A | 930.0 | 108.8 | 11.7% | -88.3% | |

REPORTE DE SOBRECARGA EN TRANSFORMADOR

| Transformer | | | | Load | | | |
|-------------|---------------|-------------|----------|-----------|---------|-------------|-----------|
| Name | From Bus Name | To Bus Name | Load kVA | Rated kVA | Loaded% | OverLoaded% | Comment |
| TX-1 | BUS-3 | BUS-4 | 110 | 75 | 146.2% | 46.2% | VIOLATION |

REPORTE DE PÉRDIDAS EN CARGAS

| From Bus | | To Bus | | Losses | |
|---------------------|---------|------------------|---------|----------|-------------|
| Name | Base kV | Name | Base kV | kW | kVAR |
| BUS-3 | 13.800 | BUS-4 | 0.220 | 2,1 | 3,8 |
| BUS-4 | 0.220 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0,7 | 0,3 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9 | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_B | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_A | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_A | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_B | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_C | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2 | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2_A | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10 | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-1 | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0,1 | 0,0 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | GARITA | 0.220 | 0,0 | 0,0 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0,2 | 0,0 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | POZO DE AGUA | 0.220 | 0,1 | 0,0 |
| Total System Losses | | | | 3,2 | 4,1 |
| | | | | MAXIMA | 2,1 3,8 |
| | | | | MINIMA | 0,1 0,3 |
| | | | | PROMEDIO | 0,640 2,050 |

REPORTE DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN BARRAS

| From Bus | | To Bus | | Drop |
|----------|---------|--------|---------|------|
| Name | Base kV | Name | Base kV | % |

| | | | | |
|------------------|--------|------------------|-------|------|
| BUS-3 | 13.800 | BUS-4 | 0.220 | 3.7% |
| BUS-4 | 0.220 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0.7% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9 | 0.220 | 0.1% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_A | 0.220 | 0.1% |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_B | 0.220 | 0.0% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-1 | 0.220 | 0.0% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2 | 0.220 | 0.1% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2_A | 0.220 | 0.1% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10 | 0.220 | 0.1% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_A | 0.220 | 0.1% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_B | 0.220 | 0.1% |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_C | 0.220 | 0.0% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | POZO DE AGUA | 0.220 | 0.1% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.3% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | GARITA | 0.220 | 0.0% |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0.5% |

REPORTE DE ARMÓNICOS

REPORTE DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE EN BARRAS

| Bus | | Voltages | | | |
|------------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Name | Base kV | VTHD(%) | VRSS(pu) | VTIF(pu) | VSUM(pu) |
| BUS-1 | 0.220 | 22.6% | 0.995 | 157.399 | 1.368 |
| BUS-2 | 0.220 | 22.6% | 0.994 | 158.134 | 1.368 |
| BUS-2_A | 0.220 | 22.6% | 0.994 | 158.134 | 1.368 |
| BUS-3 | 13.800 | 0.0% | 1.000 | 0.500 | 1.000 |
| BUS-4 | 0.220 | 20.5% | 0.999 | 143.430 | 1.340 |
| BUS-6 | 0.220 | 22.8% | 0.999 | 160.006 | 1.375 |
| BUS-9 | 0.220 | 22.8% | 0.993 | 157.113 | 1.369 |
| BUS-9_A | 0.220 | 22.8% | 0.993 | 157.157 | 1.369 |
| BUS-9_B | 0.220 | 22.7% | 0.993 | 156.855 | 1.368 |
| BUS-10 | 0.220 | 22.6% | 0.994 | 158.018 | 1.368 |
| BUS-10_A | 0.220 | 22.6% | 0.994 | 157.758 | 1.368 |
| BUS-10_B | 0.220 | 22.6% | 0.994 | 158.127 | 1.368 |
| BUS-10_C | 0.220 | 22.6% | 0.995 | 157.558 | 1.368 |
| CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 22.7% | 0.993 | 156.781 | 1.368 |
| CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 22.5% | 0.995 | 157.355 | 1.368 |
| GARITA | 0.220 | 22.4% | 0.997 | 156.213 | 1.367 |
| POZO DE AGUA | 0.220 | 22.4% | 0.996 | 156.251 | 1.367 |
| TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 22.3% | 0.997 | 155.999 | 1.366 |

RESUMEN DE REPORTE DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE EN BARRAS

| Branch | From Bus | | Currents | | | Losses | |
|------------------|------------------|---------|----------|----------|------------|--------|------|
| | Name | Base kV | ITHD(%) | IRSS(pu) | ITprod(pu) | kW | kVar |
| AGITADOR1 | BUS-2 | 0.220 | 0.0% | 0.000 | | | |
| AGITADOR2 | BUS-2_A | 0.220 | 0.0% | 0.000 | | | |
| ALIMENTACION_GAR | GARITA | 0.220 | 0.0% | 0.000 | | | |
| BOMBA AGUA_3 | BUS-10_C | 0.220 | 0.0% | 0.000 | | | |
| BOMBA DE AGUA1 | BUS-10 | 0.220 | 0.1% | 0.002 | | | |
| BOMBA DE AGUA2 | BUS-10_A | 0.220 | 0.1% | 0.002 | | | |
| BOMBA DE POZO | POZO DE AGUA | 0.220 | 0.2% | 0.005 | | | |
| BOMBA_4 | BUS-9 | 0.220 | 0.1% | 0.002 | | | |
| BOMBA_5 | BUS-9_A | 0.220 | 0.0% | 0.001 | | | |
| C-1 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.0% | 0.000 | 260.547 | 0 | 0 |

| | | | | | | | |
|------------------|------------------|--------|------|-------|---------|---|----|
| C-2 | BUS-4 | 0.220 | 1.1% | 0.014 | 443.783 | 2 | 2 |
| C-3 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.0% | 0.000 | 260.734 | 0 | 0 |
| C-3_A | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.0% | 0.000 | 260.734 | 0 | 0 |
| C-4 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0.2% | 0.005 | 260.918 | 0 | 0 |
| C-4_A | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0.2% | 0.005 | 260.784 | 0 | 0 |
| C-4_B | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0.0% | 0.000 | 237.245 | 0 | 0 |
| C-6 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.1% | 0.002 | 260.786 | 0 | 0 |
| C-6_A | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.1% | 0.002 | 260.880 | 0 | 0 |
| C-6_B | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.0% | 0.001 | 260.774 | 0 | 0 |
| C-6_C | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0.0% | 0.000 | 260.918 | 0 | 0 |
| C-7 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0.1% | 0.003 | 260.437 | 0 | 0 |
| C-8 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0.1% | 0.002 | 260.429 | 0 | 0 |
| C-8_A | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0.0% | 0.001 | 260.439 | 0 | 0 |
| C-8_B | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0.0% | 0.000 | 259.853 | 0 | 0 |
| C-9 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 0.8% | 0.010 | 751.540 | 1 | 0 |
| COMPUTADOR_RIEGO | BUS-1 | 0.220 | 0.0% | 0.000 | | | |
| COMPUTA_RIEGO2 | BUS-9_B | 0.220 | 0.0% | 0.000 | | | |
| FL-2 | BUS-6 | 0.220 | 0.8% | 0.010 | | 1 | 3 |
| MAQUINA_HIDRATAR | BUS-10_B | 0.220 | 0.0% | 0.001 | | | |
| TX-1 | BUS-3 | 13.800 | 1.1% | 0.014 | 443.783 | 3 | 23 |
| UTIL-1 | BUS-3 | 13.800 | 1.1% | 0.014 | 443.783 | 0 | 0 |

REPORTE DE PÉRDIDAS EN BARRAS

| Branch Name | From Bus | | To Bus | | Losses | |
|----------------|------------------|---------|------------------|---------|--------|------|
| | Name | Base kV | Name | Base kV | kW | kVar |
| C-1 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-1 | 0.220 | 0 | 0 |
| C-2 | BUS-4 | 0.220 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 2 | 2 |
| C-3 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2 | 0.220 | 0 | 0 |
| C-3_A | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2_A | 0.220 | 0 | 0 |
| C-4 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 0 | 0 |
| C-4_A | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | POZO DE AGUA | 0.220 | 0 | 0 |
| C-4_B | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | GARITA | 0.220 | 0 | 0 |
| C-6 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10 | 0.220 | 0 | 0 |
| C-6_A | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_A | 0.220 | 0 | 0 |
| C-6_B | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_B | 0.220 | 0 | 0 |
| C-6_C | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_C | 0.220 | 0 | 0 |
| C-7 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 0 | 0 |
| C-8 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9 | 0.220 | 0 | 0 |
| C-8_A | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_A | 0.220 | 0 | 0 |
| C-8_B | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_B | 0.220 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|--------|------------------|--------|-------|-------|---|----|
| C-9 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | BUS-6 | 0.220 | 1 | 0 |
| FL-2 | BUS-6 | 0.220 | | | 1 | 3 |
| TX-1 | BUS-3 | 13.800 | BUS-4 | 0.220 | 3 | 23 |
| UTIL-1 | BUS-3 | 13.800 | | | 0 | 0 |

REPORTE DE REDUCCIÓN DEL TRANSFORMADOR

| Branch | From Bus | | To Bus | | Results | |
|--------|----------|---------|--------|---------|---------|------------|
| Name | Name | Base kV | Name | Base kV | K-Duty | Capability |
| TX-1 | BUS-3 | 13.800 | BUS-4 | 0.220 | 23.081 | 25.8% |

REPORTE DE REDUCCIÓN EN CONDUCTORES

| Branch | From Bus | | To Bus | | Results |
|--------|------------------|---------|------------------|---------|------------|
| Name | Name | Base kV | Name | Base kV | Capability |
| C-1 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-1 | 0.220 | 100.0% |
| C-2 | BUS-4 | 0.220 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | 56.9% |
| C-3 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2 | 0.220 | 99.6% |
| C-3_A | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-2_A | 0.220 | 99.6% |
| C-4 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | 94.3% |
| C-4_A | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | POZO DE AGUA | 0.220 | 99.6% |
| C-4_B | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | GARITA | 0.220 | 100.0% |
| C-6 | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10 | 0.220 | 97.7% |
| C-6_A | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_A | 0.220 | 97.7% |
| C-6_B | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_B | 0.220 | 99.3% |
| C-6_C | CURTO DE BOMBAS1 | 0.220 | BUS-10_C | 0.220 | 99.9% |
| C-7 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | 99.6% |
| C-8 | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9 | 0.220 | 99.2% |
| C-8_A | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_A | 0.220 | 98.1% |
| C-8_B | CUARTO DE BOMB 2 | 0.220 | BUS-9_B | 0.220 | 100.0% |
| C-9 | TABLERO PRINCIPA | 0.220 | BUS-6 | 0.220 | 0.0% |

REPORTE DEL FILTRO

| Name | Type | Component | IRMS(pu) | kW Losses | kVAR Losses | VSUM% |
|------|-------|-----------|----------|-----------|-------------|--------|
| FL-2 | Notch | | 0.010 | 1 | 3 | 144.1% |

SINAF M

FILTRO ACTIVO PARALELO MULTIFUNCIÓN

ACTIVE HARMONIC FILTER ANEXO 5. ESPECIFICACIONES DEL FILTRO.

DESCRIPCIÓN

Los filtros activos ofrecen la mejor solución posible para resolver los problemas relacionados con la calidad en la red eléctrica, tanto en instalaciones trifásicas industriales, como instalaciones comerciales o de servicios. Estos problemas están causados, no únicamente por los armónicos, sino también por el consumo de potencia reactiva (generalmente de tipo capacitivo).

Los filtros activos están equipados con una pantalla táctil intuitiva, permitiendo todas las acciones de programación necesarias para desarrollar las siguientes acciones:

- Reducción de las corrientes armónicas hasta el 50 ° armónico.
- Corrección del factor de potencia. Seleccionable: Desde 0,7 inductivo hasta 0,7 capacitivo.
- Corrección mediante el equilibrio de fases, mejorando el consumo entre fase y fase y reduciendo la corriente del neutro.

Además, los nuevos filtros activos también permiten:

- Multirango de tensión y frecuencia (50/60 Hz).
- Gama para instalaciones de 3 hilos (modelo de 3W) o 4 hilos (modelo de 4W).
- Capacidad unitaria de filtrado para corrientes de 30 A, 60 A y 100 A (hasta 400 A en un armario).
- Facilidad en instalación por sus dimensiones reducidas.

| Referencia <i>Part Number</i> | Modelo <i>Model</i> | Corriente de fase (A) <i>Current phase (A)</i> | Dimensiones A x L x P (mm) <i>Dimensions</i> | Precio (€) <i>Price</i> |
|----------------------------------|------------------------|---|---|----------------------------|
| SINAFM348030W | 3 Hilos | 30 | 530x430x178 | Consult |
| SINAFM348060W | 3 Hilos | 60 | 530x430x348 | Consult |
| SINAFM348100W | 3 Hilos | 100 | 745x439x288 | Consult |
| SINAFM348100C | 3 Hilos | 100 | 1890x608x812 | Consult |
| SINAFM348200C | 3 Hilos | 200 | 1890x608x812 | Consult |
| SINAFM348300C | 3 Hilos | 300 | 1890x608x812 | Consult |
| SINAFM348400C | 3 Hilos | 400 | 1890x608x812 | Consult |

| Referencia <i>Part Number</i> | Modelo <i>Model</i> | Corriente de fase (A) <i>Current phase (A)</i> | Dimensiones A x L x P (mm) <i>Dimensions</i> | Precio (€) <i>Price</i> |
|----------------------------------|------------------------|---|---|----------------------------|
| SINAFM440030W | 4 Hilos | 30 | 530x430x178 | Consult |
| SINAFM440060W | 4 Hilos | 60 | 530x430x348 | Consult |
| SINAFM440100W | 4 Hilos | 100 | 745x439x288 | Consult |
| SINAFM440100C | 4 Hilos | 100 | 1890x608x812 | Consult |
| SINAFM440200C | 4 Hilos | 200 | 1890x608x812 | Consult |
| SINAFM440300C | 4 Hilos | 300 | 1890x608x812 | Consult |
| SINAFM440400C | 4 Hilos | 400 | 1890x608x812 | Consult |

| Referencia <i>Part Number</i> | Modelo <i>Model</i> | Corriente de fase (A) <i>Current phase (A)</i> | Dimensiones A x L x P (mm) <i>Dimensions</i> | Precio (€) <i>Price</i> |
|----------------------------------|------------------------|---|---|----------------------------|
| SINAFM348100R | 3 Hilos | 100 | 266x482,5x714,5 | Consult |
| SINAFM440100R | 4 Hilos | 100 | 266x482,5x714,5 | Consult |

DESCRIPTION

Active filters offer the best possible solution to solve quality-related problems in three-phase industrial, commercial or service installations and utilities caused not only by harmonics but also by the consumption of reactive power (usually of the capacitive type).

Active filters are equipped with an intuitive touch-screen display, allowing all the necessary programming actions to develop the following actions:

- Reduction of harmonics currents up to the 50th harmonic. Optional selection of the harmonic frequencies to be filtered in order to achieve the highest efficiency. The user can select the harmonic frequencies to be filtered.
- Power factor correction. Both inductive and capacitive powers.
- Current balance correction, improving the phase-to-phase consumption and reduction of neutral currents.

In addition, the new active filters also allow:

- Multi-range voltage and frequency (50/60 Hz).
- Range for installations with 3 wires (3W model) or 4 wires (4W model)
- Unitary filter capacity for currents of 30 A, 60 A and 100 A (up to 400 A in a cabinet).
- Easy installation due to its small dimensions.
- Allows an installation of up to 100 filters in parallel.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS / TECHNICAL CHARACTERISTICS

| MODELO / MODELS | SINAFM348030W SINAFM440030W | SINAFM348060W SINAFM440060W | SINAFM348100W SINAFM440100W | SINAFM348100C SINAFM440100C | SINAFM348200C SINAFM440200C | SINAFM348300C SINAFM440300C | SINAFM348400C SINAFM440400C |
|---|--|--------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | Tipo Mural / Wall type | | | Tipo Armario / Cabinet type | | | |
| Corriente de fase (RMS) / Harmonic phase current (RMS) | 30 A | 60 A | 100 A | 100 A | 200 A | 300 A | 400 A |
| Corriente de neutro (RMS) / Harmonic neutral current (RMS) | 90 A | 180 A | 300 A | 300 A | 600 A | 900 A | 1200 A |
| Potencia máxima / Power | 4W (400 V) | 2070 VA | 41400 VA | 6900 VA | 69000 VA | 138000 VA | 276000 VA |
| | 3W (480 V) | 22906 VA | 45812 VA | 76300 VA | 76300 VA | 152600 VA | 305200 VA |
| Peso / Weight | 30 kg | 39 kg | 56 kg | 190 kg | 245 kg | 300 kg | 355 kg |
| CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS / ELECTRICAL FEATURES | | | | | | | |
| Voltaje nominal (Fase-Fase) / Rated voltage (Ph-Ph) | 400...480 ± 10 % (3 W) / 230...400 V ± 10 % (4 W) | | | | | | |
| Frecuencia / Frequency | 50 Hz / 60 Hz ± 5% | | | | | | |
| THD V máximo / Maximum THD V | 25% | | | | | | |
| Nivel de ruido / Noise Level | < 52 dBA | < 54 dBA | < 60 dBA | < 60 dBA | < 63 dBA | < 66 dBA | < 69 dBA |
| Número de fases / Number of phases | 3 fases sin neutro (3 W) / 3 fases con neutro (4 W) / 3 phases without neutral wire (3 Wires) / 3 phases with neutral wire (4 Wires) | | | | | | |
| Compensación de corriente armónica / Current harmonics compensation | 2º hasta 50º seleccionable / 2nd to 50th harmonic selectable | | | | | | |
| Selección específica de armónico / Specified harmonic selection | 3º hasta el 25º armónico / 3er to 25th harmonic | | | | | | |
| Medida de corriente / Current measurement | .../5A, Clase 1 o (0,5...0,2) frecuencia más de 2500 Hz (1.5 VA) / .../5A, Class 1 or (0.5... 0.2, 0.2S) freq. up to 2500Hz (1.5 VA) | | | | | | |
| CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO / FILTER CHARACTERISTICS | | | | | | | |
| Controlador / Controller | Digital, DSP | | | | | | |
| Tiempo de respuesta del transitorio / Transient response time | < 0.1 ms | | | | | | |
| Protección envolvente / Protection degree | IP20 (u otros grados de protección previa solicitud) / IP20 (or other upon request) | | | | | | |
| Limitador de corriente / Current limitation | Protección contra sobrecorriente por limitación de corriente en el valor nominal del filtro / Protection from over current by current limitation at filter rated value | | | | | | |
| Visualización pantalla táctil / Graphic display panel | Color TCT Touch screen 3,5" . Web Server and Data logger | | | | | | |
| COMUNICACIÓN / COMMUNICATION | | | | | | | |
| Interfaz / Interface | RS-485 | | | | | | |
| Protocolo / Protocol | MODBUS RTU | | | | | | |
| Velocidad en baudios / Baud rate | 9600 | | | | | | |
| Tipo de paridad / Type of parity | ninguno, impar, par / None, odd, even | | | | | | |
| Ethernet | TCP/IP, Modbus TCP | | | | | | |
| CONEXIONADO / INSTALLATION | | | | | | | |
| Red / Grid | Borne anilla M6 | | | Borne anilla M8 | | | |
| | Anchura máxima de la anilla 12 mm | | | Anchura máxima de la anilla 23 mm / Maximum ring width 23 mm | | | |
| Par de apriete: / Tightening torque: | 2,2-2,4 Nm | | | 8-10 Nm | | | |
| CTs | Conectar 6 polos, conductor máximo / maximum cable cross section: 2,5 mm² Par de apriete / Tightening torque: 0,5...0,6 Nm | | | | | | |
| RS-485 | Conector 3 polos. Conductor máximo / maximum cable cross section: 2,5 mm². Par de apriete / Tightening torque: 0,5...0,6 Nm | | | | | | |
| Ethernet | RJ45 | | | | | | |
| NORMAS / STANDARDS | | | | | | | |
| Armonicos / Reference Harmonic Standard | EN61000-3-4, | | | | | | |
| Seguridad / Safety Standard | EN 62477-1:2012; IEC 61439-1:2011 | | | | | | |
| Compatibilidad electromagnética / Electromagnetic Compatibility | EN61000-6-4:2007, EN61000-6-2:2006, IEC 55011:2011 | | | | | | |
| CONDICIONES AMBIENTALES / ENVIRONMENTAL CONDITIONS | | | | | | | |
| Temperatura de funcionamiento / Operating temperature | -10°C...+ 45 °C | | | | | | |
| Temperatura de almacenaje / Storage temperature | -20 °C...+ 55 °C | | | | | | |
| Humedad relativa / Relative humidity | 0%...95% sin condensación / 0%...95% without condensation | | | | | | |
| Altitud / Operating altitude | < 3000 metros (2000 metros sin reducción de capacidad) / < 3000 meters (2000 meters without reduce capacity) | | | | | | |

APLICACIONES / APPLICATIONS

Solución ideal para instalaciones, con gran cantidad de cargas no lineales monofásicas y trifásica. Es decir, cargas generadoras de armónicos. Por ejemplo, variadores de velocidad, ordenadores, SAI, luminarias, aparatos elevadores, etc... también garantizan una mejora en la calidad de la red para aquellas instalaciones que necesitan aumentar la producción o mejorar la continuidad del suministro del sistema.

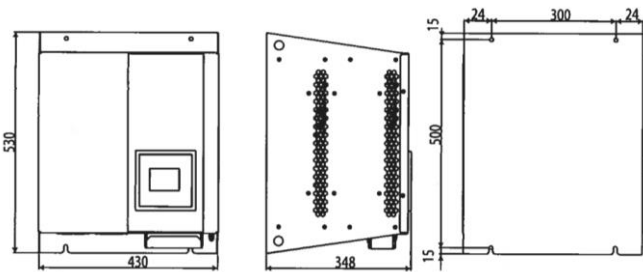
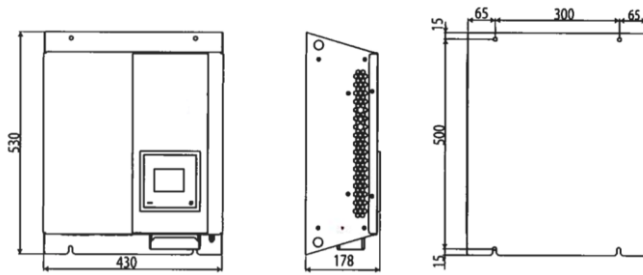
They are an ideal solution for installations with a large amount of single-phase and three-phase loads generating harmonics, such as computers, UPS units, lights, lifting equipment, speed drivers, etc...

They could also be used in installations that require a good power quality for the purpose of increasing production and improve supply continuity in the system.

DIMENSIONES / DIMENSIONS

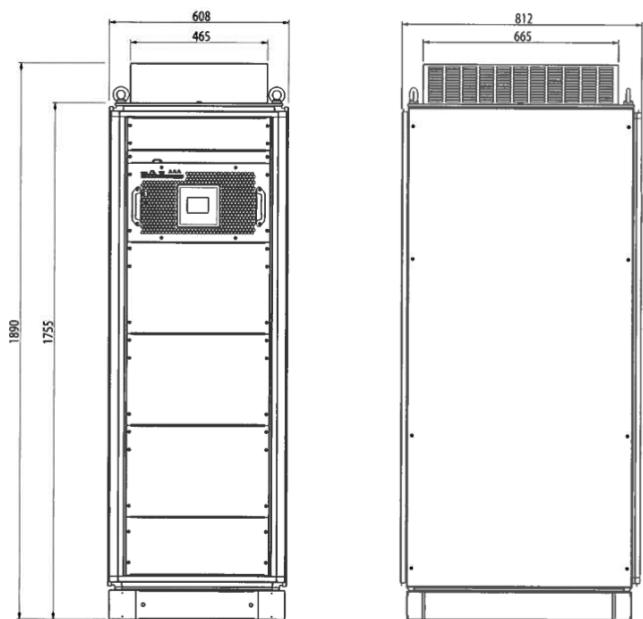
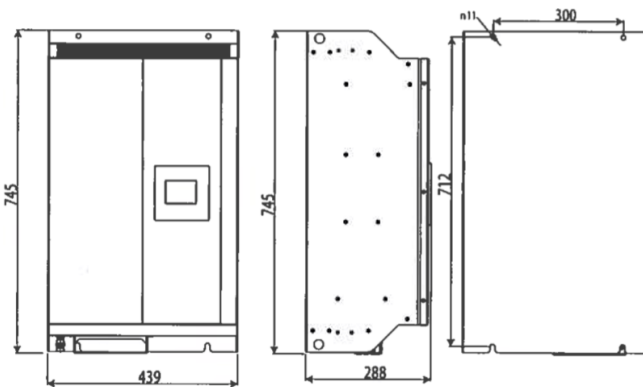
* Todos los filtros activos disponen de filtro EMI incorporado
 * All active harmonic filters have a built-in EMI filter

SINAFM348030W / SINAFM440030W →



← **SINAFM348060W / SINAFM44060W**

SINAFM440100W / SINAFM340100W →



← **SINAFM440100C / SINAFM340100C
 SINAFM440200C / SINAFM340200C
 SINAFM440300C / SINAFM340300W
 SINAFM440400W / SINAFM340400W**

CONEXIONES / CONNECTION

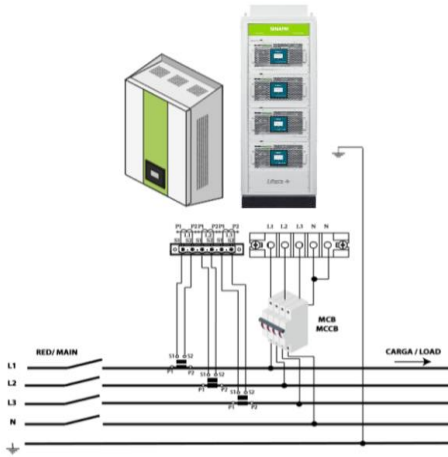


Figura 19: Medida trifásica con conexión a 4 hilos y medida de corriente en el lado de Red.
Figure 19: Three-phase measuring with 4-wire connection and current measurement on the main side.

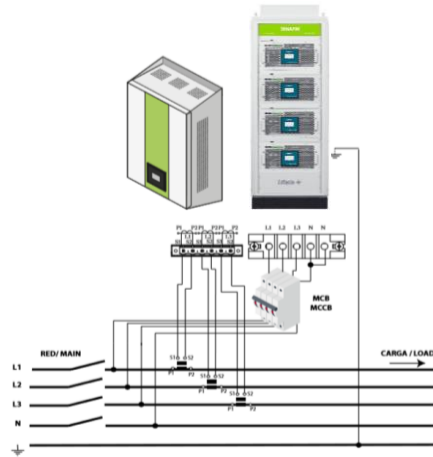


Figura 20: Medida trifásica con conexión a 4 hilos y medida de corriente en el lado de Carga.
Figure 20: Three-phase measuring with 4-wire connection and current measurement on the load side.

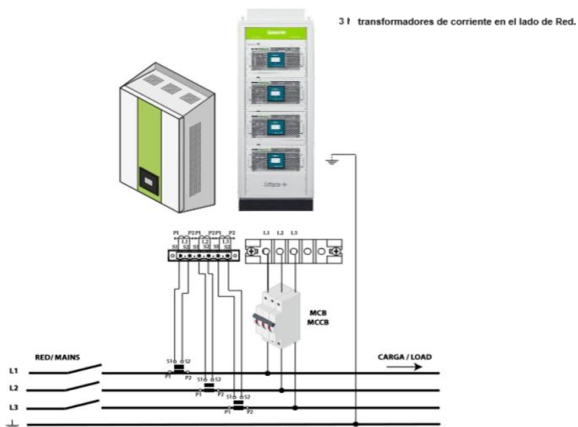


Figura 21: Medida trifásica con conexión a 3 hilos y medida de corriente en el lado de Red.
Figure 21: Three-phase measuring with 3-wire connection and current measurement on the main side.

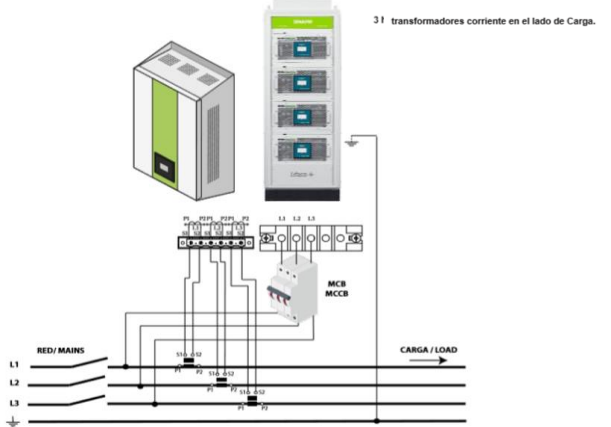


Figura 22: Medida trifásica con conexión a 3 hilos y medida de corriente en el lado de Carga.
Figure 22: Three-phase measuring with 3-wire connection and current measurement on the load side.

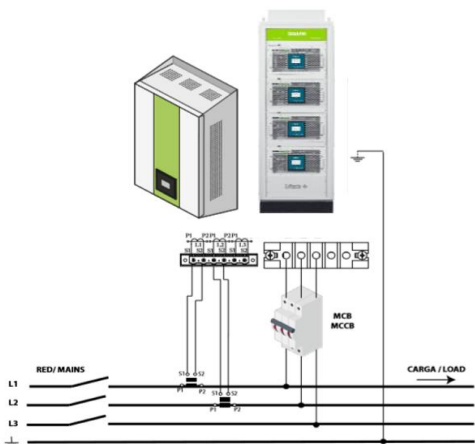


Figura 23: Medida trifásica con conexión a 3 hilos y 2 transformadores de corriente en el lado de Red.
Figure 23: Three-phase measuring with a 3-wire connection and 2 current transformers on the main side.

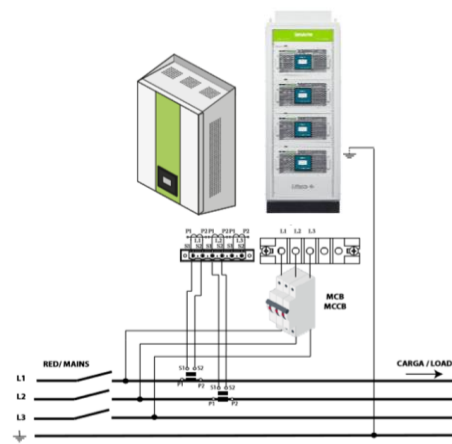


Figura 24: Medida trifásica con conexión a 3 hilos y 2 transformadores corriente en el lado de Carga.
Figure 24: Three-phase measuring with a 3-wire connection and 2 current transformers on the load side.

INTERNATIONAL CAPACITORS, S.A.
C/ Vallès, 32 – Polígono Industrial Can Bernades
08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona) SPAIN
Tel: (+34) 93 5747 017
E-mail: Info@ifasa.com – Web: www.ifasa.com

