



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN OPCIÓN AL
GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TEMA:

INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y CONSUMO ENERGÉTICO EN EL TALLER
METALMECÁNICO CM DE LA CIUDAD DE AMBATO EN EL AÑO 2017.
PROPUESTA DE UN PLAN ALTERNATIVO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA.

Autor:

CHILUISA cueva, carlos fernando

Tutor:

MSc. Freire Luigi Orlando

LATACUNGA – ECUADOR

Diciembre – 2018



AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe del Proyecto de Investigación y Desarrollo de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el posgraduado: Carlos Fernando Chiluisa Cueva, con el título del trabajo de investigación y desarrollo titulado: “INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y CONSUMO ENERGÉTICO EN EL TALLER METALMECÁNICO CM DE LA CIUDAD DE AMBATO EN EL AÑO 2017. PROPUESTA DE UN PLAN ALTERNATIVO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

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

Latacunga agosto 3, 2018

Para constancia firman:

MSc. MANUEL ÁNGEL LEÓN SEGOVIA
cc...05020041353.....
PRESIDENTE

PhD. JUAN JOSE LA CALLE DOMINGUEZ
cc...1756604227.....
MIEMBRO

PhD. JUAN MATO
cc...1816944284.....
MIEMBRO

MSc. MARCO ANÍBAL LEÓN SEGOVIA
cc 0502305402.....
OPONENTE



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

DIRECCIÓN DE POSGRADO

CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Programa de Maestría en Gestión de Energías del Trabajo, cohorte 2014, nombrado por el Honorable Consejo de Posgrados de la UTC.

CERTIFICO

Que he analizado el Proyecto de investigación y desarrollo titulado de **“INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y CONSUMO ENERGÉTICO EN EL TALLER METALMECÁNICO CM DE LA CIUDAD DE AMBATO EN EL AÑO 2017. PROPUESTA DE UN PLAN ALTERNATIVO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA.”** presentado por Carlos Fernando Chiluisa Cueva, con cédula de ciudadanía 0502589484 como requisito previo para la aprobación y el desarrollo de la investigación para optar el grado de Magister en Gestión de Energías.

Sugiero su aprobación y permita continuar con el trabajo de investigación.

Latacunga febrero 15, 2018

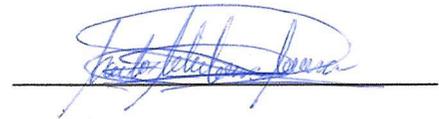
MSc. Luigi Orlando Freire Martínez

CC. 0502529589

TUTOR

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS

Del contenido del presente proyecto de investigación y desarrollo, se responsabiliza el autor



Carlos Fernando Chiluisa Cueva

CC: 0502589484

ÍNDICE GENERAL

AVAL MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO.....	ii
AVAL TUTOR DE TESIS.....	iii
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	x
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
Elementos de diseño de la investigación.....	1
Situación problemática	1
Justificación de la investigación.....	3
Objeto y Problemática de la Investigación	3
Campo de acción y objetivo general de la Investigación	4
Hipótesis de Investigación y Desarrollo de la Investigación.....	4
Objetivo General	4
Objetivos específicos.....	4
Visión epistemológica de la investigación	5
Paradigmas que asume la investigación	5
Nivel de investigación	5
Alcance de la investigación	5
CAPÍTULO 1	6
MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL	6
1 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6

1.1 Caracterización detallada del objeto.....	6
1.2 Fundamentación teórica.....	11
1.2.1 Norma ISO 50001.....	16
1.2.2. Marco Legal.....	18
1.3 Fundamentación de la investigación	18
1.4 Justificación y significación	19
1.5 Bases teóricas particulares de la investigación.....	19
1.5.1 Factor de potencia.....	19
1.5.2 Modos de compensación del factor de potencia.....	20
1.5.3 Calidad del suministro de energía	21
1.5.4 Normas de calidad de energía eléctrica	23
1.5.5 Análisis de niveles de voltaje	24
1.5.6 Filtros:.....	30
CAPÍTULO II.....	39
METODOLOGÍA.....	39
2.1 Modalidad de la Investigación.....	39
2.2 Niveles o tipo de investigación.....	39
2.3 Métodos de investigación	39
2.4 Técnicas e Instrumentación de Medición	40
2.5 Operacionalización de las variables	41
CAPÍTULO III	43
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	43
3.1 Empresa metalmecánica CM.	43
3.1.1. La empresa.....	43
3.1.2. Sector al que pertenece	43
3.1.3. Representante Legal	43

3.1.4. Estructura organizacional	44
3.1.5. Misión.....	45
3.1.6. Visión	45
3.1.7. Valores.....	45
3.1.8. Política.....	45
3.1.9. Proceso de fabricación de la metalmecánica MC.....	45
3.1.10. Descripción del sistema eléctrico de la Industria	46
3.1.11 Levantamiento de carga.....	48
3.2. Análisis y discusión de resultados	52
3.2.1 Análisis de datos obtenidos en las mediciones:.....	53
3.2.2 Análisis de datos obtenidos con la simulación:	69
3.2.3 Pareto de portadores energéticos	79
CAPÍTULO IV	85
4.1 Título de la propuesta	85
4.2 Objetivos.....	85
4.3 Estructura de la propuesta.....	85
4.4 Desarrollo de la propuesta	85
4.4.1 Propuesta para corregir los problemas del sistema eléctrico.....	85
4.4.2 Análisis Técnico económico de la implementación del Proyecto	99
4.4.2.1 Ahorro energético al implementar las soluciones propuestas	99
4.4.2.2 Cálculo del TIR y el TMAR:.....	103
4.5 Impactos (técnicos, sociales, ambientales o económicos):.....	104
4.6 Presupuesto para la propuesta del proyecto:	105
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Eficiencia Energética del Plan Nacional de Buen Vivir.....	15
Tabla 2: Parámetros eléctricos según la regulación CONELEC 004/01	22
Tabla 3: Límites de Variaciones de voltaje	24
Tabla 4: Límites de armónicos de voltaje.....	28
Tabla 5: Límites de Distorsión de Corriente	30
Tabla 6: Ventajas del Filtro Pasivo Sintonizado	33
Tabla 7. Variable Independiente.....	41
Tabla 8. Variable Dependiente	42
Tabla 9. Características del Transformador.....	46
Tabla 10. Inventario de cargas del taller CM	49
Tabla 11. Levantamiento de carga con factor de utilización.....	50
Tabla 12. Levantamiento de carga con factor de utilización.....	51
Tabla 13. Carga total instalada y con factor de utilización en porcentaje	52
Tabla 14 Análisis de Potencia activa en el taller.	54
Tabla 15. Análisis de Potencia aparente en el taller.	55
Tabla 16. Análisis de Potencia Reactiva en el taller.....	56
Tabla 17. Potencia activa máxima de las tres líneas.....	58
Tabla 18. Potencia activa máxima de las tres líneas.....	59
Tabla 19. Valores de Factor de Potencia	60
Tabla 20. Valores de THD de voltaje por línea y fase	60
Tabla 21. Valores de armónicos individuales.....	61
Tabla 22. Valores de THD de corriente.....	62
Tabla 23. Valores de Corriente de la línea	63
Tabla 24. Cálculo de α para verificar los armónicos de corriente	65
Tabla 25. Cálculo de α para verificar los armónicos de corriente	65
Tabla 26. Análisis de armónicos individuales	66
Tabla 27. Niveles de Voltaje min, med y max de las fases	67
Tabla 28. Niveles de Voltaje min, med y max de las fases	68
Tabla 29. Niveles de Voltaje Neutro min, med y max de las fases	68
Tabla 30. Niveles de Corriente Fase min, med y max de las fases	69
Tabla 31. Factor de Potencia de la carga	72
Tabla 32. Factor de Potencia del generador y de la carga	72

Tabla 33. Porcentaje de THD de voltaje las barras	74
Tabla 34. Porcentaje de THD de voltaje en las cargas	75
Tabla 35. Porcentaje de THD de corriente en las cargas.....	77
Tabla 36. Porcentaje de armónicos individuales de corriente	78
Tabla 37. Porcentaje de THD de voltaje las barras con filtro.....	94
Tabla 38. Porcentaje de THD de voltaje en las cargas	95
Tabla 39. Porcentaje de THD de corriente en las cargas.....	96
Tabla 40. Porcentaje de armónicos individuales de corriente	97
Tabla 41. Porcentaje de armónicos individuales de corriente	98
Tabla 42. Factor de Potencia de la generación y de la carga.....	99
Tabla 43: Pérdidas Iniciales.....	99
Tabla 44: Pérdidas Finales.....	100
Tabla 45: Penalización anual por bajo factor de potencia	103
Tabla 46: Presupuesto para implementación del proyecto	105

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1.1: Diagrama de Causa – Efecto.....	6
Figura 1.2: Asimetría de voltajes	25
Figura 1.3: Descomposición armónica.....	27
Figura 1.4: Conexión del filtro desintonizado en paralelo al bus de distribución del sistema.	31
Figura 1.5: Filtro Sintonizado	32
Figura 1.6: Respuesta del filtro sintonizado ante diferentes factores de calidad.....	35
Figura 3.7: Logotipo MCM.....	44
Figura 3.8: Estructura Organizacional	44
Figura 3.9: Diagrama Unifilar del taller.....	47
Figura 3.10: Ilustración de la carga	52
Figura 3.11: Ilustración de la carga	53
Figura 3.12: Curvas de potencia activa	54
Figura 3.13: Representación de Potencia Aparente	55
Figura 3.14: Representación de Potencia Aparente	56
Figura 3.15: Representación de Curva de carga.....	57
Figura 3.16: Curva de carga diaria	58
Figura 3.17: Armónicos Individuales de voltajes.....	61
Figura 3.18: Armónicos Individuales de Corriente	66
Figura 3.19: Simulación inicial del sistema eléctrico del taller.....	70
Figura 3.20: Corrida de flujos del sistema	71
Figura 3.21: Corrida de flujos de armónicos de voltaje	73
Figura 3.22: Diagrama de barras de los armónicos individuales.....	75
Figura 3.23: Corrida de flujos de armónicos de corriente.....	76
Figura 3.24: Diagrama de barras de los armónicos individuales	78
Figura 3.25: Diagrama de Pareto de portadores energéticos año 2016.....	79
Figura 3.26: Diagrama de Pareto de portadores energéticos año 2017-2018.....	80
Figura 3.27: Control de consumo de energía.	81
Figura 3.28: Control de Índice de Consumo	82
Figura 3.29: Energía y Producción.....	82
Figura 3.30: Diagrama de dispersión kWh vs Ventas.....	83

Figura 4.31: Diseño del filtro Activo	91
Figura 4.32: Dimensionamiento del filtro en EASY POWER.....	92
Figura 4.33: Corrección de armónicos con instalación de filtro	93
Figura 4.34: Diagrama de barras de los armónicos individuales de voltaje.....	95
Figura 4.35: Diagrama de barras de los armónicos individuales	97
Figura 4.36: Pliego Tarifario. Valor Industrial.....	102
Figura 4.37: Flujo Neto de inversión.....	104

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1). Factor de Potencia.....	20
Ecuación (2). Variación de Voltaje	24
Ecuación (3). Desbalance entre fases	26
Ecuación (4). Tasa de distorsión Armónica de Corriente.....	30
Ecuación (5). Potencia reactiva de compensación.....	34
Ecuación (6). Reactancia inductiva efectiva del filtro.....	34
Ecuación (7). Reactancia capacitiva efectiva del filtro	34
Ecuación (8). Número de Armónico	34
Ecuación (9). Capacitor del filtro	34
Ecuación (10). Impedancia del filtro	34
Ecuación (11). Reactancia inductiva	34
Ecuación (12). Inductancia del filtro	34
Ecuación (13). Resistencia del filtro	35
Ecuación (14). Potencia reactiva del filtro	35
Ecuación (15). Sintonización a la Frecuencia	36
Ecuación (16). Corriente Fundamental.....	36
Ecuación (17). Corriente armónica inyectada	36
Ecuación (18). Corriente total rms	36
Ecuación (19). Porcentaje del margen de corriente.....	36
Ecuación (20). Voltaje Pico del filtro.....	37
Ecuación (21). Sumatoria del Voltaje Pico del filtro.....	37
Ecuación (22). Voltaje total pico (fase y neutro).....	37
Ecuación (23). Voltaje pico del sistema	37
Ecuación (24). Voltaje línea – neutro del sistema.....	37
Ecuación (25). Voltaje de diseño del capacitor	37
Ecuación (26). Potencia Activa de entrada.....	48
Ecuación (27). Potencia Activa de entrada nominal.....	48
Ecuación (28). Factor de carga en porcentaje.....	48
Ecuación (29). Factor de Utilización.....	50
Ecuación (30). Desbalance entre cargas	59
Ecuación (31). Corriente de Cortocircuito	62
Ecuación (32). Potencia Aparente	63

Ecuación (33).Corriente de linea	63
Ecuación (34).Dispersión kWh vs Ventas.....	83
Ecuación (35).Comportamiento histórico del consumo de energía.....	84
Ecuación (36).Pérdidas totales	101
Ecuación (37).Pérdidas de energía	101
Ecuación (38).Número de horas equivalentes	101

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

Título: “Instalaciones eléctricas y consumo energético en el taller Metalmecánico CM de la ciudad de Ambato en el año 2017. Propuesta de un plan alternativo de optimización energética.”

Autor: Ing. Carlos Chiluisa Cueva

Tutor: MSc. Luigi Freire Martínez

RESUMEN

Esta investigación se realizó en el taller Metalmecánico CM ubicado en la ciudad de Ambato, donde se identificó que en dicho taller el consumo energético es excesivo y que no existen ni estudios energéticos, ni programas de auditoria que garanticen la eficiencia energética del taller. El presente proyecto tiene la finalidad de diseñar un plan de optimización energética del taller para reducir el consumo y pérdidas de energía eléctrica aplicando el modelo de gestión energética ISO 50001, para el análisis eléctrico se empleó la regulación nacional CONELEC 004/01 que indican los límites que se debe cumplir para mejorar la calidad de energía eléctrica. Para el desarrollo del tema se realizó la instalación de un medidor de calidad de energía, el cual se conectó en la salida del tablero principal del taller, obteniendo mediciones cada 15 minutos en un periodo de siete días como lo establece la norma. Con el análisis de estas mediciones y la ayuda del software técnico EASY POWER, se obtuvo resultados que muestran un bajo factor de potencia y la presencia de armónicos de corriente que ocasionan el deterioro en la vida útil de los equipos de la empresa. Al encontrar los problemas presentes en la empresa, se planteó alternativas de solución para la reducción de los costos de penalización por bajo factor de potencia que mensualmente factura la Empresa Eléctrica de Ambato EEASA a esta industria, como también reducir los niveles de contaminación armónica que son producidos por el uso de cargas no lineales.

Descriptorios

Eficiencia energética, calidad de energía, factor de potencia, armónicos.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL

POWER MANAGEMENT MASTER PROGRAM

Topic: “Electrical installations and electric power consumption of the CM metalworking factory in Ambato city, in 2017. Proposal of an electric power optimization alternative plan.”

Author: Ing. Carlos Chiluisa Cueva

Tutor: MSc. Luigi Freire Martínez

ABSTRACT

This research was carried out in the workshop Metalmecánico CM was located in the city of Ambato, where it was identified that in this workshop the energy consumption is excessive and that there is no energy studies, nor the audit programs that guarantee the energy efficiency of the workshop. The present project has the purpose of designing a plan of energy optimization of the model for the management of the electrical consumption and of the electrical energy that applies the model of management of energy ISO 50001, for the electrical analysis with the national regulation CONELEC 004/01 that indicate the limits that must be met to improve the quality of electric power. For the development of the theme, an energy quality meter was installed, which was connected to the output of the main board of the workshop, obtaining measurements every 15 minutes in a period of seven days as established by the standard. With the analysis of these measurements and the help of the EASY POWER technical software, results were obtained that show a low power factor and the presence of current harmonics that cause the deterioration in the useful life of the company's equipment. When finding the problems present in the company, alternative solutions were proposed to reduce the penalization costs due to low power factor that the Electricity Company of Ambato EEASA charges to this industry monthly, as well as to reduce the levels of harmonic contamination that are produced by the use of non-linear loads.

Keywords:

Power efficiency, power quality, power factor, and harmonics.

INTRODUCCIÓN

El taller de Metalmecánica C.M. ubicado en la ciudad de Ambato, en la avenida Julio Castillo parroquia Izamba, es un taller de tipo artesanal. Se dedica a brindar servicios de construcción de maquinaria avícola, como silos, molinos, jaulas, y también brinda mantenimiento mecánico de maquinaria agroindustrial. Este taller ha venido funcionando desde hace 30 años. Esta empresa tiene equipos como torno, compresores, taladros, soldadoras, entre otros los cuales generan el consumo de energía eléctrica. El objetivo de este tema de investigación es diseñar un plan alternativo de optimización energética el taller de Metalmecánica CM durante el año 2017-2018 para el portador eléctrico, para reducir el consumo y pérdidas de energía eléctrica aplicando el modelo de gestión energética ISO 50001.

La visión de la empresa es realizar productos de calidad que garanticen la satisfacción del cliente, aprovechando eficientemente los recursos. Es por ello que la necesidad de realizar acciones urgentes encaminadas al ahorro de consumo de energía eléctrica, implica realizar un plan de mejoras en la Gestión Energética para el portador eléctrico.

Elementos de diseño de la investigación.

Situación problemática

La necesidad de disminuir del consumo de energía eléctrica en el taller de Metalmecánica CM es una oportunidad para plantear un plan de mejoras en la gestión energética para el portador eléctrico, para lo cual se inició con un diagnóstico del consumo de energía eléctrica y así determinar las áreas de mayor consumo y/o existan problemas.

El acceso a la energía es cada vez más costoso y perjudicial para el medio ambiente. La era de energía barata está llegando a su fin en muchos países. El uso efectivo del sistema de gestión de la energía ayudará a organizaciones, sin importar su tamaño, a gestionar de forma sostenible el uso de energía. Como consecuencia se logrará:

- ✓ Reducir sus costos.
- ✓ Reducir su impacto ambiental.
- ✓ Aumentar su competitividad.

Sería extremadamente raro encontrar una organización que no pudiera reducir significativamente sus costos de energía implementando pequeños cambios en el uso de la misma. Es muy raro que la alta dirección de las organizaciones admita esta realidad tan simple.

El costo de la energía puede reducirse significativamente. Es posible que no haga falta ninguna inversión financiera.

Un enfoque sistemático establece los fundamentos para la reducción significativa y sostenible de los costos de energía en organizaciones de todos los tamaños. No se trata de un desafío técnico difícil; el desafío reside en la gestión de los recursos organizativos, incluidos la energía y los recursos humanos.

Siempre es posible mejorar, incluso en las organizaciones con un excelente desempeño energético. En Dinamarca, una de las economías con la mayor eficiencia energética, se estima que es posible lograr un cuarenta por ciento de mejoras adicionales a través del uso de las tecnologías actuales y de las mejores prácticas operativas. Se requiere atención, motivación, un enfoque sistemático y, ante todo, la voluntad de cambiar y mejorar.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) reconoció los avances realizados por países de la región en el marco político, normativo e institucional sobre estrategias que impulsen el ahorro energético, las cuales resultaron favorables en la mayoría de los casos

El programa regional sobre la Base de Indicadores de Eficiencia Energética para América Latina y el Caribe (BIEE) busca generar indicadores específicos que determinen la evolución de políticas nacionales para la eficiencia energética, concepto que se refiere a la reducción de los costos y el uso de la energía sin desmejorar la calidad de vida.

En el Ecuador se han implementado Leyes y normas que regulan el consumo de energía eléctrica, promoviendo el consumo racional y además de algunos beneficios como por ejemplo subsidios.

El taller Metalmecánico CM utiliza la energía eléctrica en los equipos de fabricación de maquinaria agrícola.

Justificación de la investigación

La eficiencia energética, el ahorro y la diversificación de energía, el aprovechamiento de energías residuales y de las energías renovables, tienen como principal objetivo obtener un rendimiento energético óptimo para cada proceso o servicio en el que su uso sea indispensable, sin que ello signifique una disminución de la productividad o de la calidad o del nivel de confort de servicio. El término óptimo implica, pues, un compromiso entre los aspectos energéticos, económicos y de productividad o de prestación de un servicio.

Para ello, en un plan de gestión energética, primero se debe aplicar una auditoría energética para evaluar energéticamente el funcionamiento de la instalación, para después analizar las posibles mejoras del proceso o equipos y determinar las inversiones a realizar y sus períodos de retorno proponiendo la implantación de aquellas medidas de ahorro y eficiencia energética más apropiadas para el taller.

La eficiencia energética es realizar un aprovechamiento óptimo de la energía, y ello no implica renunciar a la calidad de vida sino obtener los mismos bienes, servicios y realizar las mismas actividades sin desperdiciarla. En Ecuador, la eficiencia energética se ha venido desarrollando a través de diferentes programas y proyectos promovidos por el actual Gobierno a nivel de sustitución tecnológica de gestión y con la transformación de los hábitos culturales de la población. Actualmente el Taller Metalmecánico CM no cuenta con un sistema de gestión energética.

Objeto y Problemática de la Investigación

El objeto de estudio de la presente investigación es LA CALIDAD DEL CONSUMO ENERGÉTICO POR PARTE DE LA MAQUINARIA EMPLEADA PARA LOS DIFERENTES PROCESOS DE LA METALMECÁNICA CM

¿Cómo incide un PLAN DE MEJORAS EN LA GESTIÓN DE LA ENERGÍA PARA EL PORTADOR ELÉCTRICO en el CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA en la Metalmecánica CM de la ciudad de Ambato, durante el año 2017-2018.

Campo de acción y objetivo general de la Investigación

El campo de acción de esta investigación se enmarca en la línea de Eficiencia de la Energía Eléctrica en la construcción de maquinaria agroindustrial en el taller Metalmecánico CM.

Realizar un plan de optimización energética para el portador eléctrico en el taller Metalmecánico CM ubicado en la ciudad de Ambato durante el año 2017-2018.

Hipótesis de Investigación y Desarrollo de la Investigación

La realización de un estudio energético de las instalaciones eléctricas del taller Metalmecánico CM permitirá detectar los problemas que afectan la calidad del suministro eléctrico para lo cual se desarrollara un un plan de ahorro y optimización energética.

Objetivo General

Evaluar el consumo de energía eléctrica de la maquinaria presente en la Metalmecánica CM mediante el análisis de las mediciones obtenidas con el analizador de cargas FLUKE 435 para proponer un plan de eficiencia energética que mejore la calidad de energía en la industria.

Objetivos específicos

1.-Realizar una evaluación en condiciones actuales de los diferentes parámetros eléctricos que intervienen en la calidad de energía mediante el levantamiento del consumo de las diferentes cargas para así detectar las posibles fallas presentes en la instalación eléctrica de la empresa.

2.- Desarrollar un plan de ahorro y eficiencia energética mediante la identificación y solución de los problemas encontrados en la industria con el fin de obtener beneficios técnicos y económicos en la industria

3.- Analizar las posibilidades de mejora planteadas desde el punto técnico económico a través de la evaluación de cada una de las propuestas del sistema eléctrico de la industria con el objetivo de generar mejoras en la producción y el ahorro económico

Visión epistemológica de la investigación

Paradigmas que asume la investigación

La presente investigación es del tipo Positivista, ya que este paradigma pone mayor atención a los hechos observables y medibles, la auditoria energética es la herramienta utilizada para obtener información útil la cual nos ayudó en nuestro plan de optimización energética para el portador eléctrico.

Nivel de investigación

Perceptual aprehensivo comprensivo entre otros

Alcance de la investigación

El presente estudio y diagnóstico del consumo de energía eléctrica se realizó en el taller metalmecánico C.M ubicado en la ciudad de Ambato en los años 2017 y 2018.

Se realizó un plan de mejoras para la reducción del consumo de energía y la eficiencia energética con el fin de la reducción de energía eléctrica.

En su contenido el documento está compuesto por cuatro capítulos:

CAPITULO I: Abarca Marco Contextual y teórico

CAPITULO II: Se basa en la metodología utilizada dentro de la Investigación

CAPITULO III: Se basa en el análisis e interpretación de los resultados obtenidos después del estudio y cálculos respectivos

CAPITULO IV: Se define la realización de la propuesta como un plan alternativo de optimización energética en la metalmecánica C.M

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL

1 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

El presente capítulo contiene los fundamentos teóricos necesarios para poner en marcha el plan de mejoras y a su vez reducir el consumo eléctrico de energía eléctrica en la fabricación de maquinaria agroindustrial como contenido se muestra la caracterización detallada del objeto de estudio, antecedentes de la investigación, fundamentación teórica, marco legal, se fundamenta y justifica la investigación, así como las bases teóricas utilizadas en la investigación.

1.1 Caracterización detallada del objeto

Este trabajo se basa en el diagnóstico del consumo de energía eléctrica que posee la empresa de fabricación de maquinaria agrícola, debido al uso de maquinaria necesaria para realizar cada etapa de fabricación.

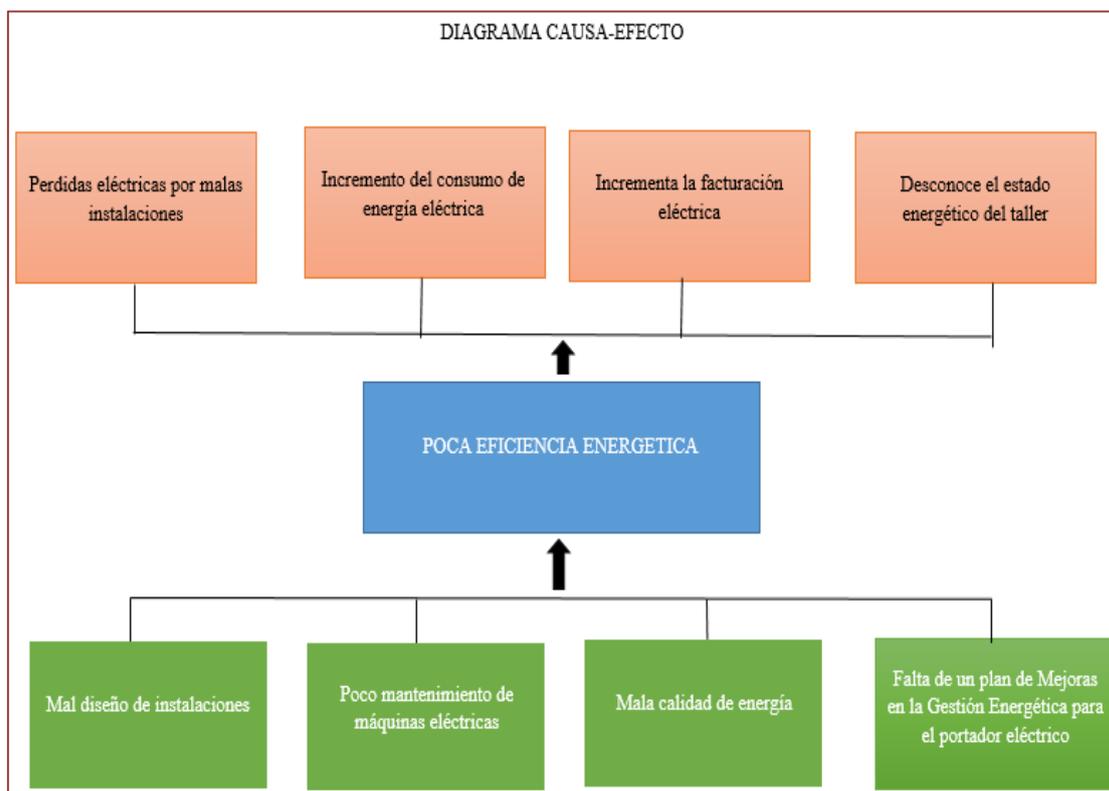


Figura 1.1: Diagrama de Causa – Efecto

Con respecto a la matriz causa-efecto se puede apreciar las causas que influyen en la baja eficiencia energética.

- ✓ Existe un mal diseño de las instalaciones eléctricas en todo el taller.
- ✓ Falta de mantenimiento a las máquinas que intervienen en cada proceso de construcción de maquinaria agrícola.
- ✓ Mala calidad de energía debido a que existe gran cantidad de cargas inductivas dentro de la empresa.
- ✓ Falta de importancia en el ahorro de energía eléctrica por parte de los trabajadores de la empresa.
- ✓ Falta de un plan de mejoras para la optimización de energía para el portador eléctrico que permita determinar el consumo por equipos de energía eléctrica y sus posibles mejoras en base a la metodología ISO 50001, que permita reducir el consumo de energía eléctrica.

A continuación, se muestran los efectos producidos por las causas anteriormente mencionadas:

Según la investigación de Flores [1] dice que el Instituto Nacional de Estandarización y Normalización INEN ha creado el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables el cual nos ayuda con el soporte técnico a proyectos y estudios en el campo energético. De la investigación realizada podemos concluir que existen tesis referentes al tema de eficiencia energética, las cuales se muestran a continuación:

De acuerdo a García y Vinza [2], mencionan que como objetivo principal es la implementación de un sistema de gestión energético en base a la norma ISO 50001, de la cual surgirá la reducción de consumo de energía eléctrica de la misma forma mejorar la energía térmica, agua y combustible, que no afecte la producción energética, así como en las instalaciones de la empresa.

Realizando un análisis de diagnóstico, se conoce la situación actual en que esta la empresa en referencia de la eficiencia energética que cumple con el 13% de los requisitos establecidos por la norma de Eficiencia Energética y Energía Renovable, por consiguiente, se estableció la planificación energética, la línea de base energética, los indicadores de desempeño energético, objetivos, metas y planes de acción para proponer

a la empresa. Con la información recopilada se diseñó el manual de sistema de gestión de la energía propio para la organización.

Con un análisis final de evaluación se dio a conocer el 71% de implementación realizado en la organización intervenida, la cual nos da como indicativo que cumple con la norma de Eficiencia Energética y Energía Renovable, con lo cual se establecieron las diferentes propuestas de mejoras con criterios técnicos y de calidad para las actividades a realizarse dentro de la empresa, lo cual garantizara la sostenibilidad del sistema de gestión energética.

Según Turcios y Guevara [3] indica que la electricidad es una de las partes fundamentales en los edificios públicos, ya que estas instituciones les competen servir directamente a la sociedad. Por tal motivo que dichas instituciones necesitan ser guías y ejemplos de mejoras continuas en este rubro, es por esta razón que se prevé la conformación y capacitación de comités de Eficiencia Energética en cada una de las instituciones.

Con esto nace la necesidad de estudiar la calidad y eficiencia energética en las instituciones antes mencionada, dicho estudio busca introducir medidas de eficiencia energética en dichos edificios, con la finalidad de reducir barreras técnicas, políticas y de información. La poca información acerca del potencial de eficiencia energética en edificios públicos, es el problema más importante, para poner en marcha las medidas que permitan reducir el consumo energético.

Por consiguiente, se realiza un estudio el cual pretende profundizar la importancia de disminuir el consumo energético, tanto para empresas públicas como para la sociedad en general. Al analizar la calidad y eficiencia energética, se indicarán los puntos concretos y de que maneras se van a reducir costos en pagos de energía.

En la tesis de Furlan [4] menciona que desarrollo un sistema, en base a un método experimental, para la determinación de un procedimiento más eficaz y la correcta aplicación para la toma de muestras de las variables que se utilizan para la evaluación de la eficiencia energética en las cocinas de inducción. Con lo cual se realizó una deducción de los métodos y leyes que intervienen dentro de la transferencia de energía por medio de inducción de campo magnético, hacia un material ferromagnético.

Con lo cual se realizaron mediciones periódicas, dentro de una base metodológica para determinación de factores, que forman parte en la producción de energía térmica, el cual como parte fundamental se realizó un balance energético respecto a una placa metálica, con el cual se calculó las pérdidas por conducción, convección y radiación, producto de la transferencia de calor hacia la placa.

Al mismo tiempo se estableció la cantidad de energía y los factores que intervienen durante la operación en condiciones nominales de la cocina de inducción. Con los ensayos realizados se obtuvo una eficiencia del 84.71% para el primer inductor y un 88.28% para el segundo inductor, con los resultados obtenidos se estableció una metodología para encontrar la eficiencia energética en función de la repetitividad y reproductibilidad del ensayo.

Una de las prioridades del Gobierno de la República del Ecuador, por medio del ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), el aumentar la eficiencia energética con enfoque al sector industrial, la institución acordó implementar, en conjunto con la ONUDI, el “proyecto eficiencia energética para la industria en el Ecuador” (EEI).

El cual busca establecer una cultura de gestión de la energía mediante la adopción de sistemas normalizados, la empresa GM OBB formo parte a través de la implementación de un Sistema de Gestión de Energía (SGE) en la ejecución de procesos, compromisos que se formalizo a través de un convenio firmado con el MEER y OBB del Ecuador a fines del año 2013. Como parte del convenio la empresa cambio la matriz productiva, con la cual decidió dar un paso más adelante para completar la iniciativa de la certificación internacional ISO 50001:2001, que integra los sistemas de gestión exigentes en la ISO90001 e ISO140001.

Al recibir la certificación ISO50001:2001 es el resultado del compromiso GM OBB con el desarrollo del Ecuador, que a través de un gran trabajo en equipo liderado por el área de manufactura, durante casi un año ha obtenido este importante logro que nos permitirá mantener sistemas de gestión de energía altamente eficientes y reafirmar de esta manera el compromiso de convertirnos en una compañía que continúe siendo protagonista del cambio de la matriz productiva a través del desarrollo industrial sostenible del Ecuador

[5]

Con la participación de los subsecretarios del MEER Alfredo Samaniego quien aseguro que el mejoramiento de la eficiencia energética es el punto de mayor importancia para un desarrollo provechoso del Ecuador.

Por otra parte, se reconoció que es muy importante unir a todas las instituciones involucradas en el tema, para que el trabajo no sea muy forzado y se pueda avanzar con rapidez, ya que para algunas autoridades de universidades como el caso del Vicerrector de la Escuela Superior Politécnica Nacional Adrián Peña dice que la eficiencia energética es una meta que requiere orden y planificación.

Por parte del Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN se expuso en la reunión que dentro de sus funciones de trabajo es desarrollar documentos normativos, que mantienen la cooperación internacional y que posee laboratorios de refrigeración y lámparas para cooperar con el tema energético.

También manifestó que existen 6 normas con las que el INEN trabaja en el tema de Eficiencia Energética, las cuales se exponen a continuación:

- ✓ NTE INEN 2495 Eficiencia energética para acondicionamiento de aire de uso doméstico.
- ✓ NTE INEN 2498 Eficiencia en motores eléctricos estacionarios.
- ✓ NTE INEN 2506 Eficiencia energética en edificaciones.
- ✓ NTE INEN 2511 Eficiencia energética en cámaras de refrigeración instalada en vehículos automotores.
- ✓ NTE INEN 2567 Eficiencia energética en cocinas de inducción de uso doméstico.
- ✓ NTE INEN ISO 50001 Sistema de Gestión de la Energía.

El objetivo principal del INER es fomentar la investigación científica y tecnológica, la innovación, difusión del conocimiento, desarrollo y uso de prácticas tecnológicas no contaminadas de bajo impacto, diversificando la matriz energética, así como promocionar una mayor participación de energías renovables sostenibles en la matriz energética del Ecuador. [6]

1.2 Fundamentación teórica

En la actualidad la demanda de energía para procesos productivos es mayor por lo cual es un reto buscar alternativas para el uso adecuado de la energía, llevando con eso una concientización sobre el ahorro energético, de esa forma llegar a una cultura energética que permita ser más eficientes en el área de la energía. Para ello empezaremos por mencionar aspectos los cuales nos dieron los inicios de partida para la presente investigación.

1.2.1 Diagnóstico energético

Las fuentes renovables de energía alcanzan una gran difusión debido a sus ventajas en cuanto al ahorro de combustibles fósiles y a la contaminación del medio ambiente, pero estas fuentes aun no satisfacen las necesidades energéticas de nuestro país, aunque han sido determinas en la solución de muchos problemas energéticos.

Hoy en día, las energías llamadas duras o denominadas convencionales representan nuestras fuentes principales de energía, para el sector residencial como para el productivo.

Por tanto como no podemos prescindir de este tipo de fuentes energéticos que representan costos excesivos a la economía, es de mucha importancia reforzar las medidas de ahorro y el uso racional del consumo energético, para lo cual se presupone la aplicación y control de un programa diseñado para este fin, el cual no se elabora de forma empírica, al contrario parte de métodos o procedimientos técnicos fundamentados, es decir que deben estar sustentados por diagnósticos energéticos que permitirán identificar con precisión en cada lugar que se apliquen la eficiencia y la responsabilidad con que se utiliza la energía.

El diagnostico energético es la aplicación de un conjunto de técnicas que permitan determinar el grado de eficiencia con la que se utiliza la energía. El cual estudia todas las formas y fuentes de energía, haciendo un análisis crítico de una fuente consumidora de energía, el cual tiene como objetivo de establecer el punto de inicio para la implementación y control de un programa de ahorro de energía, de esa forma se determina dónde y cómo se utiliza ésta, además de cuantificar lo que se desperdicia.

Los objetivos principales de el diagnostico energético son establecer metas de ahorro de energía, diseñar y aplicar un sistema integral para el ahorro de energía, evaluar técnica y económicamente las medidas de conservación y ahorro de energía, y disminuir el consumo de energía sin afectar los niveles de producción. [7]

Para determinar la eficiencia energética seguiremos los principios siguientes:

- Medir los distintos flujos eléctricos.
- Registrar las condiciones de operación de equipos, instalaciones y procesos.
- Realizar balances de materia y energía.
- Calcular los índices energéticos.
- Actualizar los diseños.

Cada uno de estos principios determinaran los potenciales de ahorro y darle seguimiento al programa mediante la aplicación de listas de verificación de oportunidades de conservación de ahorro de energía.

Según Flores [1] plantea que la metodología del diagnóstico energético consta de:

1. Plantear los recursos y el tiempo.
2. Recopilar datos en sitio.
3. Tomar mediciones.
4. Analizar los datos.
5. Estimación del potencial de Ahorro Energético.
6. Evaluar el programa de Ahorro de Energía de la Empresa.

1.2.2 Sistema de Gestión Energética.

El sistema de Gestión Energética es vinculado directamente al sistema de gestión de calidad y al sistema de gestión ambiental de una organización.

La política energética de una organización con el cambio climático enfocará la mejora continua en el uso de la energía para el aseguramiento de la continuidad de la energía, la eficiencia energética, el ahorro del consumo y de los costes, el empleo de energía renovable y alternativas limpias.

El Sistema de Gestión Energética (SGE) tiene como ventajas:

Las organizaciones que certifiquen su Sistema de Gestión Energética (SGE) serán valoradas positivamente en la contratación pública como índice el actual plan de ahorro y eficiencia energética.

- ✓ Una reducción de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero.
- ✓ Demuestran el cumplimiento legal de la organización en materia energética.
- ✓ Integran intereses económicos y ambientales.
- ✓ Mejoras competitivas y de imagen.
- ✓ Demuestran a los clientes el compromiso con la gestión energética.
- ✓ Mejora notable en control de costos conservando la energía.

Una vez puesto en evidencia las ventajas de la gestión energética ponemos a consideración los pasos para implantar con éxito un sistema de gestión energética (SGE):

1. Reconocer que la gestión energética esta entre las prioridades más altas de la organización y se reflejan en su política energética.
2. Realizar una inversión energética para determinar el desempeño energético de la organización basado en datos y otro tipo de información, arietada a la identificación de oportunidades de mejora.
3. Establecer la línea de base energética como referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético para un periodo especificado.
4. Identificar y hacer cumplir los requisitos legales y otros requisitos suscritos, relacionados con los aspectos energéticos.

5. Establecer unos objetivos y metas cuantificables exigentes pero alcanzables.
6. Fomentar la planificación energética para mejorar el comportamiento a través del ciclo de vida del producto o servicio y el control de las operaciones, incluidas las políticas de compra y de mantenimiento.
7. Evaluar el desempeño ambiental frente a la política, los objetivos, los indicadores y las prácticas y procedimientos de gestión energética. [8]

1.2.3 Plan Nacional del Buen Vivir – Uso Eficiente de la energía

Uno de los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir es asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnología:

- ✓ Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable
- ✓ Aprovechar el potencial energético basado en fuentes renovables, principalmente de la hidroenergía, en el marco del derecho constitucional al acceso al agua y de la conservación del caudal ecológico.
- ✓ Incentivar el uso eficiente y el ahorro de energía, sin afectar la cobertura y calidad de sus productos y servicios.
- ✓ Generar alternativas, fortalecer la planificación e implementar regulación al uso energético en el transporte, los hogares y las industrias, para modificar los patrones de consumo energético, con criterios de eficiencia y sustentabilidad.
- ✓ Fortalecer la investigación científica en los ámbitos energéticos, de industrias básicas y de generación y uso sustentable de energía renovable, para la industria, los hogares, el transporte y la producción.
- ✓ Fomentar intercambios energéticos regionales para asegurar el abastecimiento interno de productos y servicios energéticos y favorecer la seguridad y la integración energética regional.

El plan Nacional del Buen vivir establece algunos lineamientos con el objetivo de asegurar el cambio en la matriz energética con miras a la eficiencia, optimización y ahorro energético. [9]

Tabla 1 Eficiencia Energética del Plan Nacional de Buen Vivir

Objetivo Plan Nacional del Buen Vivir	Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica
Política Plan Nacional del Buen Vivir	Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable.
Lineamiento Plan Nacional del Buen Vivir	Aprovechar el potencial energético basado en fuentes renovables, principalmente de la hidroenergía, en el marco del derecho constitucional al acceso al agua y de la conservación del caudal ecológico
Indicador Plan Nacional del Buen Vivir	Potencia instalada renovable (en porcentaje) Capacidad instalada para generación eléctrica (potencia nominal del sector en MW).
Política Intersectoriales	Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable.
Política Sectoriales	Garantizar el suministro de energía eléctrica con criterios de eficiencia, sostenibilidad, calidad, continuidad y seguridad.
Objetivo Estratégico	Incrementar la oferta de generación y transmisión eléctrica
Objetivo Plan Nacional del Buen Vivir	Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación

	industrial y tecnológica.
Política Plan Nacional del Buen Vivir	Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable
Lineamiento Plan Nacional del Buen Vivir	Incentivar el uso eficiente y el ahorro de energía, sin afectar la cobertura y calidad de sus productos y servicios
Políticas Intersectoriales	Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable.
Políticas Sectoriales Política 1:	Garantizar el suministro de energía eléctrica con criterios de eficiencia, sostenibilidad, calidad, continuidad y seguridad.
Objetivo Estratégico	Incrementar la calidad del servicio de energía eléctrica

Fuente: [9]

1.2.1 Norma ISO 50001

Esta norma tiene como propósito facilitar a las organizaciones a establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía. La implementación de esta norma está orientada a llevar a la disminución de los emisores de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como los costes de la energía a través de una gestión sistemática de la energía. [6]

La energía es un pilar fundamental para las diversas operaciones de una empresa la cual puede presentarse como un costo de gran impacto, para las mismas.

Se puede tener una idea al considerar el uso de energía a través de la cadena de suministros de una empresa, desde las materias primas hasta el reciclaje.

Considerando los costos económicos de la energía que representa para la empresa, además de imponer costos ambientales y sociales por el agotamiento de los recursos y ayudar a los problemas climáticos.

Tomando en cuenta que el desarrollo y la implementación de nuevas fuentes alternativas de energía pueden llevar mucho tiempo.

Las organizaciones dependen de las políticas de gobierno, economía global y precios de la energía, por lo cual están en la obligación de mejorar la forma de cómo gestionar la energía. La mejora del rendimiento energético puede proporcionar beneficios rápidos, maximizando el uso de sus fuentes de energía y los activos relacionados con la energía.

ISO5001 se basa en un modelo de sistema de gestión que ya está entendido y aplicado por muchas organizaciones a nivel mundial. Marcando una diferencia positiva para las organizaciones de todo tipo en un futuro no muy lejano, al mismo tiempo que contribuye los esfuerzos a largo plazo para mejorar las tecnologías de energía. [10]

Según Flores [1] en su investigación dice que el enfoque de la norma se resumirá por, planificar, hacer, verificar, actuar descritos a continuación:

Planificar. - realizar la revisión y establecer la línea base de energía, indicadores de rendimiento energético, objetivos, metas y planes de acciones necesarias para conseguir resultados acordes a las oportunidades para la mejora continua de la eficiencia energética y la política de la organización.

Hacer. - poner en práctica los planes de acción de la gestión energética.

Verificar. - monitorear y medir los procesos y las características claves de sus operaciones que determinan el rendimiento de la energía con respecto a la política energética y los objetivos e informar los resultados.

Actuar. - tomar acciones para mejorar continuamente la eficiencia energética y el SGE.

1.2.2. Marco Legal

En la Constitución de la República del Ecuador, sección séptima en el capítulo segundo que trata sobre la Biodiversidad y recursos naturales, según el artículo 413 dice:

Art 413.- El estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientales limpias y sanas, así como energías renovables, diversificadas. De bajo impacto que no ponga en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho del agua.

1.3 Fundamentación de la investigación

La industria metal mecánica, está considerada como una de las más básicas e importantes, especialmente en los países industrializados. El nivel de aplicación de un taller metalmecánico, que tenga una industria, está relacionado íntimamente con el exponencial desarrollo de la industria en un determinado lugar.

El correcto planteamiento de la industria metalmecánica, tiene una notable importancia, en cuanto al desenvolvimiento de otras industrias que suministran de ella, como son la construcción de electrodomésticos, automóviles, maquinaria en general, construcciones de edificios y en general de industrias que generen un bien o un servicio.

La utilización de energía eléctrica en el taller metalmecánico CM es fundamental ya que toda la maquinaria depende de esta fuente de energía para realizar procesos tales como recubrimiento, calentamiento eléctrico y secado a más de procesos de iluminación, climatización. Sin embargo, al no contar con un plan de mejora o planes alternativos de optimización de energía, se produce un consumo excesivo de energía, generando no solo gastos para el taller debido al desperdicio de energía, sino también tener operaciones ineficientes.

El presente trabajo investigativo está orientado a realizar un diagnóstico del consumo de energía en el taller metal mecánico MC de la ciudad de Ambato, para obtener información que permita plantear y ejecutar un plan alternativo de optimización de energía

1.4 Justificación y significación

La propuesta planteada resulta ser factible dentro del campo técnico porque al ejecutarse permitirá tener un plan de mejoras para un correcto y apropiado uso de la energía eléctrica reduciendo gastos de energía innecesarios.

El presente trabajo investigativo con la propuesta planteada permitirá optimizar los recursos energéticos (electricidad) en el taller metalmecánico MC, permitiéndole tener una ventaja sobre otros talleres dedicados a esta actividad ya que contará con un plan de mejora energética.

La factibilidad económica del proyecto se basó en el estudio del consumo de energía eléctrica para realizar el plan de mejora de gestión energética, el cual se verá reflejado en la disminución en el pago de planillas de luz.

1.5 Bases teóricas particulares de la investigación

El objeto de estudio de la presente investigación fue: **INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y CONSUMO ENERGÉTICO EN EL TALLER METALMECÁNICO CM DE LA CIUDAD DE AMBATO EN EL AÑO 2017. PROPUESTA DE UN PLAN ALTERNATIVO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA**, en donde se realizó la identificación de los equipos y la recopilación de información para brindar un plan de mejora en la gestión energética del taller metalmecánico para reducir los gastos innecesarios de electricidad.

El campo de acción del trabajo investigativo está dentro de la línea de eficiencia de la energía eléctrica. Al realizar un plan de mejoras en la gestión energética para el portador eléctrico se reducirá no solo el consumo energético innecesario, sino también pagos elevados en las planillas de luz. Adicionalmente se creará una ventaja sobre otros talleres que no poseen un plan de gestión energético

1.5.1 Factor de potencia

El factor de potencia es el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente, lo que se expresa en el siguiente modelo matemático

$$FP = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Donde:

P = Potencia Real

S = Potencia Aparente

Las cargas eléctricas requieren un consumo de energía para producir un trabajo. Si se tiene cargas inductivas el valor del ángulo aumenta disminuyendo el factor potencia

Los mayores problemas al tener un bajo factor de potencia se asocian a:

- ✓ Aumento de la pérdida en los conductores
- ✓ Mayor consumo de corriente eléctrica
- ✓ Sobrecarga de transformadores, generadores, líneas de distribución.
- ✓ Incremento de las caídas de voltaje.

Los problemas del factor potencia también se relacionan con problemas de tipo económico ya que los valores a pagar se incrementan por el consumo

1.5.2 Modos de compensación del factor de potencia

Incrementar el factor potencia genera una serie de ventajas hacia el consumidor de la energía. Estas ventajas son las siguientes, tomando en cuenta que el número 1 es el ideal:

- ✓ Disminución de las pérdidas en los conductores.
- ✓ Reducción de las caídas de tensión.
- ✓ Aumento de la disponibilidad de potencia en el transformador, líneas y generadores.
- ✓ Incremento de la vida útil de las instalaciones.
- ✓ Reducción de los costos por facturación del suministro eléctrico.
- ✓ La correspondiente eliminación o evitar el cargo por bajo factor de potencia.

Las cargas que son de tipo inductivo requieren potencia reactiva para su funcionamiento, esta demanda de reactivos se puede reducir e incluso anular si se aplica una carga capacitiva (capacitores) en paralelo con la carga para compensar la potencia

Los tipos de compensación de potencia son tres:

- ✓ Individual: En este tipo de compensación los capacitores son colocados en cada carga inductiva, los capacitores son puestos a servicio siempre que el motor este trabajando. Como desventaja se tiene que el costo de cada capacitor por separado es mucho mayor que un capacitor grupal o centralizado.
- ✓ Grupal: Se utiliza cuando se tiene grupos de cargas inductivas de igual potencia y que trabajan simultáneamente, la compensación se hace por medio de un banco de capacitores en común. Como desventaja se tiene que la sobrecarga no se reduce en las líneas de alimentación principales.
- ✓ Central: Esta es la solución más general para corregir el factor de potencia se instala en la acometida de la instalación. Como desventaja se requiere un controlador automático en el banco de capacitores para compensar según sean las necesidades.

1.5.3 Calidad del suministro de energía

Los problemas de la NO CALIDAD son un factor más dentro del costo de la energía eléctrica y como tal deben ser considerados dentro del concepto del uso racional de la energía”. Para este autor “los problemas de no calidad” afecta al costo de la energía por tal razón se deberá dar importancia al uso racional y eficiente de la energía. [11]

La Regulación de Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución del Ecuador (Regulación No. CONELEC-004/01), establece patrones en tres aspectos tales como:

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

La primera, Calidad del Producto, establece pautas para los parámetros eléctricos para poder entregar energía de buena calidad. La Calidad de Servicio Técnico en cambio, regula las interrupciones de servicio eléctrico estableciendo límites para su frecuencia y

duración. La calidad de Servicio Comercial a diferencia de las anteriores reglamenta las solicitudes y reclamos de medición y facturación.

El detalle de los incumplimientos y las penalizaciones correspondientes se incorporarán a los respectivos contratos de concesión. El estudio presente tomará a consideración solo la parte de “Calidad del Producto” de esta regulación, debido a que la Industria de lácteos no cuenta con dicho estudio, y para ello tomar como referencia cada una de las presentes mediciones para observar las características de Calidad del Suministro Eléctrico de la Industria. Según la regulación No. CONELEC-004/01, la Calidad del Producto comprende los siguientes aspectos (CONELEC, 2011, págs. 4-11):

- ✓ Nivel de voltaje.
- ✓ Perturbaciones de voltaje.
- ✓ Factor de potencia

La definición de la calidad de la energía es muy amplia, pero se puede definir como “la ausencia de interrupciones, sobre voltajes, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje suministrado al usuario. Además le concierne la estabilidad de voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Actualmente la calidad de la energía es el resultado de una atención continua

Tabla 2: Parámetros eléctricos según la regulación CONELEC 004/01

ÍTEM	PARÁMETRO	NORMA O REFERENCIA												
1	<p>VOLTAJE DE ESTADO ESTACIONARIO: Variaciones máximas permitidas en baja voltaje: Las variaciones de voltaje permitidas en condiciones normales de operación para redes de baja voltaje (menores a 1 kV) deben estar entre el 90% y el 110% del voltaje nominal, en periodos superiores a 1 minuto.</p>	<p>REGULACIÓN CONELEC 004/01 Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan a continuación:</p> <table border="1" data-bbox="879 1529 1386 2024"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Sub etapa 1</th> <th style="text-align: center;">Sub etapa 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto Voltaje</td> <td style="text-align: center;">± 7,0 %</td> <td style="text-align: center;">± 5,0 %</td> </tr> <tr> <td>Medio Voltaje</td> <td style="text-align: center;">± 10,0 %</td> <td style="text-align: center;">± 8,0 %</td> </tr> <tr> <td>Bajo Voltaje Urbanas</td> <td style="text-align: center;">± 10,0 %</td> <td style="text-align: center;">± 8,0 %</td> </tr> </tbody> </table>		Sub etapa 1	Sub etapa 2	Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %	Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %	Bajo Voltaje Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %
	Sub etapa 1	Sub etapa 2												
Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %												
Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %												
Bajo Voltaje Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %												

		<table border="1"> <tr> <td>Bajo Voltaje Rurales</td> <td>$\pm 13,0 \%$</td> <td>$\pm 10 \%$</td> </tr> </table>	Bajo Voltaje Rurales	$\pm 13,0 \%$	$\pm 10 \%$
Bajo Voltaje Rurales	$\pm 13,0 \%$	$\pm 10 \%$			
		Prevalece actualmente la sub-etapa 2			
2	<p>ARMÓNICOS</p> <p>Contenido de Armónicos de las Ondas de Voltaje y Corriente (Límites de Distorsión Armónica) depende del voltaje en el que se esté trabajando</p>	<p>REGULACIÓN CONELEC 004/01</p> <p>Para efectos de regulación de calidad del servicio eléctrico.</p> <p>ANSI/IEEE std 519 - 1992</p> <p>“Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”</p>			
3	<p>FRECUENCIA</p> <p>Variaciones máximas permitidas en frecuencia: La frecuencia nominal del SIN es 60 Hz y su rango de variación de operación está entre 59.8 y 60.2 Hz en condiciones normales de operación.</p>	<p>REGULACIÓN CONELEC 004/01</p> <p>Para efectos de regulación de calidad Del servicio eléctrico.</p>			
5	<p>FACTOR DE POTENCIA:</p> <p>El factor de potencia inductivo de las instalaciones deberá ser igual o superior a 0.90.”</p>	<p>REGULACIÓN CONELEC 004/01</p> <p>Para efectos de regulación de calidad Del servicio eléctrico. Establece el límite en 0,92.</p>			

Fuente: [12]

1.5.4 Normas de calidad de energía eléctrica

Las normas que se encargan de regir la calidad de la energía eléctrica son:

- ✓ Las normas EN-50160: es la norma básica de calidad de energía eléctrica en la unión europea. En ella se describen las características principales que debe tener la tensión suministrada por una red de distribución en baja y media tensión.
- ✓ El estándar IEC 61000-4-30: define los métodos de medida de los parámetros de la calidad de suministro y el modo de interpretar los resultados. En la norma se indican los métodos de medida sin fijar los límites.

- ✓ El IEEE Estándar 1159-1995: define siete categorías distintas de fenómenos electromagnéticos en las redes eléctricas: transitorios, variaciones de corta duración, variaciones de larga duración, desequilibrio de la tensión, distorsión de la forma de onda, fluctuaciones de tensión y variaciones de la frecuencia.

1.5.5 Análisis de niveles de voltaje

Se determina a la calidad de voltaje como las variaciones de los valores eficaces (rms), medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles. No cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición cuando el 5% o más de los registros durante del período de medición de 7 días continuos, no se encuentren dentro de los límites de voltaje admitidos con respecto al valor del voltaje nominal como se señala [12]:

$$\Delta V_K(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100 \quad (2)$$

Donde:

ΔV_K = variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

V_k = voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n = voltaje nominal en el punto de medición.

Los niveles de voltaje dependen de la zona en donde se ha realizado la medición: zona urbana o zona rural, la Subetapa 1 comprende medio voltaje (distribución), la Subetapa 2 al nivel de consumidor. Por consiguiente la metalmecánica taller CM corresponde a la categoría Bajo voltaje, zona urbana y Subetapa 2, como se resalta en la tabla

Tabla 3: Límites de Variaciones de voltaje

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0%	± 5,0%
Medio Voltaje	± 10,0%	± 8,0%
Bajo Voltaje. Urbanas	± 10,0%	± 8,0%
Bajo Voltaje. Rurales	± 13,0%	± 10,0%

Fuente: [12]

1.5.5.1 Desequilibrio de voltaje

Es definido como la razón entre la componente de secuencia negativa y la componente de secuencia positiva. La tensión de secuencia negativa en los sistemas de potencia es el resultado del desequilibrio de carga lo cual causa un flujo de corriente de secuencia negativa.

Un desequilibrio de voltaje puede ser estimado como el máximo desvío de la media de las tensiones de las tres fases dividida por la media de los voltajes, expresada en forma de porcentaje. La principal fuente de desequilibrio de tensión es la conexión de cargas monofásicas en circuitos trifásicos; anomalías en bancos de capacitores [14].

1.5.5.1.1 Desbalances de carga

Es la pérdida de la simetría en las señales de voltaje de fases en un sistema trifásico, puede ser una variación de amplitud de una o más fases o en los ángulos de desfase de las señales diferentes a 120°

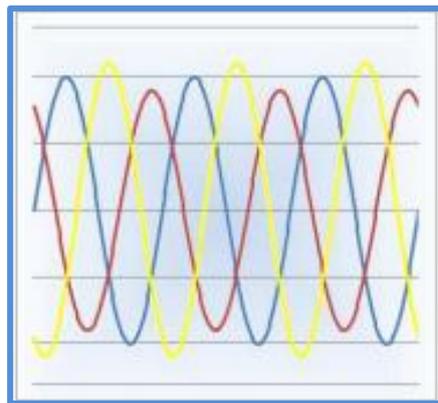


Figura 1.2: Asimetría de voltajes

Fuente: [14]

Los sistemas eléctricos industriales son propensos a sufrir desbalance de voltaje, esto significa que los valores de voltajes se diferencian entre sí.

Las razones para que esto ocurra pueden ser:

✓ **Razones Externas:**

Que la Compañía Eléctrica entregue un voltaje desbalanceado. Esto requiere un reclamo ante la empresa suministradora para que corrija la situación

✓ **Razones Internas:**

Crecimiento desordenado de la instalación eléctrica, al incluirse cargas Monofásicas sin control, como: Cargas especiales, motores, aires acondicionados, otros.

- ✓ Falsos contactos en Breakers, Fusibles, Contactores. De manera que se produzcan caídas de voltaje en alguna de las líneas [15].

Fórmula:

$$\text{Desbalance entre fases} = \frac{\text{Carga Fase Mayor} - \text{Carga Fase menor}}{\text{Carga Fase Mayor}} \quad (3)$$

El desbalance permitido no debe exceder al 5%, lo que quiere decir que las cargas totales conectadas a cada Fase de un sistema bifásico o trifásico no deben ser diferentes una de la otra en un porcentaje mayor al 5%

1.5.5.1.2 Consecuencias del desbalance de voltaje

- ✓ Los motores de inducción que se alimentan con voltajes desequilibrados producen grandes corrientes desequilibradas que aumentan la temperatura de la maquina fundamental desde el rotor.
- ✓ Las protecciones de secuencia negativa y secuencia cero de los grandes generadores y los motores pueden operar.
- ✓ Aumenta la contaminación armónica de los convertidores polifásicos de potencia.
- ✓ Son tolerables con un corto periodo de tiempo de pocos segundos a un minuto, pero no más [16].

1.5.6 Armónicos

Mientras que la mayoría de los cortes de suministro o de las bajas de voltaje se originan en el sistema de transmisión y distribución y son responsabilidad de la empresa suministradora, los problemas provocados por los armónicos son casi siempre procedentes de la instalación receptora y son responsabilidad del usuario.

La distorsión de la forma de onda senoidal del voltaje o la corriente puede suceder como resultado de dos condiciones:

- ✓ Saturación magnética en los núcleos de los transformadores.
- ✓ Presencia de cargas no lineales [16].

Las cargas no lineales tales como: rectificadores, variadores de velocidad, hornos e inversores, etc., absorben de la red corrientes periódicas no sinusoidales. Estas corrientes están formadas por una componente fundamental de 50 o 60 Hz, más una

serie de corrientes superpuestas, de frecuencias múltiples de la fundamental, que denominamos armónicos. El resultado es una deformación de la corriente y de voltaje que conlleva una serie de efectos secundarios asociados [17].

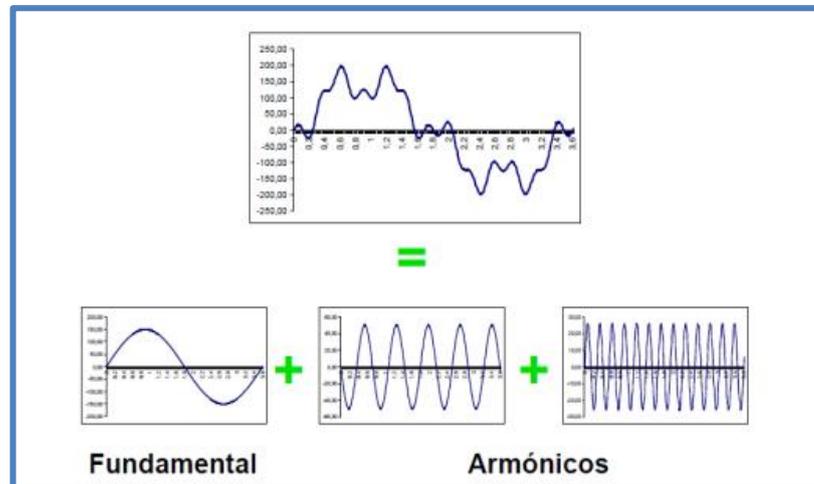


Figura 1.3: Descomposición armónica

Fuente: [17]

Para la interpretación de los análisis y las medidas realizadas en instalaciones con armónicos se definen una serie de parámetros.

- ✓ **Amplitud:** hace referencia al valor de la voltaje o intensidad del armónico
- ✓ **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 $5 \times 60 \text{ Hz} = 300 \text{ Hz}$

1.5.6.1 Límites de armónicos normativas Internacionales y Nacionales

Una de las formas de reducción de los armónicos es limitar las emisiones de las contaminaciones. Estas no son iguales para los países y no se miden ni siquiera los mismos parámetros. Las normas establecen límites de:

- ✓ Distorsión individual de voltaje IHDV
- ✓ Distorsión individual de corriente IHDI
- ✓ Distorsión total de voltaje THDV
- ✓ Distorsión total de corriente THDI

1.5.6.1.2 Objetivos de las normas

- ✓ Controlar los niveles de distorsión de voltaje y corriente a niveles que los equipos conectados al sistema puedan soportar.

- ✓ Garantizar que los clientes tengan una forma de onda adecuada a sus necesidades.
- ✓ Limitar el nivel de distorsión que un cliente puede introducir a la red. [16]

1.5.6.2 Armónicos de Voltaje:

Las armónicas de voltaje se producen principalmente, entre la relación de corriente armónica absorbida por las cargas no lineales y la impedancia de las fuentes del transformador de alimentación, esto está regido por la ley de OHM. La propia red de alimentación puede ser una fuente indirecta de armónicas de voltaje. Todas las cargas que comparten un transformador o un ramal, con fuerte carga armónica podrían resultar afectadas por las armónicas de voltaje producidas.

1.5.6.2.1 Armónicos (REGULACIÓN No. CONELEC 004/01)

Límite de Armónicos de voltaje

En la Regulación CONELEC – 004/01 al hablar de armónicos de voltaje dice que “Los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (V_i) y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i y THD) señalados a continuación. Para efectos de esta regulación se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive.” [12]

Tabla 4: Límites de armónicos de voltaje

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i $ o THD (%) (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6 \cdot 25/n$	$0.2 + 1.3 \cdot 25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

Fuente: [12]

1.5.6.2.2 Armónicos 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.

Las corrientes absorbidas por las cargas no lineales contienen una buena cantidad de armónicos. Los armónicos presentes son una función del sistema de distribución y la configuración de la carga no lineal. [18]

Estándar IEEE 519 -1992

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).

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

Relación de Corriente de Cortocircuito a la Corriente de Carga $\frac{I_{sc}}{I_{L1}}$

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.

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

Límites

Los valores límites de contenido armónico, de TDD y más procedimientos para aplicación de límites, se regirán a lo indicado en la guía IEEE 519 Control armónico. Una tabla con los límites señalados en esa guía se indica a continuación (IEEE_519_1992, 1992, pág. 76):

Tabla 5: Límites de Distorsión de Corriente

Límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Distribución en General (desde 120 V hasta 69.000 V)						
Máxima Distorsión de Corriente Armónica en Porcentaje de I_L						
Orden Armónico Individual (Armónicos Impares)						
$\frac{I_{sc}}{I_L}$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.5	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	0.7	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Donde:
 I_{sc} = máxima corriente de cortocircuito en el PCC
 I_L = máxima corriente de carga demandada (componente de frecuencia fundamental)

Fuente: [19]

El valor del ITHD se calcula de la manera siguiente:

$$ITHD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{30} I_h^2}}{I_{h=1}} \quad (4)$$

1.5.6 Filtros:

1.5.6.1 Filtro Pasivo Sintonizado

Estos filtros son pasivos y se conectan en paralelo al sistema de distribución general o a cargas individuales con la finalidad de reducir el nivel de armónicos producido por las cargas no lineales, además de estos proporciona potencia reactiva fundamental para compensar el factor de potencia. Cuando los filtros se instalan en el bus principal de distribución, su potencia total está conformada por grupos o pasos y son accionados por

contactores de acuerdo al requerimiento de potencia reactiva del sistema ante una condición dada. [20]

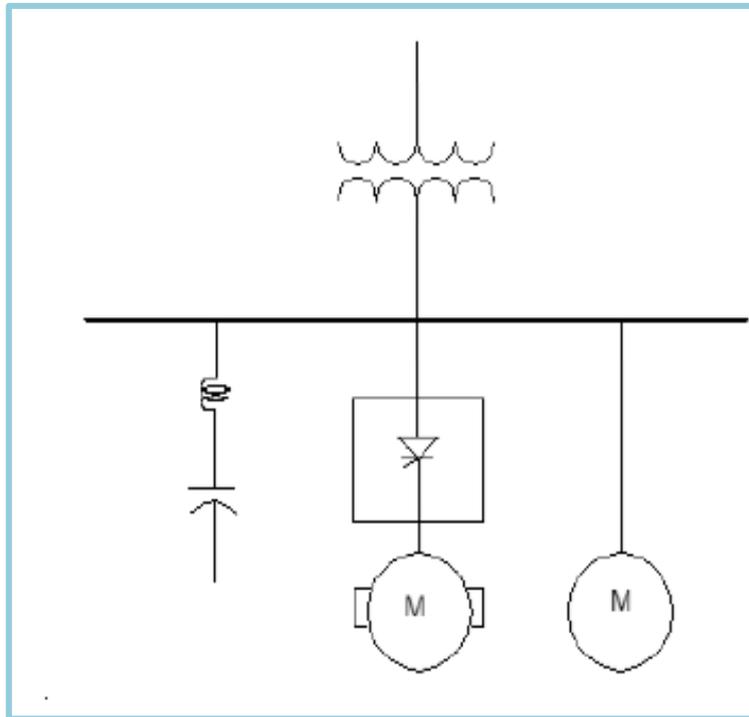


Figura 1.4: Conexión del filtro desintonizado en paralelo al bus de distribución del sistema.

Fuente: [20]

Se denomina frecuencia de sintonía o frecuencia de resonancia serie 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 distorsionante del sistema.

Este filtro es el más usado comúnmente en las aplicaciones industriales, el cual, representa muy baja impedancia al cambio de frecuencia. En este filtro se debe tomar en cuenta el crecimiento de las fuentes de corriente armónicas, porque si no, puede ser expuesto a sobrecargas, lo cual fácilmente puede producir un sobrecalentamiento externo e interno y causar un daño térmico. Para diseñar un filtro pasivo sintonizado se

requiere un conocimiento preciso de la carga de producción armónica y del sistema de potencia. Los filtros pasivos siempre proveen compensación reactiva determinada por la capacidad y el voltaje usado en el banco de capacitores. En hecho pueden ser diseñados para el doble objetivo de provisión de acción filtradora y compensación del factor de potencia al nivel deseado.

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 usado como un punto para evitar sobrecalentamiento del filtro. Todas las corrientes armónicas cuya frecuencia coincide con la del filtro encontrarán un camino de baja impedancia a través del filtro. Aquí muestra una curva característica de este tipo de filtro. (Mora & Cevallos, 2014, pág. 55)

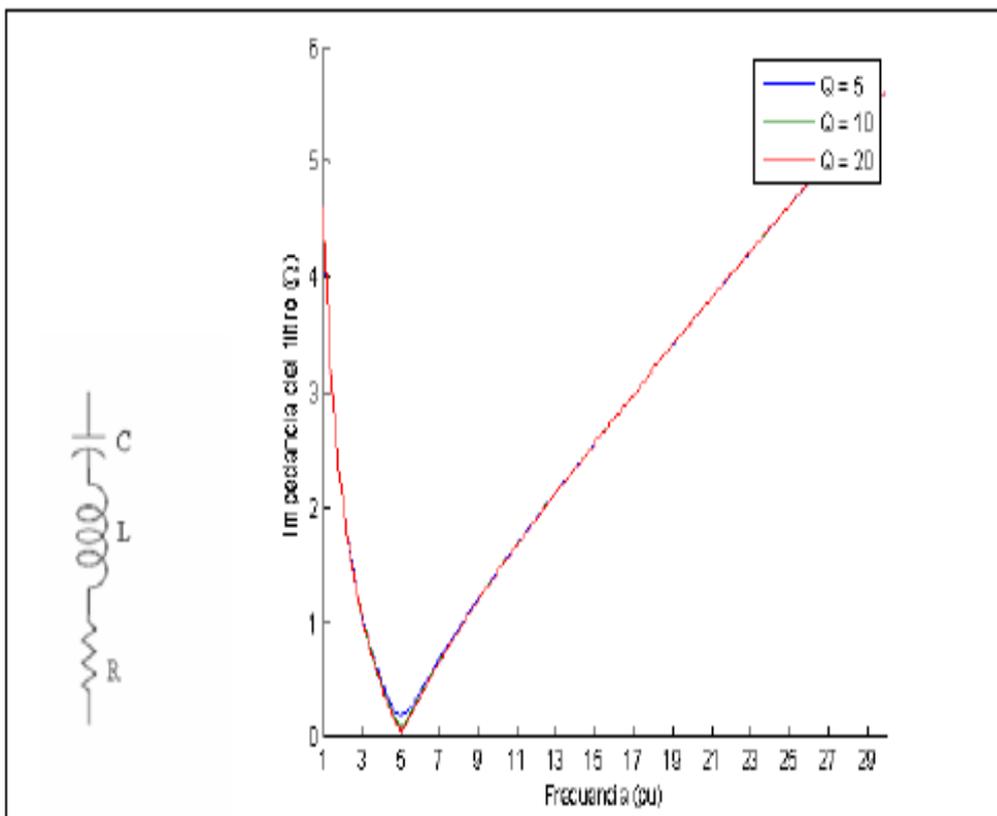


Figura 1.5: Filtro Sintonizado

Fuente: [18]

Tabla 6: Ventajas del Filtro Pasivo Sintonizado

Ventajas del Filtro Pasivo Sintonizado.
✓ Mejora el factor de potencia en el circuito secundario de baja 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
✓ Reducción de corriente de neutro causada por tercer armónico.
✓ Mejora de la regulación de voltaje en ✓ las redes 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.

Fuente: [18]

1.5.6.2 Cálculo de Filtros Armónicos

Lo que se pretende establecer en este punto, es poder determinar mediante cálculos sugeridos a lo largo de este estudio los filtros de distorsión armónicas que se debe colocar a la entrada del horno de inducción además, de poder determinar el tipo de filtro armónico a utilizar. En la actualidad es imprescindible el uso de estos equipos ya que ayudan a mantener un sistema eléctrico más estable y con equipos con una mayor vida útil, ya que los armónicos en la actualidad son el enemigo silencioso de los sistemas eléctricos. [18]

Es por ello que éste estudio va dedicado especialmente a mejorar la calidad de energía de la metalmecánica CM, a lo largo del desarrollo de esta se ha podido determinar que los filtros a instalarse serán filtros sintonizados pasivos ya que son los que se ajustan y requieren en el sistema eléctrico en mención, es lo que se ha podido determinar a lo largo de este estudio.

➤ **Se realiza el siguiente Cálculo**

Hay que calcular la potencia reactiva que se necesita para compensar el sistema de donde:

$$Q_{\text{eff}} = (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) * P \quad (5)$$

θ_1 = Ángulo del Factor de potencia actual

θ_2 = Ángulo del Factor de potencia deseado

Se calcula la reactancia efectiva del filtro

$$X_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{li}}^2}{Q_{\text{eff}}} \quad (6)$$

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-1531-2003** 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

$$X_c = \frac{(h*0,6)^2}{(h*0,6)^2 - 1} * X_{\text{eff}} \quad (7)$$

Donde:

$$h = \frac{f_{\text{fundamental}}}{f_{\text{armónico}}} \quad (8)$$

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

$$C = \frac{1}{2\pi F X_c} \quad (9)$$

Reactor.

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

$$Z = R + \left[\omega L - \frac{1}{\omega C} \right] \quad (10)$$

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

$$XL = \frac{X_c}{h^2} \quad (11)$$

Para el cálculo del inductor, expresado en henrios:

$$L = \frac{XL}{2\pi F} \quad (12)$$

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 de implica un valle a la frecuencia resonante de un filtro y por lo tanto captura el amontonamiento de frecuencia armónica. Factor de calidad debe considerarse entre 20 a 30

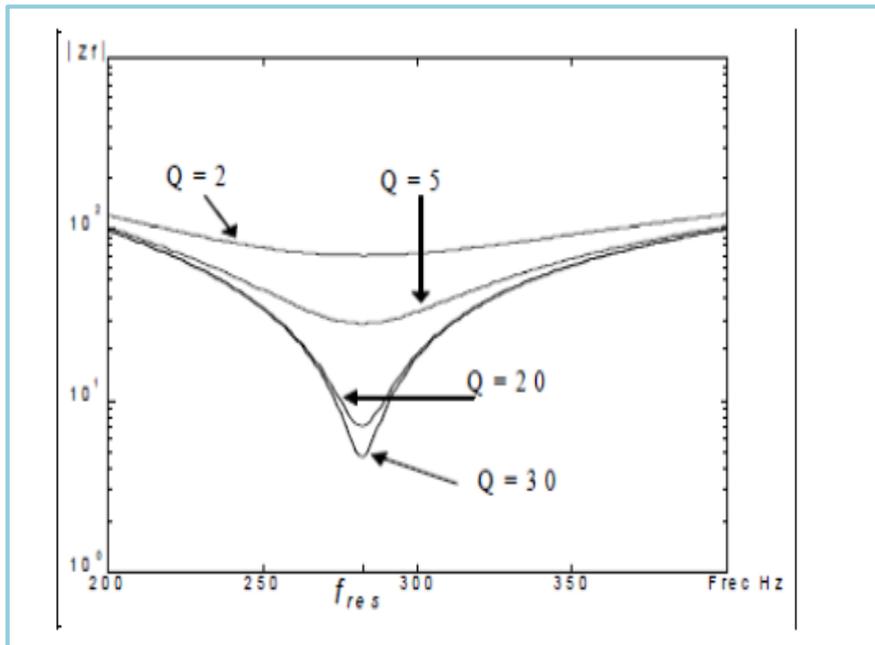


Figura 1.6: Respuesta del filtro sintonizado ante diferentes factores de calidad

Fuente: [18]

Resistencia de un filtro

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

$$R = \frac{X_L * h * 0,6}{Q_f} \quad (13)$$

Donde:

H= es el orden armónico a que se encuentra.

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

Q_f = Factor de calidad

Potencia reactiva del filtro (frecuencia fundamental):

$$k_{\text{var filtro}} = \frac{V_i^2 (1-1)}{X_c - X_L} \quad (14)$$

1.5.7.3 Comprobación del diseño del Filtro que establece la Norma IEEE-18 2002

1.- Sintonización a la frecuencia:

Para que el filtro se sintonice a la frecuencia requerida se debe cumplir la siguiente condición.

$$X_c = X_L \quad (15)$$

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

$$I_{fund} = \frac{V_{LLsist}}{\sqrt{3} X_c - X_L} \quad (16)$$

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

$$I_h = \% c \quad (17)$$

Donde

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 no lineal, proporcionado como dato de sistema.

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

$$I_{total\ rms} = \sqrt{I_h^2 + \dots + I_n^2} \quad (18)$$

Donde:

h = armónica inyectada por la carga no lineal

n = Numero armónicas inyectadas por la carga no lineal

$$\% \text{ Margen de Corriente} = \frac{I_{total\ rms}}{I_{fund}} * 100 \leq 135\% I_{fund} \quad (19)$$

Voltajes de Diseño del Capacitor.

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

$$V_c = I_{fund} * X_c \quad (20)$$

$$V_c(h) = \sum_h^n (v(h)) = \sum_h^n (I(h) * X_c) \quad (21)$$

$$V_{cL-N \text{ total pico}} = \sqrt{2}(V_c + V_{c(h)}) \quad (22)$$

$$V_{L-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * V_{L-N \text{ SISTEMA}} \quad (23)$$

$$V_{L-N \text{ SISTEMA}} = \frac{V_{II \text{ sist}}}{\sqrt{3}} \quad (24)$$

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

$$\frac{V_{cL-N \text{ total pico}}}{V_{cL-N \text{ pico sist}}} * 100 \leq 120\% \quad (25)$$

1.5.6.3.1 Norma IEEE – 1531 -2003

Según (IEEE, 2033) La instalación de un filtro de armónicos de derivación pasiva cerca de cargas que producen armónicos 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.

Principales consideraciones de diseño

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.

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})

$$h = \frac{f_n}{f_{60}}$$

Tomando en consideración que para bajo voltaje se recomienda aplicar un 6% menor de la frecuencia de sintonía para que el filtro no entre en resonancia. [18]

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 Modalidad de la Investigación

En el presente trabajo se aplicaron diferentes modalidades de investigación, las cuales son:

- ✓ **Investigación de campo:** Permite llevar a cabo un estudio sistemático de la variable en cuestión ya que el investigador obtiene información directamente del lugar de estudio.
- ✓ **Investigación bibliográfica:** Constituye la investigación del problema determinado con el propósito de ampliar, profundizar y analizar su conocimiento, producido éste por la utilización de fuentes primarias en el caso de documentos y secundarias en el caso de libros, revistas, periódicos y otras publicaciones
- ✓ **Investigación experimental:** Es el estudio en que se manipulan ciertas variables independientes para observar los efectos en las respectivas variables dependientes. El propósito es precisar la relación causa efecto.

2.2 Niveles o tipo de investigación

- ✓ **Exploratorio:** El investigador se pone en contacto directo con la realidad actual, permitiéndole obtener información veraz.
- ✓ **Correlacional:** Permite tener una relación entre variables para obtener datos tabulables a través de un programa estadístico

2.3 Métodos de investigación

Método inductivo: Se usó este método porque se partió de lo más general para desarrollar esta tesis teórico y general y va a explicarlas en una realidad concreta

- ✓ **Método de observación:** permitió observar el uso de las maquinas del taller mecánico
- ✓ **Método deductivo:** Si parte de situaciones generales explicadas por un marco

- ✓ **Método analítico:** se lo uso para llevar a cabo un análisis estadístico del problema, con el cual se abrió un camino amplio para llegar al problema

2.4 Técnicas e Instrumentación de Medición

Para el proceso de la investigación científica, la técnica es una herramienta de fundamental importancia, ya que de ella dependerá la organización de la investigación. Una técnica investigativa puede tener los siguientes objetivos:

- ✓ Aportar instrumentos para manejar la información.
- ✓ Ordenar las etapas de la investigación.
- ✓ Llevar un control de los datos.
- ✓ Orientar la obtención de conocimientos.

El presente trabajo de investigación utilizo las siguientes técnicas:

- ✓ **Observación:** Para levantar información referente al uso de los equipos en el taller metalmecánico MC.
- ✓ **Medición:** Se siguió un protocolo para medir parámetros de potencia útiles en esta investigación.
- ✓ **Modelación y simulación:** Permitió realizar una simulación de cargas.

Para desarrollar la interpretación de resultados se usó la estadística descriptiva con los cuales se presentan los resultados adquiridos.

2.5 Operacionalización de las variables

Variable Independiente:

Instalaciones Eléctricas

Tabla 7. Variable Independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnica e Instrumentos
Se define como el estudio de las condiciones actuales de todo el sistema eléctrico partiendo de la distribución de la energía eléctrica, en el tablero general hasta llegar a los diferentes tipos de cargas presentes en el taller	Gestión energética	Índice de consumo	kW/Unidad producidas	Ecuaciones y Cálculos determinados por la regulación CONELEC 004/01
	Portadores energéticos	Consumo de electricidad en los equipos	kW	Mediciones en Fluke 435 ii (analizador de calidad de energía)
	Modelación energética en el taller	Flujos de carga	Flujos de carga y de armónicos	Modelación y simulación en Software Easy Power 8.0

Elaborado por: Carlos Chiluisa

Variable Dependiente:

Alto consumo de energía eléctrica

Tabla 8. Variable Dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas e Instrumentos
Cuando existen problemas de calidad de energía eléctrica causan problemas en los equipos y generan costos innecesarios y pago de planillas eléctricas excesivas.	Consumo de energía eléctrica en taller metalmecánico	Kilovatio-hora	KW/h	Cálculos y Ecuaciones
	Análisis del sistema eléctrico general de la planta	Caídas de Voltaje [ΔV] Cargabilidad de los conductores	Voltaje (V)	Simulación
	Prefactibilidad	costo	US\$	Cálculos. TIR Y VAN

Elaborado por: Carlos Chiluisa

La variable independiente es el plan de mejora para la gestión de consumo de energía eléctrica. En esta fase se usó el analizador de calidad de energía marca Fluke 435 ii, y el software utilizado para la modelación de los equipos es EASYPOWER 8.0. Con el cual podemos simular flujos de carga y corrida de armónicos.

Para nuestra variable dependiente que es el consumo de energía eléctrica se tiene el consumo energético expresado en KW/h y el costo que implica la implementación del plan de mejoras.

Las herramientas usadas para determinar el estado actual de gestión de energía son:

- ✓ Diagrama de Pareto
- ✓ Graficas de Control de Consumo Eléctrico.
- ✓ Graficas de Consumo y Producción.
- ✓ Correlación consumo eléctrico vs Producción.
- ✓ Índices de Consumo.
- ✓ Gráficos de Tendencias.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el capítulo que se presenta se realizó toda la recopilación de la información técnica en la empresa metalmecánica CM, utilizando la metodología anteriormente descrita. Lo cual estos datos se observó la necesidad de implantar un plan de mejoras en la gestión dentro de la empresa.

3.1 Empresa metalmecánica CM.

3.1.1. La empresa.

El taller de Metalmecánica CM en una empresa que hace aproximadamente 30 años que se dedica a la construcción de maquinaria agrícola, como silos, molinos, jaulas y también brinda el mantenimiento mecánico de maquinaria agroindustrial.

Ubicado en la ciudad de Ambato, en la avenida Julio Castillo parroquia Izamba, es un taller de tipo artesanal, la cual cuenta con equipos dedicados a la construcción metalmecánica como torno, compresores, taladros, soldadoras, los cuales generan consumo de energía eléctrica.

3.1.2. Sector al que pertenece

Mediante Recalificación Artesanal N 96878 otorgada por la Junta Nacional de Defensa del Artesano, se evidencia que MC metalmecánica en el inciso final Art. 2, Art 16, 17, 18, y 19 de la Ley de Defensa del Artesano, en concordancia con el Art. 302 del Código de trabajo, Art. 367 de la Ley Orgánica de Régimen Municipal:

Art 19 y 56, numeral 19 de la Ley de Régimen Tributario Interno y Art. 171 de su Reglamento.

3.1.3. Representante Legal

Datos personales del propietario

Nombre completo: Enrique Mauricio Cunalata Morán

RUC: 1803400025001

Dirección: Julio Castillo e Indoamérica, Izamba

3.1.3.1. Logotipo y slogan

El logotipo de MC metalmecánica es:



Figura 3.7: Logotipo MCM

El lema con la que sintetiza a metalmecánica es:

“Ingeniería en construcción y mantenimiento de maquinaria agroindustrial.”

3.1.3.1. Objeto social

La empresa tiene por objetivo la elaboración de silos, molinos, jaulas y también brindar el mantenimiento mecánico de maquinaria agroindustrial.

3.1.4. Estructura organizacional

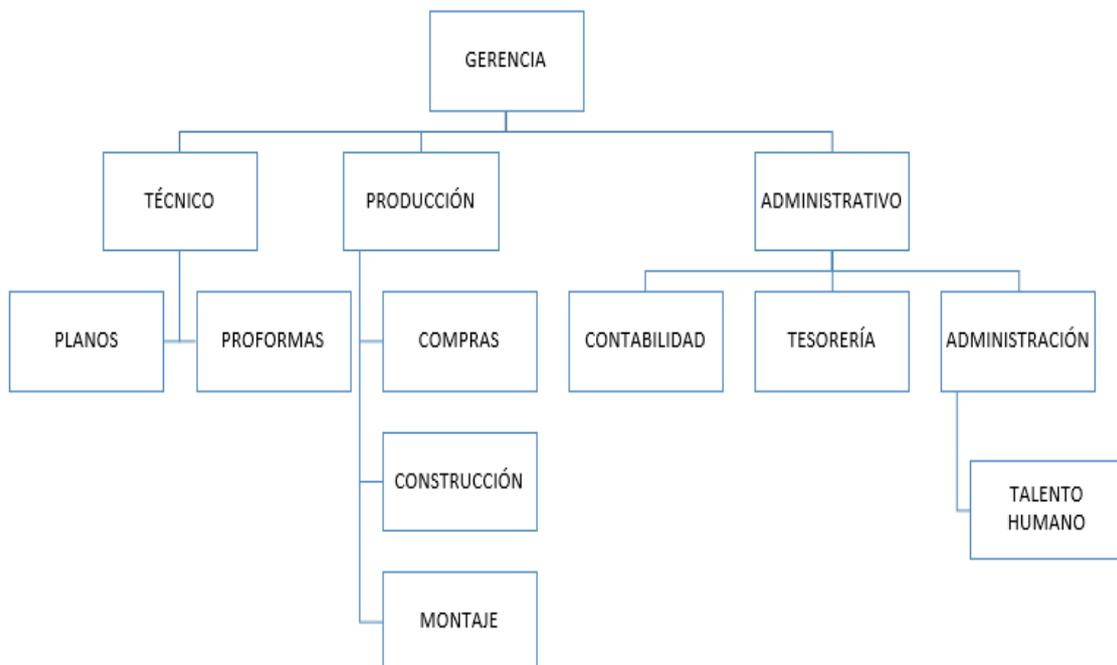


Figura 3.8: Estructura Organizacional

3.1.5. Misión

Ser la empresa metalmecánica líder en la construcción de maquinaria agroindustrial y mantenimiento mecánico a nivel nacional, brindando soluciones integrales que aportan tecnología, y de mayor valor agregado a nuestro servicio.

3.1.6. Visión

La visión de la empresa es realizar productos de calidad que garanticen la satisfacción del cliente, aprovechando eficientemente los recursos

3.1.7. Valores

Los valores que la caracterizan son:

- Honestidad
- Puntualidad
- Respeto
- Servicial
- Ético

3.1.8. Política

En Metalmecánica CM se realiza un trabajo de calidad con maquinaria acorde a la necesidad del cliente, garantizando la satisfacción de nuestro cliente, con los más altos estándares de calidad, cumpliendo con normas de seguridad industrial, protección medioambiental, seguridad y salud ocupacional, mejorando continuamente los procesos y capacitando al personal.

3.1.9. Proceso de fabricación de la metalmecánica MC

Proceso de fabricación un elemento mecánico, como silos, jaulas entre otros tienen el mismo principio:

- 1.- Realizar las mediciones del lugar a instalar y el tipo de maquinaria a construir.

- 2.- Realizar el diseño de la maquinaria a construir, en el cual se realiza el cálculo matemático, estructural y la comprobación en programas CAD.
- 3.- Realizar la planilla y la proforma de la maquinaria a construir.
- 4.- Realizar el contrato para la ejecución de la obra.
- 5.- Realizar la construcción de la maquinaria, posteriormente trasladar la maquinaria al lugar de instalación.
- 6.- Realizar la instalación de la maquinaria en el lugar acordado con el cliente.
- 7.- Verificar que la maquinaria este trabajando acorde a las especificaciones técnicas previamente calculadas.

3.1.10. Descripción del sistema eléctrico de la Industria

El taller Metalmecánico CM se conecta a un transformador trifásico de capacidad de 50 kVA de la Empresa Eléctrica Ambato, que convierte de 13.8 kV a 220V trifásico para suministrar la energía eléctrica a las máquinas para el proceso de construcción de los elementos antes mencionados, la cual posteriormente será trasladada y montada en el lugar en que sea contratado los servicios de Metalmecánica CM.

El transformador es utilizado exclusivamente para la alimentación de la maquinaria considerada como carga utilizada para los procesos de la industria. La alimentación consta con tres conductores por fase, de calibre 1/0

Tabla 9. Características del Transformador

Potencia nominal kVA	50 kVA
Voltaje en medio voltaje	13800 V
Voltaje en bajo voltaje	121 / 210
Tipo de Conexión	DY5
Demanda (kW)	27.96
Impedancia (%)	2.8

A continuación se indica el diagrama unifilar de la industria:

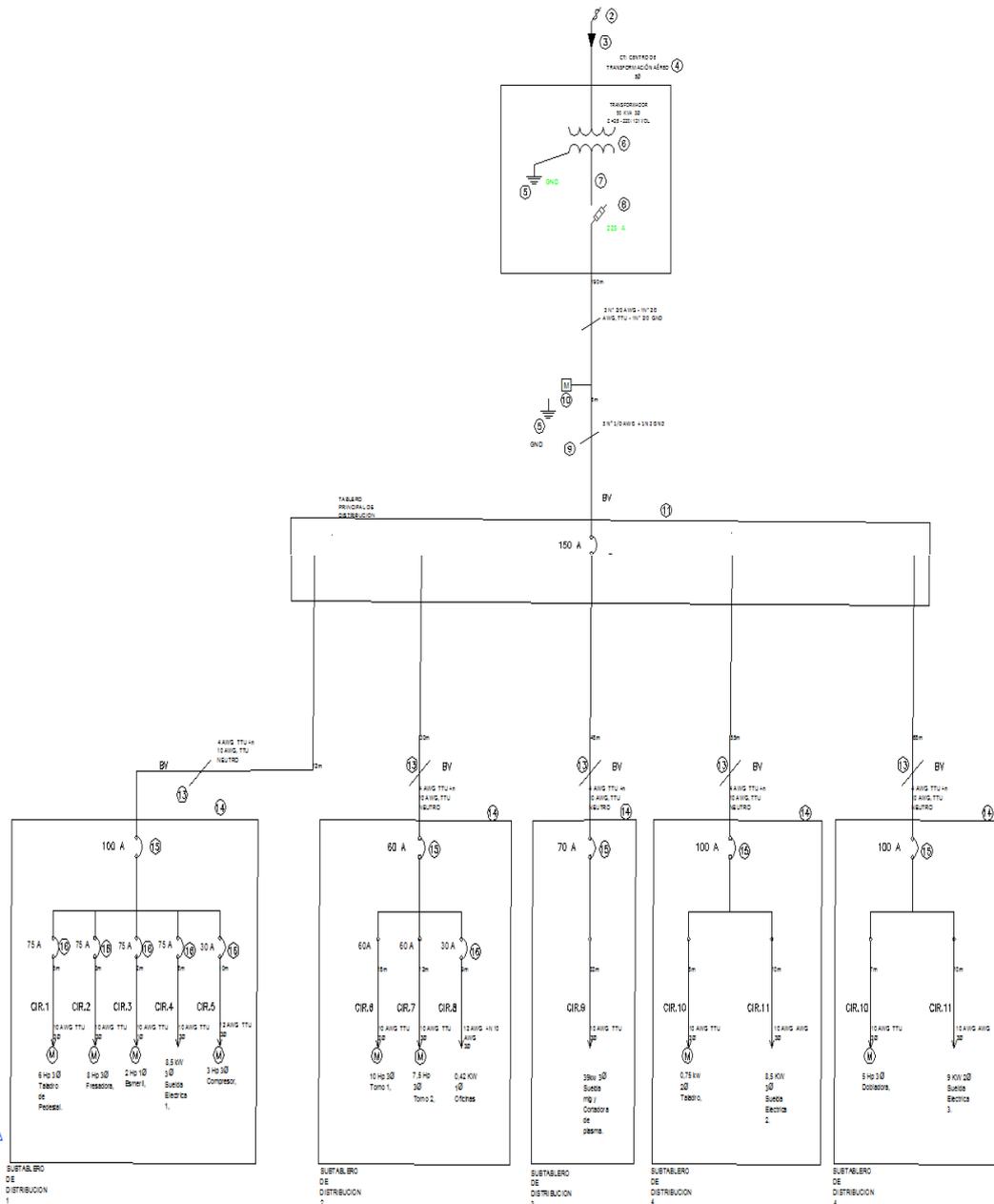


Figura 3.9: Diagrama Unifilar del taller

Los motores que han sido bien seleccionados o que están integrados monolíticamente a la carga, lo hacen usualmente entre el 75 y el 90% de la potencia de placa.

Del levantamiento de motores se determina el factor de carga que puede ser una oportunidad de ahorro de energía, se deberá hacer un análisis costo-beneficio a estos motores. El Factor de carga se calculó según el método de los datos de placa.

La eficiencia nominal de placa se utiliza para determinar la eficiencia operacional y el estado de carga de la manera siguiente:

Se toma la medición de la potencia de entrada o en su defecto la tensión, la corriente y el factor de potencia promedio de las fases. Se calcula la potencia de entrada según:

$$kW_{ENTRADA} = \frac{\sqrt{3} * V_{PROM} * I_{PROM} * \cos\phi}{1000} \quad (26)$$

Se calcula la potencia de entrada nominal por:

$$kW_{ENTRADA_{NOM}} = \frac{kW_{SALIDA_{NOM}}}{\eta_{NOM}} \quad (27)$$

Se calcula el factor de carga como:

$$\%FC = \frac{kW_{ENTRADA}}{kW_{ENTRADA_{NOM}}} \times 100 \quad (28)$$

Para poder entender el comportamiento de la industria es necesario realizar un levantamiento de carga para conocer la carga instalada y la carga utilizada, esto se lo hará a continuación

3.1.11 Levantamiento de carga

3.1.11.1 Carga Instalada al Transformador de 50 kVA

El levantamiento de la carga es un factor muy importante en el desarrollo del proyecto ya que de esta forma se tendrá como resultado la magnitud de la potencia instalada y el tipo de carga. La potencia instalada se la puede obtener de diferentes formas, puede ser con los archivos de inventario de cada equipo, también con los datos de placa o realizando mediciones para determinar su potencia. A continuación se presenta cada una de las cargas instaladas al transformador de 50 KVA

Tabla 10. Inventario de cargas del taller CM

INVENTARIO DE CARGAS DEL TALLER METALMECÁNICO CM						
Ítem	Área	Máquina	Equipo	Cant.	Potencia kW	Potencia total kW
1	Producción	Taladro de pedestal	Motor	1	3,73	3,73
2	Producción	Fresadora	Motor	1	5,22	5,22
3	Producción	Esmeril	Motor	1	1,49	1,49
4	Producción	Suelda 1	Carga resistiva	2	6,00	12,00
5	Producción	Compresor	Compresor	1	2,24	2,24
6	Producción	Torno 1	Motor	1	5,97	5,97
7	Producción	Torno 2	Motor	1	4,84	4,84
8	Oficina	Televisión	Carga	1	0,07	0,07
9	Oficina	Impresora	Carga	1	0,15	0,15
10	Oficina	Laptop	Carga	1	0,10	0,10
11	Oficina	Fluorescentes	Carga	1	0,20	0,20
12	Oficina	Foco	Carga	1	0,10	0,10
13	Producción	Suelda mic	Carga	2	7	14
14	Producción	Cortadora de plasma	Carga	1	10	10
15	Producción	Taladro	Motor	1	0,75	0,75
16	Producción	Dobladora	Motor	1	2,98	2,98
TOTAL						63.84

3.1.11.2 Carga Aplicado el Factor de Utilización

Cálculo del Factor de Utilización:

En condiciones de operación normal, la potencia consumida por una carga es algunas veces es menor que la indicada como su potencia nominal, y para su cálculo se define el factor de utilización como el cociente entre la potencia efectivamente demandada por la carga, y la potencia nominal de la misma. Para realizar el cálculo del factor de utilización se aplica la siguiente forma:

$$FU = \frac{KVA_{D_{MAX}}}{KVA_{instalados}} \quad (29)$$

$$FU = \frac{13,23 \text{ kVA}}{50 \text{ kVA}}$$

FU = 0.265 ≤ 0,5 se encuentra subcargado

Este factor calculado afecta a la potencia nominal de las cargas conectadas al transformador de 50 kVA y se obtiene lo siguiente:

Tabla 11. Levantamiento de carga con factor de utilización

Área	Máquina	Equipo	Potencia total kW	Cargas con factor de simultaneidad
Producción	Taladro de pedestal	Motor	3,73	0,99
Producción	Fresadora	Motor	5,22	1,38
Producción	Esmeril	Motor	1,49	0,39
Producción	Suelda 1	Carga resistiva	12,00	3,18
Producción	Compresor	Compresor	2,24	0,59
Producción	Torno 1	Motor	5,97	1,58

Producción	Torno 2	Motor	4,84	1,28
Oficina	Televisión	Carga	0,07	0,019
Oficina	Impresora	Carga	0,15	0,040
Oficina	Laptop	Carga	0,10	0,027
Oficina	Fluorescentes	Carga	0,20	0,053
Oficina	Foco incandescentes	Carga	0,10	0,027
Producción	Suelda mic	Carga	14	3,71
Producción	Cortadora de plasma	Carga	10	2,65
Producción	Taladro	Motor	0,75	0,20
Producción	Dobladora	Motor	2,98	0,79
TOTAL				16,92

En resumen se obtiene en carga total instalada de 66,31 kW y la carga con factor de utilización se obtiene 24,5347 kW. Esto se observa en la siguiente tabla:

Tabla 12. Levantamiento de carga con factor de utilización

TRANSFORMADOR	CARGA TOTAL INSTALADA(kW)	CARGA CON FACTOR DE UTILIZACIÓN(kW)
50 KVA	63,84	16,92

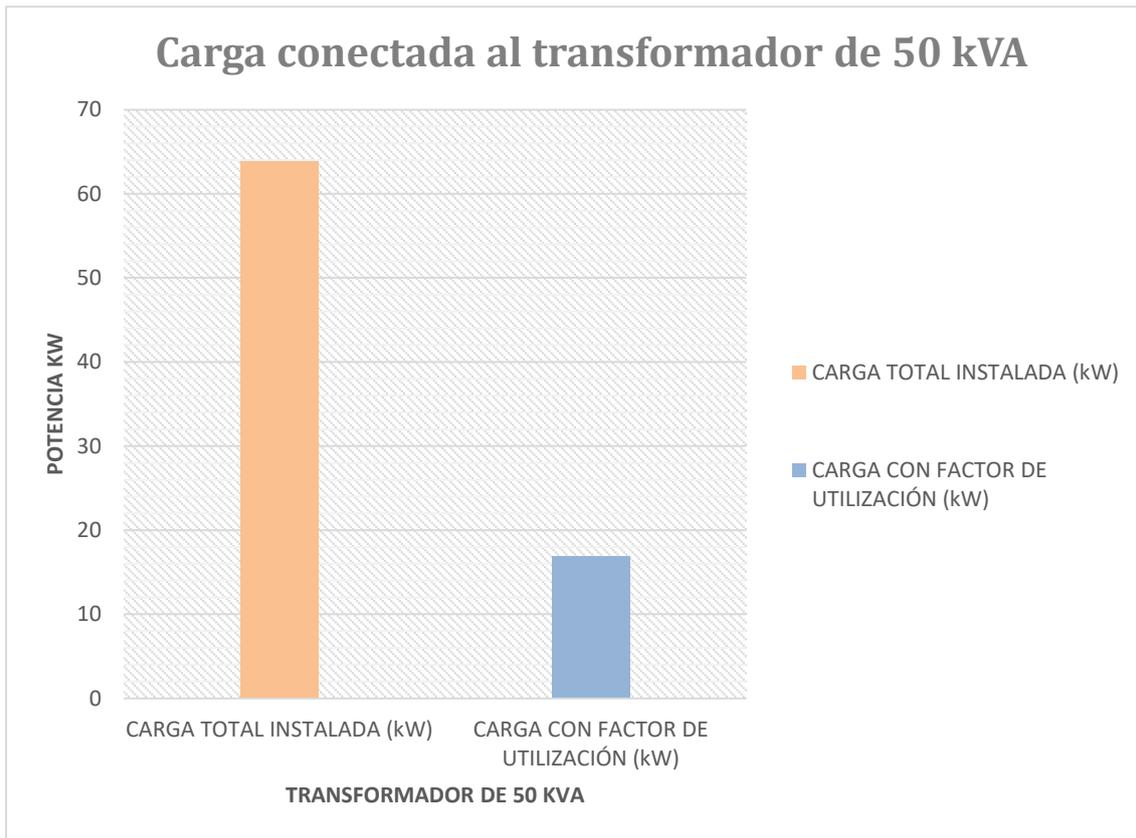


Figura 3.10: Ilustración de la carga

3.2. Análisis y discusión de resultados

Para determinar si el transformador se encuentra sobrecargado a la carga total instalada y a la carga aplicada el factor de utilización se le representa en porcentajes, como se muestra en la ilustración número 6:

Tabla 13. Carga total instalada y con factor de utilización en porcentaje

TRANSFORMADOR	CARGA TOTAL INSTALADA (%)	CARGA CON FACTOR DE UTILIZACIÓN (%)
50 KVA	127,68%	33,84%

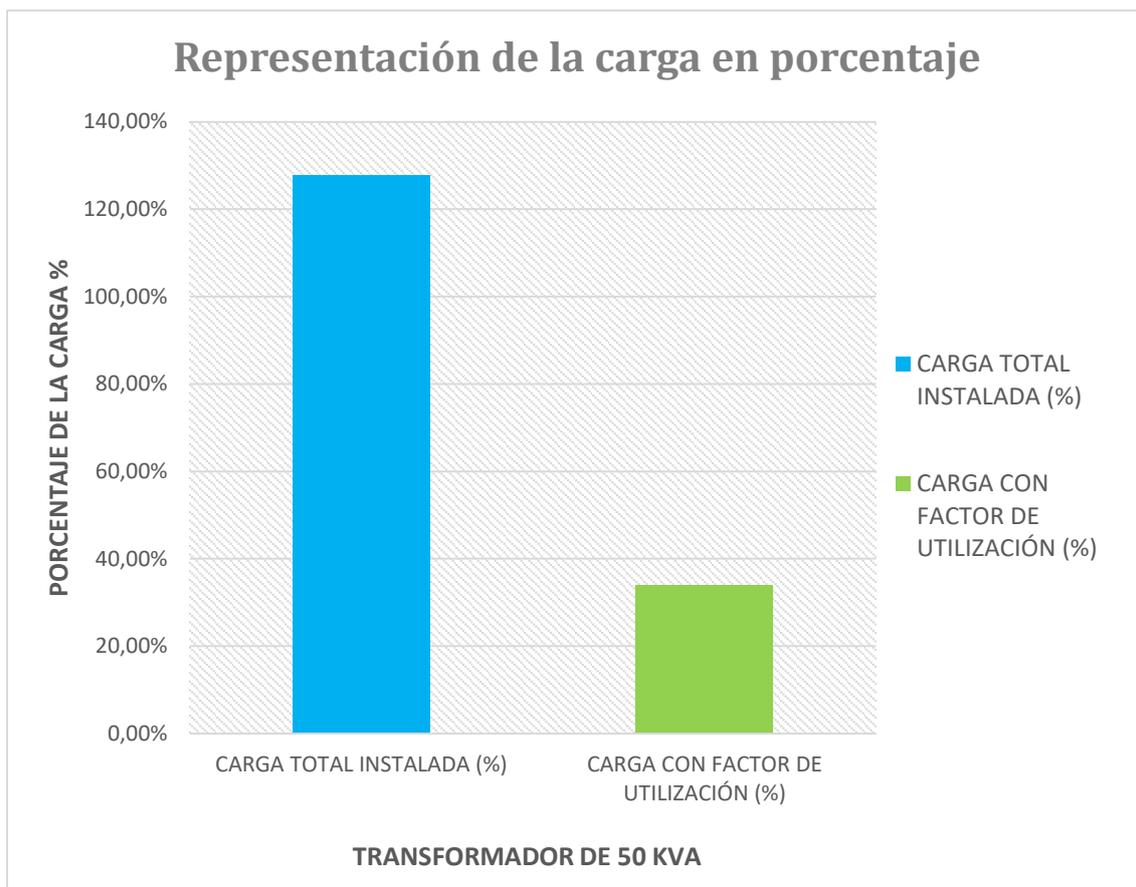


Figura 3.11: Ilustración de la carga

En la figura antes mencionado podemos visualizar que la carga total instalada representa el 127,68% lo que significa que el transformador se encuentra sobrecargado, pero como indicamos en el apartado anterior se debe aplicar el factor de utilización a cada una de las cargas debido a que su potencia consumida es inferior a la nominal con lo que tenemos que la carga se encuentra en 33,84% del 100% lo que indica que el transformador está operando en los límites establecidos.

3.2.1 Análisis de datos obtenidos en las mediciones:

Se toman las mediciones a través de la instalación del analizador de carga FLUKE 345 ii, que se conecta en la entrada principal del alimentador. Las mediciones se toman durante siete días, en periodos de 5 minutos, donde se analiza cada parámetro eléctrico. Se consideran los días que laboraron que son del 12 al 19 de mayo del 2018 en horario de 8H00 hasta las 17H00.

3.2.2 Análisis de Potencia Activa en kW

Para realizar el análisis de la potencia Activa se considera las mediciones del día más representativo que es el 14 de mayo del 2018, para esto se toma la medición mínima, media y máxima. Lo siguiente esta detallado en la presente tabla:

Tabla 14 Análisis de Potencia activa en el taller.

Potencia	Máximo (kW)	Promedio (kW)	Mínimo (kW)
HORA	20:43	18:08	11:18
Kw_A	4,93	1,57	0,50
Kw_B	7,50	3,10	0,49
Kw_C	4,24	1,26	0,50
TOTAL	16,68	5,93	1,48
DESBALANCE	43,49%	59,22%	1,34%

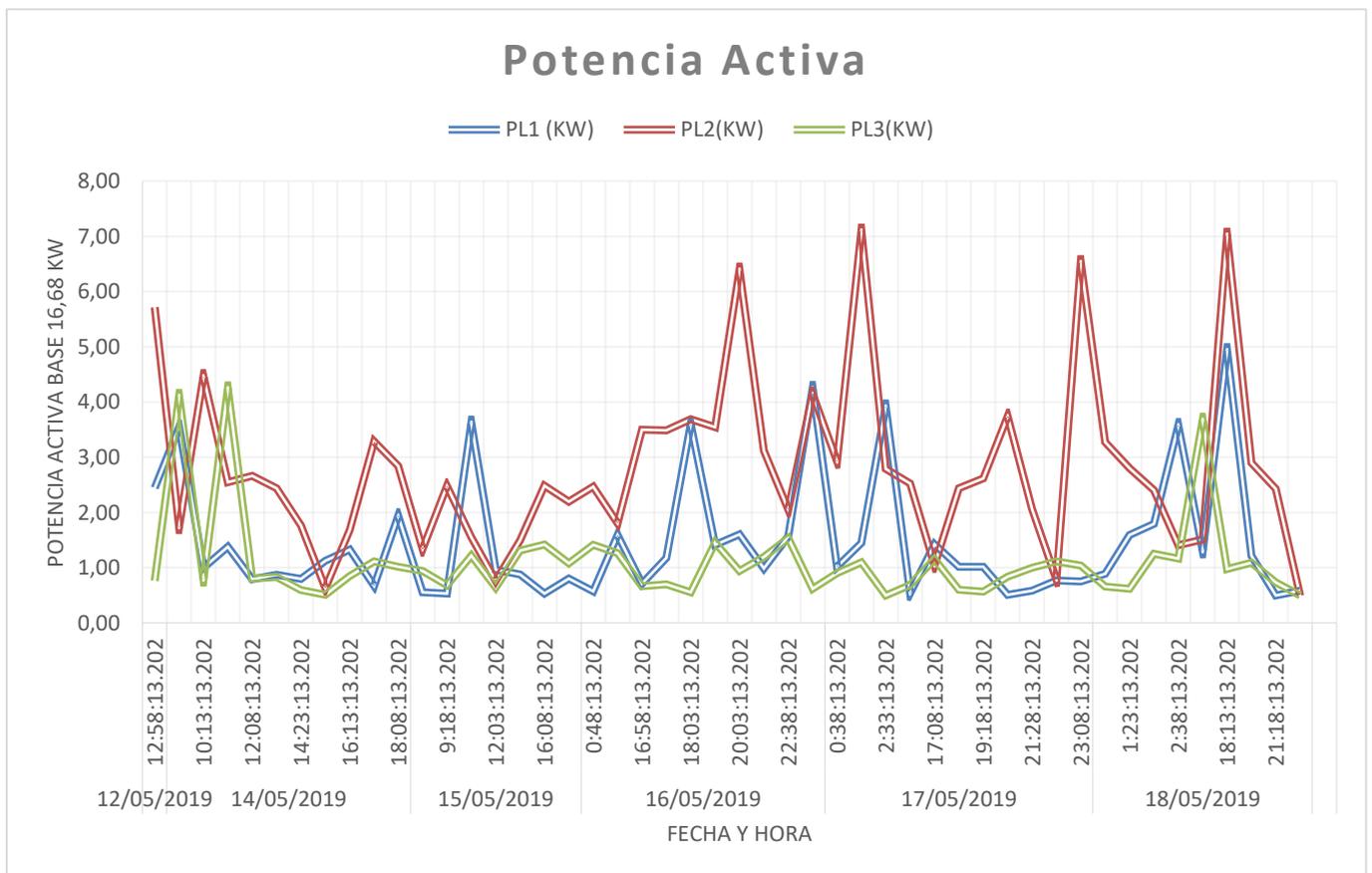


Figura 3.12: Curvas de potencia activa

- ✓ Se registra una potencia máxima de 37,67 kW que se da el día 14 de mayo del 2018 a las 11:18 de la mañana
- ✓ Con el análisis de los datos de la Potencia Activa, podemos observar que la industria tienen un consumo total de 16,58 kW, el transformador instalado tiene una potencia de 50 kVA, donde se concluye que dicho transformador abastece a la carga total y no se encuentra sobrecargado.
- ✓ Otro problema presente es el desbalance que existe en las tres líneas arrojando un valor máximo de **59,22% que sobrepasa al 5%** que dicta la regulación.

3.2.3 Análisis de Potencia Aparente en KVA

Tabla 15. Análisis de Potencia aparente en el taller.

Potencia	Máximo (kVA)	Promedio(kVA)	Mínimo (kVA)
HORA	20:43	18:08	11:18
kVA_A	4,68	2,38	0,73
kVA_B	5,93	3,10	0,74
kVA_C	2,62	1,35	0,72
TOTAL	13,23	6,82	2,19
DESBALANCE	55,76%	56,59%	3,14%

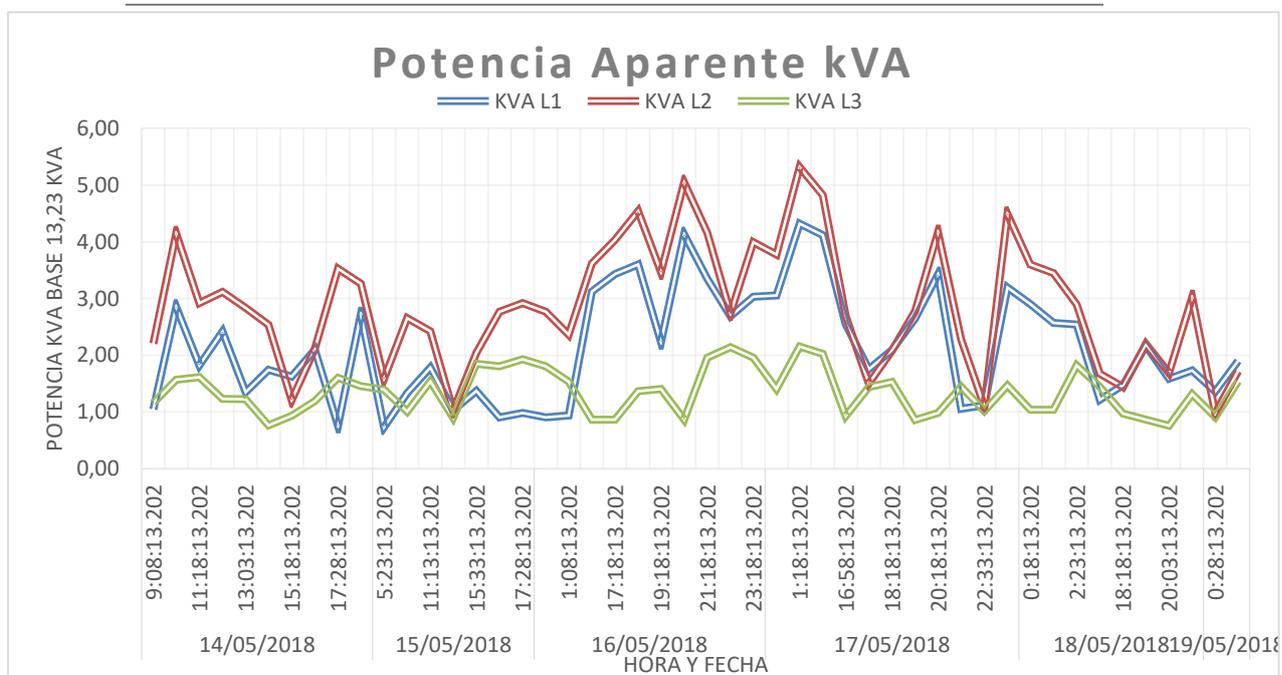


Figura 3.13: Representación de Potencia Aparente

- Se registra una potencia aparente máxima de 13,23 kVA que se da el día 14 de mayo del 2018 a las 11:18 de la mañana
- Un problema presente es el desbalance que existe en las tres líneas arrojando un valor máximo de **56,59% que sobrepasa al 5%** que dicta la regulación.

3.2.4 Análisis de Potencia Reactiva en kVAR

Tabla 16. Análisis de Potencia Reactiva en el taller.

Potencia	Máximo(kVAR)	Promedio(kVAR)	Mínimo (kVAR)
HORA	20:43	18:08	11:18
kVAR_A	4,54	1,83	0,40
kVAR_B	2,82	1,21	0,42
kVAR_C	1,32	0,81	0,42
TOTAL	8,69	3,86	1,24
DESBALANCE	70,87%	55,93%	3,20%

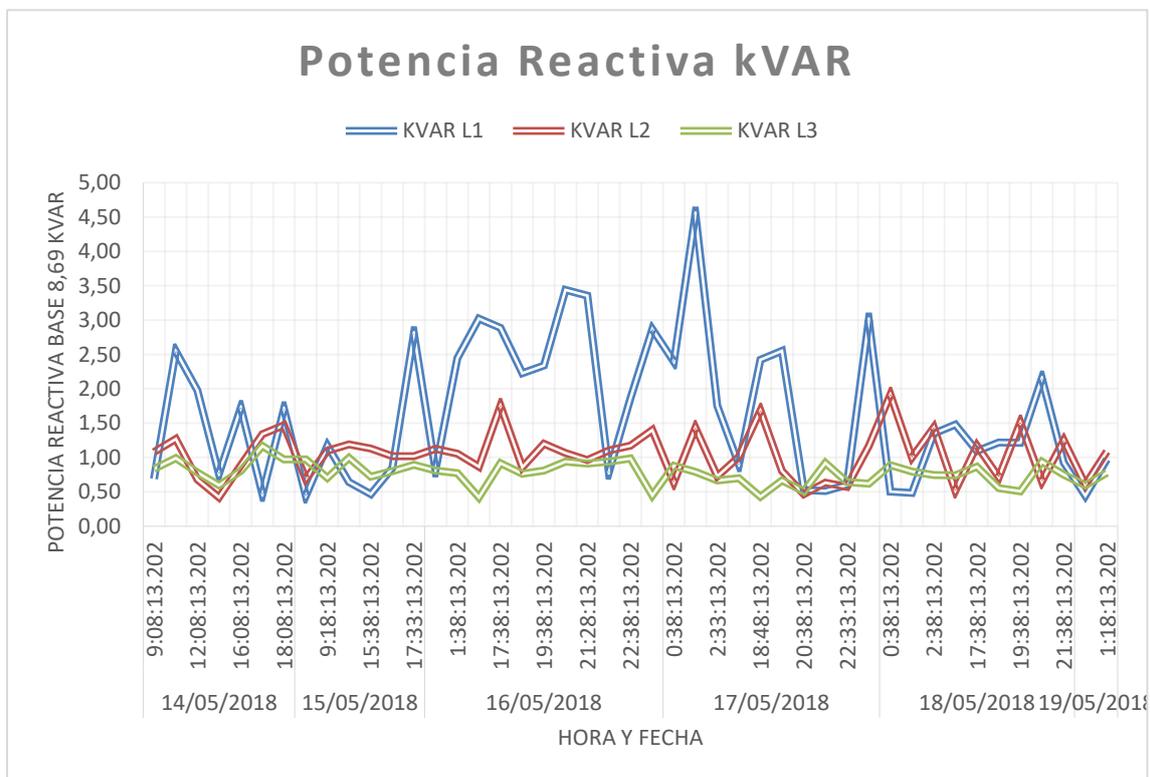


Figura 3.14: Representación de Potencia Aparente

- Se registra una potencia reactiva máxima de 8,69 kVAR que se da el día 14 de mayo del 2018 a las 11:18 de la mañana
- Un problema presente es el desbalance que existe en las tres líneas arrojando un valor máximo de **70,87% que sobrepasa al 5%** que dicta la regulación.

3.2.5 Curva de Carga:

Para la elaboración de la curva de carga se trabajó con las potencias medidas durante siete días por el analizador de carga, para esto se analiza el día más representativo del proceso de fundición que fue el día 14 de Mayo del 2018. La demanda pico de la curva realizada se presenta a las 11:18 am. En la gráfica realizada representa como varia la demanda en el intervalo de tiempo.

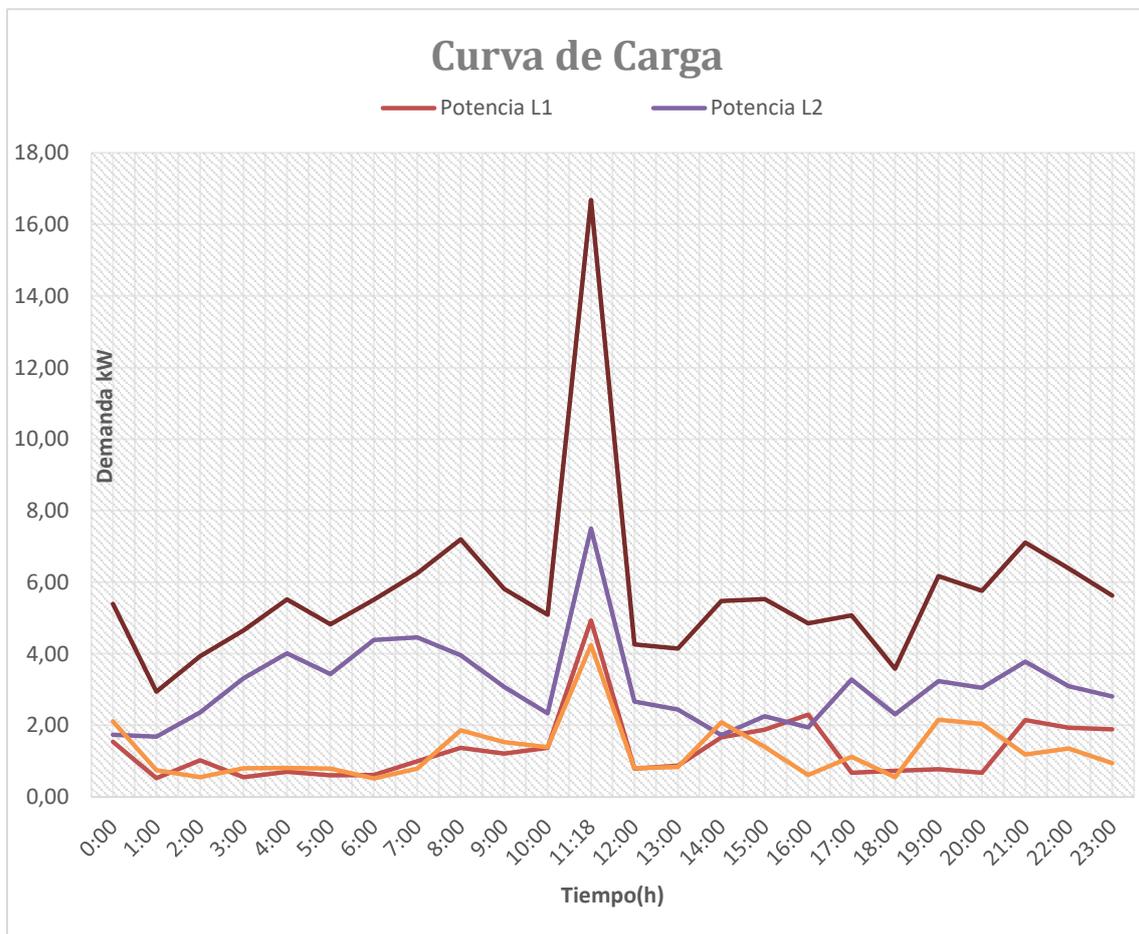


Figura 3.15: Representación de Curva de carga

Se presenta el porcentaje de la potencia consumida diaria donde la potencia base considerada es de 16,68 kW que es el resultado de la suma de las potencias máximas de las tres líneas así:

Tabla 17. Potencia activa máxima de las tres líneas

POTENCIA MÁXIMA (kW) L1	POTENCIA MÁXIMA (kW) L2	POTENCIA MÁXIMA (kW) L3	TOTAL (kW)
4,93	7,50	4,24	16,68

Cada valor de potencia activa de las tres líneas tomadas durante el día por el analizador de carga se divide para el total de las potencias máximas que es de 16,68 kW, con esto se obtiene los porcentajes de los valores que forman la curva de consumo diario del instituto.

La curva de los porcentajes de las cargas nos ayuda a ver si existen desbalances de carga en alguna de las tres fases.

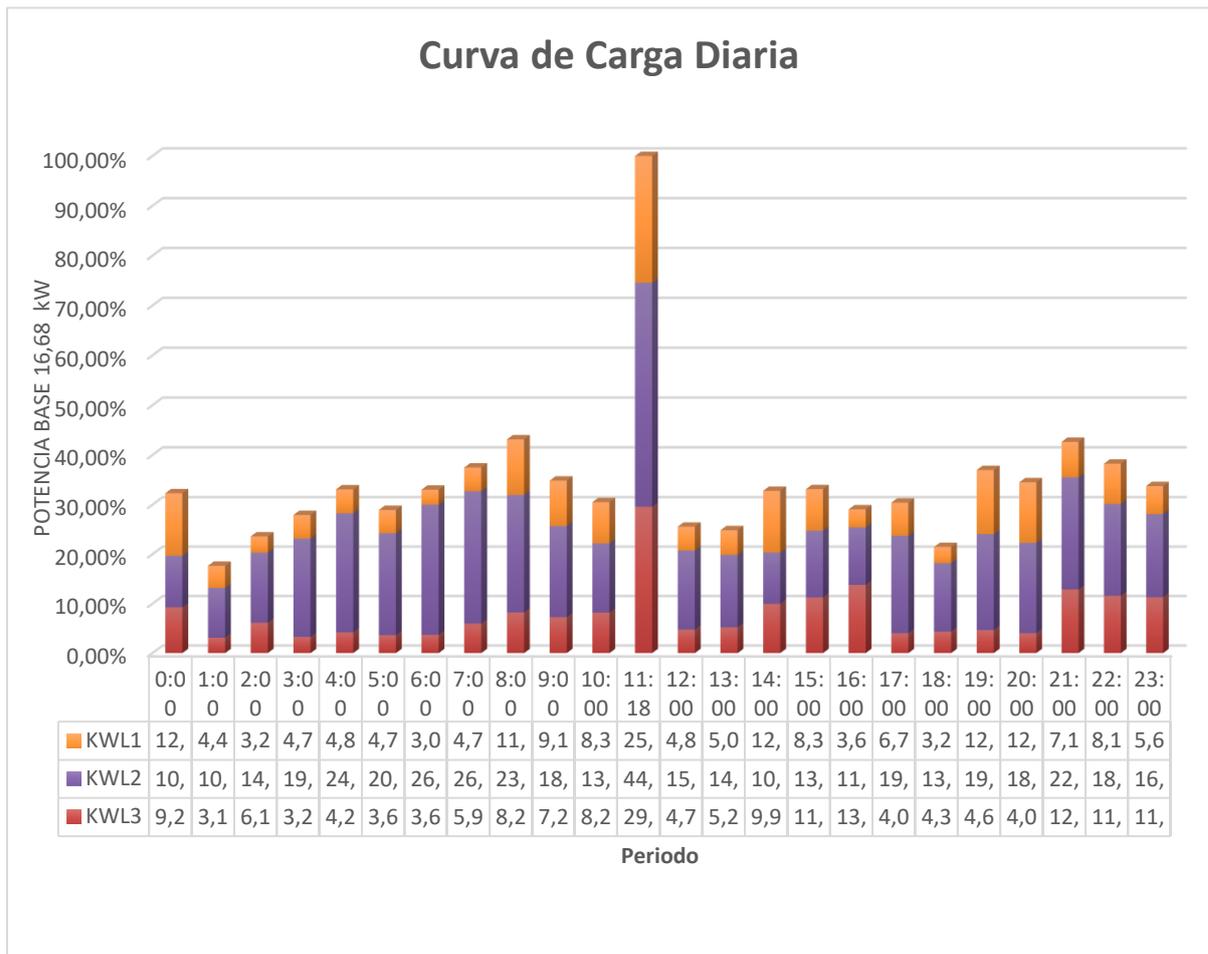


Figura 3.16: Curva de carga diaria

3.2.6 Desbalance de Cargas

Para analizar si existen desbalances de carga se aplica la siguiente ecuación

$$\text{Desbalance entre fases} = \frac{\text{Carga Fase Mayor} - \text{Carga Fase menor}}{\text{Carga Fase Mayor}} * 100\% \quad (30)$$

Tabla 18. **Potencia activa máxima de las tres líneas**

POTENCIA	kW TOTAL	kW L1	kW L2	kW L3
Potencia Máxima	16,68	4,93	7,50	4,24

Para analizar si existen desbalances de carga se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Desbalance entre fases} = \frac{7,50 - 4,24}{7,50} * 100\%$$

$$\text{Desbalance entre fases} = 43,59\%$$

43,59% > 5% la norma indica que el desbalance entre cargas debe ser menor que el 5% realizando los cálculos SI existe desbalance de cargas

3.2.7 Análisis de Factor de Potencia

Los registros obtenidos indican un factor de potencia total de 0,64; superando el 5% de los valores permitidos por la regulación del CONELEC 004-01, por lo tanto se encuentra bajo el límite establecido, incumpliendo la regulación. El bajo factor de potencia se presenta debido a la presencia de armónicos de la industria.

Tabla 19. Valores de Factor de Potencia

Valores	MIN	MED	MAX	OBSERVACIONES
F.P L1	0,20	0,71	0,99	No cumple con la regulación
F.P L2	0,40	0,71	0,99	No cumple con la regulación
F.P L3	0,20	0,49	0,97	No cumple con la regulación
F.P. PROMEDIO	0,20	0,64	0,99	No cumple con la regulación

3.2.8 Análisis de Armónicos

3.2.8.1 Análisis de Armónicos de Voltaje

El analizador de carga registra un THD máximo del 5,31%, comparando con la Regulación CONELEC 004/01 se debería tener un THD del 8% por lo que está dentro de lo estipulado por la regulación.

Tabla 20. Valores de THD de voltaje por línea y fase

THD VOLTAJE	THD PROMEDIO (%)	THD L1 (%)	THD L2 (%)	THD L3 (%)	CONELEC 004/01
THD mínimo	1,55	1,48	1,39	1,76	Si cumple
THD promedio	2,62	2,62	2,44	2,81	Si cumple
THD max	5,31	4,53	5,72	5,69	Si cumple
OBSERVACIONES	El límite máximo del THD de las tres líneas es un 5,31% donde no excede el 8% por lo que cumple la regulación				

- ✓ El límite del THD de voltaje de las tres líneas es de 5,31% , el mismo que está dentro de los rangos dictados por la regulación

Armónicos de Voltaje Individuales

A continuación se analiza cual armónico de voltaje afecta más al sistema eléctrico de la industria.

Tabla 21. Valores de armónicos individuales

Armónicos	Límites establecidos en la regulación (%)	Valores de armónicos del taller (%)	Observación
3°	5,0%	3,49%	Si cumple
5°	6,0%	4,25%	Si cumple
7°	5,0%	1,67%	Si cumple
9°	1,5%	1,91%	Si cumple
11°	3,5%	1,99%	Si cumple

Para el análisis se presenta un diagrama de barras que indica el porcentaje del nivel de armónicos presente en la industria.

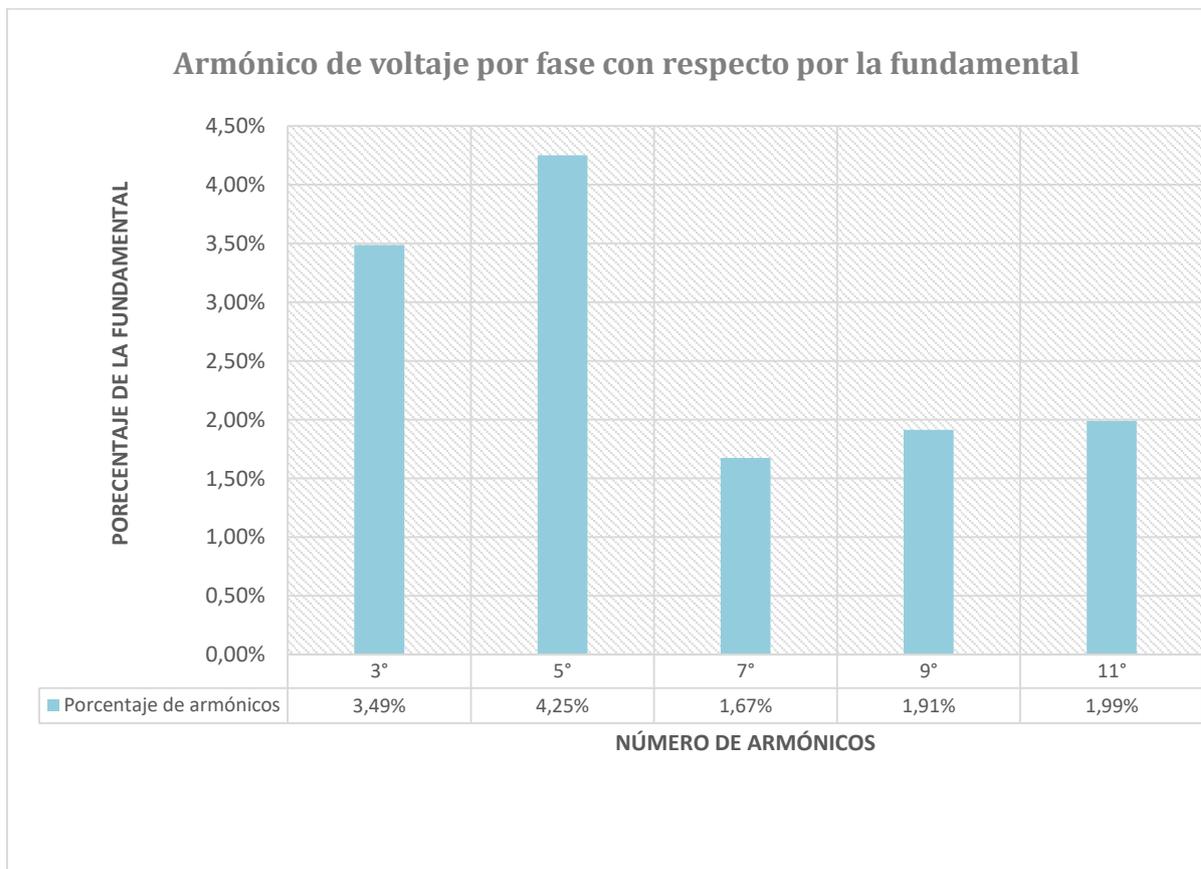


Figura 3.17: Armónicos Individuales de voltajes

La armónica de voltaje de mayor importancia es la TERCERA con un valor del 3,49%, la cual se encuentra DENTRO de lo recomendado por el estándar como límite máximo de distorsión por componente armónica individual de voltaje (6% para este nivel de voltaje sobre la base la regulación CONELEC 004/01), y registra un THDV total de 5,31%, lo cual también se encuentra DENTRO del porcentaje recomendado como límite máximo de distorsión total de voltaje (8% para este nivel de voltaje).

3.2.8.2 Análisis de Armónicos de Corriente

Para determinar si la industria tiene presencia de armónicos de voltaje, hay que analizar el nivel de THD de Corriente que tiene la industria.

De acuerdo a la norma IEEE-519, el valor establecido del THD de corriente de acuerdo al nivel de la impedancia de cortocircuito es por debajo del 15%. A continuación se registran los siguientes datos

Tabla 22. Valores de THD de corriente

THD CORRIENTE	THD PROMEDIO (%)	THD L1 (%)	THD L2 (%)	THD L3 (%)	IEEE – 519 (%)
THD mínimo	6,73 %	4,65%	4,17%	11,36%	cumple
THD promedio	21,40%	20,50%	15,30%	28,40%	NO cumple
THD max	36,47%	31,61%	20,94%	56,86%	NO cumple

El límite del THD de corriente de las tres líneas es de 36,47%, el mismo que está fuera de los rangos dictados por la regulación, eso indica que SI hay la presencia de armónicos de corriente

✓ Cálculo de armónicos de Corriente

El transformador ubicado en la industria láctea LEITO es de 50 kVA, la impedancia es de 2.8% o 0.028.

$$I_{cc} = \frac{1}{X_{pu}} \tag{31}$$

$$I_{cc} = \frac{1}{0,028}$$

$$I_{CC}=35,71$$

Para obtener el valor de la relación $\alpha = \frac{I_{cc}}{I_{Lpu}}$ se calcula la corriente de carga I_L en amperios, para posteriormente obtener la corriente de carga en valores en por unidad I_{Lpu} . Para obtener la corriente de carga se emplea la siguiente ecuación:

$$S = V * I_L * \sqrt{3} \tag{32}$$

$$I_L = \frac{S}{V * \sqrt{3}} \tag{33}$$

La potencia que se considera es la del transformador 50 kVA, el voltaje es el del secundario del transformador 220 V.

$$I_L = \frac{50000}{220 * \sqrt{3}} = 131,22 \text{ A}$$

$$\frac{I_{cc}}{I_L} = \frac{35,71}{131,22}$$

$$\alpha = \frac{I_{cc}}{I_L} = 0,272$$

Para el cálculo de la corriente de carga por unidad se deben obtener los valores de corriente medidos por el analizador de carga:

Tabla 23. Valores de Corriente de la línea

	A1 RMS	A2 RMS	A3 RMS	N RMS
A RMS MÍNIMA	1,23	1,07	1,03	1,33
A RMS MEDIA	18,0	22,6	7,5	17,24
A RMS MÁXIMA	48,6	55,97	25,9	52,60

A continuación se debe calcular el TDD

TDD: distorsión de demanda total, distorsión de corriente armónica en % de la máxima corriente de carga demandada.

Fase 1:

Obtenemos la corriente de carga en valores por unidad de la fase 1

$$I_{L,pu} = \frac{48,60}{131,200}$$

$$I_{L,pu} = 0,37$$

El factor α es igual a:

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

$$\alpha = \frac{35,71}{0,37 \text{ A}} = \mathbf{96,43}$$

Fase 2:

Obtenemos la corriente de carga en valores por unidad de la fase 2

$$I_{L,pu} = \frac{55,97}{131,200}$$

$$I_{L,pu} = 0,43$$

El factor α es igual a:

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

$$\alpha = \frac{35,71}{0,43} = \mathbf{83,73}$$

Fase 3:

Obtenemos la corriente de carga en valores por unidad de la fase 3

$$I_{L,pu} = \frac{25,9}{131,200}$$

$$I_{L,pu} = 0,20$$

El factor α es igual a:

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

$$\alpha = \frac{35,71}{0,20} = \mathbf{180,94}$$

A continuación se presenta una tabla de los valores obtenidos y necesarios para el análisis del nivel de contenido de corrientes armónicas en el sistema

Tabla 24. Cálculo de α para verificar los armónicos de corriente

FASES	X _{pu}	I _{cc} (A)	I línea(pu)	I _{cc} /I _{línea p.u}
I1	0,028	35,71	0,37	96,43
I2	0,028	35,71	0,43	83,73
I3	0,028	35,71	0,20	180,94

Luego de calcular el factor α para cada una de las fases se procede a calcular el total de todo el sistema:

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

$$\alpha = \frac{35,71}{131,22} * 100\%$$

$$\alpha = 27,21\%$$

De acuerdo a lo establecido en la norma IEEE-519, el valor de (I_{cc}/I_{Lpu}) según la tabla 18 es aproximadamente de 120.37 el mismo que debe estar entre 100<1000 la TDD permitida es 15%

Tabla 25. Cálculo de α para verificar los armónicos de corriente

Límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Distribución en General						
(desde 120 V hasta 69.000 V)						
Máxima Distorsión de Corriente Armónica en Porcentaje de I_L						
Orden Armónico Individual (Armónicos Impares)						
$\frac{I_{sc}}{I_L}$	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.5	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	0.7	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Donde:

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

I_L =máxima corriente de carga demandada (componente de frecuencia fundamental) en el PCC

✓ **Armónicos de Corriente Individuales**

Tabla 26. Análisis de armónicos individuales

ARMÓNICOS DE CORRIENTE	IEEE – 519			OBSERVACIONES	
	LÍNEA 1	LÍNEA 2	LÍNEA 3		Rangos Establecidos
Armónico 3	42,1%	67,5%	40,7%	12%	No cumple
Armónico 5	25,4%	39,0%	26,3%	12%	No cumple
Armónico 7	20,0%	26,7%	16,2%	12%	No cumple
Armónico 9	16,9%	23,9%	13,2%	12%	No cumple
Armónico 11	13,5%	26,2%	11,3%	12%	No cumple

Para el análisis se presenta un diagrama de barras que indica el porcentaje del nivel de armónicos presente en la industria.

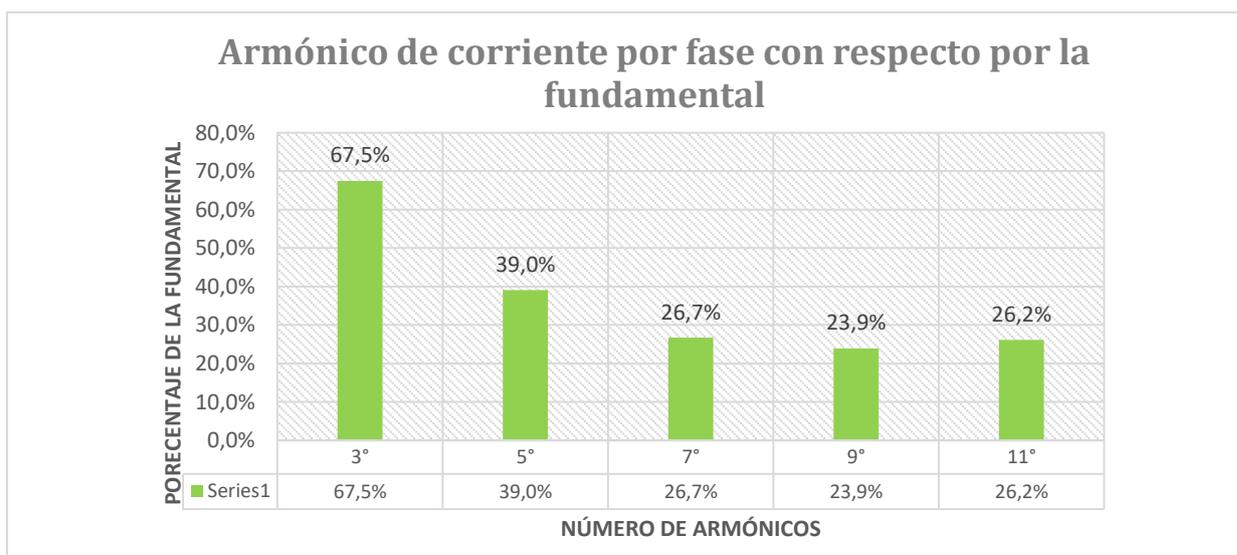


Figura 3.18: Armónicos Individuales de Corriente

Las armónicas de corriente de mayor importancia son la TERCERA y la QUINTA con un valor del 67,5% y 39% respectivamente la cual se encuentra FUERA de lo recomendado por el estándar como límite máximo de distorsión por componente armónica individual de (12% para este nivel de voltaje sobre la base la regulación IEEE - 519), y registra un THDI total de 92,36 %, lo cual también se encuentra FUERA del porcentaje recomendado como límite máximo de distorsión total de corriente (15% para este nivel de corriente).

3.2.8.3 Análisis de Niveles de Voltaje:

Para el análisis de los niveles de voltaje se toma como referencia el Voltaje nominal Fase – Fase (220 V) y Fase – Neutro (127,02 V). La regulación CONELEC 004/01 establece que no se cumple con los niveles de voltaje cuando más del 5% de los datos tomados están sobre el porcentaje establecido.

Después de aplicar la fórmula de índice de calidad para el nivel de voltaje, establecida en la regulación CONELEC 004/01 se obtiene los siguientes resultados:

- Los niveles de voltaje dependen de la zona en donde se ha realizado la medición, la Metal Mecánica C.M corresponde a la categoría Bajo Voltaje, zona rural y en la subetapa 2 cuya variación es del $\pm 8\%$

Los datos obtenidos de las tres líneas son:

a) Voltaje Nominal Fase – Neutro: 127,02 V

Tabla 27. Niveles de Voltaje min, med y max de las fases

Voltaje	Máximo (V)	Promedio (V)	Mínimo (V)	% de variación		CONELEC 004/01
				Máximo	Mínimo	
V _{A-N}	129,58	125,12	115,71	7,89%	1,48%	No cumple
V _{B-N}	131,42	125,56	116,27	7,45%	1,13%	No cumple
V _{C-N}	129,61	124,62	113,89	6,33%	1,87%	No cumple

b) Voltaje Nominal Fase - Fase: 220 V

Tabla 28. Niveles de Voltaje min, med y max de las fases

Voltaje	Máximo (V)	Promedio (V)	Mínimo (V)	% de variación		CONELEC 004/01
				Máximo	Mínimo	
V _{A-N}	225,41	219,31	202,32	5,04%	0,32%	No cumple
V _{B-N}	226,84	219,44	202,61	7,91%	0,25%	No cumple
V _{C-N}	226,93	219,92	203,95	7,30%	0,04%	No cumple

Podemos concluir que los niveles de Voltaje presentan variaciones dentro de tolerancias de norma (+/- 8%), tanto en voltaje fase – fase, como en voltaje línea a línea. Además lo que se puede apreciar es que entre la L1, L2 y la L3 la variación de voltaje es significativa (supera el 1%)

c) Voltaje Neutro

Tabla 29. Niveles de Voltaje Neutro min, med y max de las fases

Voltaje	Máximo (V)	Promedio (V)	Mínimo (V)
Voltaje Neutro	4,27	1,67	0,40

Se observa la curva de variación de voltaje en el neutro, donde se aprecia que existen voltajes donde el pico más alto es de 4,27 Voltios. Tomando en cuenta que el nivel de voltaje en la línea del neutro debe ser cero, se puede determinar que estos voltajes parásitos se producen ya que el sistema no se encuentra balanceado y se puede detectar la presencia de armónicos.

3.2.9 Análisis de Corrientes.-

a) Corrientes de Fase (línea)

Tabla 30. Niveles de Corriente Fase min, med y max de las fases

Corriente	Máximo (A)	Promedio (A)	Mínimo (A)
A _{A-N}	48,60	18,00	1,23
A _{B-N}	55,97	22,60	1,07
A _{C-N}	25,90	7,50	1,03
A NEUTRO	52,60	17,24	1,33
Desbalance	53,73%	66,81%	16,26%

Las corrientes de línea presentan desbalance en las tres fases. Existe un mayor desbalance de la fase 2, además se denota una variación considerable entre las tres fases.

El desbalance de la corriente puede deberse a que existe presencia de armónicos, lo que ocasiona un sobrecalentamiento de conductores, también se puede deber que existe la presencia de cargas monofásicas que se encuentran concentradas en una sola fase, en este caso la Fase 2 que es la que presenta mayor desbalance. Se debe analizar si al corregir los armónicos este desbalance disminuya.

3.2.2 Análisis de datos obtenidos con la simulación:

Simulación Inicial del Sistema en el software EASY POWER

Una vez obtenido la información inicial del sistema eléctrico de la Metal Mecánica C.M se procede a ingresar los datos al software obtenidos en el levantamiento de carga.

Los datos ingresados son los siguientes:

- Transformador de 13.8 kV a 220 V de 50 kVA
- Tres conductores de calibre 2/0 AWG
- Carga total de la industria es de 16,68 kW

Estos datos se ingresan al software de simulación para determinar cuáles son los problemas y así plantear soluciones que mejoren la calidad del suministro de energía eléctrica en la industria.

A continuación se indica el ingreso del diagrama al programa de simulación

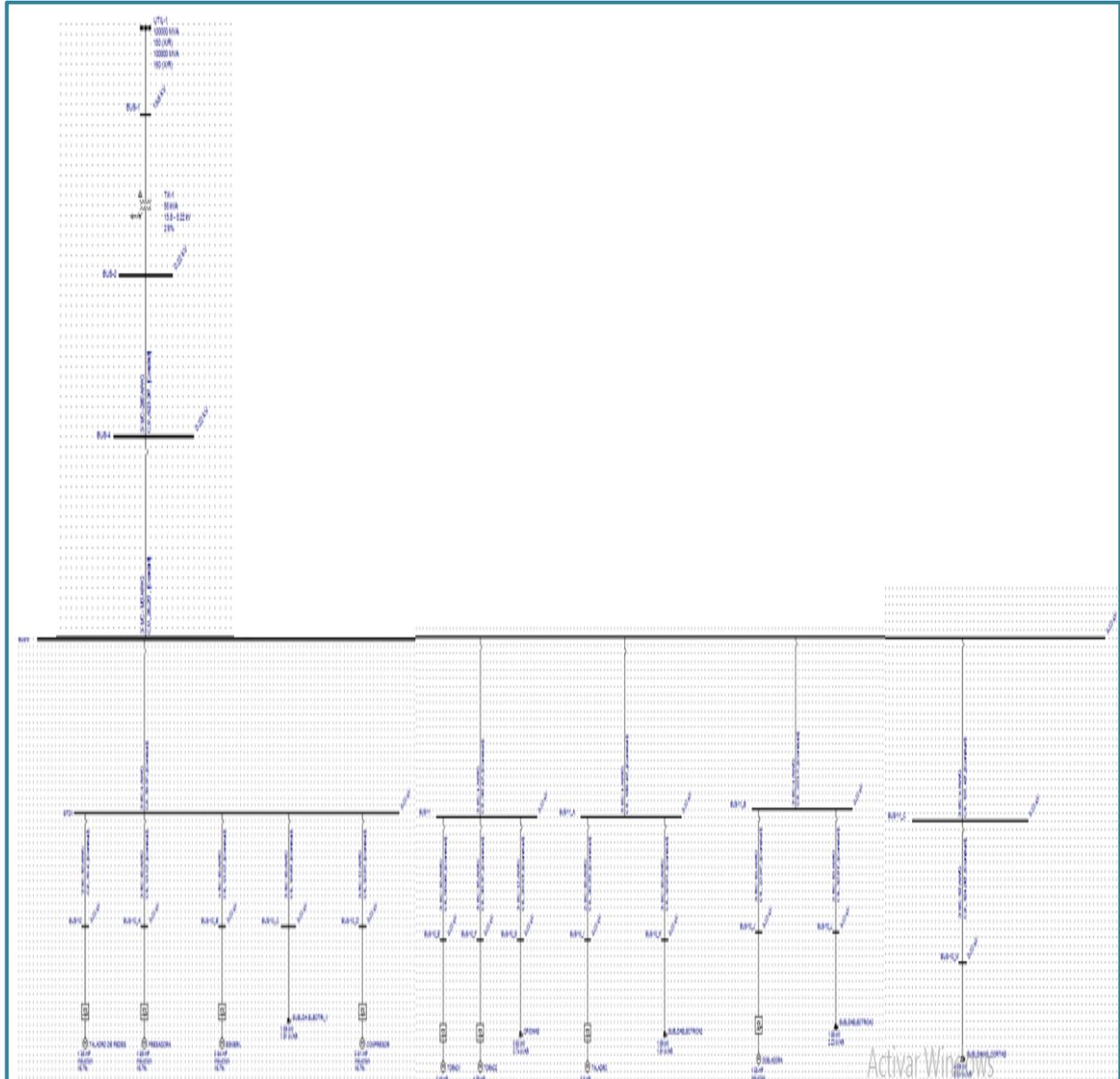
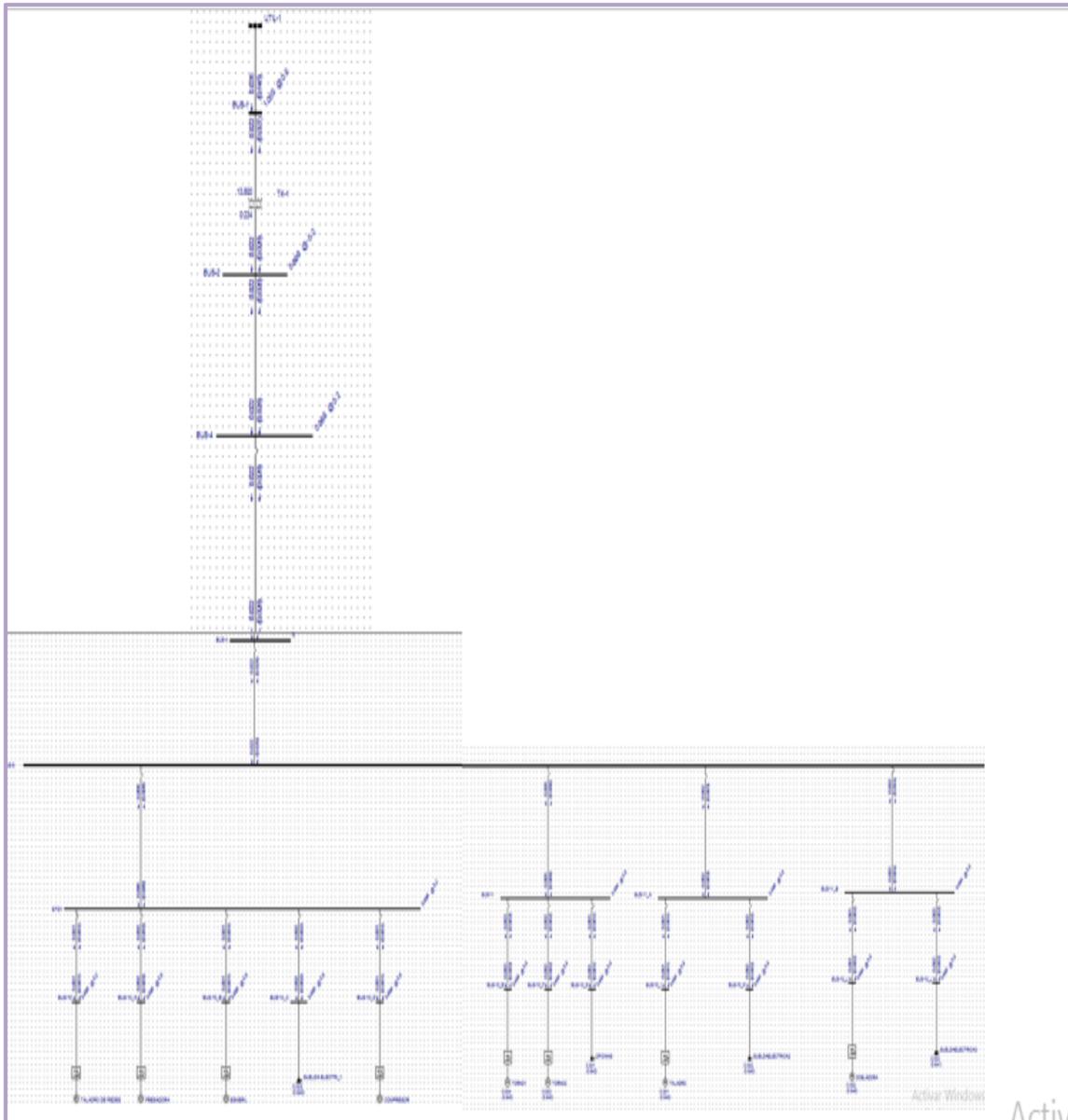


Figura 3.19: Simulación inicial del sistema eléctrico del taller

A continuación se realiza la primera corrida de flujo con los datos iniciales antes mencionados, donde se explica cada uno de los problemas encontrados y se indica el reporte dado por el analizador.

3.2.3.- Corrida de Flujo Inicial en el software EASY POWER



3.2.10.2.- Problemas encontrados en el sistema a través del software EASY POWER

Los resultados obtenidos en la corrida de flujos inicial son los siguientes:

3.2.4.- Bajo factor de potencia

- ✓ La carga tiene un factor de potencia de 0.64 lo cual ocasiona un incremento de costos de la planilla eléctrica

Tabla 31. Factor de Potencia de la carga

Bus	Solution								
	Name	Base kV	kV	Vpu	kW	kVar	kVA	Deg	Pf
	COMPRESOR	0.220	0.217	0.984	1	1	1	0.26	0.640
	DOBLADORA	0.220	0.216	0.984	1	2	2	0.31	0.640
	ESMERIL	0.220	0.217	0.985	1	1	1	0.25	0.640
	FRESADORA	0.220	0.217	0.985	2	3	3	0.25	0.640
	OFICINAS	0.220	0.216	0.984	1	1	1	0.28	0.642
	SUELDA MIG_ CORT	0.220	0.216	0.980	5	6	7	0.56	0.640
	SUELDA 1	0.220	0.217	0.985	2	2	2	0.25	0.640
	SUELDA 2	0.220	0.217	0.984	2	2	2	0.28	0.640
	SUELDA 3	0.220	0.216	0.983	2	2	3	0.34	0.641
	TALADRO	0.220	0.217	0.984	1	1	1	0.26	0.640
	TALDRO_PEDESTAL	0.220	0.217	0.985	1	1	2	0.25	0.640
	TORNO 1	0.220	0.216	0.983	3	3	4	0.35	0.640
	TORNO 2	0.220	0.216	0.984	2	2	3	0.31	0.640

- ✓ Se muestra a continuación el factor de potencia total del generador del sistema y el factor de potencia total de la carga.

Tabla 32. Factor de Potencia del generador y de la carga

Total	kW	kVAR	kVA	PF
Generation in System	22	27	35	0.645
Load in System	21	26	34	0.640

3.2.5.- Corrida de Flujo Armónico Inicial en el software EASY POWER

- **Armónicos de Voltaje**

La corrida de flujos armónicos permite conocer el porcentaje del THD de voltaje en cada una de las barras del sistema eléctrico

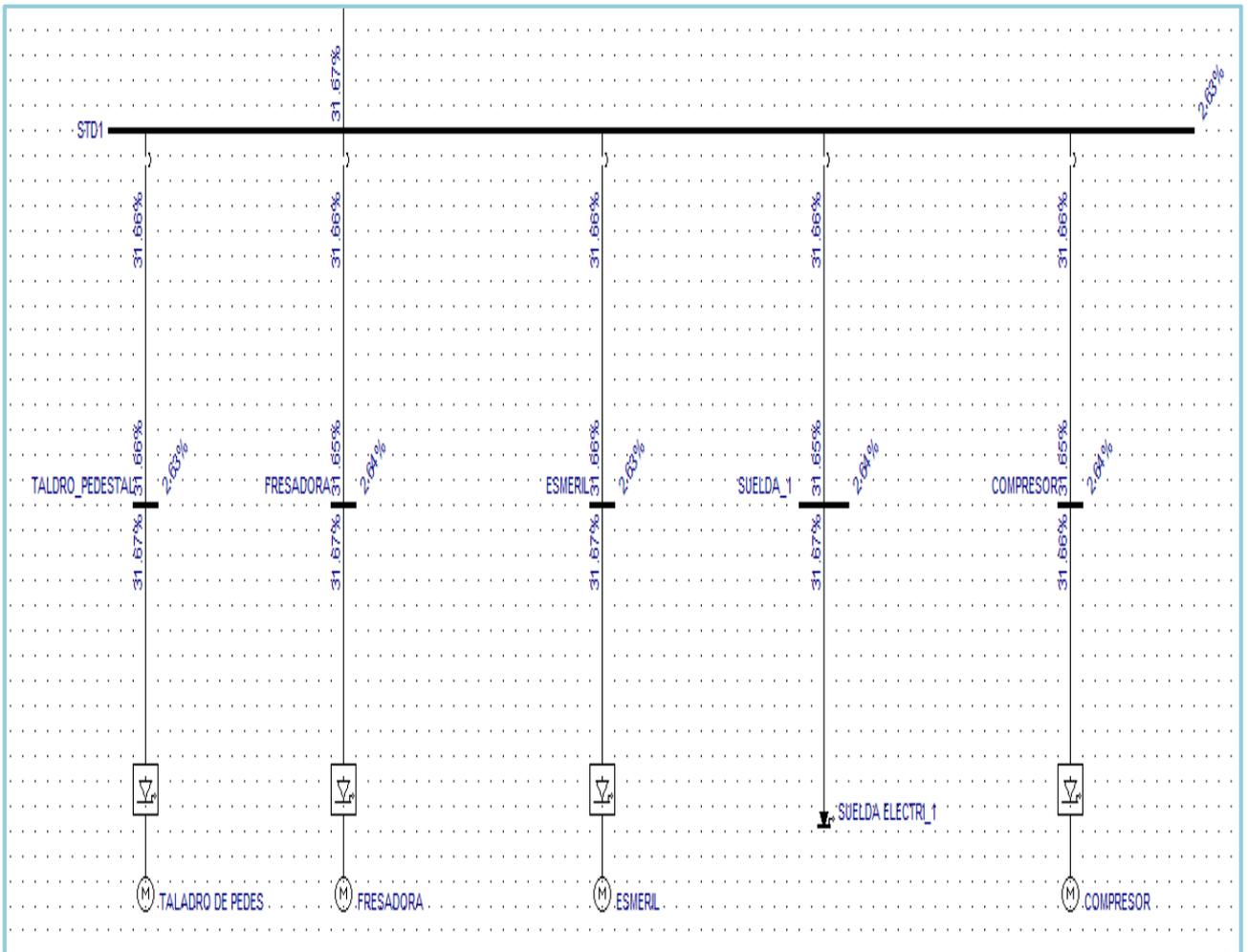


Figura 3.21: Corrida de flujos de armónicos de voltaje

La siguiente tabla indica los niveles del THD de voltaje en cada una de las barras y el promedio total en el sistema eléctrico, dando como resultado un THDV del 3,46% el mismo que se encuentra debajo del 8% que indica la norma, este valor se aproxima al 3,49% que se obtuvo con el analizador de carga.

Tabla 33. Porcentaje de THD de voltaje las barras

Bus		Voltajes %
Name	Base kV	VTHD (%)
BUS-1	13.800	0%
BUS-2	0.220	4,70%
BUS-4	0.220	5,60%
BUS-5	0.220	5,60%
BUS-10	0.220	5,60%
BUS-10_A	0.220	5,60%
BUS-10_B	0.220	5,60%
BUS-10_C	0.220	5,60%
BUS-10_D	0.220	5,60%
BUS-10_E	0.220	5,60%
BUS-10_F	0.220	5,60%
BUS-10_G	0.220	5,60%
BUS-10_I	0.220	5,60%
BUS-10_J	0.220	5,70%
BUS-10_K	0.220	5,70%
BUS-10_L	0.220	5,70%
BUS-10_M	0.220	5,90%
BUS-11	0.220	5,70%
BUS-11_A	0.220	5,60%
BUS-11_B	0.220	5,70%
BUS-11_C	0.220	5,70%
STD1	0.220	5,60%
PROMEDIO		5,60%

✓ **Armónicos individuales de Voltaje**

De acuerdo al simulador obtenemos los siguientes porcentajes del THD de corriente que se presentan en la siguiente tabla

Tabla 34. Porcentaje de THD de voltaje en las cargas

Armónicos Individuales de Voltaje	
Harmonic	V (%)
1	100,00%
3	1,41%
5	0,81%
7	0,51%
9	0,40%
11	0,10%
13	0,10%

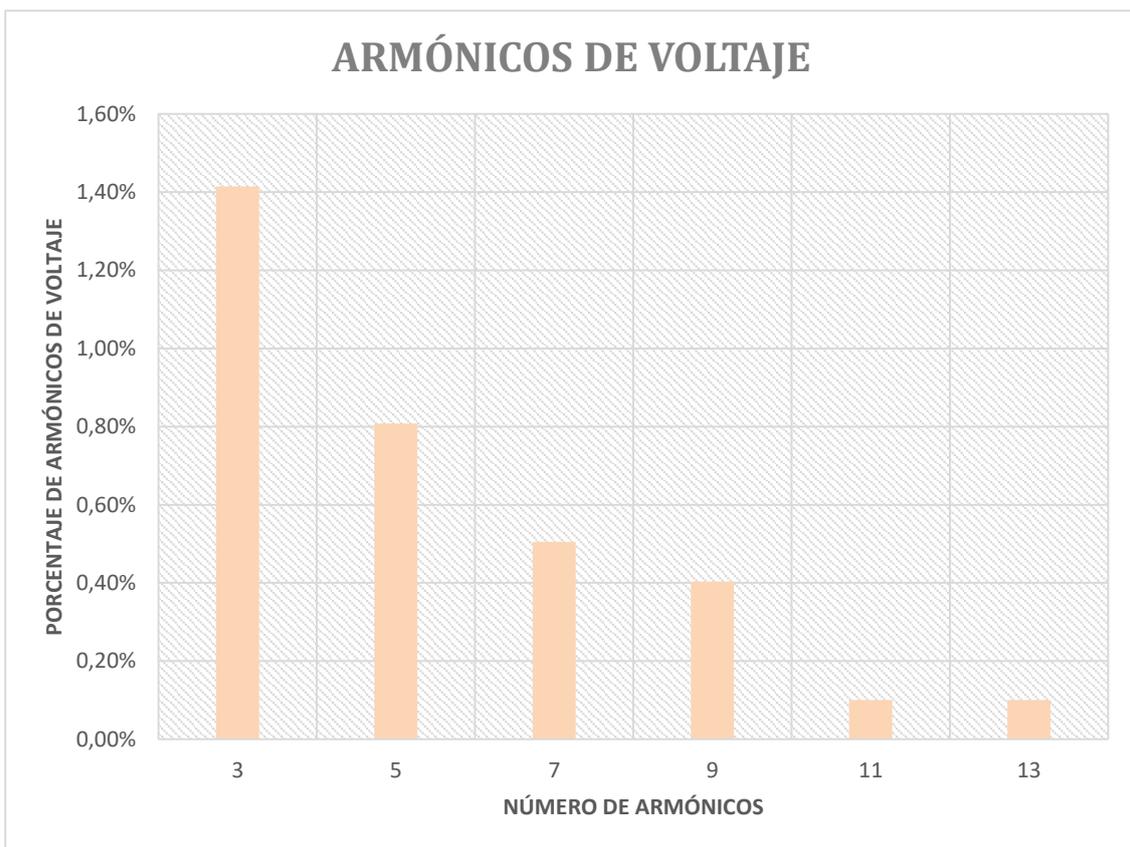


Figura 3.22: Diagrama de barras de los armónicos individuales

Los armónicos de voltaje individuales obtenidos en el simulador coinciden con el porcentaje obtenido en el analizador de carga. Por lo tanto se concluye que no existen armónicos de voltajes.

✓ **Armónicos de Corriente**

La corrida de flujos armónicos permite conocer el porcentaje del THD de corriente en cada una de las barras del sistema eléctrico

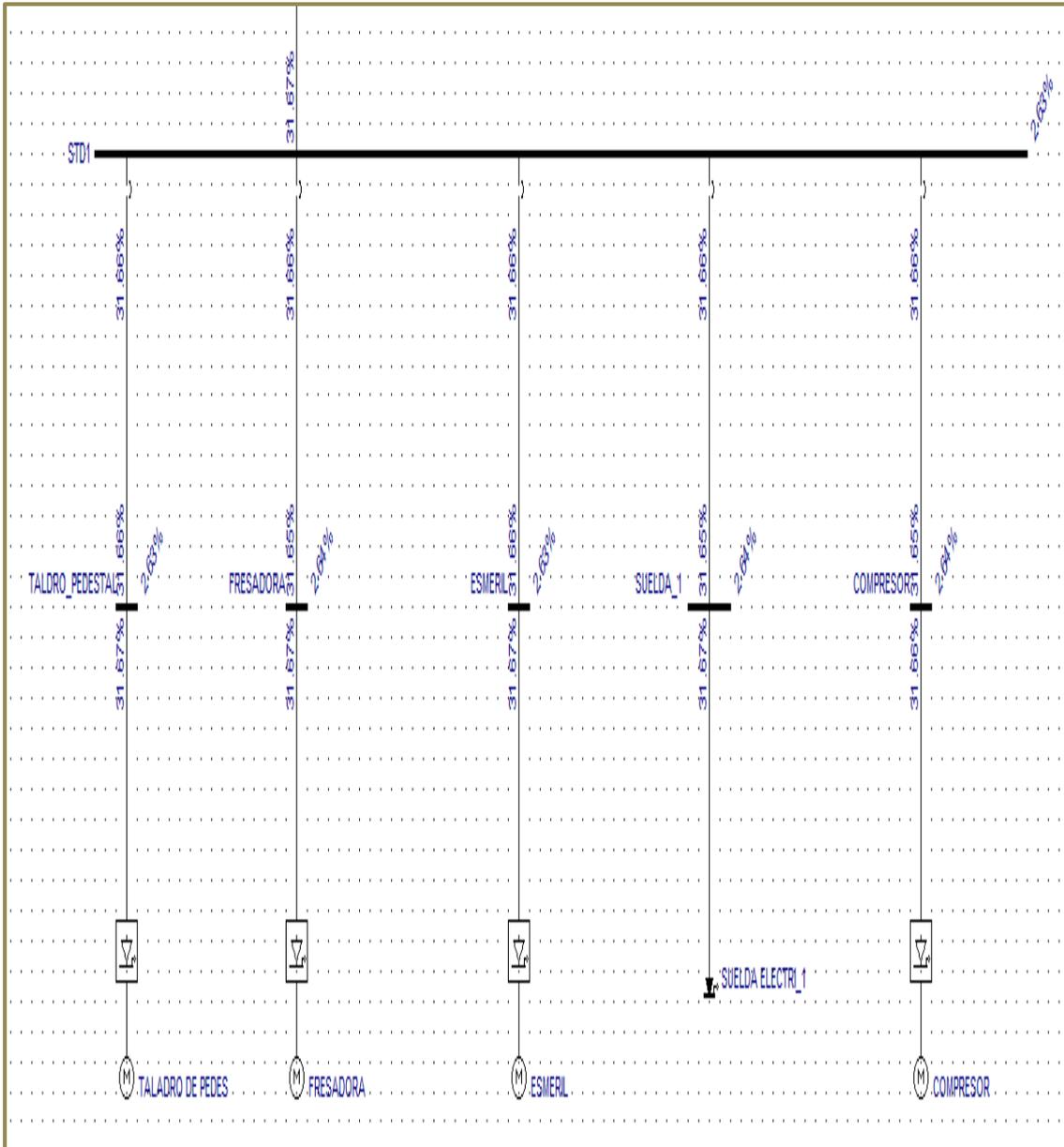


Figura 3.23: Corrida de flujos de armónicos de corriente

Fuente: Simulación EASY POWER

La siguiente tabla indica los niveles del THD de corriente en cada una de los conductores de la carga y el promedio total en el sistema eléctrico, dando como resultado un THDI del 36,22% el mismo que se encuentra por encima del 15% que indica la norma, este valor se aproxima al 36,47% que se obtuvo con el analizador de carga.

Tabla 35. Porcentaje de THD de corriente en las cargas

Armónicos Individuales de Corriente

Harmonic	I (%)
COMPRESOR	36,90%
DOBLADORA	35,80%
ESMERIL	36,90%
FRESADORA	36,90%
OFICINAS	35,80%
SUELDA ELECTRI_1	36,90%
SUELDA ELÉCTRICA 2	35,80%
SUELDA ELÉCTRICA 3	35,80%
SUELDAMIG_CORTAD	34,70%
TALADRO	36,90%
TALADRO DE PEDESTAL	36,90%
TORNO 1	35,80%
TORNO 2	35,80%
PROMEDIO	36,22%

✓ **Armónicos Individuales de Corriente**

De acuerdo al simulador obtenemos los siguientes porcentajes de los armónicos individuales de corriente que se presentan en la siguiente tabla

Tabla 36. Porcentaje de armónicos individuales de corriente

Armónicos Individuales de Corriente	
Harmonic	I (%)
1	100%
3	29,5%
5	9,8%
7	4,9%
9	3,0%
11	0,5%
13	0,3%
15	0,1%
17	0,1%

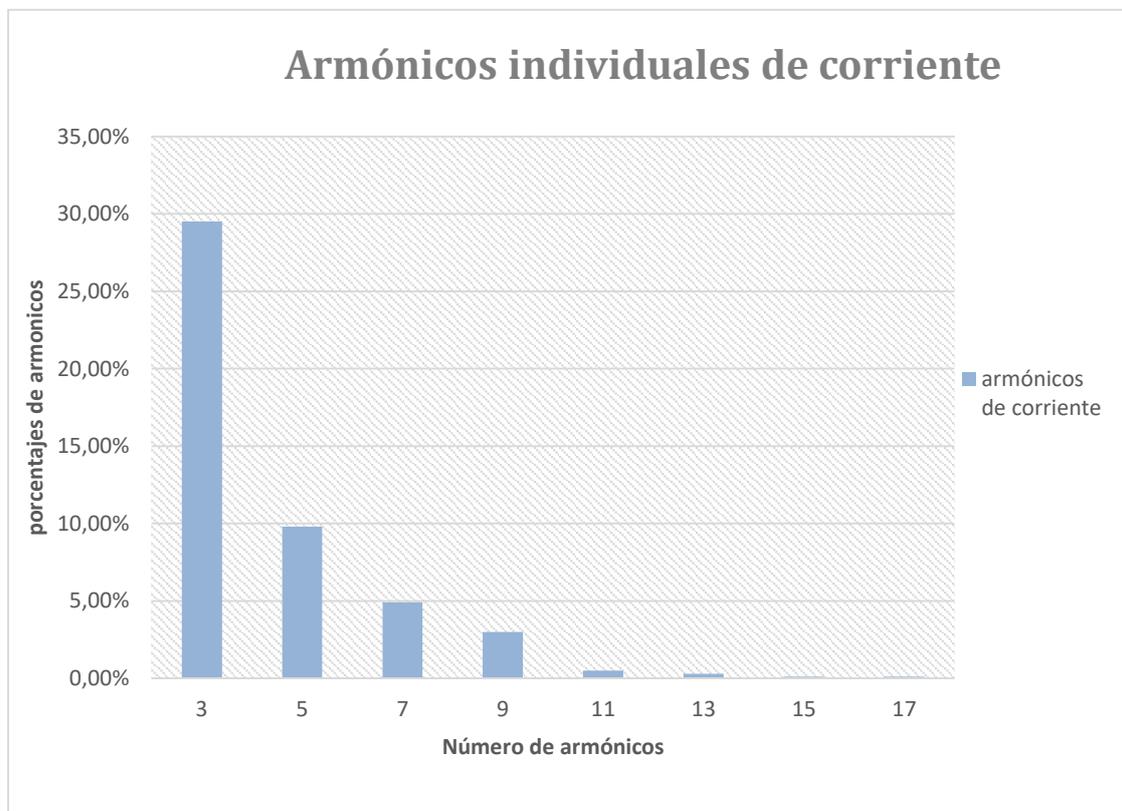


Figura 3.24: Diagrama de barras de los armónicos individuales

Los armónicos de voltaje individuales obtenidos en el simulador coinciden con el porcentaje obtenido en el analizador de carga. Por lo tanto se concluye que no existen armónicos de voltajes.

3.2.3 Pareto de portadores energéticos

El análisis de los diferentes portadores energéticos indicará cual se utiliza con más frecuencia. El taller Metalmecánico CM utiliza energía eléctrica, agua potable y aire comprimido en los diferentes procesos de fabricación de maquinaria agroindustrial. Se recopiló información histórica de sus consumos energéticos durante los años 2016 y 2017 de estos tres portadores. Se tiene un consumo total de 14062 kWh de energía eléctrica que representa **1593.07 USD**, un consumo de 1296 m³ de agua potable que representa 720 USD y un consumo de 26333.33 m³ de aire comprimido que representan 111.17 USD.

Utilizando los datos antes mencionados se realizaron los diagramas de Pareto del consumo de portadores energéticos.

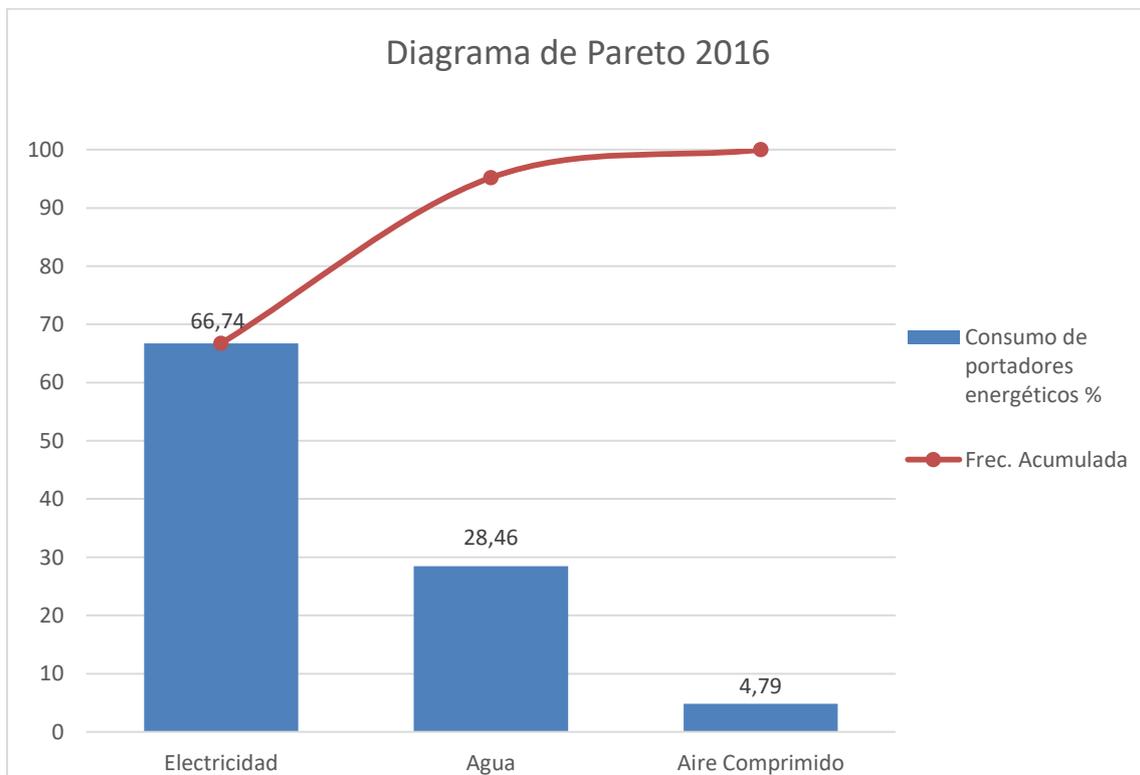


Figura 3.25: Diagrama de Pareto de portadores energéticos año 2016

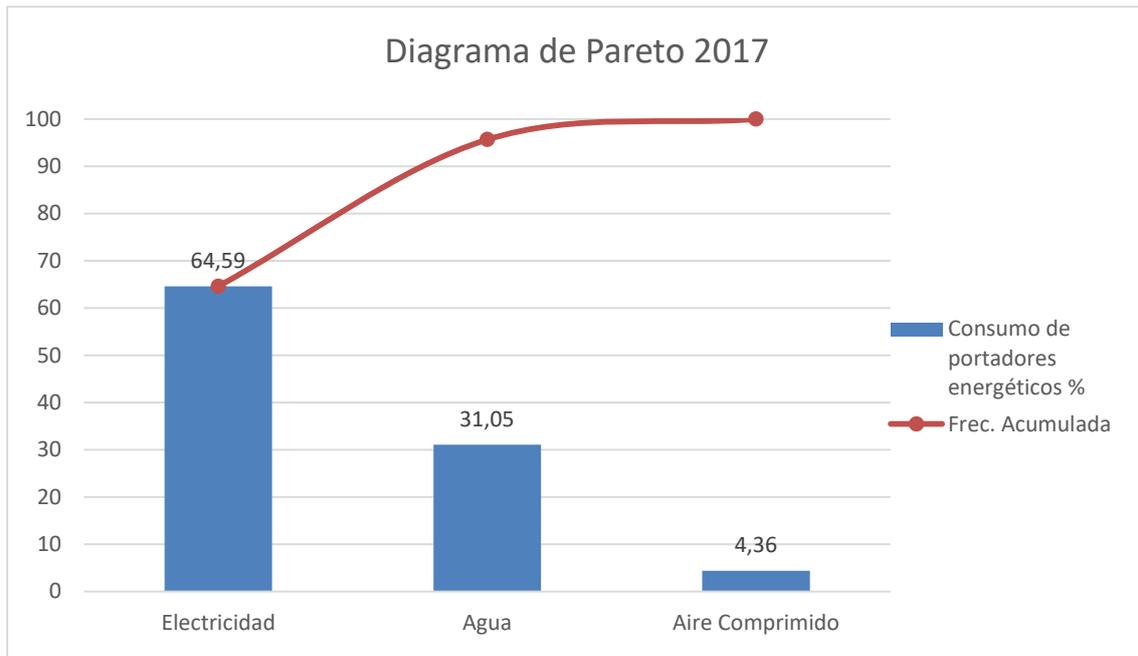


Figura 3.26: Diagrama de Pareto de portadores energéticos año 2017-2018

Se puede apreciar que el mayor consumo de portador energético utilizado en el taller Metalmecánico CM corresponde a la Electricidad, la cual es utilizada en todos los procesos de fabricación de maquinaria. En segundo lugar está el agua potable que se utiliza para limpieza de partes del producto terminado. Y por último se encuentra el aire comprimido que se utiliza en el proceso de corte por plasma, pintura y limpieza.

De los gráficos de Pareto de los años 2016 y 2017 se puede observar que el portador energético de mayor incidencia en la parte económica es la energía eléctrica, por lo que se ve la necesidad de analizar este portador energético.

3.2.6.1 Gráficos de control de consumo de energía eléctrica

Para observar el comportamiento de una variable se pueden utilizar los gráficos de control. Estos gráficos se utilizan como instrumentos de autocontrol y se puede determinar las fases por donde se producen alteraciones.

Las variables que se analizarán en esta investigación son el consumo de energía eléctrica en kWh y las ventas realizadas durante los años 2016 y 2017.

Si los datos de la variable que se quiere analizar se encuentran dentro de los límites superior e inferior, estas variaciones se producen por causas aleatorias y la variable se encuentra de forma estable. Si se tiene valores fuera de los rangos establecidos quiere decir que hay problemas o anomalías dentro del proceso y es motivo de revisión.

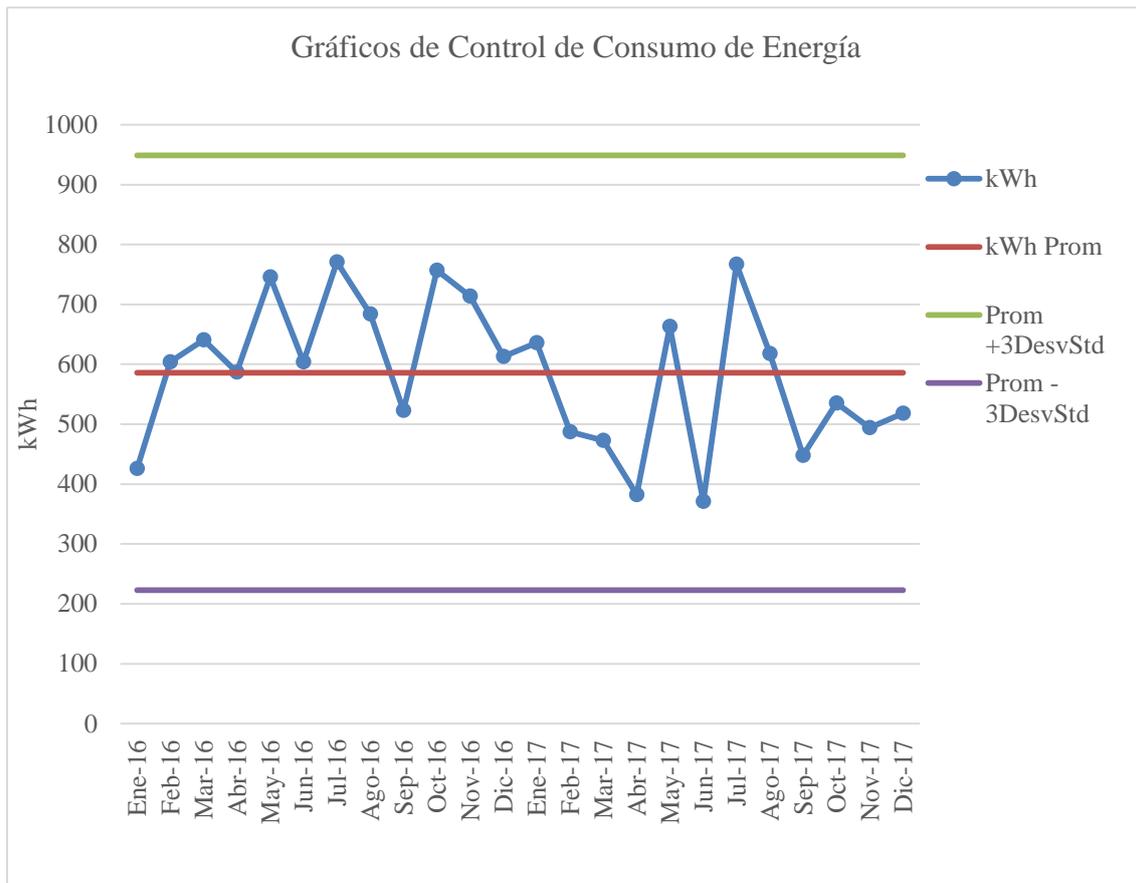


Figura 3.27: Control de consumo de energía.

En el gráfico de control de consumo de energía se puede observar que la variable evaluada el consumo de energía kWh., está dentro de los parámetros. El consumo promedio es de 585.92 kWh, tenemos mediante cálculos una desviación standard (σ) de 120.94 kWh, el consumo máximo (valor promedio $+3\sigma$) de 948.72 kWh, y el consumo mínimo (valor promedio -3σ) de 223.11 kWh. Como se puede observar los valores se encuentran sobre el valor promedio lo que demuestra la presencia de factores que provocan una tendencia al aumento de consumo de energía.

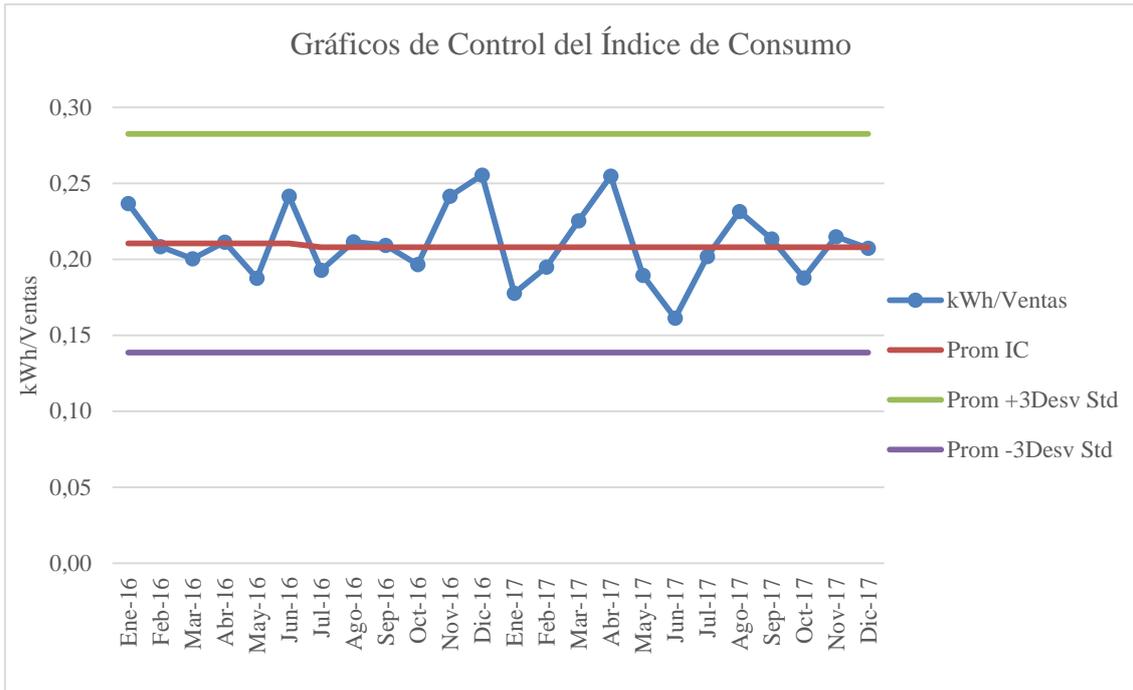


Figura 3.28: Control de Índice de Consumo

En el gráfico 23 se observa que el IC Índice de consumo de electricidad expresado en kWh/Ventas, se encuentra estable con un valor medio de IC igual a 0.2105 (kWh/Ventas), un valor máximo (valor promedio + 3σ) de 0.2824 (kWh/Ventas), y el valor mínimo (valor promedio - 3σ) de 0.1386 (kWh/Ventas), se puede apreciar que el IC está por debajo del promedio lo que demuestra que la disminución de consumo de energía se debe a que no ha habido muchas ventas o que se han realizado mantenimientos fuera del taller.

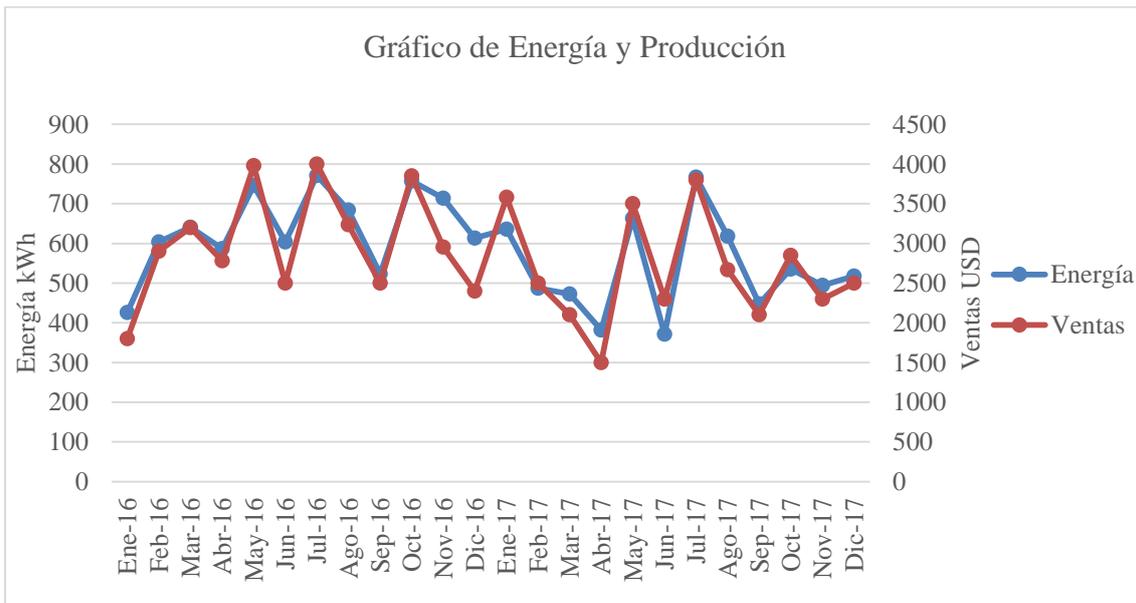


Figura 3.29: Energía y Producción

En el gráfico 24 se muestra la variación simultánea del consumo energético con las ventas realizadas en el mismo intervalo de tiempo, a través de este gráfico se observan algunos comportamientos anormales de consumo energético con respecto a la variación de ventas. Por ejemplo en el año 2016 se muestran valores bajos de ventas y altos de energía se debe a que ha habido retrasos en las entregas, o ha habido trabajos acumulados de un mes a otro.

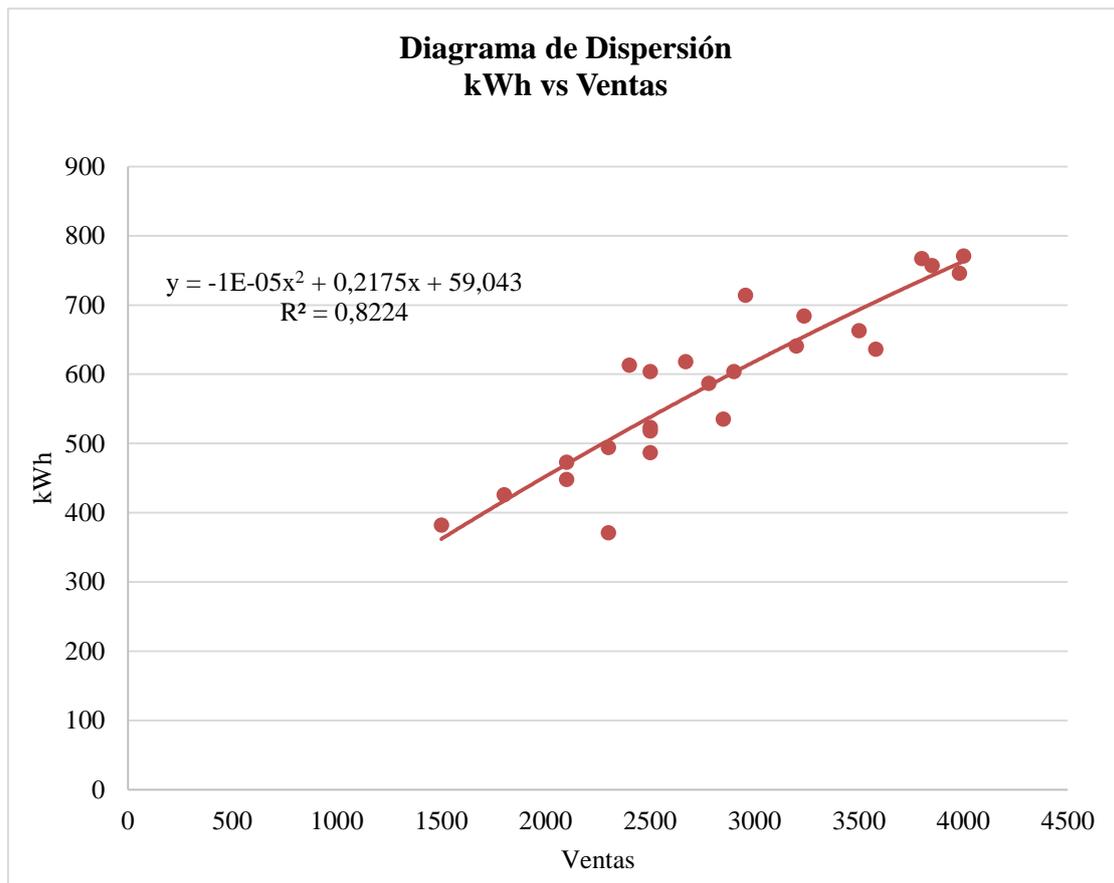


Figura 3.30: Diagrama de dispersión kWh vs Ventas

En el gráfico 25 se muestra el grado de relación de las variables Consumo Energético y las ventas realizadas mediante un gráfico (x, y), y de esta forma saber si los componentes están correlacionados. A continuación se muestra la ecuación obtenida.

Dispersión kWh vs Ventas

$$y = -1E-05x^2 + 0,2175x + 59,043 \tag{34}$$

Además que el factor de correlación $R^2= 0,8224$, es decir que existe una buena correlación entre el consumo de energía y las ventas. Esta ecuación se aplica con respecto al comportamiento histórico del consumo de energía eléctrica del taller, bajo las condiciones analizadas en los años 2016 y 2017.

Comportamiento histórico del consumo de energía 2016-2017

$$\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} = -1E - 05(\text{Ventas realizadas por mes})^2 + 0,2175(\text{Ventas realizadas por mes}) + 59,043 \quad (35)$$

La energía no asociada a la producción es de 59,043 kWh/mes, esto representa un 10,07% del consumo promedio de energía eléctrica.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA

4.1 Título de la propuesta

Elaboración de un plan alternativo de optimización energética.

4.2 Objetivos

1. Evaluar las propuestas expuestas para el ahorro de energía
2. Proponer un plan alternativo de optimización energética

4.3 Estructura de la propuesta

La estructura de la propuesta es desarrollar una evaluación técnica – económica de las oportunidades que se proponen para el ahorro del consumo de energía
Proponer un sistema de optimización de energía.

4.4 Desarrollo de la propuesta

4.4.1 Propuesta para corregir los problemas del sistema eléctrico

4.4.1.1 Corrección del Factor de Potencia.

Potencia consumida en la Carga = 16.68 kW

Lo primero que se procede a realizar es el cálculo de los ángulos, utilizado como datos el valor medido del factor de potencia y como segundo dato el valor al cual deseo llevar el factor de potencia.

$$f_{p1}=0.64 \qquad \theta_1 = \cos^{-1}(0.64) = 50.21$$

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

Con los datos de los ángulos saco los KVAR efectivos (Q_{eff})

$$Q_{eff} = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$Q_{eff} = 16.68 (\tan (50.21) - \tan (11.48))$$

$$Q_{eff} = 16.64 \text{ kVAR}$$

Este valor en KVAR es el que se deberá instalar en total del sistema en el punto de conexión del tablero de distribución principal hacia las cargas.

El siguiente paso es calcular la reactancia efectiva del filtro.

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

$$X_{\text{eff}} = \frac{(220 \text{ v})^2}{16.64 \times 10^3}$$

$$X_{\text{eff}} = 2.91 \Omega \text{ x fase}$$

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

$$h = \frac{180}{60} ; h=3 ; \quad 3*6\%=0.18 ; \quad 3-0.18=2.82$$

Cálculo de la reactancia capacitiva.-

$$X_c = \frac{(hx0.6)^2}{(hx0.6)-1} * X_{\text{eff}}$$

$$C = \frac{1}{2*\pi*f*X_c}$$

$$X_c = \frac{(2.82)^2}{(2.82)^2-1} * 2.91$$

$$C = \frac{1}{2*\pi*60*3.33} = 7.97 \times 10^{-4} \text{ F} = 796.57 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$X_c = 3.33 \Omega$$

$$C = 796.57 \text{ uF}$$

Debemos elegir un capacitor de valor comercial de 820 Uf

Cálculo de la reactancia inductiva.-

$$X_l = \frac{X_c}{h^2}$$

$$L = \frac{X_l}{2\pi x f}$$

$$X_l = \frac{3.33}{3^2}$$

$$L = \frac{0.37 \Omega}{2\pi x 60}$$

$$X_l = \frac{3.33}{9}$$

$$L = 9.815 \times 10^{-4} \text{ H}$$

$$X_l = 0.37 \Omega$$

$$L = 0.9815 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$L = 0.9815 \text{ mH}$$

Cálculo de la Resistencia del Filtro

$$R = \frac{X_l * h * 0.6}{Qf}$$

$$R = \frac{0.37 \Omega x 2.82}{20}$$

$$R = 0.0522 \Omega$$

Cálculo de la Impedancia del Filtro

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

$$Z=0.0522 \Omega + j \left(2 \times \pi \times 60 \times 0.9815 \times 10^{-3} - \frac{1}{2\pi \times 60 \times 0.79657 \times 10^{-3}} \right)$$

$$Z=0.0522 \Omega + j (0.37 - 3.33)$$

$$Z=0.0522 - j 2.96$$

Cálculo de los kVAR del Filtro

$$Kvar_{\text{filtro}} = \frac{V_i^2 I_L}{X_c - X_L}$$

$$Kvar_{\text{filtro}} = \frac{(220)^2}{3.33 - 0.37}$$

$$Kvar_{\text{filtro}} = 16351.35$$

$$Kvar_{\text{filtro}} = 0.0164 \text{ MVA}$$

COMPROBACIÓN.

Para que el filtro pasivo serie RLC se sintonice a la frecuencia requerida, se debe cumplir la siguiente condición:

$$X_c = X_L \qquad X_L = X_C \times h$$

$$X_c = \frac{3.33}{2.82} \qquad X_L = 0.37 \times 2.82$$

$$X_c = 1.18 \qquad X_L = 1.043$$

$$1.18 = 1.04$$

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

CORRIENTE FUNDAMENTAL.

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

$$I_{\text{fund}} = \frac{220}{\sqrt{3} (3.33 - 0.37)}$$

$$I_{\text{fund}} = 42.91 \text{ A}$$

CORRIENTES ARMÓNICAS.

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

$$I_{3\%} = 67.5 = \frac{I_3}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{67.5 \times 42.91}{100} \quad I_3 = 28.96 \text{ A}$$

$$I_{5\%} = 39.00 = \frac{I_5}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{39.00 \times 42.91}{100} \quad I_5 = 16.73 \text{ A}$$

$$I_{7\%} = 26.7 = \frac{I_7}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{26.7 \times 42.91}{100} \quad I_7 = 11.46 \text{ A}$$

$$I_{9\%} = 23.9 = \frac{I_9}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{23.9 \times 42.91}{100} \quad I_9 = 10.26 \text{ A}$$

$$I_{11\%} = 26.2 = \frac{I_{11}}{I_{\text{fund}}} \times 100 = \frac{26.2 \times 42.91}{100} \quad I_{11} = 11.24 \text{ A}$$

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

$$I_{\text{total rms}} = \sqrt{(42.91)^2 + (28.96)^2 + (16.73)^2 + (11.46)^2 + (10.26)^2 + (11.24)^2}$$

$$I_{\text{total rms}} = 57.64 \text{ A}$$

VERIFICACIÓN DE LA NORMA.

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

$$\% \text{margen de corriente} = \frac{57.64}{42.91} \times 100\% \leq 135\%$$

$$I_{\text{total rms}} = 134.33\% \leq 135\% \quad \text{SE ENCUENTRA DENTRO DE LA NORMA}$$

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

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

$$V_c = 42.91 \times 3.33$$

$$V_c = 142.89 \text{ V}$$

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

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

$$V_{c(h)} = \left(I_{(3)} \times \frac{3.33}{3} \right) + \left(I_{(5)} \times \frac{3.33}{5} \right) + \left(I_{(7)} \times \frac{3.33}{7} \right) + \left(I_{(9)} \times \frac{3.33}{9} \right) + \left(I_{(11)} \times \frac{3.33}{11} \right)$$

$$V_{c(h)} = (28.96 \times \frac{3.33}{3}) + (16.73 \times \frac{3.33}{5}) + (11.46 \times \frac{3.33}{7}) + (10.26 \times \frac{3.33}{9}) + (11.24 \times \frac{3.33}{11})$$

$$V_{c(h)} = 32.15 + 11.14 + 5.45 + 3.80 + 3.40$$

$$V_{c(h)} = 55.94 \text{ V}$$

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

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

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = \sqrt{2}(142.89 + 55.94)$$

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

$$V_{c \text{ L-N total pico}} = 281.19 \text{ V}$$

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

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

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

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

VERIFICACIÓN DE LA NORMA.

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

$$\frac{281.19 \text{ V}}{179.63 \text{ V}} \times 100\% \leq 120\%$$

$$116.54\% \leq 120\% \quad \text{SI CUMPLE}$$

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

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

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = \sqrt{(142.89)^2 + (3.49)^2 + (4.25)^2 + (1.67)^2 + (1.91)^2 + (1.99)^2}$$

$$V_{c \text{ L-N total rms}} = 143.03 \text{ V}$$

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

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

$$V_{\text{L-N rms SISTEMA}} = 127.017 \text{ V}$$

VERIFICACIÓN DE LA NORMA.

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

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{143.03 \text{ V}}{127.017} \times 100\% \leq 110\% V_{\text{L-N rms SISTEMA}}$$

$$\% \text{margen de voltaje} = 102.61\% \leq 110\% V_{\text{L-N rms SISTEMA}}$$

SI CUMPLE_ DENTRO DE LA NORMA

El último factor evalúa el calentamiento del dieléctrico del filtro.

$$Q_{3\phi \text{ recalculado}} = \frac{(V_{c \text{ L-N total rms}})^2}{X_c} \times 3 = \frac{(143.03)^2}{3.33} \times 3$$

$$Q_{3\phi \text{ recalculado}} = 18.43 \text{ kVAR}$$

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

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{18.43 \text{ VAR}}{16.64 \text{ kVAR}} \times 100\% \leq 135\%$$

$$\% \text{margen de voltaje} = 110.76\% \leq 135\% \quad \text{SI CUMPLE}$$

CALENTAMIENTO DEL DIELECTRICO.

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

$$\sum \downarrow h = 3((142.89)(42.91) + (3.49)(28.96) + (4.25)(16.73) + (1.67)(11.46) + (1.91)(10.26) + (1.99)(11.2))$$

$$\sum \downarrow h = 3(6364.69)$$

$$\sum \downarrow h = 19094.056 \text{ VAR}$$

$$\sum \downarrow h = 19.094 \text{ kVAR}$$

$$19.094 \leq 1.35 \times 19.094$$

$$19.094 \leq 25.78 \quad \text{SI CUMPLE}$$

Todos los límites se cumplen por un margen sustancial por lo tanto el diseño propuesto es satisfactorio. Por lo tanto el diseño del filtro que se va a colocar en la industria es el siguiente:

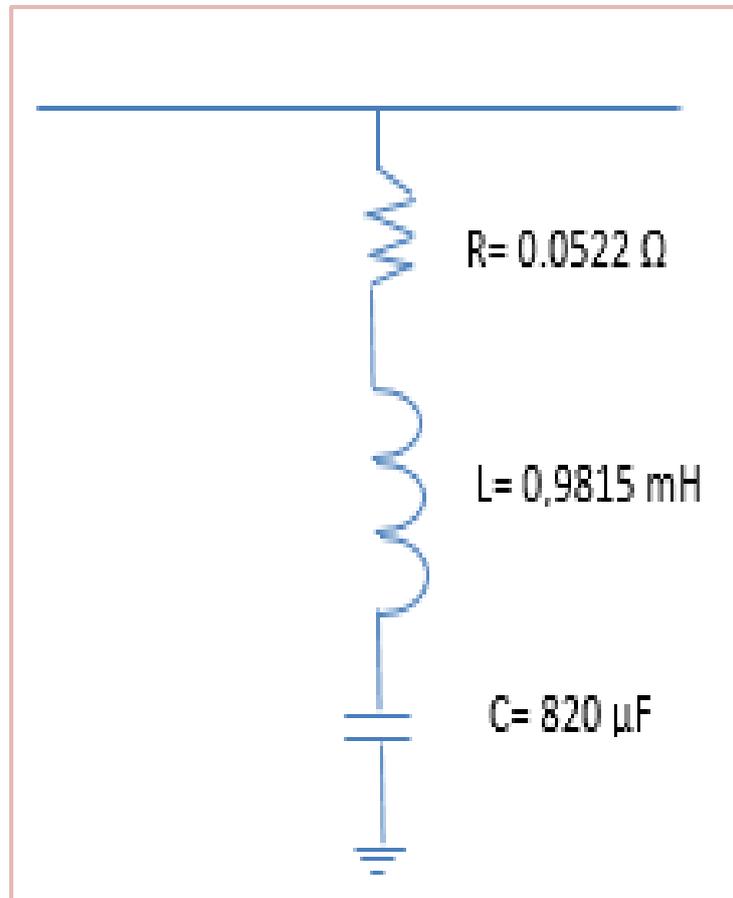


Figura 4.31: Diseño del filtro Activo

4.4.1.1. Comprobación del filtro calculado en el software

Una vez ya calculado el filtro se procede a ingresar los datos del sistema:

Inductor= $0.0522+j 0.37 \Omega$

Capacidad en MVAR= 0.0164 MVAR

Voltaje de línea a línea = 0.22 kV

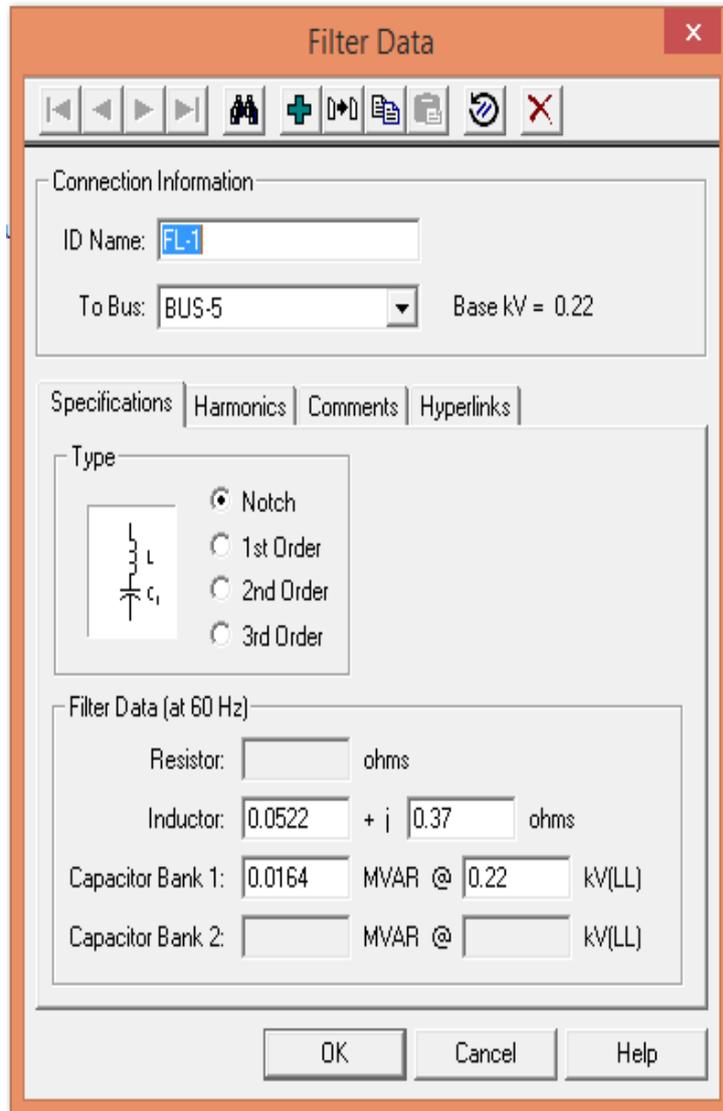


Figura 4.32: Dimensionamiento del filtro en EASY POWER

- Una vez ingresados los datos del filtro en el simulador se realizar una corrida de flujos de carga armónica y comprobamos que el THD de voltaje disminuye de un 3,46% a un 0,47%; y el THD de corriente disminuye de un 36,22% a 8,69%. Observamos que ya está dentro de las normas

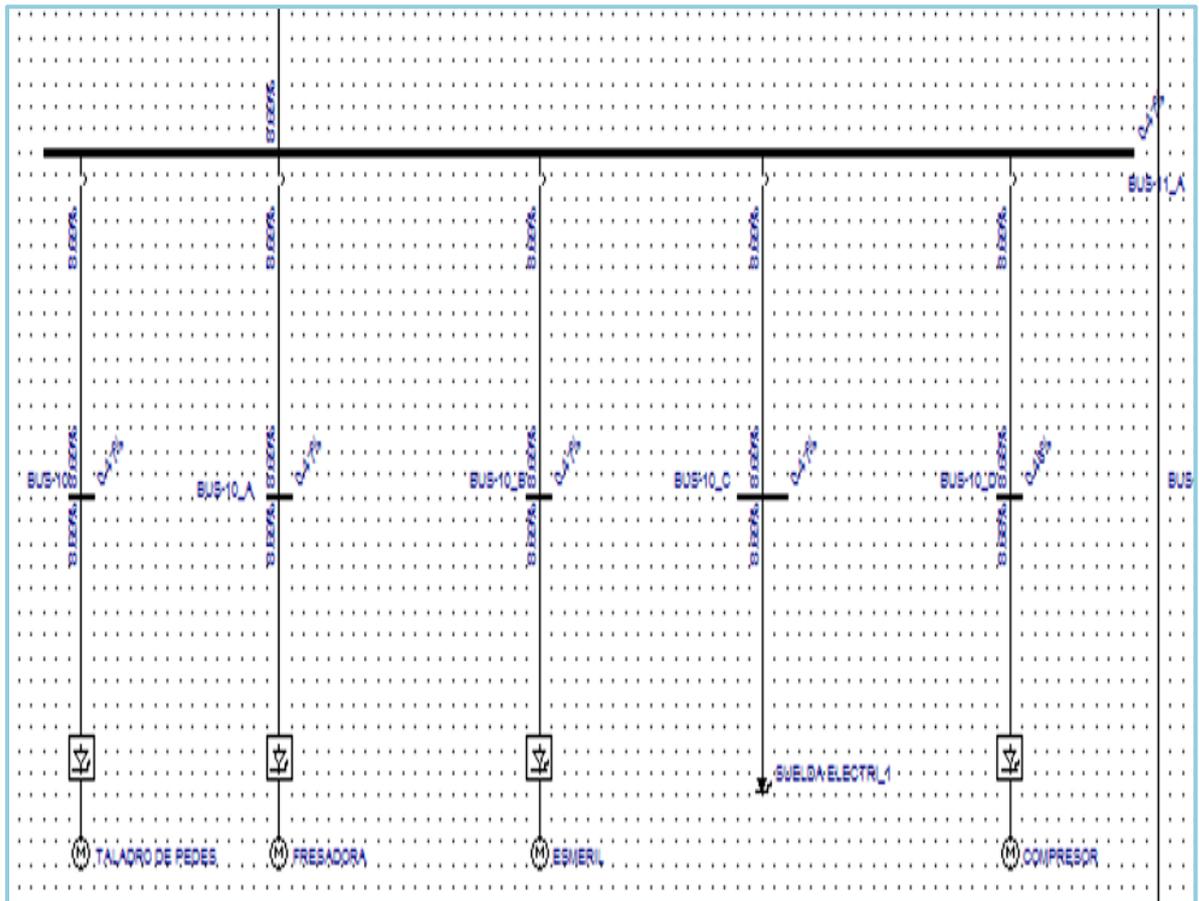


Figura 4.33: Corrección de armónicos con instalación de filtro

Por lo tanto se logra disminuir el porcentaje del nivel de armónico en especial del tercer armónico que es el que afecta más.

- **Análisis del THD de Voltaje**

La siguiente tabla indica los niveles del THD de voltaje en cada una de las barras y el promedio total en el sistema eléctrico, dando como resultado una reducción del 5,60% al 0,49% el mismo que se encuentra debajo del 8% que indica la norma

Tabla 37. Porcentaje de THD de voltaje las barras con filtro

Bus		Voltajes %
Name	Base kV	VTHD (%)
BUS-1	13.800	0%
BUS-2	0.220	0,30%
BUS-4	0.220	0,50%
BUS-5	0.220	0,50%
BUS-10	0.220	0,50%
BUS-10_A	0.220	0,50%
BUS-10_B	0.220	0,50%
BUS-10_C	0.220	0,50%
BUS-10_D	0.220	0,50%
BUS-10_E	0.220	0,50%
BUS-10_F	0.220	0,50%
BUS-10_G	0.220	0,50%
BUS-10_I	0.220	0,50%
BUS-10_J	0.220	0,50%
BUS-10_K	0.220	0,50%
BUS-10_L	0.220	0,50%
BUS-10_M	0.220	0,50%
BUS-11	0.220	0,50%
BUS-11_A	0.220	0,50%
BUS-11_B	0.220	0,50%
BUS-11_C	0.220	0,50%
STD1	0.220	0,50%
PROMEDIO		0,49%

✓ **Armónicos individuales de Voltaje**

De acuerdo al simulador obtenemos los siguientes porcentajes de armónicos individuales de voltaje que se presentan en la siguiente tabla

Tabla 38. Porcentaje de THD de voltaje en las cargas

Armónicos Individuales de Voltaje	
Harmonic	V (%)
1	100%
3	0,20%
5	0,20%
7	0,10%
9	0,10%
11	0,10%
13	0,10%

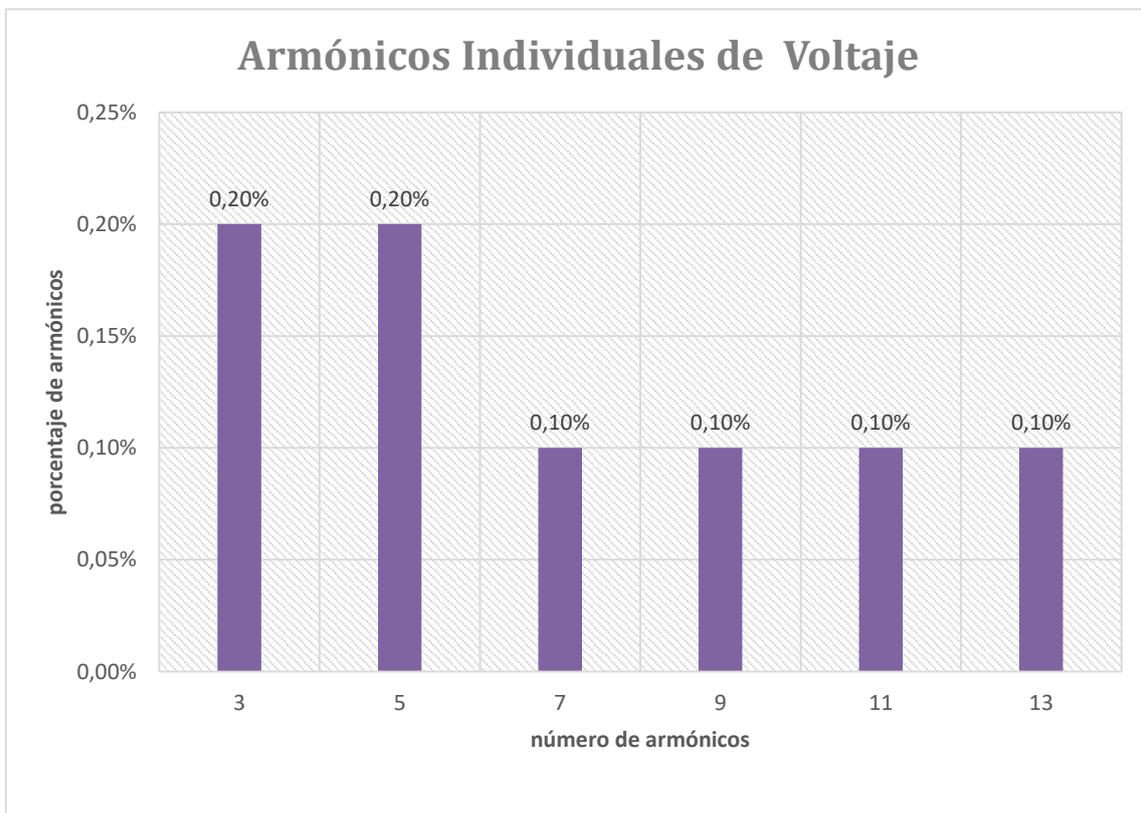


Figura 4.34: Diagrama de barras de los armónicos individuales de voltaje

Se puede constatar que después de colocar el filtro calculado el porcentaje de armónicos disminuyen considerablemente, asegurando la vida útil de los equipos.

- **Análisis del THD de Corriente**

La siguiente tabla indica los niveles del THD de corriente en cada una de las barras y el promedio total en el sistema eléctrico, dando como resultado una reducción del 36,22% al 8,40% el mismo que se encuentra debajo del 15% que indica la norma

Tabla 39. Porcentaje de THD de corriente en las cargas

Armónicos Individuales de Corriente	
Harmonic	I (%)
COMPRESOR	8,70%
DOBLADORA	8,70%
ESMERIL	8,70%
FRESADORA	4,60%
OFICINAS	8,70%
SUELDA ELECTRI_1	8,70%
SUELDA ELÉCTRICA 2	8,70%
SUELDA ELÉCTRICA 3	8,70%
SUELDAMIG_CORTAD	8,70%
TALADRO	8,60%
TALADRO DE PEDES	8,70%
TORNO 1	8,70%
TORNO 2	8,70%
PROMEDIO	8,40%

- **Armónicos individuales de Corriente**

De acuerdo al simulador obtenemos los siguientes porcentajes de los armónicos individuales de corriente que se presentan en la siguiente tabla

Tabla 40. Porcentaje de armónicos individuales de corriente

Armónicos Individuales de Corriente	
Harmonic	I (%)
1	100%
3	7,9%
5	3,0%
7	1,5%
9	1,0%
11	1,0%
13	0,5%
15	0,1%
17	0,1%

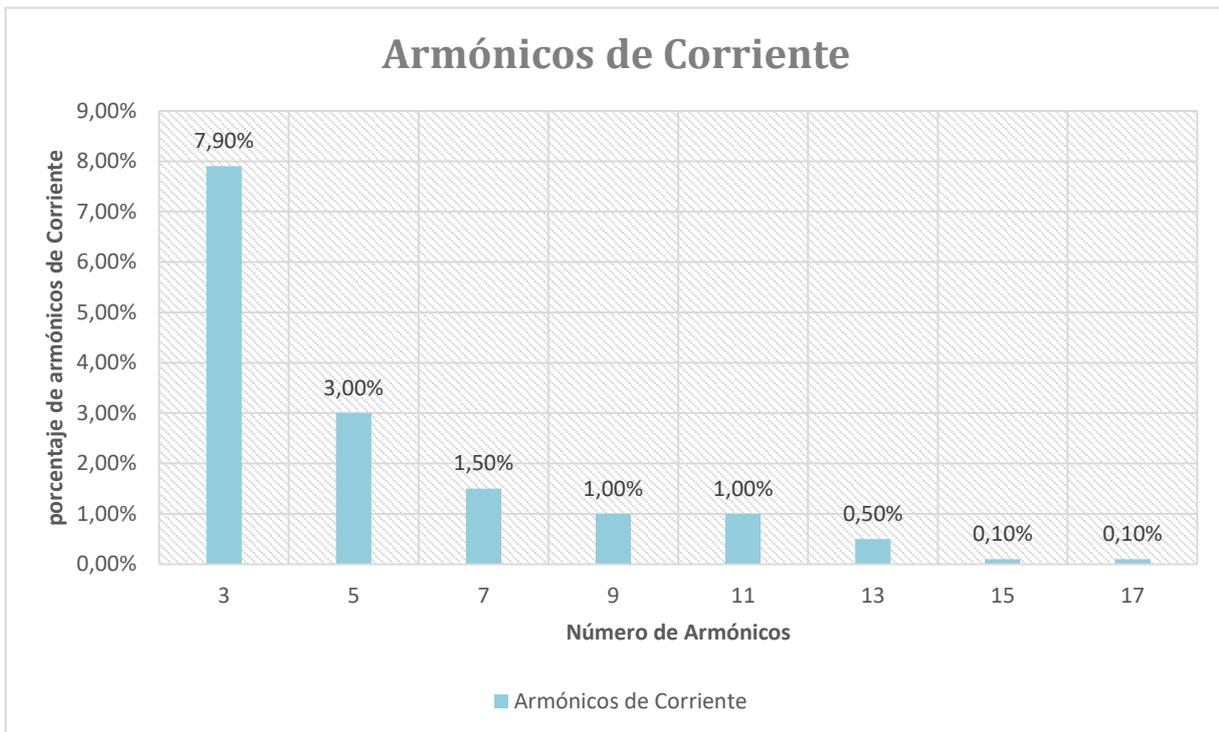


Figura 4.35: Diagrama de barras de los armónicos individuales

Fuente: Simulación EASY POWER

Se puede constatar que con el filtro se reduce el tercer armónico que es el que afecta más en los equipos de la industria. Con lo que constatamos que el cálculo y el diseño del filtro es adecuado.

✓ **Análisis de Factor de potencia**

La simulación inicial del sistema nos arrojaba un factor de potencia de 0,64, con la colocación del filtro, debido al capacitor se logra eleva el factor de potencia a 0,96. El mismo que se encuentran debajo de la norma.

A continuación se indica el factor de potencia de cada carga.

Tabla 41. Porcentaje de armónicos individuales de corriente

Bus		Solución
Name	Base kV	Pf
BUS-10	0.220	0.960
BUS-10_A	0.220	0.960
BUS-10_B	0.220	0.960
BUS-10_C	0.220	0.961
BUS-10_D	0.220	0.960
BUS-10_E	0.220	0.960
BUS-10_F	0.220	0.960
BUS-10_G	0.220	0.960
BUS-10_I	0.220	0.960
BUS-10_J	0.220	0.960
BUS-10_K	0.220	0.961
BUS-10_L	0.220	0.960
BUS-10_M	0.220	0.960

Además se puede observar que el factor de potencia de la generación del sistema se encuentra en 0,93 y el de la carga se encuentra con 0,96 por ende están dentro de los límites

Tabla 42. Factor de Potencia de la generación y de la carga

Total	PF
Generation in System	0.930
Load in System	0.960

4.4.2 Análisis Técnico económico de la implementación del Proyecto

4.4.2.1 Ahorro energético al implementar las soluciones propuestas

✓ **Cálculo de Pérdidas:**

Pérdidas Iniciales=0.90 kW

Tabla 43: Pérdidas Iniciales

From Bus		To Bus		Losses	
Name	Base kV	Name	Base kV	kW	kVAR
BUS-1	13.800	BUS-2	0.220	0.3	0.5
BUS-2	0.220	BUS-4	0.220	0.4	0.2
BUS-4	0.220	STD	0.220	0.2	0.0
PRINCIPAL					
COMPRESOR	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
DOBLADORA	0.220	STD4	0.220	0.0	0.0
ESMERIL	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
FRESADORA	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
OFICINAS	0.220	STD2	0.220	0.0	0.0
STD PRINCIPAL	0.220	STD6	0.220	0.0	0.0
STD PRINCIPAL	0.220	STD3	0.220	0.0	0.0
STD PRINCIPAL	0.220	STD4	0.220	0.0	0.0
STD PRINCIPAL	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
STD PRINCIPAL	0.220	STD2	0.220	0.0	0.0
SUELDA MIG_ CORT	0.220	STD6	0.220	0.0	0.0
SUELDA 1	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
SUELDA 2	0.220	STD3	0.220	0.0	0.0

SUELDA 3	0.220	STD4	0.220	0.0	0.0
TALADRO	0.220	STD3	0.220	0.0	0.0
TALDRO_PEDESTAL	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
TORNO_1	0.220	STD2	0.220	0.0	0.0
TORNO 2	0.220	STD2	0.220	0.0	0.0
Total System Losses				0.9	0.7

Pérdidas finales=0.6 kW

Tabla 44: Pérdidas Finales

From Bus		To Bus		Losses	
Name	Base kV	Name	Base kV	kW	kVAR
BUS-1	13.800	BUS-2	0.220	0.2	0.4
BUS-2	0.220	BUS-4	0.220	0.3	0.1
BUS-4	0.220	BUS-5	0.220	0.1	0.0
BUS-5	0.220	BUS-11_A	0.220	0.0	0.0
BUS-5	0.220	BUS-11_B	0.220	0.0	0.0
BUS-5	0.220	BUS-11_C	0.220	0.0	0.0
BUS-5	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
BUS-5	0.220	BUS-11	0.220	0.0	0.0
BUS-10	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
BUS-10_A	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
BUS-10_B	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
BUS-10_C	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
BUS-10_D	0.220	STD1	0.220	0.0	0.0
BUS-10_E	0.220	BUS-11	0.220	0.0	0.0
BUS-10_F	0.220	BUS-11	0.220	0.0	0.0
BUS-10_G	0.220	BUS-11	0.220	0.0	0.0
BUS-10_I	0.220	BUS-11_A	0.220	0.0	0.0
BUS-10_J	0.220	BUS-11_B	0.220	0.0	0.0

BUS-10_K	0.220	BUS-11_A	0.220	0.0	0.0
BUS-10_L	0.220	BUS-11_B	0.220	0.0	0.0
BUS-10_M	0.220	BUS-11_C	0.220	0.0	0.0
Total System Losses				0.6	0.5

Pérdidas Iniciales en hora pico=0.9 kW

Pérdidas finales en hora pico= 0.6 kW

$$\text{Pérdidas totales} = \text{Pérdidas Iniciales} - \text{Pérdidas finales} \quad (36)$$

Pérdidas totales=0.9 kW-0.6 kW

Pérdidas totales=0.3 kW

Calculo de las pérdidas de energía.

$$\text{Perdidas de Energía} = \text{Perdidas en valor en kW} * \text{días} * \text{horas} \quad (37)$$

$$\# \text{ de horas de carga equivalentes (EH)} = \frac{\text{Energía total consumidas en un periodo (kWh)}}{\text{Carga máxima (kW)}} \quad (38)$$

Carga máxima= 16,68 kW

Energía total consumidas en un periodo (kWh)=836,511 kWh

$$EH = \frac{836,511 \text{ kWh}}{16,68 \text{ kW}}$$

EH=50.15 h

Perdidas de Energía= Pérdidas totales en kW*semanas*horas

Perdidas de Energía=0.3 kW*4 semanas*50.15 horas

$$\text{Perdidas de Energía} = 60.18 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Se multiplica la Energía por el costo del kWh este valor es tomado del pliego tarifario

BAJA TENSIÓN CON DEMANDA			
COMERCIALES E INDUSTRIALES			
	4,790	0,090	1,414
ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS			
SERVICIO COMUNITARIO, AUTOCONSUMOS Y ABONADOS ESPECIALES			
	4,790	0,080	1,414
BOMBEO AGUA			
	4,790	0,070	1,414
BAJA TENSIÓN CON DEMANDA HORARIA			
COMERCIALES E INDUSTRIALES			
07h00 hasta 22h00	4,790	0,090	1,414
22h00 hasta 07h00		0,072	
E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS			
SERVICIO COMUNITARIO, AUTOCONSUMOS Y ABONADOS ESPECIALES			
07h00 hasta 22h00	4,790	0,080	1,414
22h00 hasta 07h00		0,066	
BOMBEO AGUA			
07h00 hasta 22h00	4,790	0,070	1,414
22h00 hasta 07h00		0,066	
BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE			
L-V 08h00 hasta 18h00	2,620	0,056	1,414
L-V 18h00 hasta 22h00		0,095	
L-V 22h00 hasta 08h00***		0,045	
S,D 18h00 hasta 22h00		0,056	
VEHICULOS ELÉCTRICOS			
L-V: 08h00 hasta 18h00	4,050	0,080	1,414
L-D: 18:00 hasta 22:00		0,100	
L-D: 22h00 hasta 08h00		0,050	
SyD: 08h00 hasta 18h00			

Figura 4.36: Pliego Tarifario. Valor Industrial

$$\text{Costo por perdidas} = 60.18 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * 0.090 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo por perdidas} = 5.42 \frac{\text{USD}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\text{Costo por perdidas} = 65.04 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Pago de penalización por bajo factor de potencia

El siguiente recuadro muestra la cantidad que debe pagar cada mes el taller Metalmecánico CM por concepto de penalización por bajo factor de potencia que presentan

Tabla 45: Penalización anual por bajo factor de potencia

MES	Valor consumo cancelado	Penalización de fp	Consumo sin Penalización
ENERO	\$120,6	\$ 51,7	\$ 68,94
FEBRERO	\$105,8	\$ 45,3	\$ 60,43
MARZO	\$ 97,0	\$ 41,6	\$ 55,4
ABRIL	\$130,6	\$ 56,0	\$ 74,64
MAYO	\$126,1	\$ 54,0	\$ 72,03
JUNIO	\$252,7	\$108,3	\$ 144,38
JULIO	\$147,0	\$ 63,0	\$ 83,98
AGOSTO	\$117,0	\$ 50,2	\$ 66,88
SEPTIEMBRE	\$103,1	\$ 44,2	\$ 58,93
OCTUBRE	\$100,4	\$ 43,0	\$ 57,36
NOVIEMBRE	\$ 94,6	\$ 40,5	\$ 54,03
DICIEMBRE	\$130,6	\$ 56,0	\$ 74,64
MULTA ANUAL		\$ 871.64	

Ahorro económico=Costo por perdidas anual + Mutas anual por bajo factor de potencia

$$\text{Ahorro económico} = 65.04 \frac{\text{USD}}{\text{año}} + 871.64 \frac{\text{USD}}{\text{año}} = 936.68 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro económico} = 936.68 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

4.4.2.2 Cálculo del TIR y el TMAR:

Para el cálculo de estos parámetros tomamos en consideración los siguientes datos:

- Inversión del Proyecto: 5200 USD
- Ahorro económico por energía consumida anual y multas por penalización por bajo factor de potencia: $936,68 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$
- Instalación de los equipos recomendados: 100,00 USD
- Mantenimiento de los equipos: 100,00 USD
- Además se tomará en cuenta una tasa de inflación del 0,9%

CUENTAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSIÓN	(5.200,00)										
AHORRO POR		936,68	974,80	1.014,48	1.055,77	1.098,74	1.143,45	1.189,99	1.238,43	1.288,83	1.341,29
INSTALACIÓN		100,00									
MANTENIMIENTO		100,00	104,07	108,31	112,71	117,30	122,08	127,04	132,21	137,60	143,20
FLUJO NETO	(5.200,00)	736,68	870,73	906,17	943,05	981,44	1.021,38	1.062,95	1.106,21	1.151,23	1.198,09

Figura 4.37: Flujo Neto de inversión

- ✓ **Cálculo del TIR:** 12,86 %
- ✓ **Cálculo del TMAR:** 5459,45
- ✓ **Tiempo de recuperación:** 6 años

El proyecto es rentable puesto que el período de recuperación de la inversión de capital se da en un tiempo razonable de seis años ya que el tiempo de vida útil de los equipos es de diez años, además de esto se debe considerar los beneficios que generan como el ahorro de energía y la maquinaria funciona adecuadamente, además se evitara las penalizaciones ocasionando el ahorro.

4.5 Impactos (técnicos, sociales, ambientales o económicos):

- **Factibilidad operativa**

Desde el punto de vista operativo el estudio es factible debido a que las propuestas de solución ayudarán a reducir cualquier anomalía presente en la red de la Industria y principalmente permitirá mejorar el funcionamiento de los procesos y equipos.

- **Factibilidad económica**

Las propuestas planteadas tienen factibilidad económica, puesto que es una inversión a corto plazo, donde el principal beneficio económico será eliminar el pago de penalizaciones por bajo factor de potencia, rubro que pasará a formar parte de los ingresos a favor de la empresa, gracias al nivel de calidad de energía eléctrica. Los fenómenos que afectan a los equipos son controlados, garantizando confiabilidad en las instalaciones eléctricas de la industria, puesto que al contar con un buen suministro de energía eléctrica se podrá invertir en maquinaria y equipo, manteniendo la vida útil de los mismos.

4.6 Presupuesto para la propuesta del proyecto:

Tabla 46: Presupuesto para implementación del proyecto

ÍTEM	EQUIPO	CANT	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Filtro electrónico de paso bajo/pasivo/de armónico FN 3410	1	\$4576,00	\$ 4576,00
SUB TOTAL				\$ 4576,00
IVA 12%				\$624,00
TOTAL				\$ 5200,00

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES:

- En el presente Proyecto de Investigación se realizó un diagnóstico energético en los diferentes sistemas que componen la planta "CM", donde se detectó problemas como el bajo factor de potencia a través del análisis de los parámetros medidos y calculados que intervienen dentro del proceso productivo, se observó que lo que ocasionaba este problema era la presencia de armónicos de corriente con un porcentaje que sobrepasa a los estipulado por la regulación
- Al realizar el estudio de calidad de energía de la industria a través de la medición y simulación de los parámetros eléctricos se pudo detectar los problemas que tenían la industria y desarrollar un plan de ahorro energético que contempla alternativas de mejora para reducir los armónicos de corriente y elevar el factor de potencia al nivel que establece la norma.
- El plan de ahorro energético que se desarrolló para mejorar la calidad de energía eléctrica en la industria, contempla algunas alternativas de mejora como el diseño de un filtro pasivo que ayuda a reducir el nivel de armónicos de corriente y elevar el factor de potencia para evitar penalizaciones en la planilla eléctrica.
- Se analizó económicamente las soluciones planteadas en base a la implementación de un filtro que mejora la eficiencia energética de la empresa dando una factibilidad tanto técnica como económica debido a que la inversión inicial que se da al implementar las soluciones es menor al ahorro mensual que se tiene debido a la eliminación del rubro por pago de penalización por bajo factor de potencia

5.2 RECOMENDACIONES:

- Es necesario realizar el cálculo y las debidas simulaciones del filtro pasivo sintonizado, el mismo que proporciona potencia reactiva fundamental para compensar el factor de potencia, donde se debe observar a que nivel mejoró, luego y si el caso lo amerita se debe colocar un banco de capacitores para llevar al factor de potencia a niveles que estén dentro de la regulación
- Es necesario realizar un mantenimiento preventivo y predictivo de las instalaciones eléctricas de la Industria y así se podrá incrementar la vida útil de los equipos, además de disminuir considerablemente las pérdidas en cada uno de los elementos del sistema eléctrico de la industria como: conductores, transformadores, protecciones, etc.
- Las propuestas planteadas en el proyecto de investigación, es técnicamente y económicamente factible, debido a que la inversión realizada se recupera en un tiempo debidamente razonable, gracias a evitar recargos por penalización por bajo factor de potencia y además disminuirá las pérdida de energía eléctrica

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Flores, Diagnostico del consumo de energia electrica en la empresa de fabricacion de helados KEDEL y de la ciudad de Quito durante el año 2015. Diseño de un plan de mejoras en la gestion energetica para el portador electrico, Latacunga: UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI, 2016.
- [2] J. I. Garcia Silva y I. A. Vinza Caravajal, IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN BASE A LA NORMA 50001 PARA LA EMPRESA "LA IBERICA", RIOBAMBA: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, 2015.
- [3] N. Grande y R. Guevara, CALIDAD DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS, ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR: UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA "JOSE SIMEÓN CAÑAS", 2012.
- [4] L. A. Furlan Garcia, METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN COCINAS DE INDUCCIÓN PARA EL ECUADOR, QUITO: ESCUELA POLITECNIA NACIONAL, 2018.
- [5] GMOBB, «www.gmobb.com,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.gmobb.ec/noticia/page/2/>.
- [6] INEN, «www.normalizacion.gob.ec,» 28 6 2013. [En línea]. Available: <http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/INEN-INEEER.pdf>.
- [7] M. Hernández y L. Labrador, «<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia25/HTML/articulo09.htm>,» [En línea]. Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia25/HTML/articulo09.htm>. [Último acceso: 08 agosto 2018].
- [8] EQA, Sistemas de Gestión Energética ISO 50001, México: EQA, 2015.
- [9] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Resumen Plan Estratégico Institucional, Quito: MEER, 2017.
- [10] ISO, «[ww.iso.org](http://www.iso.org),» [En línea]. Available: (http://www.iso.org/iso/iso_50001_energy-es.pdf)..

- [11] L. Culqui y M. Basantes, Estudio de la Calidad de Energía Eléctrica a nivel de usuario en el primario No 1 de la Subestación Salcedo (69/13.8 kV) de la Empresa Eléctrica Cotopaxi, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2010.
- [12] CONELEC, «Regulación del Servicio Eléctrico de Distribución No CONELEC 004/01,» *EL DIRECTORIO DEL CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD*, pp. 4-10, 2011.
- [13] L. Aguirre y H. Germán, «“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 la regulación No. CONELEC 004/01”,» Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2010.
- [14] M. Holguin y D. Gomez, Análisis de calidad de energía eléctrica en el " Nuevo Campus" de la Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil: Universidad Pikitécnica Salesiana Sede - Guayaquil, 2010.
- [15] G. Enríquez, El ABC de las Instalaciones Eléctricas Residenciales, México: Limusa, 2005.
- [16] V. Guachamin y E. Naranjo, Análisis y Estudio de la calidad de Energía Eléctrica en la planta industrial de Quito Imprenta Mariscal, Quito: Escuela Politécnica Nacional , 2011.
- [17] J. Sierra, «Guía Técnica de eficiencia energética eléctrica,» *Circuitos*, pp. 23-25, 2009.
- [18] J. Mora y Y. Cevallos, Estudio y análisis de calidad de energía enfocado en nivel de armónicos en el sistema eléctrico de la subestacion enfriadora Holcim Ecuador Planta Guayaquil, Guayaquil - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2014.
- [19] IEEE_519_1992, Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el control de armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia, IEEE, 1992.
- [20] J. Gers, «Teoría y diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos,» *TECSUP*, pp. 2-3, 2008.
- [21] IEEE, «Norma IEEE - 1531 -2003,» 2033.
- [22] D. d. p. E. S.A., «SUBESTACIONES,» www.elepcosa.com, LATACUNGA, 2015.

9. ANEXOS

9.1 ANEXO 1

Diagrama Unifilar de la metalmecánica CM

9.2 ANEXO 2

Diagrama de Corrida de Flujos de la Industria

9.3 ANEXO 3

Diagrama de Corrida de Armónicos de la Industria

9.4 ANEXO 4

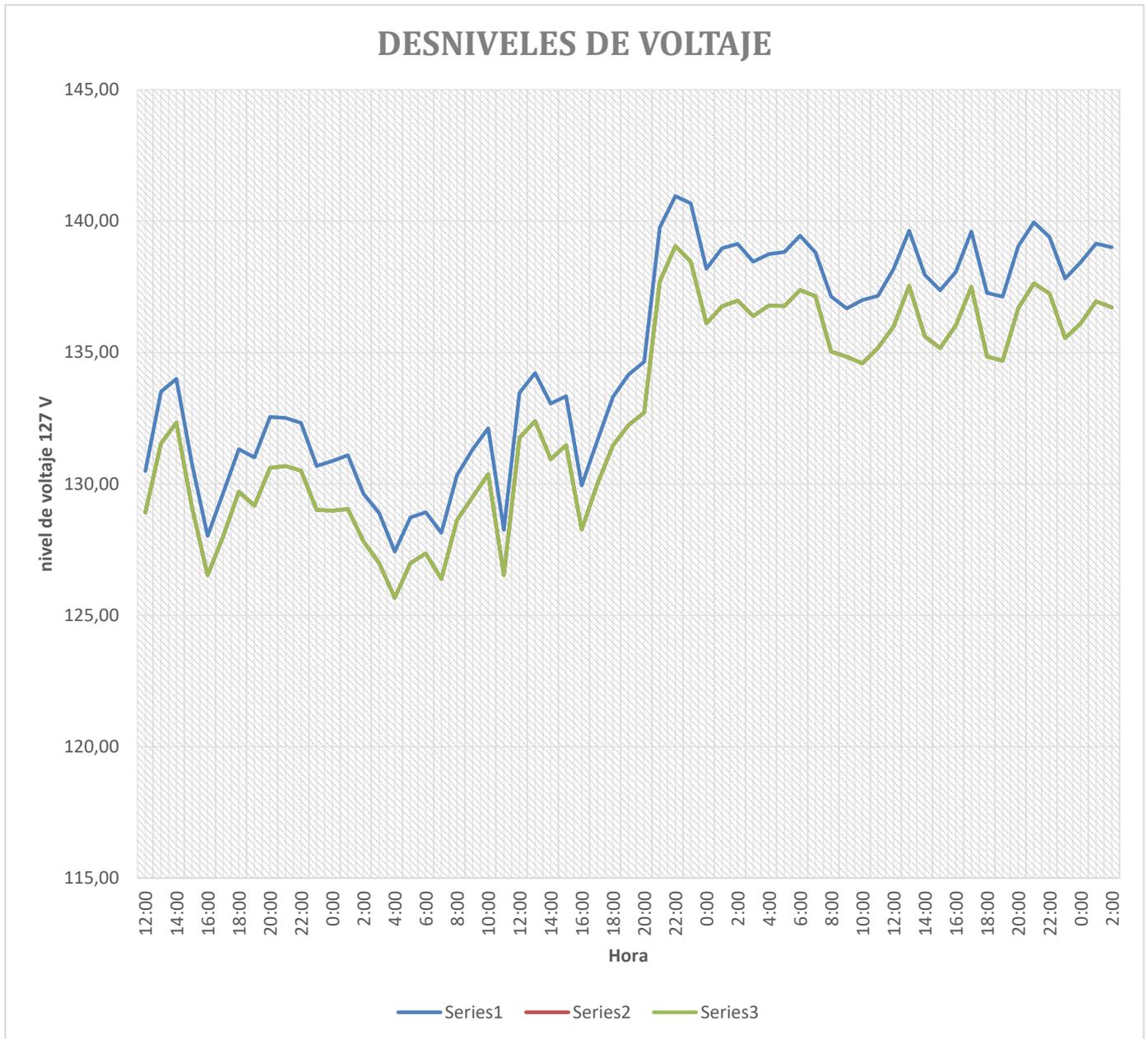
Diagrama de Corrida de Flujos con la Instalación del Filtro

9.5 ANEXO 5

Diagrama de Corrida de Armónicos con la Instalación del Filtro

9.6 ANEXO 6

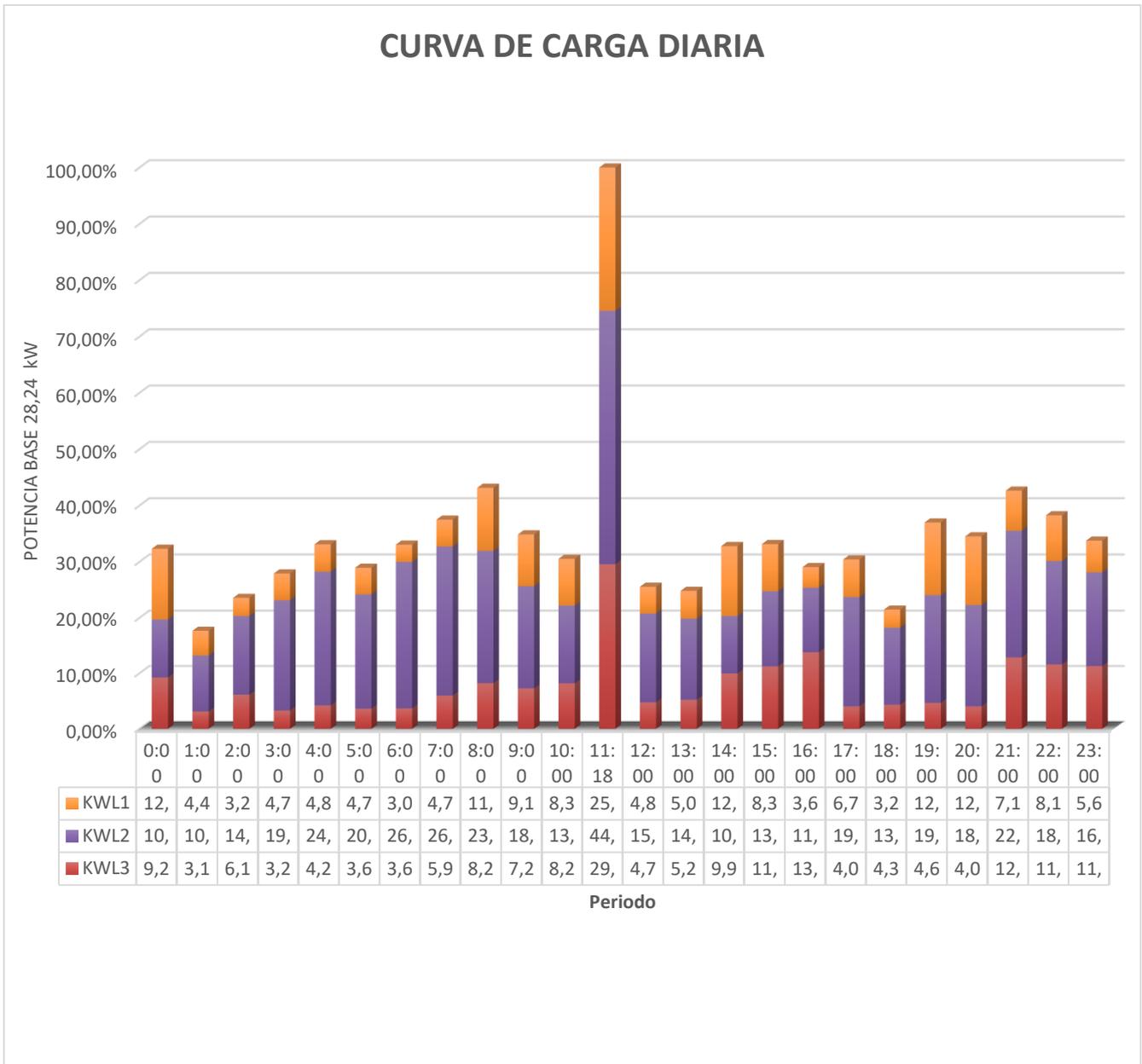
Medición de Voltaje Total en el día más crítico



Elaborado por: El Investigador

9.7 ANEXO 7

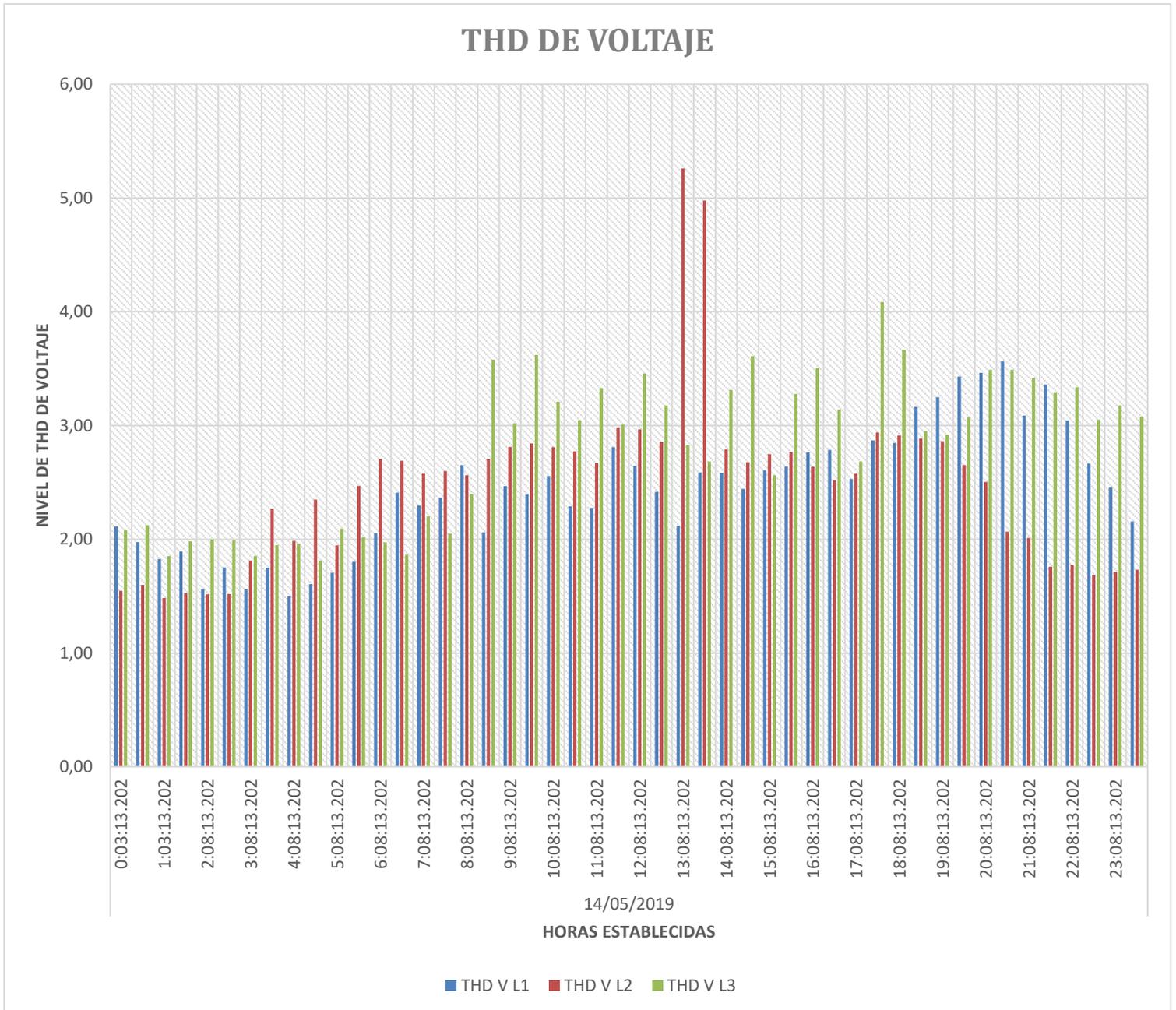
Curva de carga diaria de la Metalmecánica



Elaborado por: El Investigador

9.8 ANEXO 8

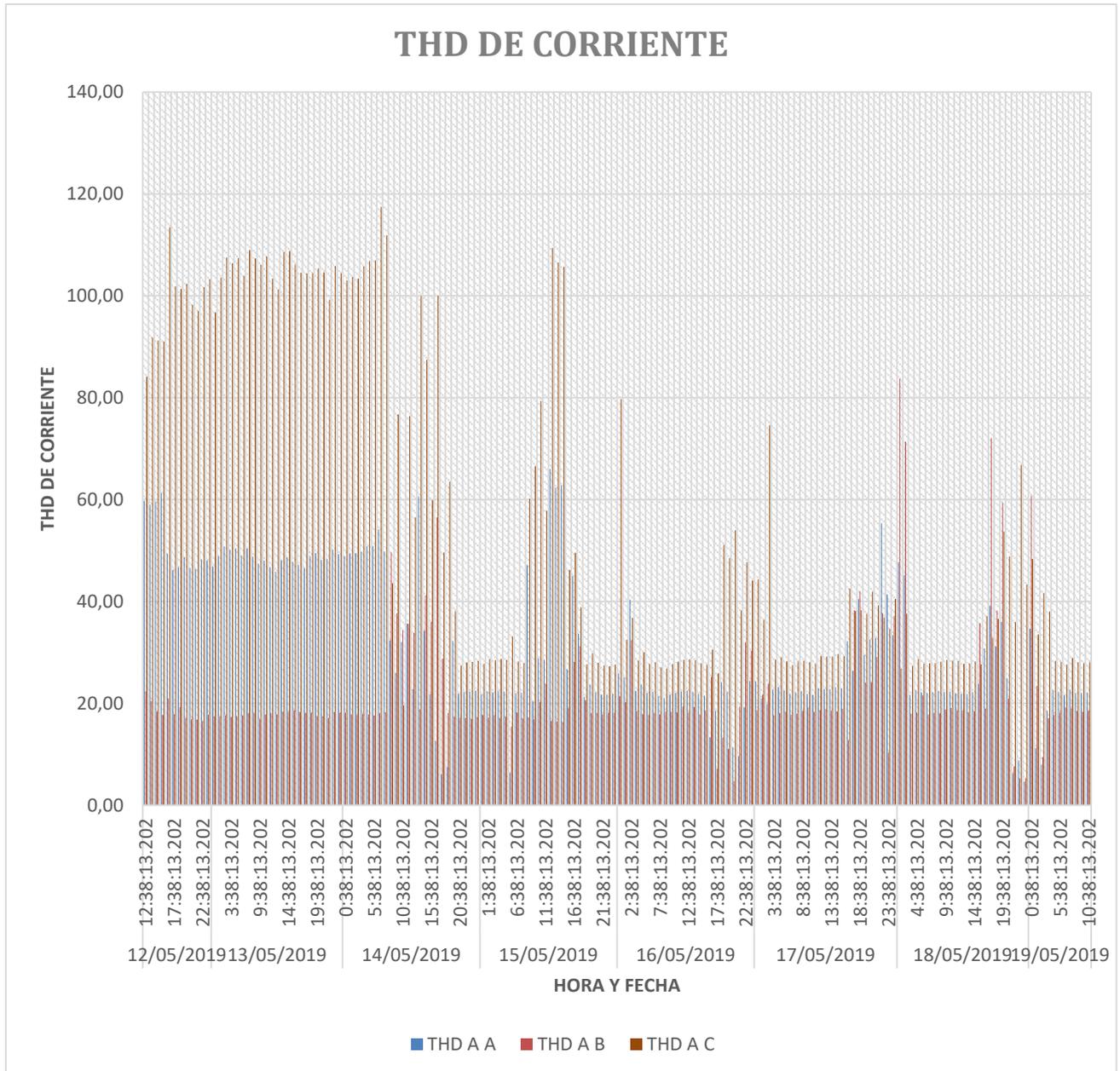
Curva del THD de Voltaje de la Metalmecánica en el día más crítico



Elaborado por: El Investigador

9.9 ANEXO 9

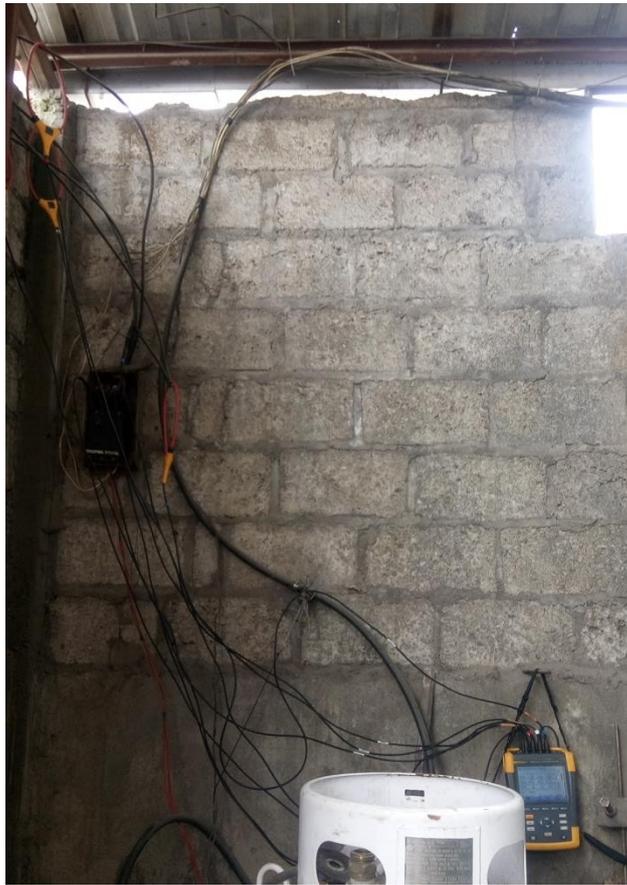
Curva del THD de Corriente de la Metalmecánica en el día más crítico



Elaborado por: El Investigador

9. 10 ANEXO 10

FOTOGRAFÍAS DE LA INSTALACIÓN DEL ANALIZADOR



Elaborado por: El Investigador