



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

“EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS EQUIPOS E INSTALACIONES DEL LABORATORIO DE MECÁNICA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA, DURANTE EL AÑO 2017. PROPUESTA DE UN PLAN DE MEJORAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA”

Autor: Ing. Pepe Fernando Ibáñez Jácome.

Tutor: MSc. Edwin Homero Moreano Martínez.

LATACUNGA – ECUADOR

OCTUBRE 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: Pepe Fernando Ibáñez Jácome, con el título de tesis: **“EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS EQUIPOS E INSTALACIONES DEL LABORATORIO DE MECÁNICA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA, DURANTE EL AÑO 2017. PROPUESTA DE UN PLAN DE MEJORAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

Latacunga, Octubre del 2018

Para constancia firman:

PhD. Secundino Marrero Ramírez
PRESIDENTE

CI.: 175710790-7

PhD. Iliana González Palau
MIEMBRO

CI.: 175707065-9

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso
MIEMBRO

CI.: 175836725-2

MSc. Edwin Marcelo Lema Guamán
OPONENTE

CI:030224135-1

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DEL TUTOR

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

CERTIFICO:

Que he analizado el Proyecto de tesis de grado con el título de **“EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS EQUIPOS E INSTALACIONES DEL LABORATORIO DE MECÁNICA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA, DURANTE EL AÑO 2017. PROPUESTA DE UN PLAN DE MEJORAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA”**, presentado por Ibáñez Jácome Pepe Fernando, con cédula de ciudadanía N° 050193861-7, 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 los trámites correspondientes.

Latacunga, Octubre del 2018

MSc. Edwin Homero Moreano Martínez

CI.: 0502607500

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA DE LA TESIS

El presente proyecto de investigación, es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor con el tema: “Evaluación de las pérdidas de energía eléctrica en los equipos e instalaciones del laboratorio de mecánica industrial de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, durante el año 2017. Propuesta de un plan de mejoras para el uso eficiente de la Energía Eléctrica”; previo a la obtención del título **Magister en Gestión de Energías**, en tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En tal virtud, declaro que el contenido de redacción, conclusiones, efectos legales y académicos que se describen en el trabajo de investigación propuesto; son de mi exclusiva responsabilidad, en honor a la verdad que exige el valor y la ética profesionales.

Latacunga, Octubre del 2018

Pepe Fernando Ibáñez Jácome

C.I.: 05019386

AGRADECIMIENTOS

A Dios, creador de todo nuestro mundo y de mi existencia, a mi madre Magdalena que me dio la vida, a mi esposa María Fernanda que con paciencia siempre apoyó mis proyectos, a mis familiares quienes son el apoyo de mis acciones y a mi noble y gloriosa Institución Armada nuestro Ejército Ecuatoriano que me dio las herramientas de vida y de profesión para ser una persona útil para la sociedad.

Pepe Fernando Ibáñez Jácome

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a:

A mi madre y esposa por ser los pilares fundamentales en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Pepe Fernando Ibáñez Jácome.

INDICE

AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	II
CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DEL TUTOR	III
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA DE LA TESIS.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
INDICE	VII
INDICE DE TABLAS.....	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XVI
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT	XIX
INTRODUCCIÓN.....	1
Delimitación del problema y objeto	1
Situación problemática	1
Objeto de estudio de la investigación.....	2
Formulación del problema.....	2
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis:.....	3
Visión epistemológica de la investigación	3
CAPÍTULO I.....	5
MARCO TEÓRICO	5
1.1 Antecedentes del estudio.....	5
1.2. Fundamentación legal	7
1.3 Fundamentación Teórica.....	8
1.3.1. Desempeño energético	8
1.3.2 Diagrama unifilar	9
1.3.3 Uso de la energía.....	9
1.3.4 Consumo de energía.....	10

1.3.5 Indicador de desempeño energético (IDEn).....	10
1.3.6 Eficiencia energética	11
1.3.6.1 Factor de Demanda.....	11
1.3.6.2 Factor de Carga	12
1.3.6.3 Factor de simultaneidad	13
1.3.7 Selección de Transformador.....	16
1.3.7.1 Transformador.....	16
1.3.7.2 Pérdidas de un transformador.....	16
1.3.7.3 Cargabilidad del transformador.....	17
1.3.7.4. Cálculo para la selección de transformador	17
1.3.7.5 Eficiencia por renovación de los transformadores	18
1.3.7.6 Selección de Conductores.	20
1.3.7.7 Criterios para el dimensionamiento de la selección de mínima de los Conductores ...	21
1.3.7.8 Aislamiento de los Conductores.....	22
1.3.7.9 Circuitos trifásicos.....	22
1.3.7.10. Pérdidas en los conductores y reducción de pérdidas por efecto Joule.....	22
1.3.10 Factor de Potencia	24
1.3.10.1 Causas de un bajo Factor de Potencia	25
1.3.10.2 Consumo de energía superior al que se precisaría, de ser correcto el factor de potencia.....	25
1.3.10.3 Elevación de Factor de Potencia	25
1.3.11 Índice de Calidad.....	27
1.3.12 Ahorro en los sistemas de alumbrado	27
1.3.13 Ahorro en otros sistemas.....	28
1.3.14 Ahorro y eficiencia Energética.....	30
1.3.15 Sistema de Gestión de Energía.....	31
1.3.16 ISO 50001 Sistema de Gestión de la Energía	32
1.3.16.1 ¿Qué es ISO 50001?.....	32
1.3.16.2 Resumen de la norma ISO 50001.....	32
1.3.17 Indicadores de eficiencia energética.	33
1.3.17.1 Objetivos, metas y planes de acción energéticos:	33
1.3.17.2 Implementación y operación	34
1.3.17.3 Competencias, formación y sensibilización.....	34
1.3.17.4 Pasos para implantar un sistema de gestión de la energía.....	34

1.3.18 Sistemas de Supervisión y monitorización para asegurar la gestión de la energía	35
1.3.19 Auditoría energética	37
1.3.19.1 Tipos y objetivos de auditoría energética.....	37
1.3.19.2 Objetivos de la auditoría energética	38
1.3.21 Herramientas	39
1.3.22 Diagrama de Pareto	39
1.3.22.1 Modo de aplicación del diagrama de Pareto	40
CAPÍTULO II.....	43
METODOLOGÍA	43
2.1 Objeto de la investigación.....	43
2.2 Investigación de campo.....	43
2.3 Nivel de investigación Correlacional.....	43
2.4 Población y muestra	44
2.4.1 Tamaño de la muestra para el estudio definitivo.....	44
2.5 Métodos de investigación.....	44
2.6 Técnicas e instrumentos de la investigación	45
2.7 Operacionalización de las variables	46
2.8 Instrumentos a utilizar.....	46
2.9 Analizador de energía.....	48
2.9.1 Características Principal del Analizador Registrador Fluke 1735 Power Logger Analyst.	49
2.9.2 Aplicaciones más comunes:	50
2.9.3 Partes del Equipo Analizador/registrador FLUKE 1735	50
2.10 Realización del estudio de cargas.....	51
2.11 Software para el modelado Easy Power.....	53
2.12. Diseño y simulación de flujos de carga mediante software	55
2.13.1 Determinación de la carga instalada.....	57
2.13.2 Análisis de la energía eléctrica consumida	57
2.13.3 Análisis de conductores eléctricos	57
2.13.4 Ejecución del proceso de control	58
CAPÍTULO III.....	60
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	60

3.1	Análisis de los resultados de la encuesta.....	60
3.1.1	Número de estudiantes que utilizan el laboratorio para realizar prácticas	60
3.1.2	Horario del laboratorio.....	60
3.1.3	Número de horas que permanece encendido un equipo.....	61
3.1.4	Equipos encendidos en cada turno de laboratorio.....	61
3.1.5	Número de Años de funcionamiento de los equipos y máquinas del laboratorio.	62
3.1.6	¿Se realiza mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos y maquinas del laboratorio? ¿Con qué frecuencia?	62
3.1.7	¿Se ha percatado que existen variaciones de voltaje? De ser así, ¿en qué horario?.....	63
3.1.8	¿Se ha realizado alguna vez una auditoría energética en el laboratorio?, ¿cuántas?.....	63
3.1.9	¿Se ha realizado en el laboratorio algún plan de ahorro?.....	63
3.2	Análisis de los resultados de la auditoría obtenidos mediante la observación y recopilación de información.	64
3.3	Determinación del puesto clave	65
3.4	Resultados obtenidos a través de las diferentes mediciones	67
3.4.1	Mediciones obtenidas en la rectificadora plana	68
3.5	Análisis e interpretación de resultados de los diferentes parámetros referidos a los indicadores de eficiencia energética.	71
3.5.1	Resultados en la Rectificadora Plana.....	72
3.5.2	En los Tornos EMCO.....	73
3.5.3	En la Limadora.....	74
3.5.4	En la Fresadora.....	74
3.5.5	En el tablero de iluminación.....	75
3.5.6	Tablero principal	77
3.6	Diagrama Unifilar	83
3.7	Resultado del Diagnóstico energético aplicado.	83
3.8	Resultados obtenidos del EasyPower.....	85
 CAPÍTULO IV		90
PROPUESTA DEL PLAN DE MEJORAS		90
4.1	Título de la propuesta.....	90
4.2	Justificación de la propuesta	90
4.3	Objetivos	90
4.3.1	Objetivo general	90

4.4 Estructura de la propuesta.....	90
4.5 Desarrollo de la propuesta.....	91
4.5.1 Política energética del Laboratorio	91
4.6 Formulación del programa de ahorro y uso racional de la energía a partir de los resultados de un diagnostico energético.....	92
4.6.1 En las corrientes de línea.....	92
4.6.2 En el transformador.....	95
4.6.3 En el ahorro de energía en el circuito de iluminación.....	98
4.7 Resumen del plan de mejoras.....	99
4.8 Evaluación Económica del Plan de Acción.....	100
4.8.1 Ahorros anuales netos	101
4.8.2 Inversiones de Capital.....	101
4.9 Determinación del valor actual neto.....	102
4.10 Evaluación Ambiental.....	103
4.11 Conclusiones	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
Conclusiones	105
Recomendaciones.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXOS	108
ANEXO 1	108
ANEXO 2	110
Promedio de los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en los equipos eléctricos determinados como puestos claves.	110
Resultados obtenidos en los tornos EMCO.....	110
Resultados obtenidos en la Limadora.....	111
Resultados obtenidos en la Fresadora	113
Resultados obtenidos en el tablero de iluminación	115
Resultados obtenidos en tablero de control principal.....	116

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factores de demanda para cada agrupación de factores	12
Tabla 2. Factores de simultaneidad para tableros de distribución.....	14
Tabla 3: Factores de simultaneidad del sistema	14
Tabla 4. Factores de simultaneidad.	15
Tabla 5: Factores de utilización	15
Tabla 6: Determinación de pérdidas.....	26
Tabla 7: Matriz de operacionalización variable independiente.....	46
Tabla 8: Matriz de operacionalización de variable dependiente.	46
Tabla 9: potencia instalada en el laboratorio de Mecánica Industrial.	64
Tabla 10: Resultado del promedio de las mediciones en la rectificadora plana.	73
Tabla 11: Resultado del promedio de mediciones para el torno EMCO.....	73
Tabla 12: Resultado del promedio de las mediciones para la Limadora.....	74
Tabla 13: Resultado del promedio de las mediciones para la Fresadora.	75
Tabla 14: Resultado del promedio de las mediciones para el circuito de iluminación.	76
Tabla 15: Referencia para comparar el comportamiento de los armónicos.	76
Tabla 16: Datos del sistema.	83
Tabla 17: Reporte resumen del sistema.....	86
Tabla 18: Reportes de carga del transformador principal.	86
Tabla 19: Reportes del comportamiento de las tensiones en las barras.	86
Tabla 20: Reportes del comportamiento de las cargas en las líneas.	87
Tabla 21: Reportes del comportamiento de las pérdidas en el sistema.	87
Tabla 22: Reportes de comportamiento de armónicos de tensión en el sistema.	88
Tabla 23: Reportes del comportamiento de armónicos de corriente del sistema.	88
Tabla 24: Datos generales para el mejoramiento del consumo eléctrico del laboratorio de Mecánica industrial.	94
Tabla 25: Reporte general del sistema.	97
Tabla 26: Reportes del comportamiento de las cargas en línea.	97
Tabla 27: Reportes de cargas del transformador.	97
Tabla 28: Reportes del comportamiento de las tensiones en las barra.	97
Tabla 29: Reportes de pérdidas entre las barras.....	97
Tabla 30: Reportes de las cargas individuales.	98
Tabla 31: Acciones propuestas en el plan de mejoras.....	100

Tabla 32: Ahorros anuales netos.	101
Tabla 33: Inversiones.	102
Tabla 34: Datos para calcular el VAN.	102

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Conductores	20
Figura 2 Conductores eléctricos	21
Figura 3 Proceso de planificación	39
Figura 4 Interpretación del Diagrama de Pareto	41
Figura 5: Analizador/registrador FLUKE 1735	49
Figura 6: Partes del equipo analizador/registrador FLUKE 1735	51
Figura 7: Pantalla de tendencias	52
Figura 8: FLUKE 1735 Power Logger.....	52
Figura 9: Generación de informe	53
Figura 10: Pantalla principal de inicio del EasyPower	54
Figura 11: Esquema unifilar en la hoja de cálculo para la simulación en el EasyPower	54
Figura 12: EasyPower 8.0	56
Figura 13: Número de horas en que permanecen encendidos cada equipo.....	61
Figura 14: Tendencia de utilización de equipos.....	61
Figura 15: Años de vida útil de los equipos	62
Figura 16: Horarios de ocurrencia de variaciones de voltaje	63
Figura 17: Aplicación del Diagrama de Pareto para los equipos del laboratorio de Mecánica Industrial.....	66
Figura 18: Interpretación del Diagrama de Pareto	67
Figura 19: Voltajes y corrientes de L1, L2 L3 en la rectificadora plana.....	68
Figura 20: Voltaje, corriente y frecuencia de L1 en la rectificadora plana	68
Figura 21: Formas de onda de voltaje y corriente en la rectificadora plana	68
Figura 22: Potencia activa, aparente y reactiva de la rectificadora plana	69
Figura 23: Potencia activa, aparente y factor de potencia de la rectificadora plana	69
Figura 24: Armónicos de corriente L1 de la rectificadora plana.....	70
Figura 25: Armónicos de corriente de L2 de la rectificadora plana.....	70
Figura 26: armónicos de corriente de L3 de la rectificadora plana	71
Figura 27: Armónicos de corriente en las tres líneas de la rectificadora plana.....	71
Figura 28: Mediciones en el laboratorio de Mecánica Industrial	72
Figura 29: valores de la tensión L1N en el tablero principal	77
Figura 30: valores de la tensión L2N en el tablero principal	78

Figura 31: Valores de la tensión L3N en el tablero principal	78
Figura 32: valores de la corriente en la línea 1 del tablero principal	79
Figura 33: Valores de la corriente en la línea 2 del tablero principal	79
Figura 34: valores de la corriente en la línea 3 del tablero principal	80
Figura 35: valores de la frecuencia en el tablero principal	80
Figura 36: valores de la potencia activa total en el tablero principal	81
Figura 37: Valores de la potencia reactiva total en el tablero principal	82
Figura 38: Valores del factor de potencia total en el tablero principal	82
Figura 39: Diagrama unifilar existente.....	84
Figura 40: Protecciones del transformador	85
Figura 41: Ejemplo de la recepción del software	87
Figura 42: Esquema unifilar para las corridas de flujo con las mejores propuestas	96

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Potencias activa, aparente y reactiva de la rectificadora plana.	69
Gráfico 2: Potencia activa, aparente y factor de potencia de la rectificadora plana.	70

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TEMA: “Evaluación de las pérdidas de energía eléctrica en los equipos e instalaciones del laboratorio de mecánica industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, durante el año 2017. Propuesta de un plan de mejoras para el uso eficiente de la Energía Eléctrica”.

Autor: Pepe Fernando Ibáñez Jácome

Tutor: Ing. MSc. Edwin Homero Moreano Martínez

RESUMEN

El presente trabajo contiene un plan de mejoras para la eficiencia energética que se fundamenta en una auditoría energética que permite conocer la situación actual, datos sobre consumos, costos de energía, además reducir los consumos de energía e identificar las áreas que permitan un potencial ahorro de energía.

La investigación se divide en 4 Capítulos, el primero es el estado de arte de los parámetros eléctricos para la simulación del consumo eléctrico y los métodos de optimización de la energía, el Capítulo II aborda la metodología de la investigación determinando las herramientas con las cuales se realizará el trabajo de investigación y la muestra para las encuestas en el laboratorio de mecánica industrial, en el III, se presentan los resultados de los datos obtenidos y el IV es la propuesta de un plan de mejoras para reducir las pérdidas y mejorar la calidad de la energía eléctrica. Los resultados de las mediciones mostraron que en el tablero principal la calidad de la energía no era adecuada, existiendo algunas variaciones de voltaje en las líneas que alimentan los equipos, un aceptable factor de potencia de 0.92, a su vez la carga del transformador se encontraba al límite de su capacidad instalada en función de su dimensionamiento establecido, representando el consumo de operación del laboratorio en las horas pico de funcionamiento, una carga importante del transformador. Las acciones propuestas en el plan de mejoras, como balancear las cargas del laboratorio, independizar el

circuito con un nuevo transformador y sustituir las luminarias, permitirán reducir las pérdidas y mejorar la calidad de la energía.

Palabras claves: Auditoría energética, eficiencia energética, ahorro de energía, plan de mejoras, equipos de medición, instalación eléctrica, factor de potencia, distorsión armónica.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
POSTGRADUATE UNIT

ENERGY MANAGEMENT MASTER'S DEGREE

THEME: Evaluation of the losses of electrical energy in the equipment and facilities of the industrial mechanics laboratory of the University of the Armed Forces ESPE extension Latacunga, during the year 2017. Proposal of an improvement plan for the efficient use of Electric Power

Autor: Pepe Fernando Ibáñez Jácome

Tutor: Ing. MSc. Edwin Homero Moreano Martínez

ABSTRACT

To improve energy efficiency the first step is always to measure. An energy audit allows to know the current situation, data on consumption, energy costs, in addition to reduce energy consumption and identify the areas that allow a potential energy saving. The research is divided into 4 Chapters, the first is the state of art of the electrical parameters for the simulation of electrical consumption and the methods of optimization of energy, Chapter II addresses the research methodology by determining the tools with which will perform the research work and the sample for surveys in the laboratory of mechanical industry, in III, the results of the data obtained will be presented and the IV is the proposal of an improvement plan to reduce losses and improve quality of electric power. The results of the measurements showed that in the main board the quality of the energy was adequate, there being some voltage variations in the lines that feed the equipment, an acceptable power factor of 0.92, in turn the load of the transformer was at the limit of its capacity with a value of 93.4%, with the laboratory being 33.71% of the load of the transformer. The actions proposed in the improvement plan, such as balancing laboratory loads, making the circuit independent with a new transformer and replacing the luminaires, will reduce losses and improve the quality of energy.

Keywords: Energy audit, energy supply efficiency, improvement plan, measuring equipment, dynamic loads, electrical installation, power factor, harmonic distortion.

INTRODUCCIÓN

Delimitación del problema y objeto

Situación problemática

La gestión energética puede concebirse como un esfuerzo organizado y estructurado para conseguir la máxima eficiencia en el suministro, conversión y utilización de los recursos energéticos. Esto es, lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicio de la comodidad, productividad y calidad de los servicios. Puede considerarse como el mejor de los caminos para conseguir los objetivos de conservación de energía y medio ambiente, tanto desde el punto de vista de la propia empresa como en el nivel nacional.

En la medida que la situación energética se deteriora y con la globalización de la economía, se hace necesario que la energía sea considerada como un factor de costos que requiere especial atención. En la mayoría de las empresas, y en especial en aquellas en las que el costo energético representa un porcentaje importante de los costos de producción o explotación, cabe plantearse que un sistema de gestión energética conduce a una optimización en el uso eficiente de la energía, justificado por su rentabilidad en la reducción de los costos energéticos.

El objetivo fundamental de la gestión energética es sacar el mayor aprovechamiento posible a las cantidades de energía que la empresa necesita, además de optimizar la calidad de las energías disponibles.

El consumo de energía eléctrica se ha ido incrementado a lo largo de los años, a un ritmo superior al crecimiento económico, al estar relacionado a mayores niveles de vida de la sociedad en general, por lo que es necesario tomar acciones que impidan que aumente el índice físico del consumo energético, por lo que se hace necesario utilizar alternativas que mejoren la eficiencia energética. Este proceso no es ajeno a nuestro país, lo cual queda evidenciado en las estadísticas del Banco Mundial. (Banco Mundial, 2018).

La Agencia Internacional de Energía (AIE), pronostica que el consumo energético aumentará y guarda una relación directa con el desempeño de la economía de cada nación. Por ello, el ritmo de recuperación en cada país determinará la evolución del sector energético en los años subsiguientes. (AIE, 2015).

En el presente, nuestro país, a través del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), está implementando variados planes de gestión eficiente del consumo eléctrico a nivel comercial, industrial y residencial, los cuales se encuentran enmarcados dentro del Plan Nacional de Desarrollo. (Albornoz, 2012).

Para mejorar la Eficiencia Energética y optimizar el consumo de energía eléctrica se ha planteado: sistemas de modelamiento, simulaciones, los cuales determinará el uso eficiente de la energía que implica realizar actividades (cotidianas) con el mínimo consumo de energía posible.

El interés por realizar este proyecto y mejorar la calidad de la energía, es encontrar soluciones efectivas para corregir, en el caso que sea necesario, disturbios y variaciones de voltaje, a través de la proposición de medidas para solucionar los problemas que se presenten en el sistema eléctrico.

Objeto de estudio de la investigación

Las pérdidas de energía eléctrica en los equipos e instalaciones del laboratorio de mecánica industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

Formulación del problema

¿Se pueden disminuir las pérdidas a través de la aplicación de un plan eficiente de energía?

Objetivo general

Evaluar las pérdidas de energía eléctrica en los equipos e instalaciones del laboratorio de mecánica industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, durante el año 2017.

Objetivos específicos

- Determinar mediante mediciones con equipamiento adecuado los parámetros eléctricos referentes a los indicadores de calidad de energía: nivel de voltaje, perturbaciones de voltaje y factor de potencia.
- Elaborar una propuesta de un plan de mejoras para el uso eficiente de la energía eléctrica en el laboratorio de Mecánica Industrial.

Campo de Acción

Eficiencia energética en el laboratorio de Mecánica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

Hipótesis:

Con la elaboración de una propuesta de un plan de mejoras, se logrará disminuir las pérdidas de energía eléctrica en el laboratorio de Mecánica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

Visión epistemológica de la investigación

En la investigación se evaluarán las pérdidas, utilizando herramientas como las mediciones, descripciones y observaciones, de la cual se obtuvieron datos y el consecuente análisis para responder las preguntas generadas en la investigación.

La investigación tiene como alcance presentar una propuesta de un plan de mejoras, para dar solución a los problemas de la eficiencia energética mediante la optimización del consumo de energía eléctrica utilizando sistemas de simulaciones.

En el capítulo I se basa en el estado de arte de los parámetros eléctricos para la simulación del consumo eléctrico y los métodos de optimización de la energía.

Capitulo II es la metodología de la investigación determinando las herramientas con las cuales se realizará el trabajo de investigación, como también las muestra con la que se aplicaron las encuestas en el laboratorio de mecánica industrial.

En el Capítulo III la investigación presenta la tabulación de los datos obtenidos en la encuesta, se analiza la información extraída por el equipo de analizador de energía para determinar la curva característica de consumo los equipos y maquinarias del laboratorio.

En el Capítulo IV se establecen las conclusiones que se han determinados después del análisis de los resultados y de presentar la propuesta del plan de mejoras en los diferentes equipos que componen el laboratorio de Mecánica Industrial.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes del estudio

Los autores Vintimilla Elizabeth, Paladines Paúl, en su trabajo de investigación “Auditoría eléctrica a la fábrica de cartones nacionales CARTOPEL” realizaron una auditoría eléctrica a la Fábrica de Cartones Nacionales CARTOPEL, presentando un diagnóstico de la situación actual del consumo de energía eléctrica, un censo de todas las cargas más importantes y representativas, además de realizar la delineación de un plan de acción en el que se incluye las posibles soluciones para un uso eficiente de la energía. El censo de carga permitió conocer cómo se encuentra distribuida la planta industrial e identificar donde se concentran los equipos y maquinarias, además de los diferentes procesos productivos que se desarrollan. El balance de energía eléctrica permitió establecer la distribución del consumo dentro de la industria, identificando áreas, sistemas y procesos que hacen un uso intensivo de electricidad, así de esta manera identificar las alternativas que permitan disminuir y usar eficientemente la electricidad. Las medidas propuestas, como el cambio del transformador permitió aumentar el factor de potencia, lo que redundó en un ahorro en la facturación eléctrica. (Vintimilla,Paladines 2012).

El proyecto de investigación analizado tiene como objetivo principal lograr un ahorro de energía, así como también, alcanzar un uso eficiente de la energía eléctrica mediante la implementación de planes de acción. Los equipos, maquinarias y procesos productivos son muy distintos a los que se va a analizar en el presente proyecto de investigación, por lo que se puede afirmar que los objetivos planteados tienen otro enfoque y los resultados obtenidos serán diferentes.

En el proyecto de investigación “Levantamiento, rediseño y auditoría energética para la factibilidad de implantación de la norma ISO 50001 en el sector de termoplásticos de la empresa Plasticaucho Industrial S.A”, del autor Molina, el mismo manifiesta que la ejecución de este proyecto en función de las políticas de estado vigentes y la necesidad de mejorar la

eficiencia en el consumo energético para incrementar la rentabilidad y competitividad de los productos que fabrica, la empresa Plasticaucho Industrial de la ciudad de Ambato, se ha visto la necesidad de hacer un análisis de la calidad de energía en función de la norma ISO 50001 para la posible implementación de un sistema de gestión energético que asegure el uso eficiente de la energía eléctrica. El estudio se lo realizó en el área de mezclas termoplásticas.

El primer paso fue realizar una auditoría preliminar, la que comprende una examinación detallada de cómo se usa la energía en este sector, cuanto se paga, además de identificar brevemente cualquier zona de desperdicio de energía o de ineficiencia. Una vez concluidos los estudios preliminares se continuó con una auditoría detallada que consistió en el levantamiento de carga, análisis operativo de las máquinas involucradas en el proceso de mezclas termoplásticas, análisis energético en los transformadores que alimentan a ésta área.

Estos análisis permitieron obtener datos fundamentales para identificar los problemas críticos para el desempeño energético. Todo lo analizado permitió plantear que se debe implementar un banco de capacitores tanto en el Transformador de 220V como el de 440 V, debido a que el promedio del factor de potencia en el área es de 0.85, por tanto, las penalizaciones son altas e influyen en el costo de la planilla. Los Usuarios Significativos de Energía (USEn) identificados en la auditoría energética requieren de una atención inmediata en lo que se refiere al cambio de sus motores estándar por motores de alto rendimiento para mejorar la eficiencia energética en el área de mezclas termoplásticas. Las medidas operativas sugeridas, como el cambio de horario, es decir no arrancar las máquinas en horas pico, instalar medidores de energía en cada máquina para poder tener un control individual del consumo que genera cada una, el poder examinar todas las variables que afectan en la producción son de gran importancia pues permitirán a un futuro identificar oportunidades de mejora en el desempeño energético de la planta, y por último, al realizar los estudios de la norma ISO 50001 se pudo determinar que Plasticaucho Industrial S.A. necesita implantar dicha norma para mejorar su eficiencia energética en el sector de mezclas termoplásticas. (Molina, 2014).

El proyecto de investigación a desarrollar tiene en común la meta final, la misma que es, lograr un uso eficiente de la energía eléctrica. El proyecto analizado se lo ejecutó en un escenario distinto, con procesos productivos distintos y con la aplicación específica de la

norma ISO 50001 para la evaluación de la calidad energética en el área de mezclas termoplásticas.

1.2. Fundamentación legal

El Ecuador por medio del CONELEC, quien se constituye como un ente regulador y controlador, a través del cual regula las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, a empresas concesionarias a nivel nacional.

Ley Orgánica del Servicio Público De Energía Eléctrica 15/01

Norma la prestación del servicio de energía eléctrica y alumbrado público general.

Regulación CONELEC No. 004/01 (CONLEC, 2001)

Establece los niveles de calidad de la prestación del servicio de distribución y los procedimientos de evaluación de las Empresas Distribuidoras, los parámetros eléctricos a considerar en la calidad del producto son: nivel de voltaje, perturbaciones de voltaje y factor de potencia.

Regulación CONELEC 002/14 (CONELEC, 2014)

Establece las condiciones técnicas, económicas y operativas, para que las empresas eléctricas de distribución comercialicen energía eléctrica a través de sistemas prepago.

Equipos de medición

Los equipos de medición instalados permitirán al consumidor conocer en todo momento el monto de energía remanente (kWh) del medidor.

Regulación ARCONEL 005/17

En esta Regulación se establece la penalización del consumidor por un bajo factor de potencia y su corrección.

Transformación de la matriz productiva. SENPLADES 2012

Industrias prioritarias: energías renovables (entre otras).

Observación: Uno de los principales campos de acción del maestrante en gestión de energías es en el área de las energías renovables, las mismas que están consideradas como prioritarias en la transformación de la matriz productiva.

Constitución de la República del Ecuador

Art. 351.- El sistema de educación superior estará articulado al sistema nacional de educación y al Plan Nacional de Desarrollo; la ley establecerá los mecanismos de coordinación del sistema de educación superior con la Función Ejecutiva. Este sistema se regirá por los principios de autonomía responsable, cogobierno, igualdad de oportunidades, calidad, pertinencia, integralidad, autodeterminación para la producción del pensamiento y conocimiento, en el marco del diálogo de saberes, pensamiento universal y producción científica tecnológica global.

Observación: Todas las instituciones que conforman el sistema de educación superior deben estar alineadas al plan nacional de desarrollo, para de esta manera contribuir a la producción científica y tecnológica.

1.3 Fundamentación Teórica

1.3.1. Desempeño energético

El objeto de la Norma UNE-EN ISO 50001:2011 es especificar los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía, con el propósito de permitir a una organización contar con un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en su desempeño energético, que incluye conceptos como la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía.

La norma especifica los requisitos aplicables a usos y consumos de la energía, a partir de los que se establecen las actividades de medición, documentación e información, las prácticas para el diseño y adquisición de equipos, sistemas, procesos y personal que contribuyen al desempeño energético, y se aplica a todas las variables que afectan al desempeño energético que puedan ser controladas por la organización y sobre las que pueda tener influencia. (Normas ISO 50001:2011, 2012).

En este sentido, el objeto y campo de aplicación de la norma no difiere de otras modalidades de gestión experimentadas, salvo por su focalización en el concepto de desempeño energético, que la norma define así:

Desempeño energético: resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía.

Otras definiciones relacionadas con la anterior son las siguientes:

1.3.2 Diagrama unifilar

En el estudio de sistemas eléctricos de potencia o para aplicaciones Industriales, el uso de Diagramas Unifilares resulta de gran utilidad y representa un elemento básico para el diseño y los estudios de sistema eléctricos. El diagrama unifilar se define como: “Un diagrama que indica por medio de líneas sencillas y símbolos simplificados, la interconexión y partes componentes de un circuito o sistema eléctrico. El propósito de un diagrama unifilar es que el diseñador elabore a través de una manera sencilla sus ideas y tenga una forma simple de comunicar a otros su proyecto para comentarios y aprobaciones. (Harper, 2005).

1.3.3 Uso de la energía

Forma o tipo de aplicación de la energía. Ejemplo: Ventilación, iluminación, calefacción, refrigeración, transporte, procesos, líneas de producción.

1.3.4 Consumo de energía

Cantidad de energía utilizada.

1.3.5 Indicador de desempeño energético (IDEn)

Valor cuantitativo o medida del desempeño energético tal como lo defina la organización. Los IDEn pueden expresarse como una simple medida, un cociente o un modelo más complejo.

Eficiencia energética: proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía. Ejemplo: Eficiencia de conversión; energía requerida/energía utilizada; salida/entrada; valor teórico de la energía utilizada/energía real utilizada. Tanto la entrada como la salida necesitan ser claramente especificadas en cantidad y calidad y ser medibles.

En este conjunto de definiciones puede observarse que el desempeño energético incluye el inventariado de instalaciones con influencia en la energía y sus equipos por una parte, y de tipologías de consumos energéticos (combustibles, energía térmica, energía eléctrica, etc.) por otra. Así mismo, incluye indicadores de desempeño, uno de los cuales, la eficiencia energética, se encuentra explícitamente citado en la definición de desempeño; otros, como la intensidad energética u otros que la organización estime adecuados.

Por ello, cuando se alude al concepto de desempeño energético, se está expresando la necesidad de identificar e inventariar todas las instalaciones consumidoras, almacenadoras o generadoras de energía, los equipos que las constituyen y todos los tipos de formas de energía consumidas en ellas.

Pero el desempeño energético incluye, además, la necesidad de establecer unos indicadores que describan la evolución de las diferentes tendencias observadas de parámetros energéticos de interés para la organización. Esta parte del concepto de desempeño energético recoge la necesidad de establecer sistemas de medida y tratamiento de datos de dichos parámetros para traducirlos a unos indicadores que faciliten la interpretación de la evolución de la

optimización energética en la organización. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable Ecuador, 2014).

En numerosas ocasiones, los indicadores de desempeño coinciden con los indicadores de los procesos energéticos de la organización. Son ejemplos de este tipo de indicadores los siguientes:

- Energía eléctrica consumida/unidad producida.
- Energía térmica consumida/horas trabajadas.
- Energía producida/energía primaria consumida.
- Energía consumida/kilómetros recorrido.
- Energía consumida/tonelada transportada.
- Energía consumida/unidad de longitud de producto.
- Energía consumida/peso de producto.

1.3.6 Eficiencia energética

La Eficiencia Energética consiste en el ahorro del consumo adecuado y dimensionado a los requerimientos energéticos necesarios para cubrir y satisfacer una necesidad y/o cuando se consume una cantidad inferior a la media de energía para realizar una actividad que puede ser un servicio o proceso de manufactura de productos, que permitan cubrir con las necesidades básicas de la actividad humana y uso inteligente de la energía sin pérdidas ni desperdicios, utilizando la mínima energía y manteniendo la calidad de bienes y servicios, para conservar el confort. (International Organization ISO, 2011). A la hora de determinar las cargas reales en una instalación eléctrica, son necesarios los factores, definiendo algunos de ellos:

1.3.6.1 Factor de Demanda

“Es la relación entre la demanda máxima del sistema y la carga total conectada a ella durante un intervalo de tiempo considerado. La carga conectada es la suma de las potencias nominales continuas de los aparatos consumidores de energía eléctrica. El factor de demanda es, generalmente, menor que la unidad.”(Guzmán, 2002).

$$F_d = \frac{D_{\max}}{P_{\text{inst}}}$$

D_{máx}= Demanda máxima de instalación en KW o KVA

P_{inst}= Potencia de carga conectada en KW o KVA

Tabla 1: Factores de demanda para cada agrupación de factores

Número de motores en Operación	Factor de demanda en %
1-10	70-80
11-20	60-70
21-50	55-60
51-100	55

Fuente: Guzmán, 2002

1.3.6.2 Factor de Carga

“Se define como la razón entre la demanda promedio en un intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en el mismo intervalo de tiempo.” (Castaño, 2004).

Es conocido que el factor de carga es: $1 \leq F_c > 0$.

El factor de carga es el indicador de en qué porción de un día se utilizaría el total de la energía consumida si el consumo fuera todo al nivel de la máxima demanda registrada. En cuanto tiempo se hubiera consumido toda la energía de un día si todo el consumo ocurriera a la carga más alta. Mientras más cercano a uno es este indicador, más nivelado es el consumo de las instalaciones del cliente.

Mantener un elevado factor de carga en el sistema significa obtener los siguientes beneficios:

- Optimización de la inversión de la instalación eléctrica.
- Aprovechamiento racional y aumento de la vida útil de la instalación eléctrica, incluidos los motores y equipos.
- Reducción del valor de demanda pico.

Factor de carga se obtiene de la siguiente relación:

$$F_{cd} = \frac{D_{med}}{D_{max}}$$

Fcd = Factor de Carga diaria.

Dmed = Demanda media de periodo calculada a través de la integración de la curva de carga lo que equivale al valor del lado del rectángulo correspondiente al eje de la ordenada. El área del rectángulo es numéricamente igual al consumo de energía del período.

Dmax = Demanda máxima para un mismo período en KW.

1.3.6.3 Factor de simultaneidad

“Es la relación entre la demanda máxima de un grupo de equipos y la suma de las demandas individuales de estos aparatos, en un intervalo de tiempo considerado.” (Guzmán, 2002).

Para la utilización del factor de simultaneidad en instalaciones industriales, se hace imprescindible primero un exhaustivo estudio a fin de evitar el subdimensionamiento de los circuitos de los equipos.

$$\text{Factor de simultaneidad} = \frac{1}{\text{Factor de diversidad}}$$

Afirma que normalmente, la operación simultanea de todas las cargas de un sistema, nunca ocurre, apareciendo siempre determinado grado de diversidad, que se expresa para cada grupo de cargas, mediante el factor de simultaneidad. “El mismo se define como el cociente entre la demanda máxima del grupo j, y la suma de las demandas máximas de cada carga (i) del grupo (j). (Contrin, 2000)

$$F_s = \frac{D_{mj}}{\sum 1D_i}$$

Dentro de una industria no se dispone de información precisa, es así que pueden manejarse los siguientes valores para el factor de simultaneidad. Para tableros de distribución que alimentan

determinado número de circuitos, se especifican los siguientes factores de simultaneidad, cuando no se conoce como se distribuye la carga total entre los circuitos.

Tabla 2. Factores de simultaneidad para tableros de distribución.

Numero de Circuitos	Factor de Simultaneidad
2 a 3	0.9
4 a 5	0.8
6 a 9	0.7
10 o mas	0.6

Fuente: Contrin,2000

Si las cargas son, principalmente cargas de iluminación, es recomendable considerar factor de simultaneidad = 1.

Tabla 3: Factores de simultaneidad del sistema.

Tipo de Carga	Factor de Simultaneidad
Iluminación	1
Calefacción y Aire Acondicionado	1
Toma Corrientes	0,1 o 0,2
Elevación y Carga	
Motor mayor	1
2do Motor	0,75
Resto de los Motores	0,6

Fuente: Contrin,2000

La tasa de variación de disminución del factor de simultaneidad en general depende de heterogeneidades de las cargas. El factor de simultaneidad es siempre menor a la unidad.

La aplicación del factor de simultaneidad en instalaciones industriales debe ser precedida de un estudio minucioso a fin de evitar el sub dimensionamiento de los circuitos de los equipos, estos valores valen para más de 20 tomas en industrias u otros casos puede ser mayor.

Tabla 4. Factores de simultaneidad.

APARATOS	Número de Aparatos							
	2	4	5	8	10	15	20	50
Motores de 3/4 a 2,5 cv	0,85	0,8	0,75	0,7	0,6	0,55	0,5	0,4
Motores de 3 a 15 cv	0,85	0,8	0,75	0,75	0,7	0,65	0,55	0,45
Motores de 20 a 40 cv	0,8	0,8	0,8	0,75	0,65	0,6	0,6	0,5
Arriba de 40 cv	0,9	0,8	0,7	0,7	0,65	0,65	0,65	0,60
Rectificadores	0,9	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,7	0,7
Soldadoras	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Hornos	1	1						

Fuente: Guzmán, 2002

Factor de Utilización

“Es la razón entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema (capacidad instalada) en un intervalo de tiempo t”. (Contrin,2000).

$$F_{\text{util}} = \frac{\text{Demanda Máxima}}{\text{Capacidad del Sistema}} = \frac{D_{\text{max}}}{C_s}$$

“En una instalación industrial, este factor se puede estimar en una media de 0,75 para los motores. Para cargas de luz incandescente, el factor siempre es igual a 1”.(Shneider Electric España, 2008).

Tabla 5: Factores de utilización.

Aparatos	Factores de Utilización
Hornos	1
Secadoras y Calderas	1
Horno de Inducción	1
Motores de 3/4a 2,5 cv	0,7
Motores de 3 a 15cv	0,83
Motores de 20 a 40 cv	0,85
Arriba de 40 cv	0,87
Rectificadores	1
Soldadores	1

Fuente: Guzmán, 2002

1.3.7 Selección de Transformador

1.3.7.1 Transformador

Es una máquina eléctrica estática, que a través de inducción electromagnética modifica voltajes y corrientes eléctricas alternas o pulsantes entre dos o más devanados a la misma frecuencia y usualmente a valores diferentes voltajes y corrientes.

“El transformador por ser una máquina estática tiene ventajas sobre las máquinas rotativas debido a que no tiene pérdidas mecánicas, las únicas pérdidas del transformador son eléctricas y de hierro, por tal razón su rendimiento es alto”. (Alcon, 2010).

1.3.7.2 Pérdidas de un transformador

Las pérdidas que ocurren en los transformadores reales deben tenerse en cuenta para obtener un modelo exacto del comportamiento de un transformador.

Pérdidas en el cobre: las pérdidas en el cobre son ocasionadas por el calentamiento resistivo en los devanados del primario y secundario.

Pérdidas por corriente parásita: las pérdidas de por corriente parásitas son provocadas por el calentamiento resistivo en el núcleo del transformador. Son proporcionales al cuadrado del voltaje aplicado al transformador.

Perdidas por histéresis: las pérdidas por histéresis están relacionadas con la reubicación de los dominios magnéticos en el núcleo durante cada semiciclo, son una función compleja y no lineal del voltaje aplicado en los transformadores.

Flujo de dispersión: Los flujos que escapan del núcleo y pasan a través de solo uno de los devanados del transformador son flujos dispersos. Estos flujos que escapan producen una autoinductancia en las bobinas primarias y secundarias; se deben tomar en cuenta los efectos de esta inductancia.

1.3.7.3 Cargabilidad del transformador

La duración de la vida de un transformador se encuentra muy vinculada con la cargabilidad de ese transformador, partiendo de que la vida útil de un transformador se puede asimilar a la vida de su aislamiento sólido. Un transformador que funciona a regímenes de carga muy elevados verá reducida la vida de su aislamiento a un ritmo mucho más alto que un transformador que trabaja en regímenes de carga inferiores, por lo tanto resultará fundamental analizar qué aspectos influyen sobre la cargabilidad de un transformador y como se pueden buscar las condiciones que permitan optimizar la utilización de éste a partir de esos parámetros que intervienen en su cargabilidad. (Alcon, 2010).

Los parámetros más importantes y que más influencia tienen en la cargabilidad de un transformador son los siguientes:

- Nivel de potencia y tamaño del transformador.
- Tipo de aislamiento celulósico del transformador.
- Tipo de refrigeración.
- Condiciones ambientales.
- Otros aspectos relacionados con el estado del transformador.

$$\% \text{ cargabilidad} = \frac{S_{\text{media}}(\text{KVA})}{S_{\text{transformador}}(\text{KVA})} * 100$$

1.3.7.4. Cálculo para la selección de transformador

Se debe identificar el tipo de transformador más adecuado para el espacio donde se va a instalar. Normalmente para las edificaciones se utilizan los transformadores secos trifásicos o monofásicos.

Las normas para transformadores cuando hablan de potencia nominal se refieren a una potencia que es el producto de la corriente por el voltaje en vacío. La potencia nominal es por lo tanto una “potencia aparente” que es la misma, ya sea que se considere el devanado primario o el devanado secundario. La potencia aparente que puede soportar el transformador en funcionamiento. (Alcon, 2010).

Continuo sin sobrepasar los límites de calentamiento es:

$$S_N = \sqrt{3V_N * I_N}$$

Cálculo de la capacidad del transformador

$$CT = \frac{KVA}{1,3}$$

Como el transformador no siempre funciona bajo condiciones nominales, entonces se debe establecer el índice de carga C:

$$C = \frac{I_1}{I_{N1}} = \frac{I_2}{I_{N2}}$$

Este índice de carga se relaciona con las pérdidas en el transformador.

Si $C < 1$ El transformador funciona descargado.

Si $C > 1$ El transformador estará funcionando sobrecargado.

1.3.7.5 Eficiencia por renovación de los transformadores

La mejora de la eficiencia por renovación de los transformadores requiere un estudio muy detallado debido al alto costo de adquisición e instalación frente a un ahorro económico generalmente limitado.

Los elevados períodos de amortización frente a la inversión necesaria los desaconsejan en general frente a otras actuaciones con menores requisitos de inversión y con períodos de amortización económica mucho más cortos.

Sin embargo, mediante cambios en la operación de los transformadores podremos conseguir ahorros significativos sin requerir inversión alguna. (Guevara, 2010).

En el diseño de los Centros de Transformación, como estrategia común, la potencia máxima de diseño se suele repartir entre varios transformadores en paralelo, incluyendo algún transformador adicional por razones de seguridad de funcionamiento.

La configuración mínima suele ser de 2 transformadores con redundancia del 100%. Otra configuración frecuente son las configuraciones $n+1$, de los Sistemas de Alimentación Ininterrumpidos (SAI), cuya configuración mínima sería de 3 transformadores y redundancia del 50%.

En cualquiera de éstas configuraciones tendremos 2 o más transformadores en paralelo, en los cuales, a las pérdidas en el cobre y en el hierro vistas anteriormente, debemos sumar las asociadas a pequeñas diferencias en las impedancias intrínsecas de los transformadores, tanto en la parte de MT como en la BT.

La estrategia de ahorro consistirá en aplicar las siguientes pautas:

Establecer un plan mensual de rotación para los transformadores en servicio, dejando desconectado tanto en MT como en BT el/los transformadores “redundantes”.

Conectar en MT únicamente el número de transformadores necesarios para disponer del 100% de la potencia de diseño.

Conectar del lado de BT únicamente el número de transformadores necesarios para satisfacer la demanda máxima esperada del mes considerado. En caso necesario, únicamente se requerirá la conexión de transformadores “descargado” en el lado BT.

Con la estrategia anterior acompañada de una rotación mensual obtendremos los siguientes beneficios:

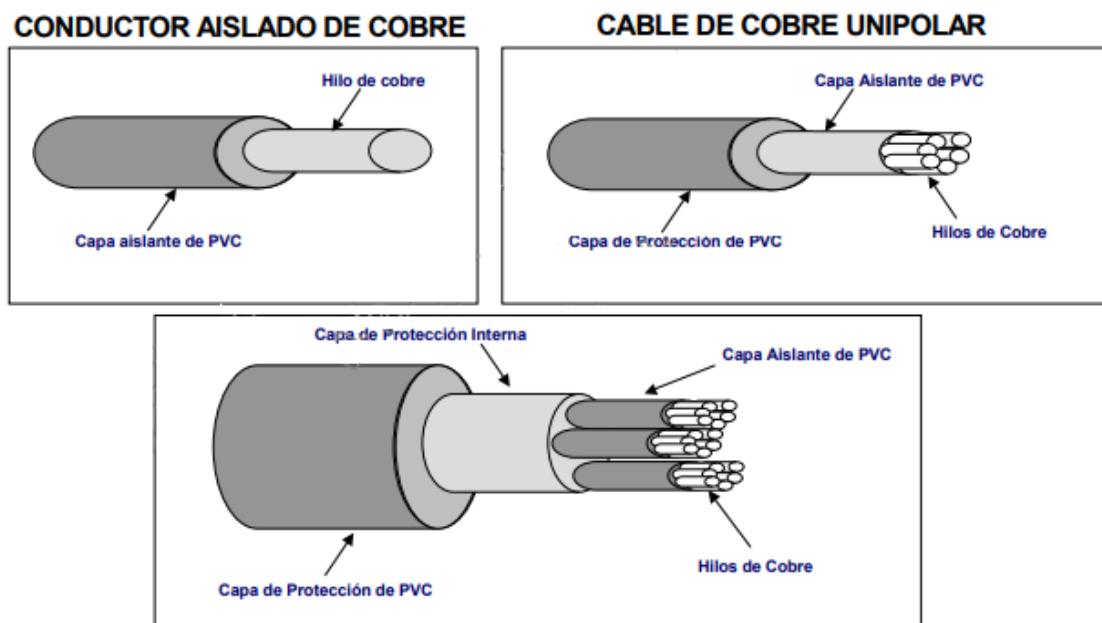
- Se disminuirán las pérdidas sin necesidad de inversiones.
- Se garantizará la disponibilidad sin menoscabar la seguridad de funcionamiento.
- Se homogeneizan las horas de funcionamiento en carga y en vacío de todos los tramos.

En el caso de un SCADA para manejar la conexión y desconexión de los transformadores se pueden instaurar estrategias de ahorro, sin perjudicar la seguridad de funcionamiento.

1.3.7.6 Selección de Conductores.

Un conductor eléctrico es un elemento de un sistema constituido de un material de alta conductividad eléctrica que puede ser utilizado para el transporte de energía eléctrica. La función básica de un cable consiste en transportar energía eléctrica en forma segura y confiable desde la fuente de potencia a las diferentes cargas. Existe una gran cantidad de terminología referente a este tema. En el caso general, la figura muestra los componentes que pueden distinguirse en un cable. (Viakon,2013).

Figura 1: Conductores.



Fuente: El autor

Para la selección de un conductor se debe tener en cuenta las consideraciones eléctricas, térmicas, mecánicas y químicas. Las principales características de cada una de ellas se pueden resumirse de la siguiente forma:

Consideraciones eléctricas: tamaño (capacidad de corriente), tipo y espesor de la aislación, nivel de tensión (baja, media o alta), capacidad dieléctrica, resistencia de aislación, factor de potencia.

Consideraciones térmicas: compatibilidad con el ambiente, dilatación de la aislación, resistencia térmica.

Consideraciones mecánicas: flexibilidad, tipo de chaqueta exterior, armado, resistencia impacto, abrasión, contaminación.

Consideraciones químicas: aceites, llamas, ozono, luz solar, ácidos.

1.3.7.7 Criterios para el dimensionamiento de la selección de mínima de los Conductores

La selección de conductores mínima de los conductores debe establecer en forma simultánea a 4 criterios: (Viakon, 2013).

- La capacidad de conducción de corriente.
- Límite de caída de voltaje.
- Capacidad de conducción de la corriente de corto-circuito por un tiempo limitado.
- La efectividad económica.

Figura 2 Conductores eléctricos.

CABLES DE COBRE TIPO TW - 600 V - 60° C									
Cable aproximada	CONDUCTOR			Espesor de Aislam. mm	Diámetro Exterior Aprox. mm	Peso Total Aprox. Kg/Km.	CAPACIDAD		Longitud Normal Empaque mts.
	Sección Aprox. mm ²	Diámetro Aprox. mm	Peso Aprox. Kg/Km				*	**	
18 Sol	0.8	1.02	7.32	0.76	2.54	13.7	6	-	100
16 Sol	1.3	1.29	11.62	0.76	2.81	19.0	8	-	..
14 Sol	2.1	1.63	18.55	0.76	3.15	27.1	15	20	..
12 Sol	3.3	2.05	29.34	0.76	3.57	39.3	20	25	..
10 Sol	5.3	2.59	46.84	0.76	4.11	58.7	30	40	..
8 Sol	8.4	3.26	74.20	1.14	5.94	97.5	40	60	..
6 Sol	13.3	4.11	118.20	1.52	7.15	158.1	55	80	..
8 7H	8.4	3.69	75.85	1.14	5.97	104.4	40	60	..
6 7H	13.3	4.65	120.60	1.52	7.89	189.5	55	80	..
4	21.1	5.88	190.58	1.52	8.92	250.2	70	105	..
2	33.6	7.41	302.86	1.52	10.45	377.5	95	140	..
1	53.5	9.36	485.01	2.03	13.42	603.0	125	195	..
1/2	87.4	10.50	611.40	2.03	14.66	744.0	145	225	..
3/8	85.0	11.79	771.0	2.03	15.85	920.9	165	260	..
1/4	107.2	13.26	972.3	2.03	17.32	1143.0	195	300	..
3/16	53.5	9.46	484.90	2.03	13.61	598.5	125	195	..
1/8	87.4	10.60	811.40	2.03	14.66	739.0	145	225	..
3/32	85.0	11.95	771.00	2.03	16.01	918.0	165	260	..
1/16	107.2	13.40	972.30	2.03	17.46	1195.7	195	300	..
3/64	125.8	14.62	1157.90	2.41	19.44	1362.3	215	340	..
3/32	162.0	16.00	1399.50	2.41	20.82	1613.3	240	375	..
1/8	177.4	17.30	1622.00	2.41	22.12	1864.4	260	420	..
3/64	207.7	18.49	1853.00	2.41	23.31	2112.8	280	455	..
1/16	253.4	20.65	2316.00	2.41	25.47	2608.0	320	515	..
3/32	304.0	22.60	2780.00	2.79	28.21	3143.1	355	575	..
1/8	304.0	22.68	2780.00	2.79	28.25	3148.1	355	575	..
3/32	354.7	24.48	3242.00	2.79	30.66	3641.0	385	630	..
1/4	380.0	26.35	3475.00	2.79	30.93	3888.0	400	655	..
3/16	405.4	26.17	3705.00	2.79	31.75	4134.0	410	680	..
1/16	506.7	29.26	4532.00	2.79	34.84	5117.0	455	730	..

* Capacidad de conducción para no más de 3 conductores en conduit, bandeja cable o directamente enterrado a temperatura ambiente de 30°C.
 ** Capacidad de conducción para un conductor en aire a temperatura ambiente de 30°C.

Colores: Negro, blanco, rojo, amarillo, azul, verde.
 PARA GALERÍAS GAWG - 1000 MCM SOLO NEGRO.
 Especificaciones:
 Elaborado y probado de acuerdo a la última revisión de: ASTM - B3, B8; UL 83, IPCEA S - 61 - 402; NEMA WC - 5; INEN EL, NEC.
 Aislante:
 Poliolefin Clorada, resistente a la humedad, no propaga la llama, temperatura máxima del conductor: 60°C
 Aplicaciones:
 Sistemas de alambrado eléctrico en edificaciones, conexiones de tableros de control, donde el voltaje no sea superior a 600V c.a.

Fuente: CONELSA, 2016

1.3.7.8 Aislamiento de los Conductores.

Según la NEC, “Lo importante es seleccionar un conductor con el aislamiento y cubierta correcta para la aplicación requerida, ya que el revestimiento queda expuesto a agentes ambientales, envejecimiento, o cualquier otro factor que pueda alterar su composición deteriorándolo.” La función del aislamiento es encerrar la corriente eléctrica; en el material conductor, evitando contactos involuntarios de partes energizadas del conductor. El aislante debe cumplir las características como resistencia al calentamiento, retardo de envejecimiento por temperatura, resistencia al ozono y efecto corona, resistencia a la contaminación.

1.3.7.9 Circuitos trifásicos

Pueden ser circuitos de 3 o 4 conductores. Considerando que los quipos están conectados equilibradamente entre fases o entre fase y neutro, la corriente se determina.

$$I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3} * V_f * \cos \phi}$$

V_f = Voltaje entre fases.

P_c = Potencia Activa que demanda la carga.

1.3.7.10. Pérdidas en los conductores y reducción de pérdidas por efecto Joule

Pérdidas por efecto Joule.

Cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor isotérmico, hay una generación de calor. Este efecto ocurre debido a la transferencia de energía eléctrica a través del conductor por un proceso análogo al rozamiento. Este efecto se denomina “efecto Joule”.

La ley de Joule enuncia que:

“El calor que desarrolla una corriente eléctrica al pasar por un conductor es directamente proporcional a la resistencia, al cuadrado de la intensidad de la corriente y el tiempo que dura la corriente”.

$$Q = I^2 \times R \times t \quad (\text{Watt})$$

Las pérdidas por efecto Joule se manifiestan principalmente en:

- Calentamiento de cables.
- Calentamiento de bobinados de los transformadores de distribución.

El ahorro y la eficiencia energética asociada a la instalación eléctrica en sí misma, sin contar con los dispositivos consumidores, viene ligado fundamentalmente a la minimización de las pérdidas por efecto Joule.

Como es conocido, las pérdidas por efecto Joule se deben al calentamiento de los conductores consecuencia de la impedancia de los mismos. La energía disipada viene dada por:

$$E_{\text{joule}} = i^2 Z \cdot t$$

Donde:

- E_{joule} es la energía disipada por efecto Joule.
- i^2 es la corriente que circula por el conductor.
- Z es la impedancia de la línea.
- t es el tiempo durante el cual queremos calcular la energía disipada por efecto Joule. (Novoa, 2017).

Se deduce entonces que es el método más eficaz para limitar las pérdidas es reducir la corriente que circula por el conductor. Sin embargo la corriente demandada dependerá de las cargas conectadas, por lo que nuestra capacidad de acción será limitada.

Por lo tanto, solo queda minimizar la impedancia del conductor para reducir las pérdidas. Para ello deberemos aumentar la sección de los conductores.

En la práctica, el aumento de la sección de los conductores se realiza generalmente sobreponderando la potencia de diseño de la línea, bien de forma directa mediante un porcentaje, o aumentando el coeficiente de simultaneidad de las cargas previstas, o bien dotando al cuadro que alimenta a la línea de circuitos de reserva para un porcentaje de la demanda máxima prevista.

Otra forma posible de disminuir las pérdidas en la fase final de dimensionado de las líneas es la prescripción de una sección de conductor del valor normalizado inmediatamente superior al de diseño.

Si del cálculo de la línea resultan líneas multiconductor con más de 6 conductores, como es el caso del Royal Cord, también puede añadirse uno o varios conductores adicionales.

El objetivo de ahorro por disminución de pérdidas durante el dimensionado de las líneas debería fijarse en un mínimo del 5%, pudiendo considerarse el 10% como el óptimo. (Novoa, 2017)

Valores superiores no se justifican debido a que el ahorro económico real dependerá de la variabilidad de la carga en punta, la cual raramente superará en 50% de forma mantenida o durante períodos de tiempo largos.

1.3.10 Factor de Potencia

“El factor de potencia de una carga, que puede ser un elemento único que consume energía o varios elementos (por ejemplo, toda una instalación), lo da la relación de P/S , es decir, kW divididos por kVA en un momento determinado. El valor de un factor de potencia está comprendido entre 0 y 1”. (Shneider Electric España, 2008).

El valor mínimo recomendado es de 0.92.

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S}$$

Donde:

Cos φ : factor de potencia.

P: Potencia activa en KW.

S: Potencia aparente en KVA.

1.3.10.1 Causas de un bajo Factor de Potencia

La causa de que el factor de potencia disminuya con poca carga se debe a que la corriente de magnetización permanece prácticamente constante. Con el incremento de carga por arriba de la nominal, el factor de potencia disminuye porque aumenta el flujo de dispersión.

1.3.10.2 Consumo de energía superior al que se precisaría, de ser correcto el factor de potencia.

- Mayor valor de energía consumida.
- Consumen mucha energía radiactiva.
- Las bobinas de los aparatos de telemando.
- Motores de que funcionan en vacío o a poca carga.
- Motores sobredimensionados.
- Motores con velocidades pequeñas.
- Motores a los que llega la tensión superior a la prevista.
- Elementos inductivos.

1.3.10.3 Elevación de Factor de Potencia

“Para mejorar el factor de potencia, es necesario reducir la energía reactiva de autoinducción a base de conectar condensadores a la red, (energía reactiva de capacidad)”. (Shneider Electric España, 2008).

La elevación del factor de potencia tiene una gran importancia como reducir pérdidas en los conductores y transformadores y ahorro de energía de forma notable.

El método de compensación más utilizado es el capacitor está formado por dos o más placas conductoras adyacentes separadas por hojas de materiales aislantes. Los capacitores tienen pequeñas pérdidas de energía que van desde 0.3 a 0.5% de su potencia nominal [14].

Cálculo del capacitor:

Potencia reactiva a reducir en la Red, con los condensadores (Pxc).

$$P_{xc} = KW(tg\varphi_2 - tg\varphi_1) \text{ en } kVAr$$

KW= Potencia activa de la red.

φ_1 = Angulo que se desea obtener.

φ_2 = Angulo que se tiene y que se desea mejorar.

Determinación de pérdidas.

El factor de pérdidas es la relación entre las pérdidas promedio y las pérdidas que corresponden al pico en un lapso especificado.

Las pérdidas dependen del cuadrado de la corriente y supuesto que la tensión se mantiene constante dependen del cuadrado de la potencia aparente.

$$Fde \text{ pérdidas} = \text{Perd} / \text{Perd max}$$

Tabla 6: Determinación de pérdidas.

Nivel de tensión - NT	Grupo	Voltaje de suministro en el punto
Baja		NT < 0,6 Kv
Media		0,6 kV ≤ NT ≤ 40 kV
Alta	AT2	40kV < NT ≤ 138 Kv
	AT2	NT > 138 Kv

Fuente: Pliego Tarifario 2018

1.3.11 Índice de Calidad

Uno de los índices principales de la calidad de la energía eléctrica es el voltaje y, por lo tanto, este se debe ofrecer al usuario dentro de los límites normalizados. En las líneas de distribución y en otros elementos se presentan caídas de tensión que deben evaluarse con todo cuidado, con el propósito de que en las variaciones normales de carga el voltaje se mantenga dentro del rango normal.

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

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.

1.3.12 Ahorro en los sistemas de alumbrado

Las medidas para el ahorro energético en los sistemas de alumbrado se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Estandarizar las luminarias, reduciendo al máximo los modelos utilizados.
- Sustitución de luminarias convencionales por luminarias LED.
- Instalar programadores de encendido y apagado parcial o total en las zonas sin presencia de personas, con regulación de luz por franjas horarias.
- Instalación de detectores de presencia, especialmente útiles en vestuarios y baños.
- En zonas con luz natural, instalar detectores de la luz ambiental para regular el nivel de alumbrado.

En determinadas salas técnicas se debe mantener permanentemente un nivel de alumbrado tal que permita la realización de tareas cotidianas: centros de transformación, cuadros generales

de baja tensión, salas de climatizadores, salas de bombeo de agua, almacenamiento de residuos, etc.

Cuando el acceso a determinadas áreas se realiza con llaves electrónicas o sistemas similares, pueden integrarse el encendido del alumbrado con la apertura de las puertas. (Digitecparts, 2017).

1.3.13 Ahorro en otros sistemas

Otros consumos en los que es posible obtener grandes ahorros son los asociados a las “grandes cargas”: motores de climatizadores y extractores, grupo de presión de agua, bombas de achique, ascensores compresores de aire, hornos, etc.

La eficiencia se conseguirá por sustitución de los mismos por otros de mayor eficiencia, especialmente si son sustituirlos por nuevos conjuntos motor-variador. Los ahorros energéticos conseguidos pueden superar en 50%, pero debe hacerse previamente el balance técnico-económico de la sustitución para decidir sobre cuales conviene actuar.

En numerosos casos, la sustitución de estos elementos requiere fuertes inversiones que no se justifican por los largos períodos de recuperación.

En cualquier caso, no debemos pasarlos por alto ni en las auditorías de eficiencia energética ni en planes de mejora de eficiencia. Obviamente, aplicando el principio de Pareto, los planes de mejora de la eficiencia deben empezar actuando por los sistemas menos eficientes y que requieran menor inversión.

Saliendo del contexto del ahorro en los sistemas eléctricos, y desde una visión más amplia, las mayores ineficiencias suelen encontrarse en los cerramientos de los edificios y en los sistemas térmicos (generación y transporte de ACS, vapor, agua fría y caliente para climatización). (Rallo, 2015).

De las acciones básicas que se pueden sugerir para rescatar las pérdidas de energía en una red existente de distribución industrial, se destacan:

- Equilibrio de cargas.
- Cambio del calibre de conductores.
- Presencia de armónicos por los neutros.
- Redistribución de las cargas en diferentes alimentadores.
- Ubicación de condensadores en los tableros de distribución.

Con el equilibrio de cargas, se pretende eliminar las componentes de secuencia negativa que circulan por la red, de forma de evitar las pérdidas asociadas a éstas dentro del sistema. Cabe señalar, que muchas veces la aparición de componentes de secuencia negativa en alimentadores de fuerza se debe a la disposición inadecuada de los conductores monopolares dentro de las canalizaciones, por lo que bastaría con un recorrido visual de los conductores de dichas canalizaciones y una redistribución de tales conductores para equilibrar las impedancias de los alimentadores. Esto toma relevancia especialmente cuando se tiene mono polarmente un alimentador con más de un conductor por fase.

Este problema es típico de las instalaciones industriales canalizadas en bandejas o escalerillas donde, por efectos estéticos, los instaladores "peinan" los cables de forma inadecuada, ocasionando asimetrías de reactancias inductivas que a su vez causan asimetrías de corriente por dichos conductores, con calentamientos de algunos cables y el posterior riesgo de falla o incendio. Si a esto se agrega la mala práctica de llenar en exceso las escalerillas y bandejas con muchas capas de cables de fuerza, el resultado puede llegar a ser desastroso.

Si es posible, se debe preferir el uso de cables tripolares con neutro para los alimentadores. Con el aumento del calibre de conductores, reduciendo la resistencia de cada conductor se pretende minimizar los efectos de pérdidas Joule (I^2R) en los alimentadores, y con ello, la pérdida de energía.

Respecto de las corrientes armónicas que circulan por cables debido a la carga no lineal dentro del sistema, se debe recordar que no basta con la suposición de que la sección del

neutro debe ser la mitad de la fase, sino que se debe cuantificar la corriente armónica que circula por el neutro y dimensionar éste en base a dicho valor. Las componentes múltiples de tercer armónico no se anulan en el neutro, y se suman en él, llegando a circular importantes valores de corriente por el mismo neutro. (Vásquez, 2003).

Con la predisposición de cargas en diferentes alimentadores se busca racionalizar el esquema de distribución interior de la planta, evitando sobrecargar innecesariamente un alimentador en vez de otro. Este ejercicio será posible solamente si la disposición física de cargas, tableros y alimentadores así lo permite.

La ubicación de condensadores en los diversos tableros de la planta traerá consigo las ventajas de minimización de circulación de corrientes reactivas por las líneas y alimentadores principales, reduciendo de esta forma las pérdidas de conducción, y mejoras en el factor de potencia de la instalación. La evaluación de las acciones propuestas debe ser tal que, para que convenga su implementación, se debe tener valores presentes de energía rescatada mayores o al menos iguales a los costos de inversión. (LRQA, 2018).

1.3.14 Ahorro y eficiencia Energética

Haciendo referencia al ahorro y eficiencia energética, el autor Schallemborg (2008), manifiesta:

“El ahorro energético y la eficiencia energética se definen como el acto de efectuar un gasto de energía menor del habitual, es decir, consiste en reducir el consumo de energía mediante actuaciones concretas, pero manteniendo el mismo nivel de confort. El ahorro energético conlleva un cambio en los hábitos de consumo; en ocasiones bastaría con eliminar los hábitos que despilfarran energía. Ahorro energético es, por ejemplo, apagar las luces al salir de una habitación; la luz encendida en una habitación vacía no produce ningún beneficio y, sin embargo, está consumiendo energía.”

La eficiencia energética es el hecho de minimizar la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda sin afectar a su calidad; supone la sustitución de un equipo por otro que,

con las mismas prestaciones, consuma menos electricidad. No supone, por tanto, cambios en los hábitos de consumo (el comportamiento del usuario sigue siendo el mismo), pero se consume menos energía ya que el consumo energético para llevar a cabo el mismo servicio es menor.

El mismo autor Schalleberg, con relación a la eficiencia energética dice:

“Eficiencia energética es, por ejemplo, utilizar una lavadora de “clase energética A” (la que menos consume) en lugar de un lavadora de “clase energética G” (la que más consume). No se cambia la pauta de consumo, se sigue lavando lo mismo (asiduidad, programa de lavadora), pero se consume menos energía; se logra un ahorro porque, haciendo lo mismo, una lavadora de clase energética A consume menos que una de clase G”.

1.3.15 Sistema de Gestión de Energía

Muchas empresas en el Ecuador están adoptando la norma internacional ISO 50001:2011, Sistemas de Gestión de la Energía, cuyo propósito es permitir a las organizaciones a establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar el rendimiento energético, incluyendo la eficiencia energética, uso y consumo. La aplicación de esta norma tiene la finalidad de conducir a reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, el costo de la energía, y otros impactos ambientales relacionados, a través de la gestión sistemática de la energía. Esta Norma Internacional es aplicable a todos los tipos y tamaños de organizaciones, independientemente de las condiciones geográficas, culturales o sociales. La implementación exitosa depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización, y en especial de la alta dirección. Especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía (SGEn) de una organización para desarrollar e implementar una política energética, establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con significativo consumo de energía. Se basa en el marco de mejora continua: Planificar-Hacer-Verificar-Actuar e incorpora la gestión de la energía en las prácticas cotidianas de la organización. (López, 2005)

1.3.16 ISO 50001 Sistema de Gestión de la Energía

1.3.16.1 ¿Qué es ISO 50001?

La norma ISO 50001 es la nueva norma internacional de sistemas de gestión de la energía (SGEn). Es la primera norma de sistemas de gestión de la energía internacional tras un amplio número de normas nacionales y regionales, como la norma EN 16001. La norma ISO 50001 SGEn se basa en el modelo de sistema de gestión que ya está asimilado e implantado por organizaciones en todo el mundo. El ciclo de mejora de Deming "plan-do-check-act" sustenta la norma, como en el caso de la norma ISO 9001, ISO 14001 y otras normas de sistemas de gestión establecidos.

La organización ISO estima que la norma podría influir hasta en un 60% del consumo mundial de energía. La norma ISO 50001 ha sido diseñada para poder ser implementada en cualquier organización independientemente de su tamaño, sector y ubicación geográfica.

La certificación ISO 50001 ofrece una gama de beneficios para su organización:

- Ayudar a las organizaciones a un consumo más eficiente de los recursos.
- Facilitar la transparencia/comunicación en la gestión de los recursos energéticos.
- Promover las mejores prácticas de gestión energética.
- Ayudar a evaluar y priorizar la implementación de nuevas tecnologías de eficiencia energética.
- Proporcionar el marco de eficiencia energética a lo largo de toda la cadena de suministro.
- Facilitar la mejora de la gestión energética de los proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Integración con los sistemas de gestión existentes en su organización.

1.3.16.2 Resumen de la norma ISO 50001

Esta norma fue creada con el propósito de permitir a las organizaciones establecer los

sistemas y procesos necesarios para mejorar la eficiencia energética, incluyendo el uso y consumo, esto con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, costos de energía y otros impactos ambientales.

Esta norma internacional establece ciertos requisitos que deben ser acatados por todas las organizaciones sin importar tamaño, factor geográfico, cultural o social. (International Organization ISO, 2016):

- Desarrollar e implementar una política energética.
- Establecer objetivos, metas y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales.

1.3.17 Indicadores de eficiencia energética.

La organización debe identificar los indicadores del rendimiento de la energía, para el seguimiento y la medición del rendimiento energético.

Estos indicadores deben ser revisados y comparados con la línea base de la energía según corresponda.

1.3.17.1 Objetivos, metas y planes de acción energéticos:

- La organización debe establecer y documentar objetivos que deben ser consecuentes con la política energética y las metas deben ser consecuentes con estos objetivos.
- Los planes de acción deben incluir: designación de las responsabilidades, los medios y en qué plazo los objetivos individuales que se persiga, una declaración del método por el cual será una mejora en la eficiencia energética de verificación.
- Una declaración de la forma de controlar los resultados.

1.3.17.2 Implementación y operación

La organización debe usar los planes de acción y los productos resultantes para la planificación de los procesos de implementación y operación.

1.3.17.3 Competencias, formación y sensibilización.

La organización debe identificar necesidades de formación relacionadas con la formación del personal de la compañía que trabaja con la energía, teniendo competencias como el conocimiento básico, apropiado y experiencia.

La organización debe asegurar que las personas que trabajen para la compañía tengan conciencia de la importancia de la política energética.

1.3.17.4 Pasos para implantar un sistema de gestión de la energía

Las compañías necesitan conocer los costos reales de la energía que consumen y vincularlos a los productos y servicios que ofrecen.

De aquí, y también de la necesidad de cumplir con las normas de Eficiencia Energética de sus países, de las que se derivan que las empresas deben realizar auditorías de eficiencia energética regularmente, se impone la obligatoriedad de gestionar mejor la energía que se consume.

Las organizaciones empresariales son consumidoras directas de energía y pueden reducir su consumo energético para disminuir sus costos operativos y promover así la sostenibilidad económica, política y ambiental. Además, pueden desear aumentar su eficacia para maximizar su beneficio, y a la vez repercutir en una reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) disminuyendo en consecuencia su huella de carbono.

Para mejorar la eficiencia energética de una organización es imprescindible entender e intentar seguir las siguientes indicaciones:

- El primer paso es siempre medir (no se puede cambiar lo que no se conoce, y no se conoce lo que no se mide).
- Hay que emplear “sólo la energía necesaria” y sólo cuando sea “necesaria” gracias al empleo de herramientas de automatización y de control.
- Hay que mejorar permanentemente los procesos, manteniendo un rendimiento constante gracias a los servicios de monitorización y mantenimiento.
- Muchas medidas son fáciles de obtener, con bajos costos de implementación y rápida amortización, especialmente cuando se adapta un edificio o una instalación existentes.
- La eficiencia energética activa se puede implementar en todos los sectores (edificios residenciales, comerciales, industrias, talleres e infraestructuras).

1.3.18 Sistemas de Supervisión y monitorización para asegurar la gestión de la energía

Para realizar una correcta gestión energética que permita conseguir ahorro es preciso recurrir a sistemas de supervisión y monitorización. Estos sistemas capturan y ofrecen datos que permiten identificar oportunidades de ahorro y detectar ineficiencias entre otras ventajas. Además, aportan información clave para tomar decisiones que permitirán optimizar la factura energética.

Tradicionalmente están compuestos por dos partes, Monitorización y Telecontrol (M&T) y Gestión Energética (SGEn), dos herramientas fundamentales para conducir a las empresas a mejorar su eficiencia energética y a reducir sus costos.

Los equipos y sistemas de Monitorización y Telecontrol ofrecen información técnica en detalle de parámetros de consumo y otras magnitudes para su posterior tratamiento y análisis:

- Datos de consumo en tiempo real.
- Alarmas inteligentes.
- Análisis de la calidad de la energía (en los más avanzados).

Para la implantación de estos sistemas se debe aprovechar, en la medida de lo posible, los equipos y sistemas existentes en las propias instalaciones como base para la implementación

de la parte M&T orientada a la gestión energética. Esto permitirá aprovechar la base ya instalada y minimizar la inversión.

El aprovechamiento de los sistemas de control y supervisión permitirá a su vez ejercer acciones coordinadas sobre la instalación mediante técnicas de regulación, automatización, implantación de calendarios, etc. encaminadas a mejorar la eficiencia. Un ejemplo claro de estos sistemas serían los BMS (Building Management Systems) del sector terciario (instalaciones en edificios e infraestructuras) y los sistemas de control y supervisión industrial para el sector secundario (instalaciones industriales).

Los Sistemas de M&T suelen estar basados en sistemas SCADA, de manera que los Sistemas de Gestión Energética pueden apoyarse en sus datos. En caso de no existir previamente será necesario disponer de alguna plataforma que adapte la información, como por ejemplo alguna pasarela o Gateway, PLC, PAC, controlador o similar, compatible con la interfaz del SGEN.

En el caso de que exista un M&T habrá que tener en cuenta que probablemente sea necesaria su reforma/actualización para la integración de las nuevas variables y dispositivos a incorporar.

Obviamente, en cualquiera de los casos deberá llevarse a cabo un estudio técnico particularizado de cada emplazamiento/instalación para determinar la mejor manera de implantar los equipos y modificar las aplicaciones existentes asegurando siempre la compatibilidad de los interfaces con el SGEN previsto.

En resumen, los **Sistemas de Gestión Energética** (SGEn) responden a las necesidades propias de un Gestor Energético. Es decir, facilitan la información previamente tratada y presentada de forma que permiten la extracción inmediata de conclusiones. Se nutren principalmente de los datos proporcionados por los M&T (aparte pueden tener otras fuentes de entrada de datos) y son los idóneos para la asignación de costos a sus respectivos centros, cálculos de ratios y cumplimiento de objetivos y metas. (Peña, A. C. , 2012).

1.3.19 Auditoría energética

Una auditoría energética consiste en una examinación detallada de como una empresa usa la energía, cuánto paga por ésta, y finalmente, un programa recomendado de cambios en prácticas de operación o en equipos consumidores de energía que ahorrarán a la empresa varios dólares en las planillas de luz.

1.3.19.1 Tipos y objetivos de auditoría energética.

a. Auditoría Energética preliminar

Es el tipo de auditoria más simple y rápida y se describe con una breve reseña de sus instalaciones, facturas de servicios públicos y otros datos de consumo de energía. Es una inspección de la planta que pretende visualizar las oportunidades más evidentes de conservación de energía en la misma, para de esta manera identificar cualquier zona de desperdicio de energía o de ineficiencia.

Típicamente, sólo las principales áreas problemáticas se descubren durante éste tipo de auditoría. Las medidas correctivas se describen brevemente y las acciones son de bajo costo.

Este nivel de detalle es suficiente para dar prioridad a proyectos de eficiencia energética y para determinar la necesidad de una auditoria más detallada.

b. Auditoría Energética detallada

Es una evaluación detallada de las oportunidades de reducir consumos y costos energéticos. Requiere el uso de equipos de medida y su alcance puede abarcar la totalidad de recursos energéticos de la empresa, o solo un tipo de recurso. Requiere un levantamiento completo de los consumos históricos de los diferentes energéticos a considerar. Su costo puede ser apreciable y su duración puede ser de algunas semanas o hasta unos pocos meses dependiendo de la complejidad del sector a ser evaluado.

c. Auditoría energética especial

Es una evaluación más profunda a la obtenida en la auditoría energética detallada, llegando al detalle de toma de registros por aparato, análisis de fallas durante un período determinado y su efecto en las horas hábiles de trabajo. Estas auditorías energéticas se vuelven permanentes, durante un periodo de tiempo que puede ser de un año y en el cual se pueden efectuar los correctivos necesarios para el éxito de los cambios e inversiones efectuadas. Su costo es alto y requiere de una firma auditora que posea todos los instrumentos requeridos para éste tipo de auditoría sofisticada. (Velasquí, 2014).

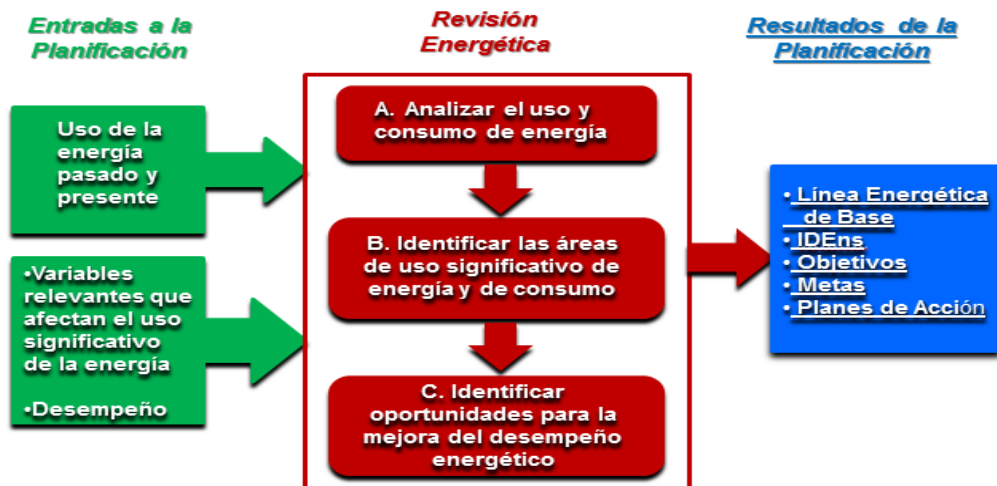
1.3.19.2 Objetivos de la auditoría energética

La implementación de una auditoría energética permite:

- Conocer la situación actual, datos sobre consumos, costos de energía y de producción para mejorar el rendimiento de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de las instalaciones consumidoras de energía.
- Reducir los consumos de energía.
- Identificar las áreas que permitan un potencial ahorro de energía.
- Determinar y evaluar económicamente los puntos de ahorro alcanzables y las medidas técnicamente aplicables para lograrlo.
- Analizar la posibilidad de utilizar energías renovables.

La planificación energética debe ser coherente con la política energética y debe conducir a actividades que mejoren de forma continua el desempeño energético. En el siguiente esquema se resume el proceso de planificación:

Figura 3 Proceso de planificación.



Fuente: ISO 50001: Sistemas de gestión energética

1.3.21 Herramientas

Las herramientas que permiten organizar la información, tabular y describir resultados concluyentes de una investigación son:

1. Diagrama de Pareto.- que en función del puesto clave determinará los elementos consumidores energéticos demostrando que el 20% de las causas originaran el 80% de los efectos.
2. Gráficos de barras.- es una forma de resumir un conjunto de datos por categorías.
3. Gráfica de pastel.- recurso estadístico que se utiliza para representar porcentajes y proporciones.

1.3.22 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta de análisis que ayuda a tomar decisiones en función de prioridades, el diagrama se basa en el principio enunciado por Vilfredo Pareto que dice:

"El 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan".

En otras palabras: un 20% de los errores vitales, causan el 80% de los problemas, o lo que es lo mismo: en el origen de un problema, siempre se encuentran un 20% de causas vitales y un 80% de triviales. Al Diagrama de Pareto también se le conoce también como regla 80 - 20 o también por "muchos triviales y pocos vitales" o por la curva C-A-B.

El diagrama de Pareto es un caso particular del gráfico de barras, en el que las barras que representan los factores correspondientes a una magnitud cualquiera están ordenados de mayor a menor (en orden descendente) y de izquierda a derecha.

Este principio empírico que se presenta en todos los ámbitos de la vida como el económico (la mayor parte de la riqueza está concentrada en unas pocas personas), el geográfico (la mayoría de la población vive en una pequeña parte del territorio), etc., se aplica al análisis de problemas entendiendo que existen unos pocos factores (o causas) que originan la mayor parte de un problema.

Concretamente este tipo de diagrama, es utilizado básicamente para:

- Conocer cuál es el factor o factores más importantes en un problema.
- Determinar las causas raíz del problema.
- Decidir el objetivo de mejora y los elementos que se deben mejorar.
- Conocer si se ha conseguido el efecto deseado (por comparación con los Pareto iniciales).

1.3.22.1 Modo de aplicación del diagrama de Pareto

Con objeto de realizar correctamente un diagrama de Pareto se realizan los siguientes pasos:

- Recolectar o recoger datos y clasificarlos por categorías.
- Ordenar las categorías de mayor a menor indicando el número de veces que se ha producido.
- Calcular los porcentajes individuales y acumulados de cada categoría, el acumulado se calcula sumando los porcentajes anteriores a la categoría seleccionada.

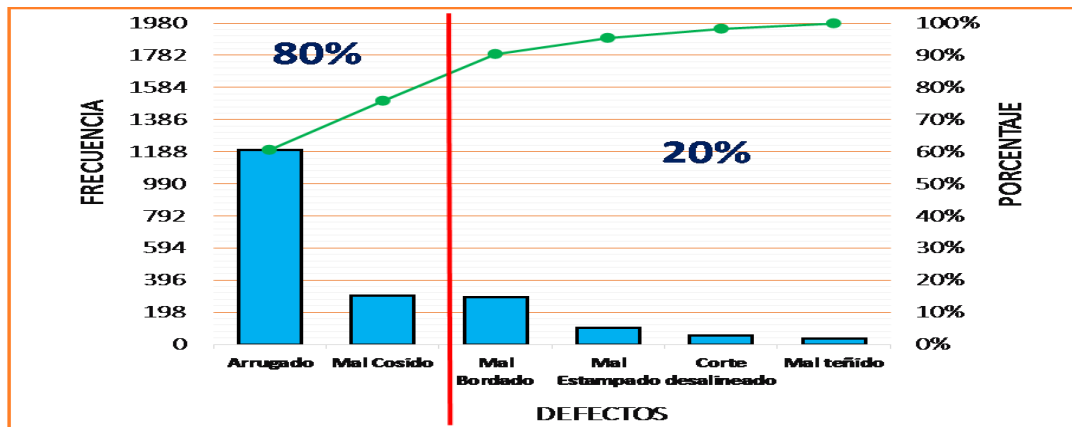
- Construcción del diagrama en función de los datos obtenidos anteriormente.
- Generación del diagrama de Pareto.

El diagrama es gráfico que contiene las categorías en el eje horizontal y dos ejes verticales, el de la izquierda con una escala proporcional a la magnitud medida (valor total de los datos) y el de la derecha con una escala porcentual del mismo tamaño.

Se colocan las barras de mayor a menor y de izquierda a derecha, pero poniendo en último lugar la barra correspondiente a otros (aunque no sea la menor). Se marcan en el gráfico con un punto cada uno de los porcentajes acumulados (los puntos se pueden situar en el centro de cada una de las categorías o en la zona dónde se juntan una con otra) y se unen los puntos mediante líneas rectas.

Se separan (por medio de una línea recta discontinua, por ejemplo) las pocas categorías que contribuyen a la mayor parte del problema. Esto se hará en el punto en el que el porcentaje acumulado sume entre el 70% y el 90% del total (generalmente en este punto la recta sufre un cambio importante de inclinación).

Figura 4 Interpretación del Diagrama de Pareto.



Fuente: El autor

Algunas veces se suele dar el caso de que no quede clara la frontera entre las pocas categorías importantes y las demás. En estos casos aparece lo que algunos autores denominan como "la zona dudosa", que empieza en la zona en torno al 50% y termina sobre el 80%. Cuando

suceda esto, se recomienda no tomar en consideración las categorías de la zona dudosa y concentrarse en el 50-60% que más contribuye al efecto o problema que se está analizando.

También puede suceder, al representar un diagrama de Pareto, que no aparezcan categorías significativas, sino que todas contribuyen de manera similar al efecto (Pareto plano). Esto suele ser un síntoma de elección inadecuada de los factores de estratificación, pues el efecto estudiado es el mismo en cualquier factor.

Cuando se utiliza el diagrama de Pareto para la resolución de problemas es conveniente analizar el efecto (problema) bajo diferentes puntos de vista, de manera que los distintos diagramas que resultan pueden orientar sobre prioridades para la solución.

En función de las características del problema y de la dirección que lleve el equipo de trabajo se elegirá una estratificación u otra, aunque se recomienda realizar siempre un diagrama de Pareto de costos, ya que éste es un criterio importante en la mayoría de las organizaciones. (INACAL, 2014).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Objeto de la investigación

En el presente trabajo de investigación se evaluó las pérdidas de energía eléctrica en las instalaciones y equipos eléctricos del laboratorio de Mecánica Industrial de la ESPE Extensión Latacunga. Se consideraron todos los equipos y maquinarias que utilicen energía eléctrica y, que de una u otra manera están involucrados en los procesos de enseñanza académica que brinda el laboratorio.

2.2 Investigación de campo

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Mecánica Industrial de la ESPE Extensión Latacunga, en el cual se realizó el levantamiento de la información de los diferentes equipos y maquinarias, modo utilización por medio de una encuesta.

2.3 Nivel de investigación Correlacional

En la investigación se realizó un levantamiento de los diferentes tipos de equipos y sus características, además de un sondeo de la utilización de los mismos por los diferentes usuarios que utilizan el laboratorio, a través de encuestas, también se obtuvieron las curvas de demanda utilizando los equipos de análisis de energía. La información obtenida se correlacionó con las variables del problema planteado, de esta manera el comportamiento de la información tabulada fue analizado para poder determinar un modelo matemático mediante la utilización del Easy Power, que permitió la optimización del consumo de energía eléctrica en el laboratorio de Mecánica Industrial de la ESPE Extensión Latacunga.

2.4 Población y muestra

La población se centró en docentes y técnicos docentes de Laboratorio que utilizan y operan el mismo en los horarios establecidos por la institución para hacer las prácticas de laboratorios.

2.4.1 Tamaño de la muestra para el estudio definitivo

La muestra, en nuestra investigación corresponderá al universo de estudio, debido a que la población a encuestar es pequeña, por lo que no tendría sentido calcular un tamaño muestral.

2.5 Métodos de investigación

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Mecánica Industrial de la ESPE Extensión Latacunga, y para ello se utilizó, las herramientas y equipos necesarios para determinar el consumo energético del mismo y a su vez se buscó variantes para garantizar eficiencia energética y la eliminación de pérdidas en el sistema en cuestión.

Para lo cual se utilizará los siguientes métodos:

Observación:

Permitió conocer el problema con más detalle, mediante la utilización de encuestas enfocadas a determinar el consumo de energía mediante la determinación de los equipos y máquinas que posee el laboratorio, incluyendo las horas de funcionamiento.

Además se realizó un levantamiento de información de consumo de energía eléctrica con un analizador de red instalada en el laboratorio para conocer el horario de mayor demanda.

Inductivo:

La investigación se apoyó en fuentes de carácter documental, pudiendo obtener conocimientos para la realización del proyecto, como punto de partida.

Con los datos obtenidos se realizó la tabulación de la información y el análisis de su comportamiento.

Deductivo:

Este método permitió el estudio de los elementos particulares para lograr la elaboración de conclusiones generales, totales y parciales acerca de la caracterización del estado actual del laboratorio.

2.6 Técnicas e instrumentos de la investigación

En la siguiente investigación se utilizó la técnica de la encuesta con su respectivo instrumento que corresponde al cuestionario.

El cuestionario estuvo enfocado a determinar la característica de la utilización de los equipos del laboratorio y poder caracterizar su demanda y las pérdidas.

Otra de las técnicas utilizadas en la investigación fue la medición del consumo de energía de los equipos y máquinas del laboratorio, para ello se utilizó instrumentos como el analizador de red FLUKE 1735.

Se utilizó un software de modelación, el EasyPower.

Con la información obtenida mediante mediciones, encuestas y caracterización de las variables se realizó la modelación y optimización del consumo de energía en el laboratorio, lo cual permitió el alcance de los objetivos del presente trabajo investigativo y obtener resultados energéticamente eficientes.

2.7 Operacionalización de las variables

Tabla 7: Matriz de operacionalización variable independiente.

Variable independiente: pérdidas de energía

Concepto	Categoría	Indicadores	Item	Técnicas	Instrumentos	
Es optimizar la energía utilizada y lograr los mismos objetivos planteados.	Gestión energética	Eficiencia de energía	kW	Medición	Analizador de red	
				Simulación	EasyPower	
				Modelación		
				Pregunta	Encuesta	Cuestionario
	Factor potencia	Modos y tipos de compensación	kWh	Cálculos	Ecuaciones	
	Prefactibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones	

Fuente: El Autor

Tabla 8: Matriz de operacionalización de variable dependiente.

Variable dependiente: uso eficiente del portador energético electricidad

Concepto	Categoría	Indicadores	Item	Técnicas	Instrumentos
Gasto total de energía, potencia consumida de los equipos y máquinas en un periodo tiempo determinado.	Motores eléctricos	Potencia		Medición	Analizador de red
			kWh		
	Iluminación	lux	lúmenes	Medición	Luxómetro
	Prefactibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

Fuente: El Autor

2.8 Instrumentos a utilizar

La presente investigación utilizó los siguientes instrumentos:

- Encuesta.
- Analizador de energía.
- Ecuaciones por medio de modelos matemáticos.
- Software para el modelado (EasyPower).

Encuesta

Se realizaron encuestas, las que permitieron conocer las costumbres de utilización de los equipos y máquinas del laboratorio de mecánica, horario de utilización de las mismas, e intervalos de uso de cada máquina, lo que permitió realizar un estudio de usos finales de la energía, el cual a su vez determinó el comportamiento de consumo de los mismos.

El objetivo principal de la encuesta es:

Diseñar un sistema que permita caracterizar y modelar la demanda de energía eléctrica de los equipos y máquinas del laboratorio de mecánica, que permita incentivar el uso eficiente de energía en beneficio de la institución.

Objetivos específicos de la encuesta:

- Conocer el consumo de electricidad promedio y los hábitos de uso de los equipos y máquinas eléctricas del laboratorio.
- Conocer la existencia de fluctuaciones de voltaje y su relación con la existencia de horarios picos de la institución.
- Conocer si han existido en el área de laboratorio auditorías energéticas y si se han implementados planes de ahorro, en esta área.

Encuestas aplicadas a docentes y técnicos de laboratorio

La encuesta se centra a los docentes y técnicos de laboratorio de Mecánica industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

La encuesta se basa en 9 preguntas las cuales están enfocadas a determinar la característica de consumo de energía de los diferentes equipos y máquinas eléctricas del laboratorio. Como se muestra en el anexo 1, las preguntas son:

1. Número de estudiantes que utilizan el laboratorio para realizar prácticas.
2. Horario del laboratorio.
3. Número de horas que permanece encendido un equipo.
4. Equipos encendidos en cada turno de laboratorio.
5. Número de Años de funcionamiento de los equipos y máquinas del laboratorio.
6. ¿Se realiza mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos y maquinas del laboratorio? ¿Con qué frecuencia?
7. ¿Se ha percatado que existen variaciones de voltaje? De ser así, ¿en qué horario?
8. ¿Se ha realizado alguna vez una auditoría energética en el laboratorio?, ¿cuántas?
9. ¿Se ha realizado en el laboratorio algún plan de ahorro?

2.9 Analizador de energía

Para el proceso de evaluación de las pérdidas y en especial para determinar la curva de demanda máxima de energía eléctrica en el laboratorio de Mecánica Industrial de la ESPE Extensión Latacunga, se utilizó como equipo de medición de la calidad de energía eléctrica el Analizador/ Registrador Fluke 1735 Power Logger Analyst que se dispone en la universidad. Los parámetros eléctricos a evaluar son:

- Voltajes.
- Corrientes.
- Potencia.
- Factor de potencia.
- Armónicos.

Y partir de los datos obtenidos en las mediciones, se hace un análisis de estos parámetros eléctricos donde sus resultados sirvieron de base para diseñar el plan de mejoras para un uso eficiente de la energía eléctrica.

2.9.1 Características Principal del Analizador Registrador Fluke 1735 Power Logger Analyst.

Este instrumento es capaz de mostrar datos y formas de ondas de las señales eléctricas. Con este analizador / registrador de potencia (conocido habitualmente solo como “registrador”), se puede realizar estudios de voltaje, corriente y potencia para determinar las cargas existentes. Esta información se puede utilizar para requisitos de arquitectura o inspección eléctrica en proyectos de remodelación.

El registrador es también una herramienta de investigación de calidad de la potencia de finalidad general que revela la calidad del suministro de voltaje en cualquier punto de una red de distribución.

El registrador se ha desarrollado en concreto para electricistas de planta e instaladores eléctricos con una función importante en la investigación y solución de problemas en el sistema de distribución eléctrico.

El registrador de potencia 1735 está equipado con la tecnología Flash. Esto le permite realizar actualizaciones del firmware. Se usa para ello la utilidad Windows Flash Update. Esto se lo encontrará en el CD-ROM del 1735 que se incluye. Si hay una actualización del firmware, la encontrará en el sitio Web de Fluke: www.fluke.com.

Figura 5: Analizador/registrador FLUKE 1735.



Fuente: El autor

2.9.2 Aplicaciones más comunes:

- Estudios de carga: verifica la capacidad del sistema eléctrico antes de agregar cargas.
- Evaluaciones de energía: calcula el consumo antes y después de las mejoras para justificar los dispositivos de ahorro de energía.
- Medidas de los armónicos: identifica problemas causados por armónicos que puedan dañar o afectar a equipos críticos.
- Captura de eventos de voltaje: supervisa las fluctuaciones que provocan falsos reinicios o disparos inesperados del interruptor automático.

2.9.3 Partes del Equipo Analizador/registrador FLUKE 1735

El equipo Analizador/registrador FLUKE 1735 incluye:

- Estuche de transporte flexible.
- 4 sondas de corriente flexibles (15 A/150 A/3000 A).
- Software PowerLog.
- Cables de prueba y pinzas.
- Juego de marcadores de colores.
- Cable de conexión al ordenador.
- Adaptador de CA internacional (115/230 V, 50/60 Hz).
- Manual de usuario en formato impreso (inglés).
- Manual de usuario en CD en varios idiomas.

Figura 6: Partes del equipo analizador/registrador FLUKE 1735.



Fuente: El autor

2.10 Realización del estudio de cargas

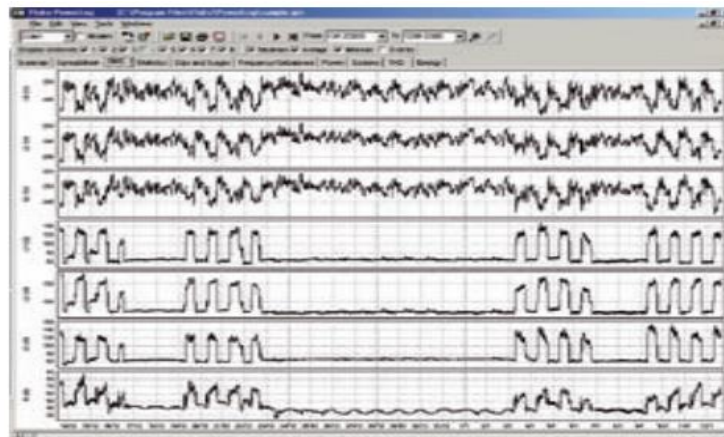
El estudio de carga se realiza en solo cuatro pasos:

1. Se conecta las sondas del instrumento a la instalación eléctrica. En el caso de un sistema trifásico, existen ocho conexiones: la tensión en las tres fases, la tensión en el neutro, la corriente en las tres fases y la corriente en neutro.
2. Se establecen los parámetros del sistema eléctrico y la topología de la red para que coincidan con el tipo de instalación que se va a analizar. Comprobar que la tensión nominal (tensión de red) y la frecuencia son correctas.
3. Se establece el tiempo de registro, por ejemplo, un intervalo de registro de 15 minutos y un período de 30 días en total.
4. Se inicia el registro de datos. En la posición W (potencia), el equipo Fluke 1735 registrará los valores mínimo, máximo y promedio cada 15 minutos de los siguientes parámetros:
 - Potencia (en vatios para cada fase y el valor total).
 - Potencia reactiva (en VAR para cada fase y el valor total).
 - Potencia aparente (en VA para cada fase y el valor total).
 - Factor de potencia (para cada fase y el valor promedio).

- Consumo promedio de energía (en kWh).
- Energía reactiva (en kVARh).

En la pantalla de tendencias podrá visualizar de forma actualizada los valores mínimos, máximos y promedios cada quince minutos, desplazándose de izquierda a derecha (tal como se muestra en la Figura 7).

Figura 7: Pantalla de tendencias.



Fuente: El autor

Al transcurrir los 30 días, se desconecta el registrador Fluke 1735 de la red, y se conecta al ordenador utilizando el cable de comunicación serie y gracias al software PowerLog que se incluye con el equipo podrá descargar todos los datos almacenados, como se muestra en la figura 8.

Figura 8: FLUKE 1735 Power Logger.



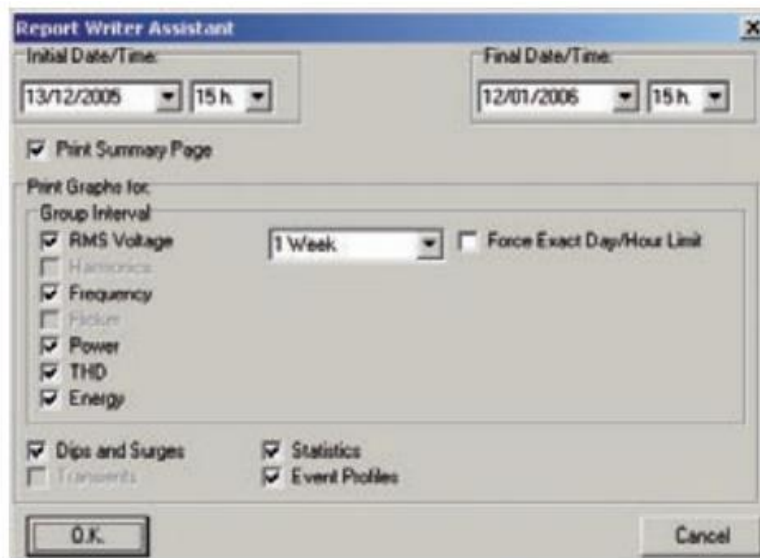
Fuente: El autor

5. Se descarga y revisa las mediciones.

Después de 30 días y un registro de datos de medida cada 15 minutos, el equipo contará con 2880 conjuntos de medidas en total. El PowerLog crea un gráfico con estos datos, de manera que pueda verse fácilmente la corriente o potencia máxima en cada fase, comparar las tres fases y proporcionar el valor más alto.

En la Figura 7, se muestran los registros de corriente de las tres fases ampliados para visualizar todos los detalles que este instrumento es capaz de registrar. PowerLog incorpora la función de generación de informes, que incluye creación de gráficos de corriente y potencia, así como gráficos de barras para visualizar el valor de corriente promedio máximo. (FLUKE 1735, 2010).

Figura 9: Generación de informe.

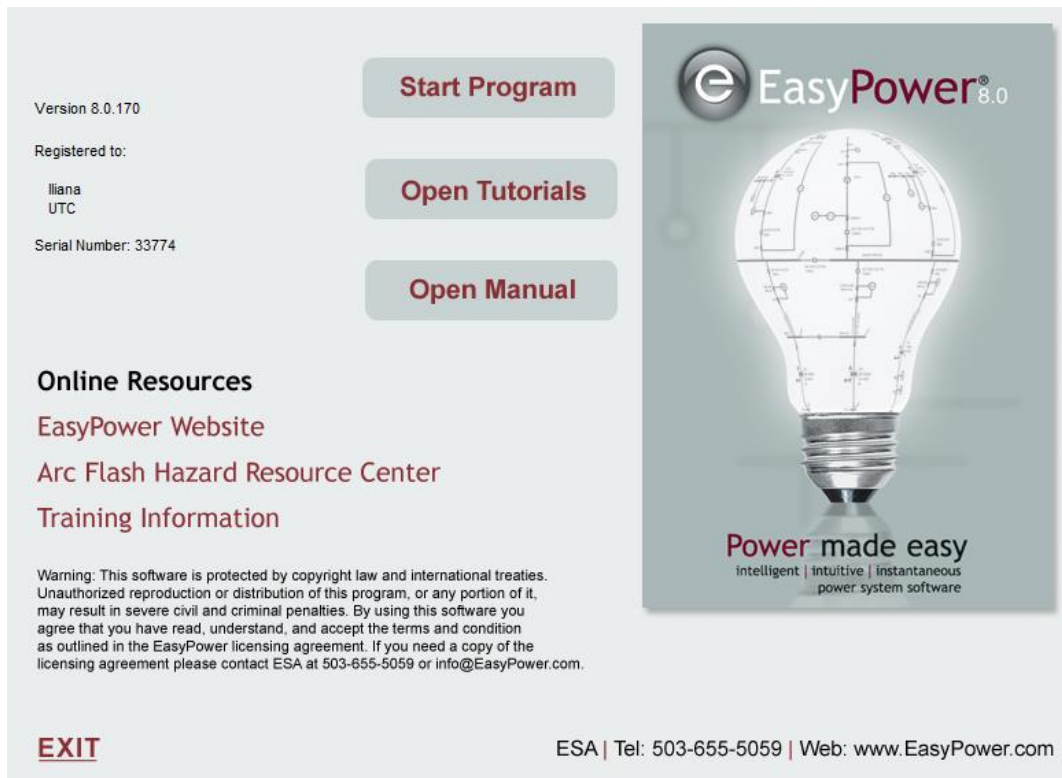


Fuente: El autor

2.11 Software para el modelado Easy Power

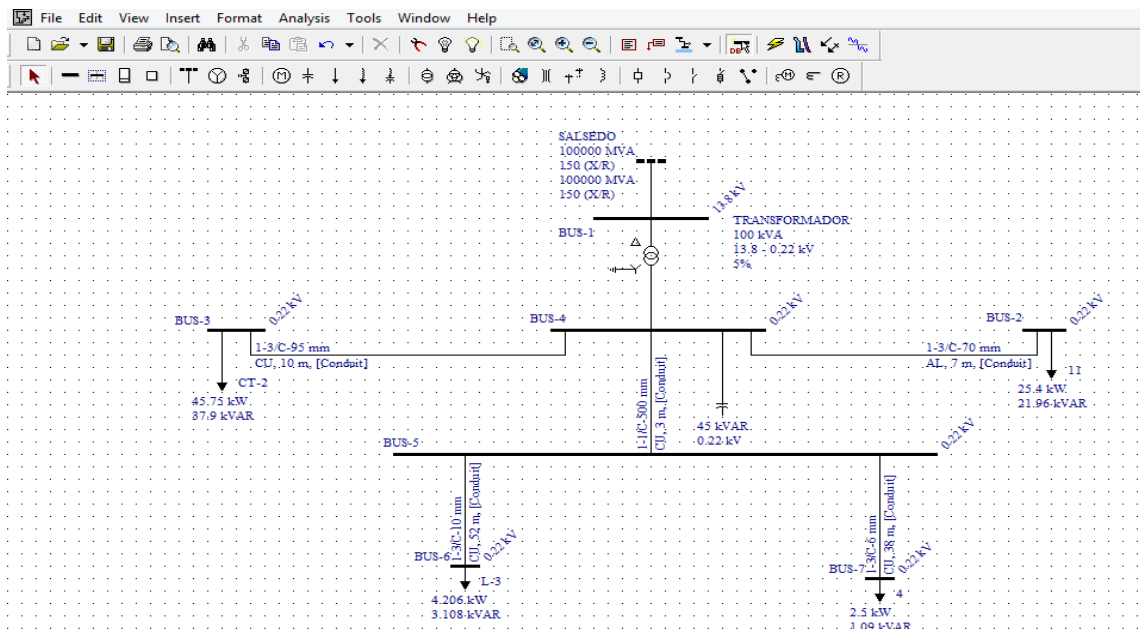
En las figuras 10 y 11 se muestran la pantalla principal del software EasyPower que será utilizado para la simulación y el análisis de flujos de carga, considerando la demanda del sistema a diseñar. En particular la figura 11, muestra cómo será construido el diagrama unifilar atendiendo a la demanda del sistema para obtener los niveles de tensión, factor de potencia en el nodo principal, nivel de carga del transformador y líneas, así como las pérdidas del sistema en los diferentes escenarios de carga.

Figura 10: Pantalla principal de inicio del EasyPower.



Fuente: El autor

Figura 11: Esquema unifilar en la hoja de cálculo para la simulación en el EasyPower.



Fuente: El autor

Esta aplicación informática es una herramienta de análisis para el diseño, simulación y operación del sistema de suministro en redes industriales, que simula la fuente de energía, distribución y el comportamiento de las cargas. También permite el cálculo de cortocircuito y realizar hasta estudios avanzados de estabilidad transitorios. Algunos de los módulos del software son listados a continuación:

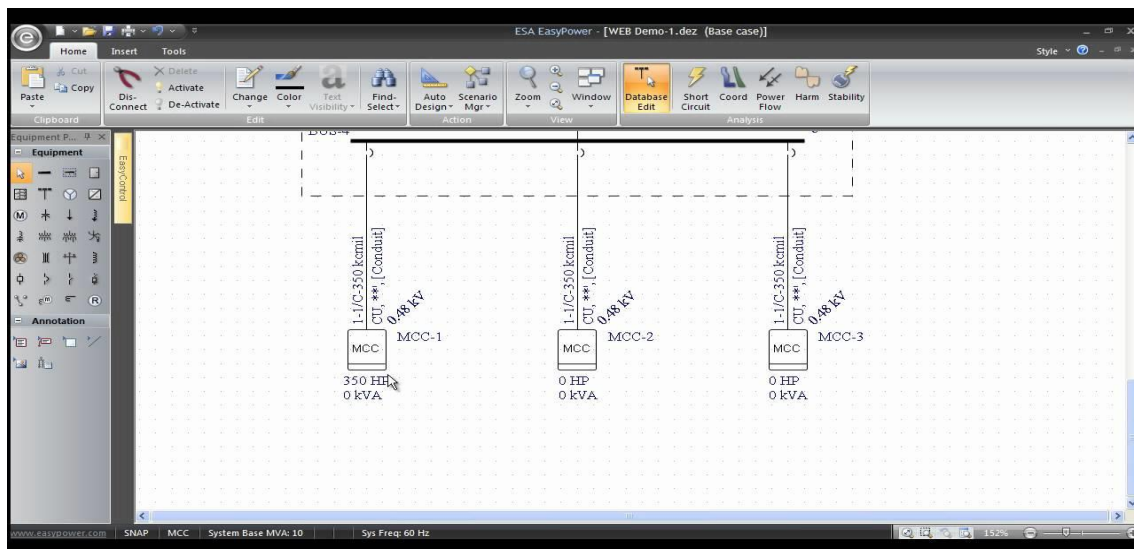
Short-Circuit ANSI/IEC	Transmission Line - Capacity
Arc Flash IEEE 1584	High Voltage DC Systems
Load Flow	Transformer Sizing & Tap Optimization
Motor Acceleration	GIS Map
Ground Grid	Systems Advanced Monitoring
Harmonics	Real-Time Simulation 39
Single Phase & Panel Systems	Event Playback
Device Coordination/Selectivity (Star)	Intelligent Load Shedding
Unbalanced Load Flow	Supervisory & Advisory Control
Reliability Assessment	Transient Stability
Optimal Capacitor Placement	Parameter Estimation
Optimal Power Flow	Generator Start-Up
Transmission Line – Sag & Tension	User-Defined Dynamic Model

2.12. Diseño y simulación de flujos de carga mediante software

Se empleó el software Easy Power 8.0 por la facilidad de adquisición de datos y por los resultados que despliega, en cuanto a flujos de carga y corrientes de cortocircuito, tomando como base los datos obtenidos por el analizador FLUKE 1735.

Los resultados principales que se obtienen del flujo de potencia son: magnitud y ángulo de fase del voltaje de cada barra del sistema, potencia activa y reactiva que fluye por cada elemento del sistema (P,Q). Los resultados secundarios son las caídas de voltaje ($\% \Delta V$), y cargabilidad de los elementos ($\% P_{max}$).

Figura 12: EasyPower 8.0.



Fuente: El autor

Procedimientos para organizar un sistema de monitoreo y control energético.

Para elaborar el diagrama unifilar, se realiza el levantamiento de datos de las subestaciones, transformadores, tableros, centros de carga, cables y canalizaciones, tomando en cuenta los siguientes datos:

- Suministro de energía eléctrica: tensión, frecuencia, número de fases, y número de hilos.
- Circuitos eléctricos: capacidad (kW), capacidad del interruptor, longitud, cantidad y calibre de conductores, tipo de canalización.
- Transformadores: potencia en kVA, número de fases, tipo de conexión, tipo de enfriamiento, tensión, impedancia, y elevación de temperatura.
- Tableros: capacidad de barras, tensión, número de fases, número de hilos, frecuencia.
- Interruptores: capacidad, número de polos, marco y disparo.
- Cargas: capacidad en kW, kVA.
- Instrumentos de Medición: rango de medición, cantidad, indicar si es análogo o digital, así como parámetros que mide.

En todos los casos se indicará identificación del equipo y ubicación del mismo.

2.13.1 Determinación de la carga instalada

La exactitud de la carga de una instalación compleja depende de un sin número de factores que le dan las características buscadas o necesarias para el uso que la misma este prestando, sin embargo se puede establecer un valor general ya con la recolección de toda la información de los equipos que están conectados o también analizando los datos de las placas de los motores.

Para poder establecer la determinación de la carga se debe tener en cuenta que es un trabajo de campo el cual debe ser realizado de manera paulatina y técnica y debe establecerse y plantearse en el tiempo necesario para su consumo o desuso ya que si existe una reserva excesiva esta generará perdidas, debido que se convertiría de acuerdo al uso de la misma en una inversión que no generaría ninguna ganancia, del mismo modo una reserva escasa podría generar daños o problemas en periodos cortos lo cual detendría los equipos y máquinas lo que ocasionaría perdidas y problemas en el laboratorio.

2.13.2 Análisis de la energía eléctrica consumida

La determinación de la Energía Eléctrica Consumida, es importante tener en cuenta algunas variables como lo son:

- El tipo de equipo que está conectado al suministro de electricidad.
- El número de horas que este equipo está funcionando y su el horario del mismo.
- Entonces el cálculo de la electricidad consumida se realiza en función a estas variables.

2.13.3 Análisis de conductores eléctricos

Un conductor eléctrico es aquel material que ayuda y permite el traslado de los electrones de un punto A hacia un punto B sin interrupción alguna.

En el rediseño de instalaciones eléctricas uno de los puntos más importantes que tenemos que tomar en cuenta es (y más repetitivas) es el cálculo de la sección de alimentadores, es decir la especificación de los conductores que suministran energía eléctrica a la carga, se siguen los literales anteriores. De la precisión de estos cálculos depende, en buena medida, la seguridad y el buen funcionamiento de la instalación, así como el costo de los gastos de operación y mantenimiento.

2.13.4 Ejecución del proceso de control

El proceso de control, en su ejecución, consta de las siguientes etapas:

1. Recolección de datos.
2. Determinación del resultado.
3. Comparación del resultado con los estándares.
4. Ejecución del diagnóstico de causas de derivaciones.
5. Modificación de las variables de control o corrección de desviaciones.

El proceso de control general incluye también una etapa de mejoramiento del proceso, cuando la acción sobre las variables de control no son suficientes para corregir las constantes variaciones que en este se presentan. Esta etapa consiste en una revisión periódica de procedimientos y evaluación técnico-económica de posibilidades de inversión que producen, sin duda, un cambio en los estándares y en los resultados del control frecuente.

Conclusiones.

- Se estableció la fundamentación legal que facilitará la aplicación para emprender el proceso de investigación a fin de dar solución a problemas energéticos con la elaboración de planes que posibiliten el uso eficiente de la energía en función de estándares nacionales indicados en este capítulo.
- Se determinó recurrir a la herramienta de auditoría energética en diferentes niveles para realizar primero un diagnóstico, mediante la realización de una encuesta, se contemplaron la base teórica para realizar una auditoría de segundo nivel, para que mediante

mediciones con equipo apropiado determinar la situación real de los equipos referente al uso eficiente de la energía eléctrica.

- Se analizaron algunos trabajos de investigación realizados a nivel nacional y que de una u otra manera tienen relación con el presente proyecto.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se analizan e interpretan los datos obtenidos por los diferentes instrumentos utilizados. Las encuestas, descritas en el capítulo II, permitieron conocer los horarios de consumo y utilización de los equipos y máquinas del laboratorio. Los resultados obtenidos indicaron la necesidad de aplicar un plan de gestión energética.

3.1 Análisis de los resultados de la encuesta

3.1.1 Número de estudiantes que utilizan el laboratorio para realizar prácticas

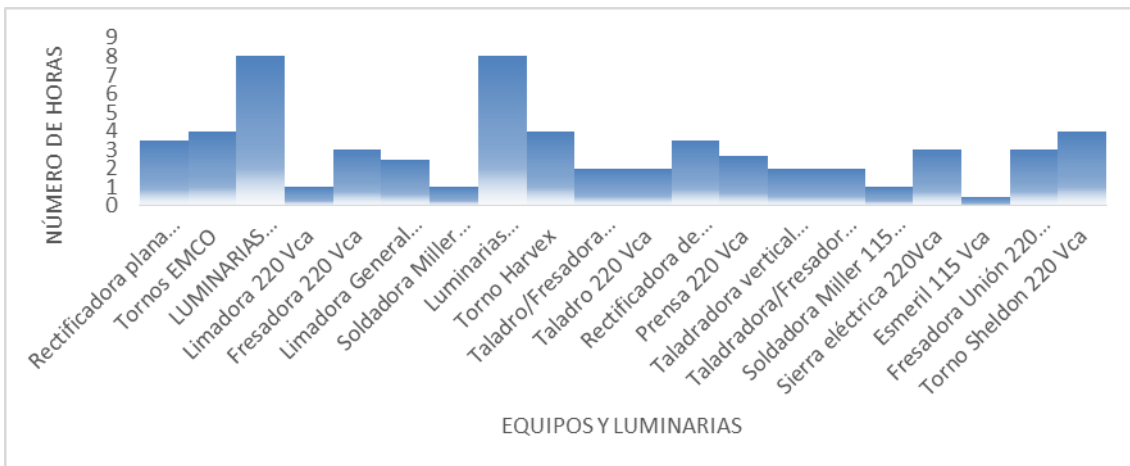
Se realizaron 8 encuestas, realizadas al jefe del laboratorio, dos técnicos y 5 docentes. La información arrojó que existen: 200 estudiantes de las carreras de Ingeniería Electromecánica, Mecatrónica, Mecánica Automotriz, y de las Tecnologías en Electromecánica y Mecánica Automotriz, realizan sus prácticas como parte de su formación profesional en las materias de Procesos de Manufactura, Taller Mecánico y Diseño Mecánico.

3.1.2 Horario del laboratorio

La encuesta realizada al jefe del laboratorio, técnicos y docentes generó que: se utiliza el Laboratorio durante 8 horas diarias por los 5 días de la semana, con un total de 40 horas semanales.

3.1.3 Número de horas que permanece encendido un equipo

Figura 13: Número de horas en que permanecen encendidos cada equipo.



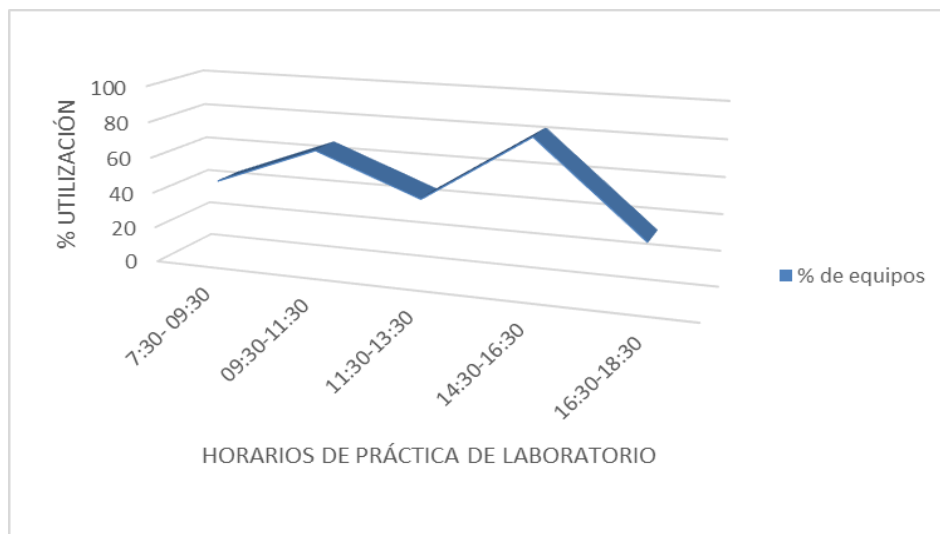
Fuente: Técnicos y Docentes del Laboratorio de Mecánica Industrial.

Análisis e interpretación.

Analizando la Figura 13, se evidencia que el número de horas en que permanecen encendidos los equipos varía de un rango comprendido entre las 0,5 horas y las 8 horas. Esto depende del tipo de práctica y la asignatura que la realice.

3.1.4 Equipos encendidos en cada turno de laboratorio

Figura 14: Tendencia de utilización de equipos.



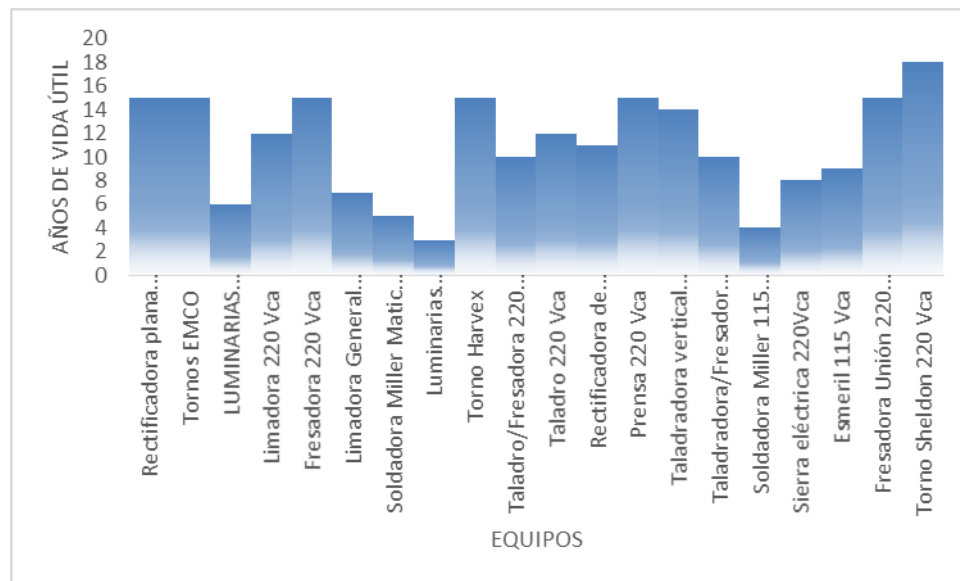
Fuente: Técnicos y Docentes del Laboratorio de Mecánica Industrial.

Análisis e interpretación.

Al desarrollar esta pregunta se pudo observar que los horarios de mayor utilización de los equipos correspondió a las 9:30-11:30 y las 14:30-16:30, los cuales se pueden considerar los horarios pico de consumo de energía en el laboratorio.

3.1.5 Número de Años de funcionamiento de los equipos y máquinas del laboratorio.

Figura 15: Años de vida útil de los equipos.



Fuente: Técnicos y Docentes del Laboratorio de Mecánica Industrial.

Análisis e interpretación.

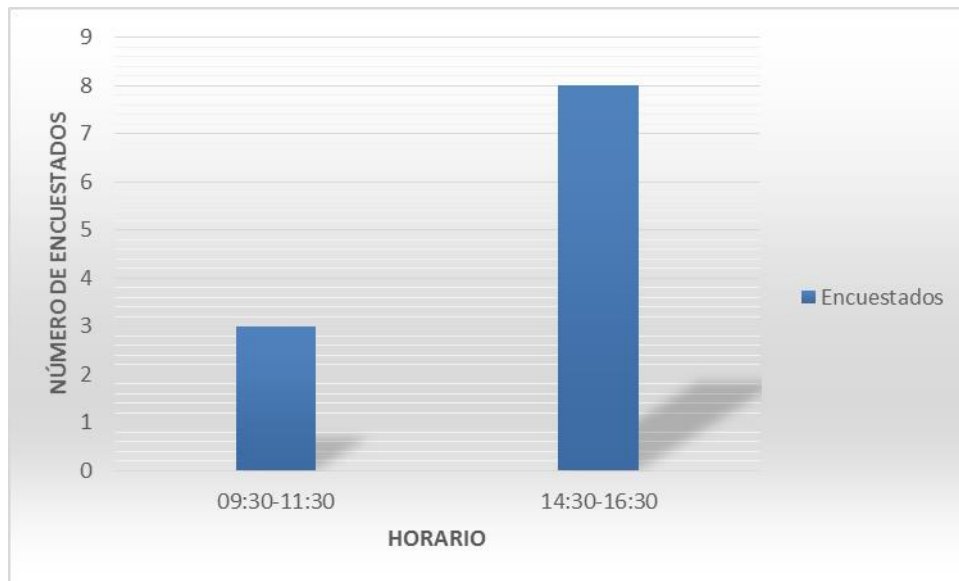
Como se puede observar en la figura 15, los equipos del laboratorio de Mecánica Industrial, tienen entre 4 y 18 años de utilización, con un promedio de 11 años de vida útil.

3.1.6 ¿Se realiza mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos y maquinas del laboratorio? ¿Con qué frecuencia?

Los resultados de las encuestas permitieron demostrar que se realiza mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos y máquinas del laboratorio con una periodicidad de cada 6 meses, antes de iniciar un nuevo periodo académico.

3.1.7 ¿Se ha percatado que existen variaciones de voltaje? De ser así, ¿en qué horario?

Figura 16: Horarios de ocurrencia de variaciones de voltaje.



Fuente: Técnicos y Docentes del Laboratorio de Mecánica Industrial.

Análisis e interpretación.

De un total de 8 encuestados, todos coincidieron en que han existido variaciones de voltaje durante la realización de las prácticas de laboratorio. Tres de ellos refieren que existen dos horarios con variaciones de voltaje, y 5 manifiestan que se percataron de las variaciones en un horario, lo cual se puede apreciar en la figura 16.

3.1.8 ¿Se ha realizado alguna vez una auditoría energética en el laboratorio?, ¿cuántas?

No se ha realizado ninguna auditoría energética para determinar la calidad y el uso eficiente de la energía eléctrica.

3.1.9 ¿Se ha realizado en el laboratorio algún plan de ahorro?

Según la información brindada por los encuestados, no se dispone de políticas de ahorro de energía.

3.2 Análisis de los resultados de la auditoría obtenidos mediante la observación y recopilación de información.

Se realizó un levantamiento de la cantidad de equipos, máquinas del laboratorio, lámparas y equipos auxiliares, de forma general se recolectaron los datos de placa y valores nominales de corriente y voltaje de los equipos para poder determinar la potencia instalada, y seleccionar los puntos de mediciones utilizando como herramienta el FLUKE 1735. Los resultados de este trabajo aparecen en la tabla 9.

Durante de un recorrido por las instalaciones del laboratorio, se realizó un levantamiento de la potencia nominal de cada equipo, que arrojó la potencia total instalada del laboratorio, para luego determinar la carga eléctrica instalada, teniendo en cuenta que el número de horas de trabajo de cada equipo es 8 horas, lo cual se plasma en la tabla 9, que se muestra a continuación.

Tabla 9: potencia instalada en el laboratorio de Mecánica Industrial.

ORD.	EQUIPO	CANT.	Potencia Instalada (Kw)	Consumo de Energía (Kw*h)
1	Rectificadora plana 220Vca	1	10	80
2	Tornos EMCO	13	9,1	72,8
3	LUMINARIAS 250W/220V	28	8	64
4	Limadora 220 Vca	1	7,45	59,6
5	Fresadora 220 Vca	1	7	56
6	Limadora General Electric 220 Vca	1	4,47	35,76
7	Soldadora Miller Matic 220 Vca	1	3,6	28,8
8	Luminarias Flourescentes 40 W	76	3,04	24,32
9	Torno Harvex	6	3	24
10	Taladro/Fresadora 220 Vca	1	3	24
11	Taladro 220 Vca	1	2,98	23,84
12	Rectificadora de cilindros 220 Vca	1	2,5	20
13	Prensa 220 Vca	1	2,24	17,92
14	Taladradora vertical 220 Vca	1	2,23	17,84
15	Taladradora/Fresadora 220 Vca	1	2,23	17,84
16	Soldadora Miller 115 Vca	1	2,08	16,64
17	Sierra eléctrica 220Vca	1	1,5	12
18	Esmeril 115 Vca	2	1,5	12
19	Fresadora Unión 220 Vca	1	1,5	12
20	Torno Sheldon 220 Vca	1	1,5	12
TOTAL			78,92	631,36

Fuente: Datos de placa de los equipos e inventarios del laboratorio

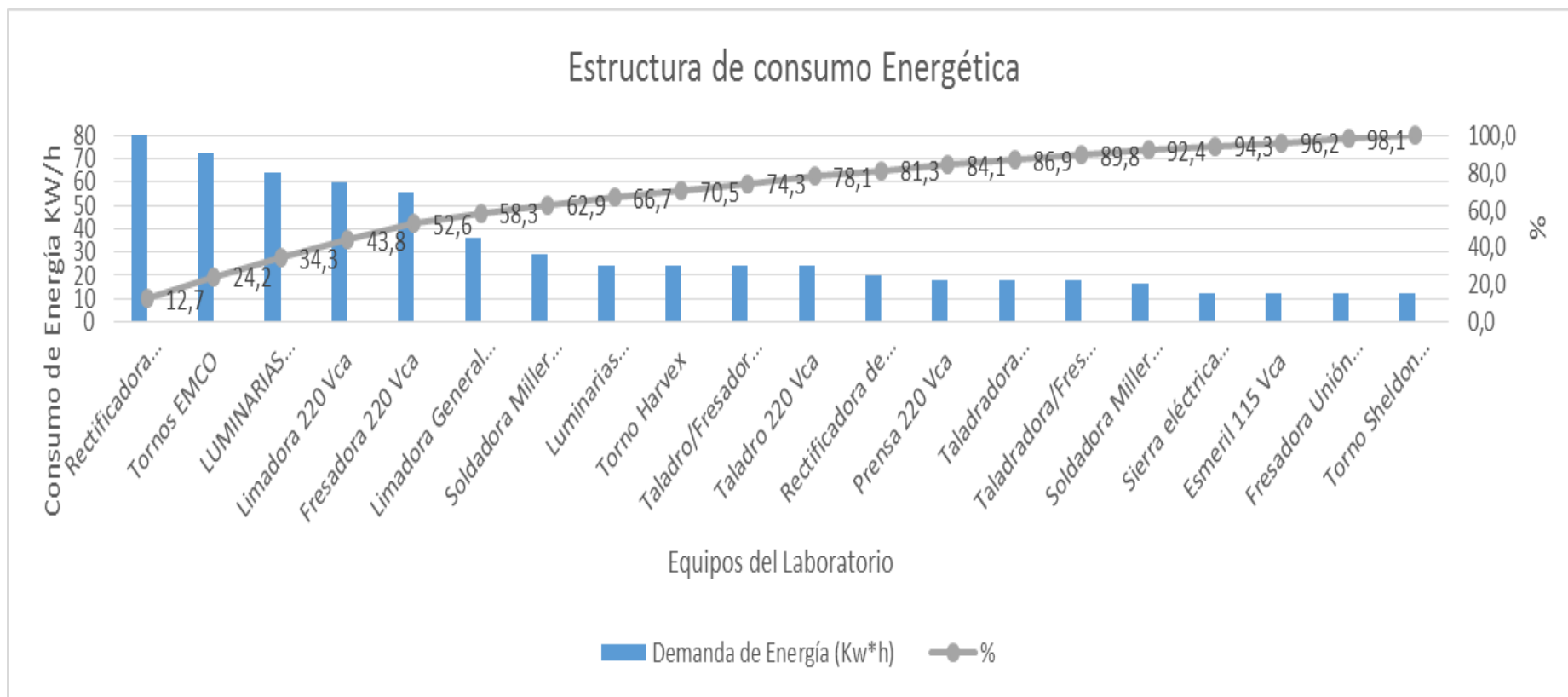
3.3 Determinación del puesto clave

Con la utilización de las herramientas indicadas para la obtención de datos eléctricos de consumo, se determina que los equipos establecidos como puesto clave representan el 20% de las causas totales del consumo de la potencia activa y que originan el 80% de los efectos del consumo energético acumulado, para determinar lo anteriormente expuesto se utiliza un Diagrama de Pareto; este diagrama ayuda a definir los equipos que tienen un mayor peso en el consumo de energía eléctrica a la hora de realizar las mediciones para determinar el mayor consumo, y esto se puede apreciar en la figura. 17.

En base a los resultados de la tabla 9 referente a la carga eléctrica instalada en el laboratorio y la utilización del Diagrama de Pareto, se han seleccionado a los equipos: Rectificadora plana, Tornos EMCO, Limadora y Fresadora como puestos claves, considerando el elevado consumo de energía eléctrica y además, tienen un tiempo de utilización semanal mayor que los demás equipos. Debido a lo expuesto anteriormente fueron seleccionados para realizar las respectivas mediciones de parámetros eléctricos con el analizador de señales FLUKE 1735 y de esta forma se determinó la calidad y la eficiencia energética.

Se consideró también importante realizar mediciones en el circuito que controla las luminarias y el tablero de control principal, para de esta manera verificar la calidad de energía entregada a los diferentes equipos y maquinarias del laboratorio.

Figura 17: Aplicación del Diagrama de Pareto para los equipos del laboratorio de Mecánica Industrial.



Fuente: El Autor

El diagrama de Pareto, también llamado como curva 80%/20%, no es más que una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha. Permitiendo, asignar un orden de prioridades, y afirmando que en todo grupo de elementos o factores que contribuyen a un mismo efecto, unos pocos son responsables de la mayor parte de dicho efecto, o sea, el 20% de esfuerzo supone el 80% de los resultados. Y el otro 80% del esfuerzo solo supone el 20% de los resultados; lo cual podemos apreciar en la figura 18, que se muestra a continuación.

Figura 18: Interpretación del Diagrama de Pareto.



Fuente: El Autor

3.4 Resultados obtenidos a través de las diferentes mediciones

Se realizaron mediciones durante los siete (7) días de la semana y se estableció un horario fijo para realizar las mismas, al final se promedió para llegar a un resultado final.

Este procedimiento fue repetido para cada uno de los equipos que fueron escogidos.

A continuación, se presentan los resultados promedios de las mediciones realizadas en los equipos considerados como puestos claves.

Nota: Se muestra sólo el procedimiento para la toma de mediciones en uno de los equipos de los que conforman los puestos clave. El resto de las mediciones se indican en el anexo 2.

3.4.1 Mediciones obtenidas en la rectificadora plana

Figura 19: Voltajes y corrientes de L1, L2 L3 en la rectificadora plana.

► Volts/Amps/Hertz 2017-04-28, 11:05

↕ L123 AN 0.0 A 59.94 Hz

	V rms	A rms
L1	120.5	14.2
L2	121.9	14.3
L3	119.8	15.1

Fuente: Fluke 1735

Figura 20: Voltaje, corriente y frecuencia de L1 en la rectificadora plana.

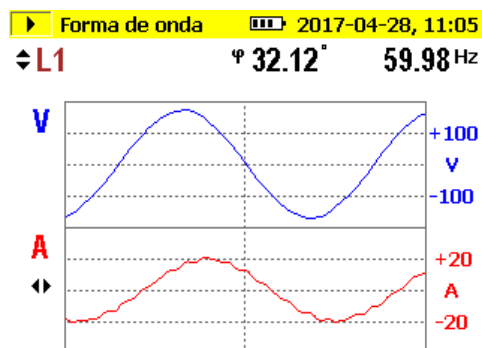
► Volts/Amps/Hertz 2017-04-28, 11:05

↕ L1

		min	max
V	120.6 V _{rms}	104.3	123.9
A	14.2 A _{rms}	0.0	34.0
F	59.95 HZ	59.88	60.67

Fuente: Fluke 1735

Figura 21: Formas de onda de voltaje y corriente en la rectificadora plana.



Fuente: Fluke 1735

Figura 22: Potencia activa, aparente y reactiva de la rectificadora plana.

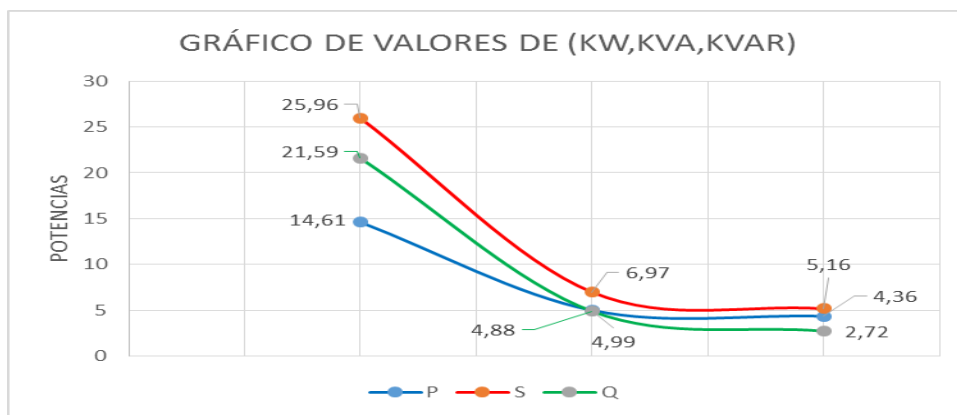
Potencia 2017-04-28, 11:06

↕ L123

		min	max
P	4.99 kW tot	4.36	14.61
S	6.97 kVA tot	5.16	25.96
Q	4.88 kvar tot	2.72	21.59

Fuente: Fluke 1735

Gráfico 1: Potencias activa, aparente y reactiva de la rectificadora plana.



Fuente: Figura 22.

Figura 23: Potencia activa, aparente y factor de potencia de la rectificadora plana.

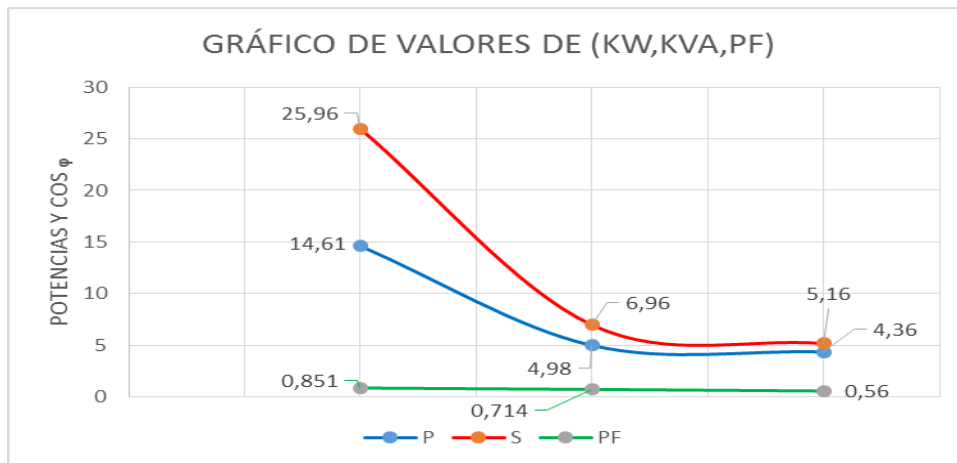
Potencia 2017-04-28, 11:06

↕ L123

		min	max
P	4.98 kW tot	4.36	14.61
S	6.96 kVA tot	5.16	25.96
PF	0.714 tot	0.560	0.851

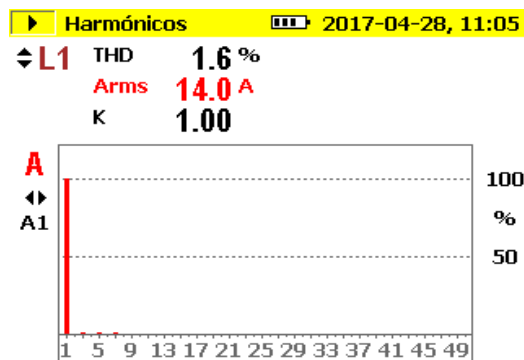
Fuente: Fluke 1735

Gráfico 2: Potencia activa, aparente y factor de potencia de la rectificadora plana.



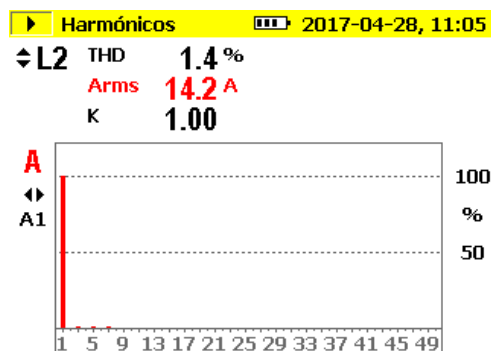
Fuente: Figura 21.

Figura 24: Armónicos de corriente L1 de la rectificadora plana.



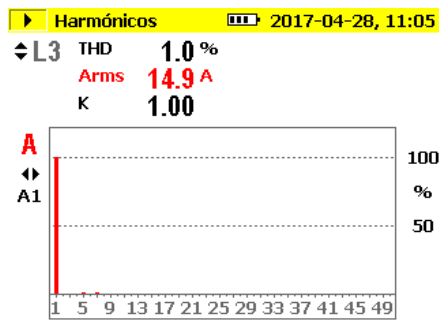
Fuente: Fluke 1735

Figura 25: Armónicos de corriente de L2 de la rectificadora plana.



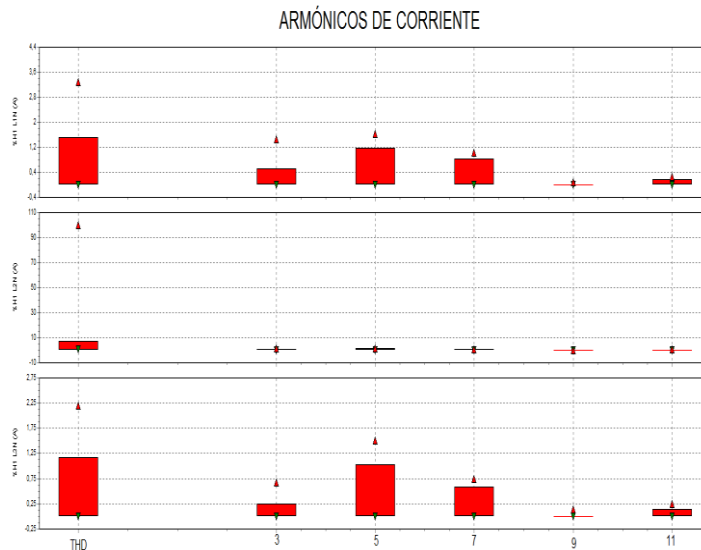
Fuente: Fluke 1735

Figura 26: armónicos de corriente de L3 de la rectificadora plana.



Fuente: Fluke 1735

Figura 27: Armónicos de corriente en las tres líneas de la rectificadora plana.



Fuente: Fluke 1735

Los registros de datos obtenidos en el intervalo de tiempo en que fue realizada la medición en cada equipo seleccionado se pueden visualizar en el anexo 2.

3.5 Análisis e interpretación de resultados de los diferentes parámetros referidos a los indicadores de eficiencia energética.

A continuación, se presenta la interpretación y el análisis de los resultados obtenidos en las mediciones realizadas utilizando el analizador de señales FLUKE 1735 en los equipos seleccionados.

Figura 28: Mediciones en el laboratorio de Mecánica Industrial.



Fuente: El Autor

3.5.1 Resultados en la Rectificadora Plana

El voltaje en las tres líneas tiene un margen de error aceptable, con valores que oscilan entre 119.8 y 121.9 Vca.

En la línea 3, el valor de la corriente es de 15.1 A, un poco por encima de los valores de las líneas 1 y 2 (14.2 y 14.3 A).

La potencia Reactiva tiene un valor muy significativo en el circuito ($Q= 4.84$ KVAR) con respecto a la potencia Aparente ($S= 6.97$ KVA) y a la potencia Activa ($P= 4.99$ KW).

El alto valor de la potencia Reactiva ya referido influye en el Factor de Potencia del equipo, el mismo es de 0,714.

La Distorsión Armónica Total (THD) es de 5.20 %, siendo este valor aceptable ya que no sobrepasa el valor del 20 % que está especificado en las regulaciones para instalaciones de baja tensión. Se puede notar la presencia de los armónicos de orden 3, 5 y 7.

Todo lo antes expuesto se aprecia en la tabla 10.

Tabla 10: Resultado del promedio de las mediciones en la rectificadora plana.

LÍNEAS	T(V)	I(A)	Q(KVAR)	S(KVA)	P(KW)	THD(%)
LÍNEA 1	(119,8 - 121,9)	14,2	4,48	6,97	4,99	5,20
LÍNEA 2		14,3				
LÍNEA 3		15,1				

Fuente: El autor

3.5.2 En los Tornos EMCO

El voltaje en las tres líneas tiene un margen de error aceptable, con valores que oscilan entre 123.1 y 125.6 Vca.

En la línea 2, el valor de la corriente es de 2.90 A, el cual difiere de los valores de las líneas 1 y 3 (3.4 y 3.6 A), indicando que existe un desbalance de corriente en la línea 2.

Este equipo presenta un valor muy alto de potencia Reactiva ($Q= 1.12$ KVAR) con respecto a la potencia Aparente ($S= 1.25$ KVA) y a la potencia Activa ($P= 0.57$ KW). También presenta un bajo factor de potencia, manifestando un consumo elevado de potencia reactiva.

El alto valor de la potencia Reactiva tiene una influencia muy significativa en el Factor de Potencia de este equipo, el mismo que es de 0,375.

La Distorsión Armónica Total (THD) es de 3.6 %, siendo este valor aceptable ya que no sobrepasa el valor del 20 % que está especificado en las regulaciones para instalaciones de baja tensión. Se puede notar la presencia de los armónicos de orden 3, 5 y 7.

Tabla 11: Resultado del promedio de mediciones para el torno EMCO.

LÍNEAS	T(V)	I(A)	Q(KVAR)	S(KVA)	P(KW)	THD(%)
LÍNEA 1	123,1 - 125,6	3,4	1,12	1,25	0,57	3,60
LÍNEA 2		2,9				
LÍNEA 3		3,6				

Fuente: El autor

3.5.3 En la Limadora

El voltaje en las tres líneas tiene un margen de error aceptable, con valores que oscilan entre 123.8 y 126.1 Vca.

Las corrientes en las tres líneas están equilibradas, con valores entre 5.4 y 5.5 A.

El valor de la potencia Reactiva es considerable ($Q= 1.51 \text{ KVAR}$) con respecto a la potencia Aparente ($S= 2.29 \text{ KVA}$) y a la potencia Activa ($P= 1.71 \text{ KW}$).

El valor de la potencia Reactiva también influye considerablemente en el Factor de Potencia del equipo, y este presenta un valor de 0,745.

La Distorsión Armónica Total (THD) es de 1.4 %, siendo este valor aceptable pues no sobrepasa el valor del 20 % que está especificado en las regulaciones para instalaciones de baja tensión. Se puede notar la presencia de los armónicos de orden 3, 5 y 7. Todo lo antes expuesto se aprecia en la tabla 12.

Tabla 12: Resultado del promedio de las mediciones para la Limadora.

LÍNEAS	T(V)	I(A)	Q(KVAR)	S(KVA)	P(KW)	THD(%)
LÍNEA 1	123,8 - 126,1	5,4 -5,5	1,51	2,29	1,71	1,40
LÍNEA 2						
LÍNEA 3						

Fuente: El autor

3.5.4 En la Fresadora

El voltaje en las dos líneas de alimentación bifásica está equilibrado, ya que en estas líneas los valores son de 126.80 y 126.0 Vca respectivamente.

De igual manera, la corriente en las dos líneas están equilibradas con valores de 3.30 y 3.20 A.

El valor de la potencia Reactiva es considerable ($Q= 0.45 \text{ KVAR}$) con respecto a la potencia Aparente ($S= 0.76 \text{ KVA}$) y a la potencia Activa ($P= 0.46 \text{ KW}$).

El valor del Factor de Potencia de este equipo es de 0,596, debido a la influencia del valor de la Potencia Reactiva del mismo.

La Distorsión Armónica Total (THD) es de 15.30 %, siendo este valor aceptable, pues no sobrepasa el valor del 20 % que está especificado en las regulaciones para instalaciones de baja tensión. Se puede notar la presencia de los armónicos de orden 3, 5 y 7.

Tabla 13: Resultado del promedio de las mediciones para la Fresadora.

LÍNEAS	T(V)	I(A)	Q(KVAR)	S(KVA)	P(KW)	THD(%)
LÍNEA 1	126 - 126,8	3,20 -3,30	0,45	0,76	0,46	15,30
LÍNEA 2						
LÍNEA 3						

Fuente: El autor

3.5.5 En el tablero de iluminación

El voltaje en las dos líneas de alimentación bifásica está ligeramente desequilibrados (110.6 y 106.0 Vca), pero no sobrepasan los valores establecidos por las normas.

De igual manera, la corriente tiene un ligero desequilibrio de 1 Amperio entre líneas, pudiéndose deducir que es debido a la estructura interna del circuito del equipo.

El valor de la potencia Reactiva es considerable ($Q= 1.12 \text{ KVAR}$) con respecto a la potencia Aparente ($S= 3.03 \text{ KVA}$) y a la potencia Activa ($P= 2.45 \text{ KW}$).

Este valor de Potencia Reactiva influye significativamente en el valor del Factor de Potencia del equipo, siendo este de 0,544.

La Distorsión Armónica Total (THD) es de 16.10 %, siendo este valor aceptable, pues no sobrepasa el al valor del 20 % que está especificado en las regulaciones para instalaciones de baja tensión. Se puede notar la presencia de los armónicos de orden 3, 5, 7, 9 y 11.

Tabla 14: Resultado del promedio de las mediciones para el circuito de iluminación.

LÍNEAS	T(V)	I(A)	Q(KVAR)	S(KVA)	P(KW)	THD (%)
LÍNEA 1	106 - 110,6	±1	1,12	3,03	2,45	16,10
LÍNEA 2						
LÍNEA 3						

Fuente: El autor

En la tabla 15, se muestra una referencia de los límites que establece el CONELEC dados en la regulación 004/02, que se rige por la guía IEEE 519 Harmonic Control para comparar el comportamiento de los armónicos. (Vera, 2012).

Por tanto comparando los valores que se muestran en la tabla 14 y los resultados obtenidos en las mediciones, se puede decir que cumple con todos los parámetros y valores permitidos en cada una de las mediciones realizadas para cada uno de los equipos determinados como puestos claves.

Tabla 15: Referencia para comparar el comportamiento de los armónicos.

Parámetros		Valores Permitidos	Observación
Frecuencia	(Hz)	±1%	CUMPLE
Distorsión Armónica	L1	≤8%	CUMPLE
	L2	≤8%	CUMPLE
	L3	≤8%	CUMPLE
Voltaje Vrms	L1	±8% Vn	CUMPLE
	L2	±8% Vn	CUMPLE
	L3	±8% Vn	CUMPLE
Fliker Vflk	L1	<1	CUMPLE
	L2	<1	CUMPLE
	L3	<1	CUMPLE
Distorsión Armónica ATHD %	L1	≤20%	CUMPLE
	L2	≤20%	CUMPLE
	L3	≤20%	CUMPLE
Factor de Potencia PF	L1	> 0.92	CUMPLE
	L2	> 0.92	CUMPLE
	L3	> 0.92	CUMPLE
Desbalance de Fases	Vunb%	<2%	CUMPLE
	Aunb%	<40%	CUMPLE

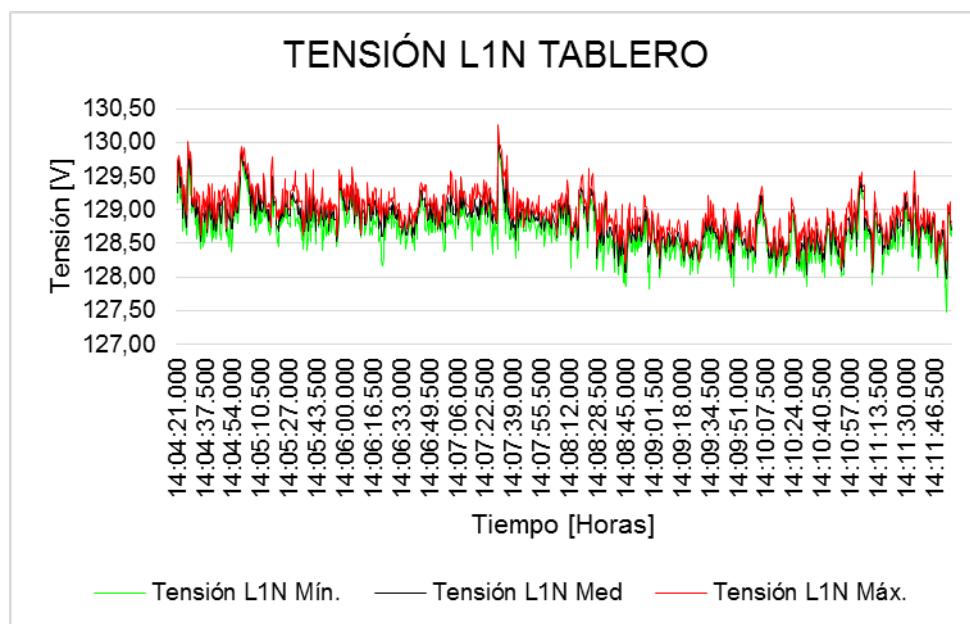
Fuente: El Autor

3.5.6 Tablero principal

Como se hizo mención anteriormente, las mediciones se realizaron durante los siete (7) días de la semana y se estableció un horario fijo para realizar las mismas, al final se realizó el promedio para llegar a un resultado final y el procedimiento fue repetido para cada uno de los equipos que fueron escogidos, así como también fue realizado el mismo procedimiento en el tablero principal, arrojando el siguiente resultado.

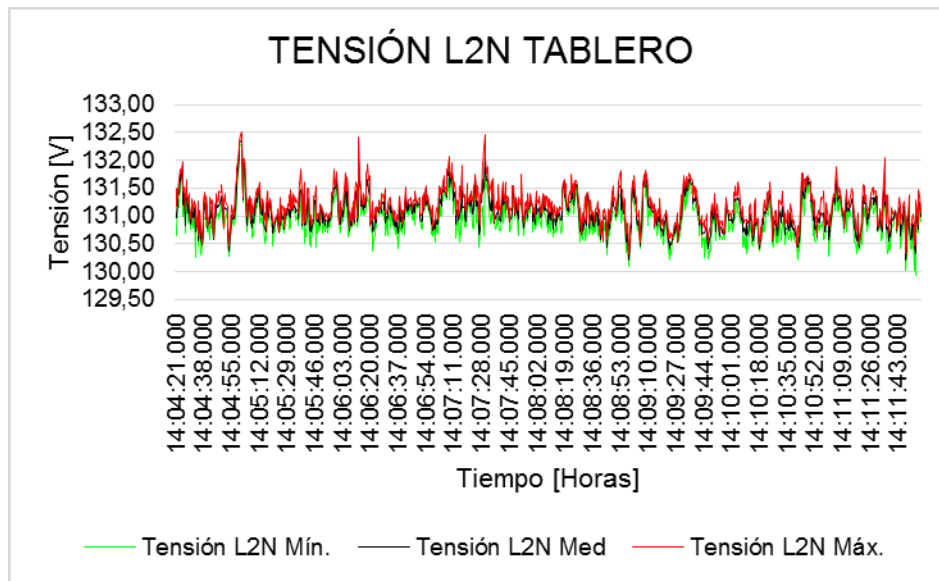
El voltaje en las tres fases de alimentación o de entrada al tablero principal, está equilibrado (128.9, 129.70 y 131.70 Vca), por lo que se puede afirmar que la calidad de energía entregada por la Empresa Eléctrica está dentro de los parámetros exigidos por los entes reguladores.

Figura 29: valores de la tensión L1N en el tablero principal.



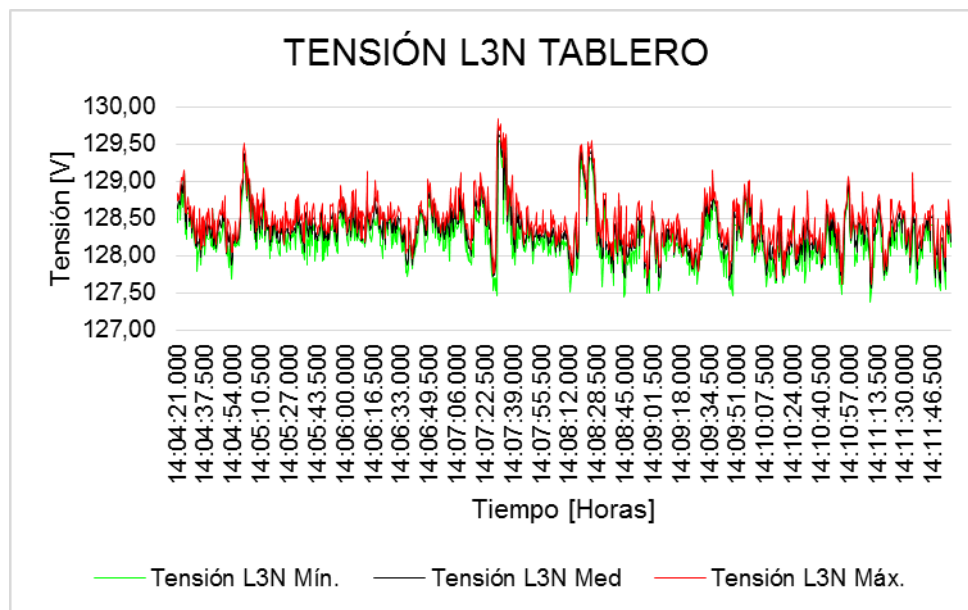
Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

Figura 30: valores de la tensión L2N en el tablero principal.



Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

Figura 31: Valores de la tensión L3N en el tablero principal.

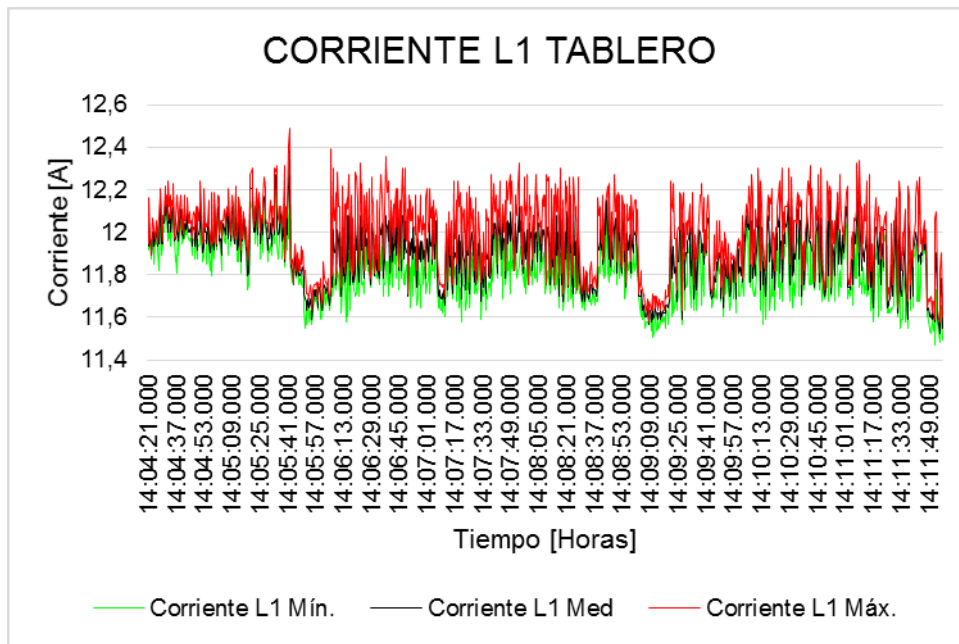


Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

En el laboratorio, las corrientes en las tres líneas de alimentación no están balanceadas.

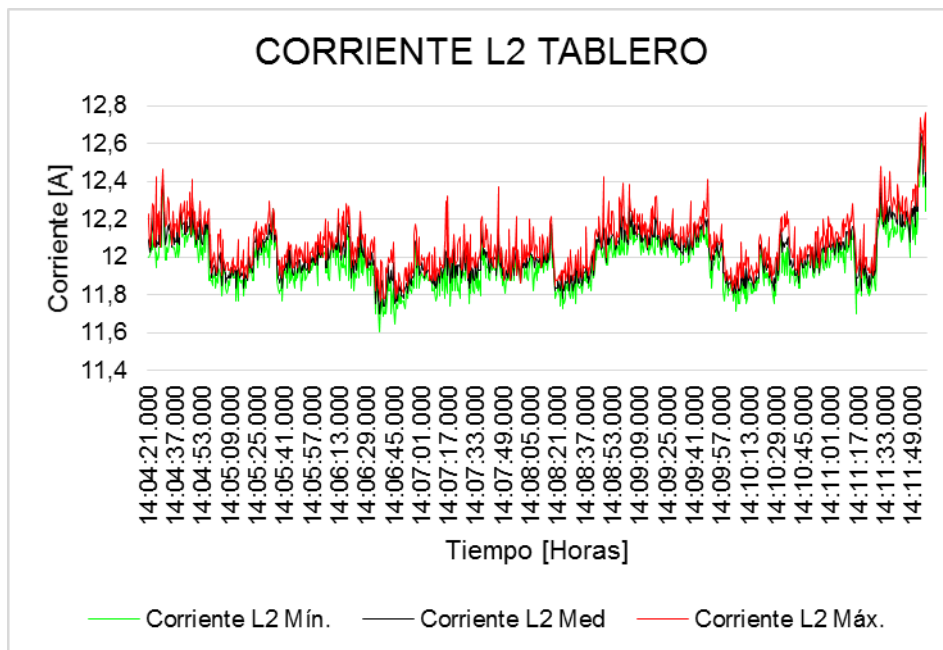
La corriente de la línea 2 está subcargada, pues tiene un consumo de 14.10 A., en referencia a las corrientes de las otras dos líneas que tienen un consumo de 28.60 y 27.20 A.

Figura 32: valores de la corriente en la línea 1 del tablero principal.



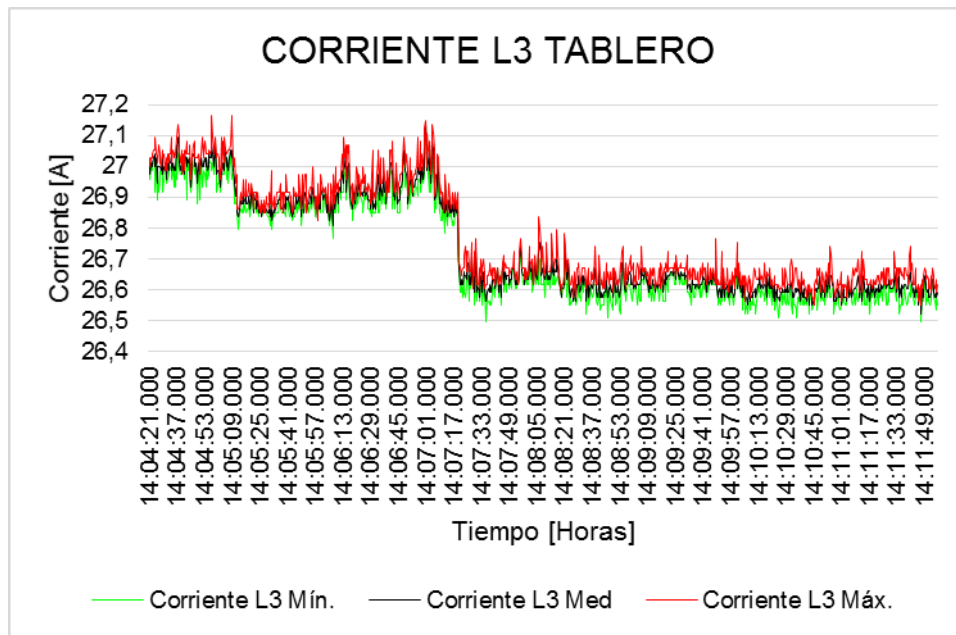
Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

Figura 33: Valores de la corriente en la línea 2 del tablero principal.



Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

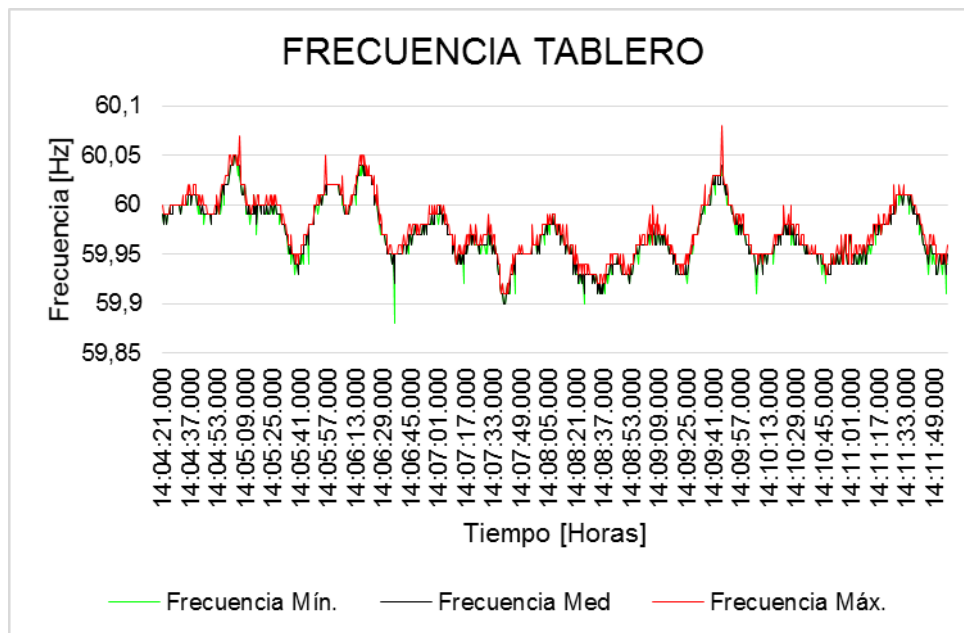
Figura 34: valores de la corriente en la línea 3 del tablero principal.



Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

La frecuencia de la red que alimenta a los equipos del laboratorio es estable.

Figura 35: valores de la frecuencia en el tablero principal.

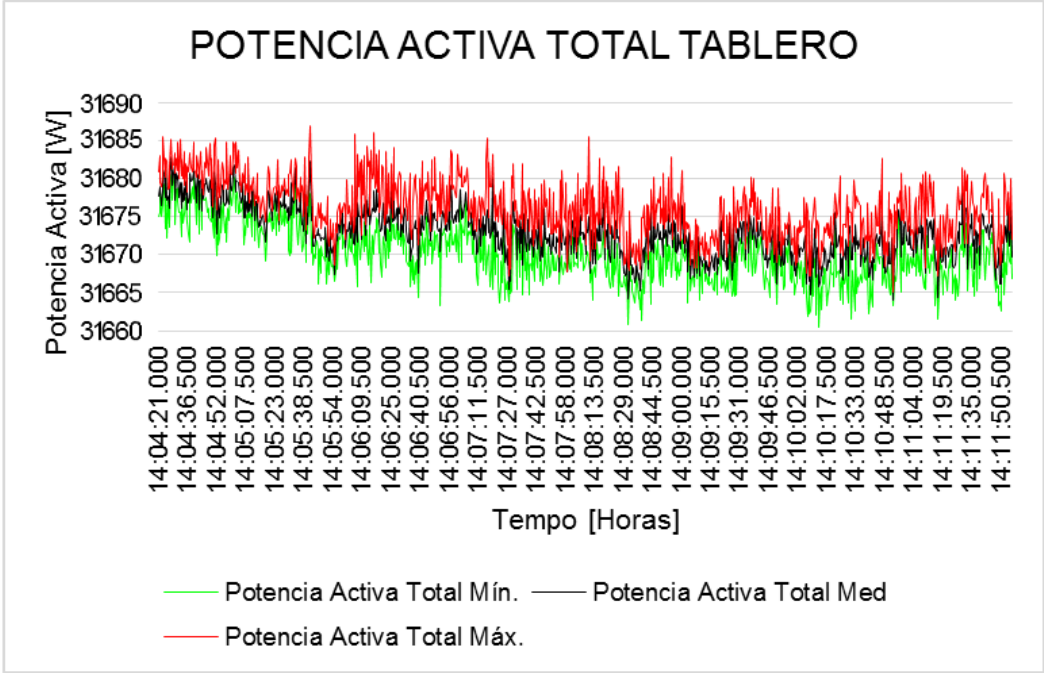


Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

El valor de la potencia Reactiva es muy bajo ($Q= 11.49$ KVAR) con respecto a la potencia Aparente ($S= 33.71$ KVA) y a la potencia Activa ($P= 31.69$ KW).

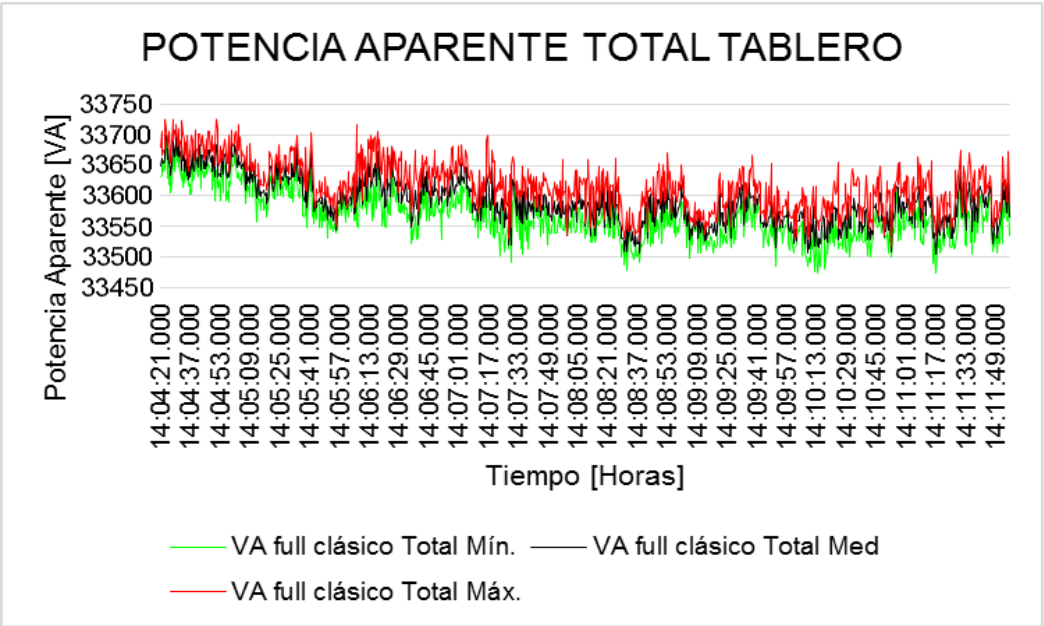
Sobre la base de estos valores obtenidos, se puede afirmar que el valor obtenido de la Potencia Reactiva en las mediciones anteriores es propia de los circuitos internos de los equipos instalados en el laboratorio.

Figura 36: valores de la potencia activa total en el tablero principal.



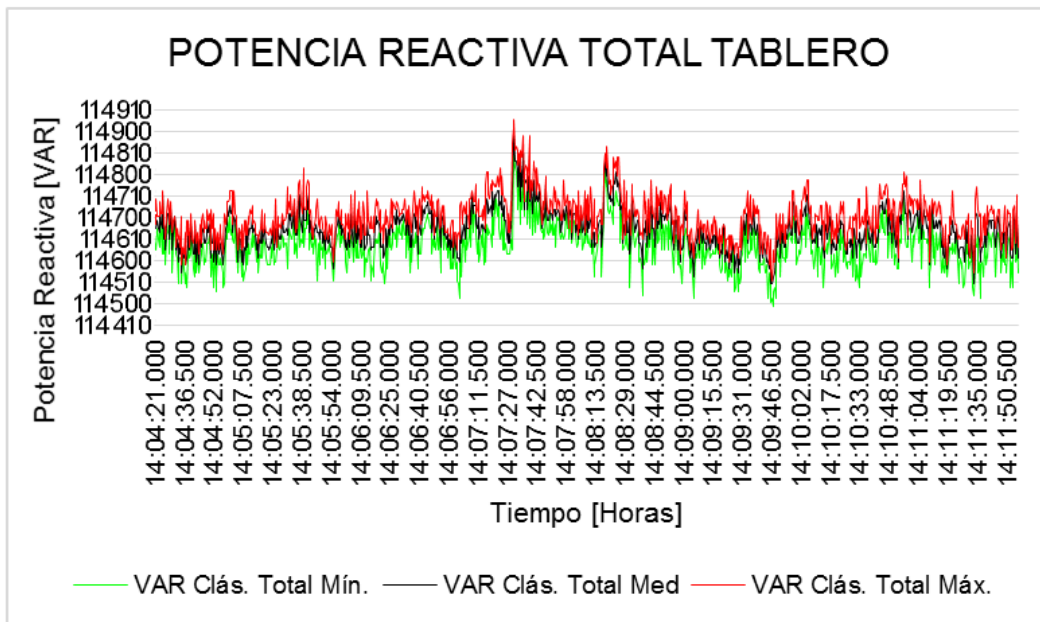
Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

Figura 37: Potencia aparente total del tablero.



Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

Figura 38: Valores de la potencia reactiva total en el tablero principal.

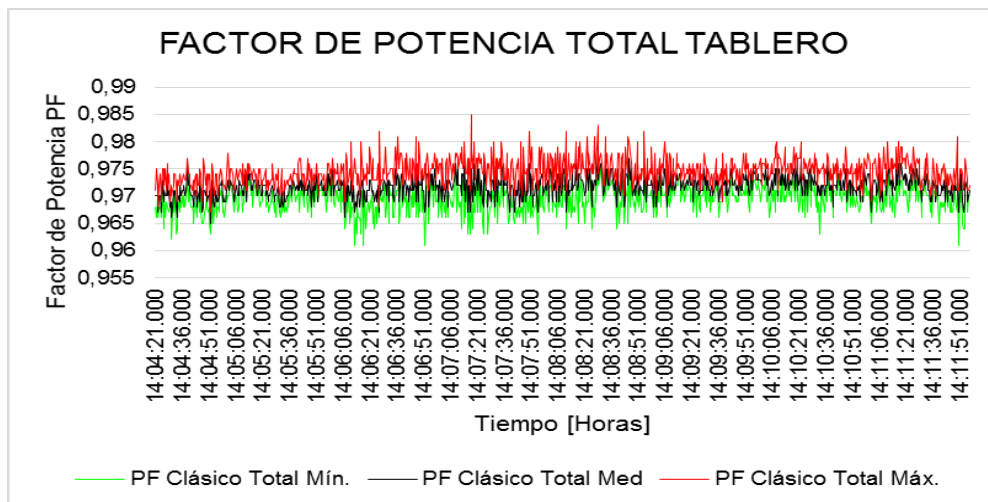


Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

El valor del Factor de Potencia en el tablero principal que alimenta a todos los equipos del laboratorio es de 0,985; valor aceptable, debido a que está por encima del valor mínimo regulado y establecido por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL), valor que es de 0.96.

Los bajos factores de potencia obtenidos en las mediciones anteriores también son dependientes de los circuitos internos de los equipos instalados.

Figura 39: Valores del factor de potencia total en el tablero principal.



Fuente: Analizador/registrador FLUKE 1735

3.6 Diagrama Unifilar

El diagrama unifilar del sistema de suministro eléctrico del Laboratorio de Mecánica Industrial se describe en el (diagrama unifilar existente), consta de un transformador de 100 KVA y 5 barras principales, el mismo no sólo alimenta a los equipos y luminarias del laboratorio, sino que también brinda energía a una cafetería, oficinas e iluminación externa, ver figura 40.

Tabla 16: Datos del sistema.

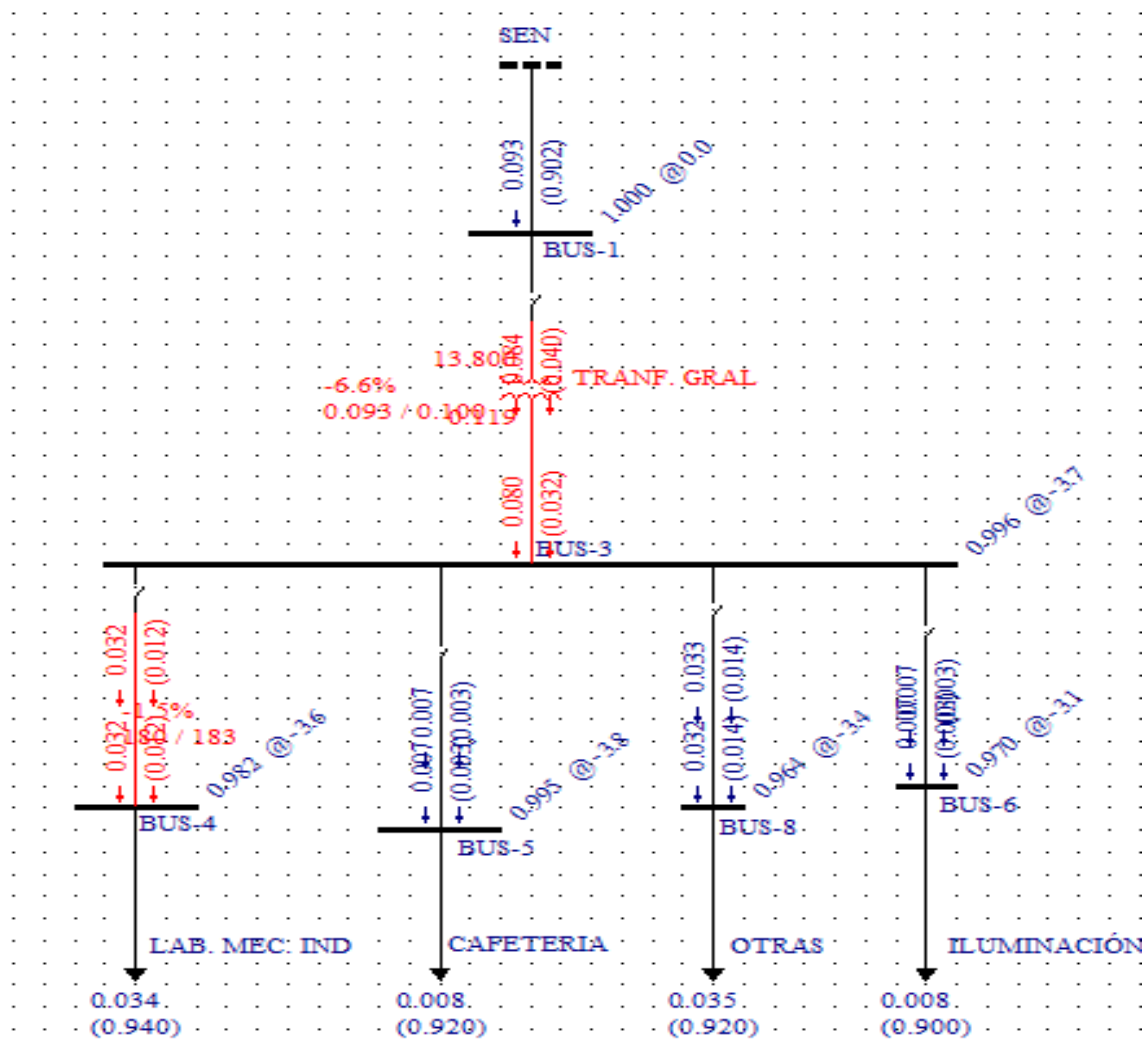
DATOS DEL SISTEMA	
DATOS DEL TRANSF.	DYG-100KVA-13,8/110V-Z=6.6%-3F
% CARGA TOTAL REAL DEL TRANSFORMADOR	93,4
CENTROS DE CARGA	5
POT. REAL CONSUMIDA POR EL LABORATORIO	33,71KVA

Fuente: El Autor

3.7 Resultado del Diagnóstico energético aplicado.

Con los resultados obtenidos por las mediciones realizadas con Fluke 1735, se procedió a elaborar el diagrama unifilar, utilizando el EasyPower como software para el estudio detallado de la energía eléctrica, para luego especificar el consumo eléctrico de cada carga conectada por barra al transformador en cuestión; iniciamos el levantamiento por el tablero de distribución principal de baja tensión correspondiente al transformador de 100 kVA, hasta el final de las derivaciones de las cajas de interruptores y tableros secundarios cercanos a los puntos de carga.(Figura 40).

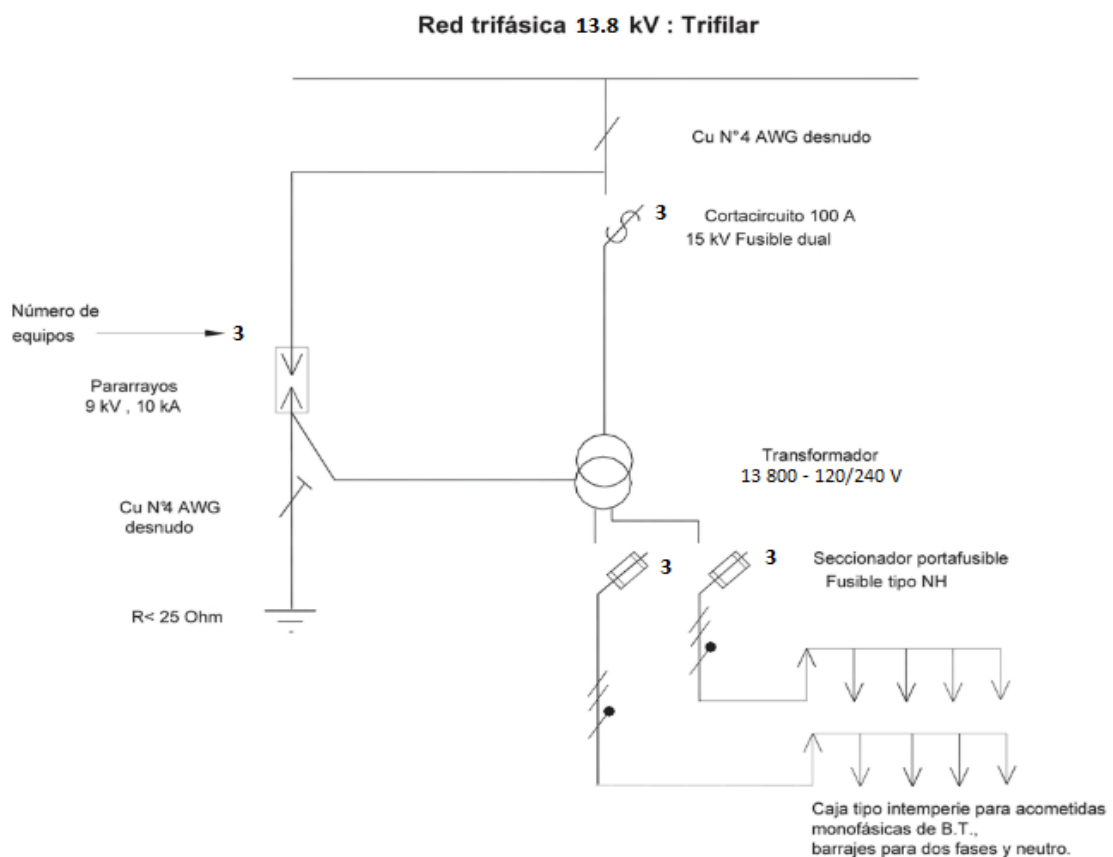
Figura 40: Diagrama unifilar existente.



Fuente: EasyPower

El sistema presenta protecciones en baja tensión como son: los interruptores termo magnéticos y fusibles para la sobre carga, corto circuitos y fallas en el circuito secundario. Este sistema de protecciones consta de 3 pararrayos y 3 seccionadores. La ubicación de estos elementos se muestra en la figura 41.

Figura 41: Protecciones del transformador



Fuente: Laboratorio de Mecánica Industrial

Considerando que este transformador es compartido con un área de oficinas y una cafetería, como ya se conoce, podemos asegurar que el Laboratorio significa el 33.71% de la carga del mismo y para una jornada de ocho horas, el consumo de este porcentaje es de 253.50 KWh.

3.8 Resultados obtenidos del EasyPower

En la figura 40, que muestra el diagrama unifilar, obtenido al introducir los datos registrados por el analizador de redes. Se puede apreciar el color rojo, que indica que existen problemas en el transformador y las líneas del sistema que alimenta la barra 4; específicamente de la carga del Laboratorio de Mecánica Industrial, poniendo de manifiesto que el transformador está cerca de su límite de carga con un 93.4% y las líneas que alimentan el transformador están al 98,5% de su tolerancia. El factor de potencia se encuentra con un valor aceptable de 0.93, El voltaje entre barras es estable. Las pérdidas totales del sistema: las activas tienen un valor de 6kW y las reactivas de 9kVAr. Los resultados obtenidos en el flujo de potencia se

pueden observar a continuación en las tablas 18 y 20, donde los valores mostrados en rojos corresponden a los niveles de alerta próxima a sobre carga.

Todos estos problemas se visualizan en el diagrama, pero también el software arroja un número de tablas con los resultados del funcionamiento del sistema eléctrico, estas se muestran a continuación.

Tabla 17: Reporte resumen del sistema.

EasyPower				
Total	MW	MVAR	MVA	PF
Generación del Sistema	0.084	0.040	0.093	0.902
Cargas en el sistema	0.078	0.032	0.084	0.927
Pérdidas del sistema	0.006	0.009		

Fuente: EasyPower

Tabla 18: Reportes de carga del transformador principal.

Transformador				Carga			
Equipo	Desde la barra No	Hasta la barra No	Carga MVA	Rated MVA	Cargabilidad%	Sobre carga%	Comentarios
TRANSFORMADOR	Barra-1	Barra-3	0.093	0.100	93.4%	-6,6	Alerta

Fuente: EasyPower

Tabla 19: Reportes del comportamiento de las tensiones en las barras.

Desde la barra		Hasta la barra		Variación
No	Tensión base kV	No	Tensión base kV	%
Barra-1	13.800	Barra-3	0.110	0.4%
Barra-3	0.110	Barra-4	0.110	1.5%
Barra-3	0.110	Barra-5	0.110	0.2%
Barra-3	0.110	Barra-6	0.110	2.7%
Barra-3	0.110	Barra-8	0.110	3.2%

Fuente: EasyPower

Tabla 20: Reportes del comportamiento de las cargas en las líneas.

Líneas				Carga			
Desde la barra No	Hasta la barra No	Nombre	Corriente nominal (A)	Corriente de Carga (A)	Nivel de carga (%)	Sobre carga (%)	Comentarios
Barra-3	Barra-6	ILUM. EXT.	62.0	42.2	68.0%	-32.0%	
Barra-3	Barra-8	C-6	260.0	190.6	73.3%	-26.7%	
Barra-4	Barra-4	LAB. MEC. IND	183.0	180.2	98.5%	-1.5%	ALERTA
Barra-3	Barra-5	C-2	476.0	42.2	8.9%	-91.1%	

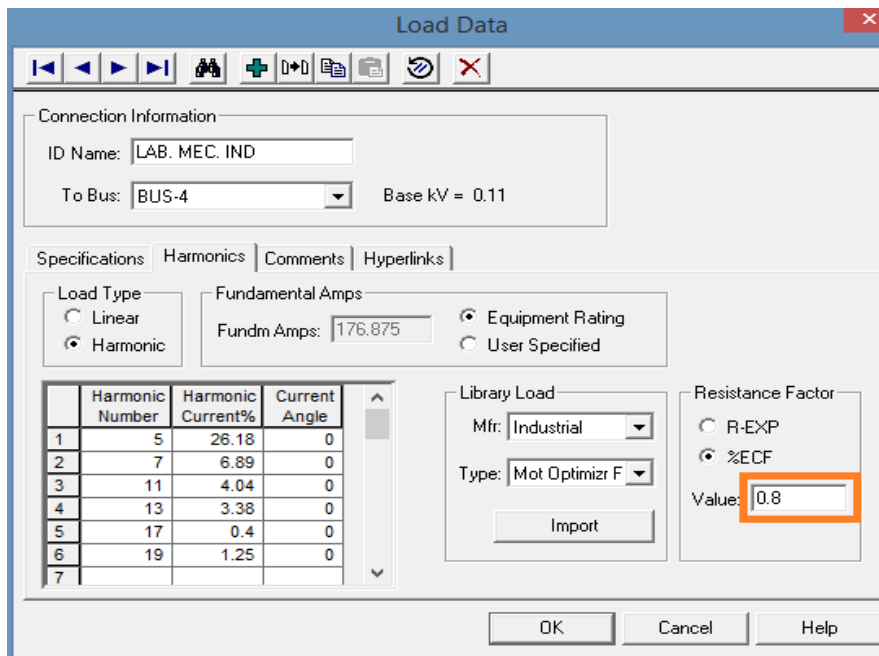
Fuente: EasyPower

Tabla 21: Reportes del comportamiento de las pérdidas en el sistema.

Desde la Barra		Hasta la Barra		Pérdidas	
No	Base kV	No	Base kV	MW	MVAR
Barra-1	13.800	Barra-3	0.110	0.004	0.008
Barra-3	0.110	Barra-6	0.110	0.000	0.000
Barra-3	0.110	Barra-8	0.110	0.001	0.000
Barra-3	0.110	Barra-4	0.110	0.001	0.000
Barra-3	0.110	Barra-5	0.110	0.000	0.000
Total de Pérdidas				0.006	0.009

Fuente: EasyPower

Figura 42: Ejemplo de la recepción del software.



Fuente: EasyPower.

Tabla 22: Reportes de comportamiento de armónicos de tensión en el sistema.

Barra No: Barra-4

VTHD= 5,133% VR SS(pu)= 0.983 V SUM(pu)= 1,079

Armónicos	
Armónicos	Volts
1.0	108
5.0	5
7.0	2
11.0	2
13.0	2
17.0	0
19.0	1

Fuente: EasyPower.

Tabla 23: Reportes del comportamiento de armónicos de corriente del sistema.

RAMAL: LAB. MEC. IND.

ITHD = 0,051% BASADO EN (A) IRSS(pu) = 0,983

RAMAL	
Frecuencia	Amps
1.000	180.2
5.000	46.3
7.000	12.2
11.000	7.1
13.000	6.0
17.000	0.7
19.000	2.2

Fuente: EasyPower.

CONCLUSIONES

- A partir de las mediciones se pudo establecer que la demanda máxima del Laboratorio es de 31.7 kW y que el transformador se encuentra cargado al 93.4% lo que puede resultar crítico para el mismo por poseer una reserva del 6.6%.
- El factor de potencia también se encuentra con un valor considerable como se muestra en la tabla 17, lo que demuestra una buena calidad de la energía suministrada por el Sistema Energético Nacional (SEN).
- Las corridas de flujo realizadas con el software EasyPower, manifestaron el porcentaje de carga de la línea que alimenta el Laboratorio en cuestión que están muy cerca del límite;

causa que puede contribuir en el incremento de las pérdidas de energía, ver tabla 20 y Figura 39.

- Para tener en cuenta los valores permitidos asociados a las distorsiones armónicas de tensión y corriente, se utilizó los límites que establece el CONELEC dados en la regulación 004/02, que se rige por la guía IEEE 519 Harmonic Control, que define como permisible la variación de tensión permisible al 5%, una contaminación de THDV de tensión inferior al 8% y una distorsión armónica de corriente THDA inferior al 20%, considerando la relación entre la corriente de cortocircuito y la demanda máxima del sistema, el cual dio aceptable en los equipos de mayor consumo en el Laboratorio de Mecánica Industrial (estos datos fueron introducidos al software, ya que el mismo para hacer un corrido de flujo los exige). Ver Figura 41 y tablas 22 y 23.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DEL PLAN DE MEJORAS

4.1 Título de la propuesta

Propuesta del plan de mejoras para el uso eficiente de la energía eléctrica en el laboratorio de Mecánica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

4.2 Justificación de la propuesta

El laboratorio de Mecánica Industrial dispone de equipos que utilizan energía eléctrica proporcionada por la Empresa Eléctrica ELEPCO. SA. Estos equipos son utilizados para brindar capacitación académica a estudiantes de diferentes carreras de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga con una carga horaria de aproximadamente 9 horas diarias. Considerando las normativas del estado ecuatoriano referente a eficiencia energética, es primordial presentar a través de este proyecto de investigación, un plan de acciones orientadas a un uso eficiente de la energía eléctrica en el laboratorio en mención.

4.3 Objetivos

4.3.1 Objetivo general

Diseñar un plan de mejoras para incrementar la eficiencia energética en el Laboratorio de Mecánica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga y reducir los costos de operación asociados al portador electricidad.

4.4 Estructura de la propuesta

Para el presente análisis energético, se consideró la potencia consumida y las horas de utilización diaria a los siguientes equipos como puestos claves: Rectificadora plana, Tornos EMCO, Limadora, Fresadora, iluminación y tablero principal. En estos equipos, se realizaron

mediciones de los parámetros eléctricos: voltajes, corrientes, frecuencia, potencias activa y reactiva, factor de potencia y distorsión armónica.

La propuesta está estructurada, para proponer acciones sobre la base de los resultados obtenidos, como es el incremento de la potencia del transformador o instalar un transformador solo para la carga del laboratorio. Con respecto a la iluminación del laboratorio, se analizará el tipo de lámparas que actualmente están siendo utilizadas, para de ser el caso, proponer su reemplazo por luminarias de menor consumo y con normas de eficiencia energética, para de esta manera, obtener un ahorro significativo de energía.

4.5 Desarrollo de la propuesta

La propuesta es parte integrante de los requerimientos para la implementación de un plan de mejoras, esta consta de los pasos que se dan a continuación:

- Definición de la política energética en el laboratorio.
- Formulación de un plan de acciones que promuevan el ahorro y uso racional de la energía a partir de los resultados de una auditoría energética.
- Establecimiento de un control energético.

4.5.1 Política energética del Laboratorio

El Laboratorio asume el compromiso de utilizar eficientemente la energía en sus instalaciones y actividades con el propósito de preservar los recursos naturales, reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, contribuyendo a mitigar los efectos del cambio climático y mejorar su posicionamiento competitivo.

4.6 Formulación del programa de ahorro y uso racional de la energía a partir de los resultados de un diagnóstico energético.

4.6.1 En las corrientes de línea

Tomando como referencia las mediciones en las corrientes de línea del tablero principal, se plantea la propuesta de redistribuir las cargas del laboratorio equitativamente en las tres líneas de alimentación, para lo cual se desarrolló la tabla 24, donde fueron incluidas todas las cargas, número de equipos, potencias y los factores de simultaneidad y utilización que se muestran en las tablas 2; 3; 4 y 5 del Capítulo I compatibles con el equipo o la máquina al que pertenecen.

La tabla 24, permitió realizar el balance de las cargas en los circuitos del laboratorio, a partir de los equipos instalados y su cargabilidad, posibilitando con estos datos el cálculo del nuevo transformador.

Para el cálculo de los conductores, determinamos la corriente que deben soportar estos, por ejemplo: en el caso de las luminarias se utilizó la fórmula de Potencia en Corriente Alterna,

Donde:

$$P(W) = I(A) * U(V) * \cos\phi$$

Despejando:

$$I(A) = \frac{P(W)}{U(V) * \cos\phi}$$

Sustituyendo:

$$I(A) = \frac{2432(W)}{110(V) * 1}$$

Resultando:

$$I(A) = 22.1$$

La carga máxima de las luminarias fluorescentes se obtiene de la tabla 24, se divide por el voltaje de la línea monofásica que sería de 110 volts, multiplicado por el coseno de ϕ , que es

igual a 1, para obtener un resultado de 28 A (amperes) considerando un factor de seguridad de 1.15 y de esta manera buscamos en las tablas que proporciona los catálogos de CONELSA que asegura que para este valor el conductor debe ser de 12 MCM como se puede apreciar en la figura 2 del Capítulo I y así sucesivamente se hace con cada una de las cargas que aparecen en la tabla, e introducimos estos valores al Software EasyPower, para luego proceder a correr el flujo del mismo en busca de los resultados en el mejoramiento del circuito.

Tabla 24: Datos generales para el mejoramiento del consumo eléctrico del laboratorio de Mecánica industrial.

TABLERO	CIRCUITO TIPO DE CARGA A INSTALARSE	CANTIDAD DE EQUIPOS	CARGA PRIMARIA	CARGA PRIMARIA TOTAL	FACTOR	CARGA INSTALADA	FACTOR	FASES	CARGA MÁXIMA	BALANCE DE CARGAS		
			(W)	(W)	DE UTILIZACIÓN	CI(W)	DE SIMULTANEIDAD		(W)	FASE 1 (W)	FASE 2 (W)	FASE 3 (W)
TP	Luminarias Fluorescentes	76	32	2.432	1,00	2.432	1,00	1	2432			2432
	Alumbrado Público	28	100	2.800	1,00	2.800	1,00	1	2800	1400		1400
	Rectificadora Plana	1	4990	4.990	1,00	4.990	0,90	2	4491	2246	2246	
	Tornos EMCO	5	7410	37.050	0,83	30.752	0,65	2	19988	9994	9994	
	Limadora	1	1710	1.710	0,83	1.419	0,85	2	1206		603	603
	Fresadora	1	460	460	0,83	382	0,85	2	325	162	162	
	Otros	1	2153	2.153	0,83	1.787	0,85	2	1519	759		759
LAB. MEC. IND.	Todos			51.595	-----	44.562	-----	2	32.761	14.561	13.005	5.195

Fuente: El Autor.

4.6.2 En el transformador

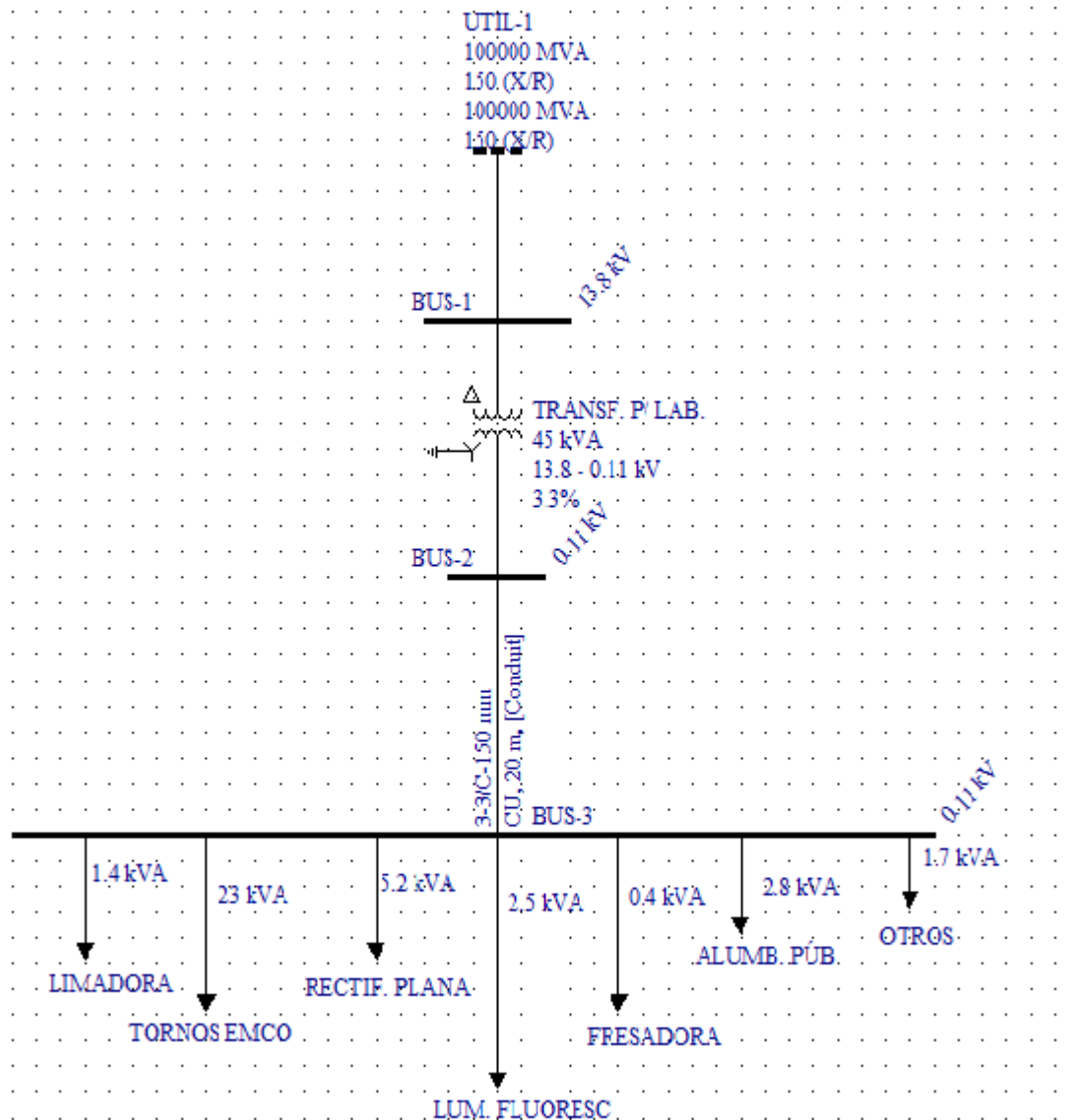
El actual transformador se encuentra en el límite de su capacidad, se propone el incremento de la potencia agregando un transformador solo para la carga del Laboratorio.

Una vez conocida la carga máxima del laboratorio, como se muestra en la tabla 24, que tiene un valor de 32761 KW, proponemos que se debe considerar el incremento del 15% de la potencia debido al aumento en el número del equipamiento, por una pronta readecuación del mismo, además de considerar un factor de seguridad para el transformador de 1,20. (Barcells, 2015)

Por tanto, estimamos que se debe incorporar al sistema de la ESPE extensión Latacunga un transformador de 45KVA para la carga del Laboratorio de Mecánica Industrial. La instalación de un transformador de 45KVA con accesorios donde se incluye protecciones del mismo y mano de obra, cotizado en el mercado nacional, representa un gasto de 3.500 dólares + IVA.

Al introducir los datos de carga máxima, de la tabla 24, en el software, se realiza el mismo procedimiento para correr el flujo y obtener los resultados que se muestran en el esquema unifilar de la figura 43.

Figura 43: Esquema unifilar para las corridas de flujo con las mejores propuestas.



Fuente: EasyPower

Este diagrama unifilar, se realizó atendiendo a los cambios requeridos antes mencionados.

Con el cambio del transformador que se propone, se elimina de forma inmediata la alerta que presentaba el antiguo transformador. La reserva del transformador actual se incrementa al pasar de la zona de alerta de -6,6% a -16,1%. Se pueden apreciar estos resultados en las tablas 18 y 27 y la alerta de limite de carga de las líneas pertenecientes al Laboratorio de Mecánica Industrial que oscilaban entre -1,5% y -52,9% También pasaron de la zona de alerta a incrementar su reserva como se puede apreciar en las tablas 20 y 26, mejorando a su vez la calidad de energía.

Tabla 25: Reporte general del sistema.

EasyPower				
Total	MW	MVAR	MVA	PF
Generación del Sistema	0.033	0.017	0.038	0.887
Cargas del Sistema	0.033	0.016	0.037	0.894
Pérdidas en el Sistema	0.001	0.001		

Fuente: EasyPower

Tabla 26: Reportes del comportamiento de las cargas en línea.

Líneas				Carga			
Desde la barra	Hasta la barra	Nombre	Corriente nominal (A)	Corriente de la Carga (A)	Carga (%)	Sobre carga (%)	Comentarios
BARRA-2	BARRA-3	LEA LAB	421.0	198.2	47.1%	-52.9%	

Fuente: EasyPower

Tabla 27: Reportes de cargas del transformador.

Transformador				Carga			
Equipo	Desde la barra	Hasta la barra	Carga MVA	Rated MVA	Cargabilidad %	Sobre carga %	Comentarios
TRANSF. P/LAB.	BARRA-1	BARRA-2	0.038	0.045	83.9%	-16.1%	

Fuente: EasyPower

Tabla 28: Reportes del comportamiento de las tensiones en las barra.

Desde la barra		Hasta la barra		Variación
No	Tensión Base kV	No	Tensión Base kV	%
BARRA-1	13.800	BARRA-2	0.110	2.4%
BARRA-2	0.110	BARRA-3	0.110	0.3%

Fuente: EasyPower

Tabla 29: Reportes de pérdidas entre las barras.

Desde la barra		Hasta la barra		Pérdidas	
No	Tensión Base kV	No	Tensión Base kV	MW	MVAR
BARRA-1	13.800	BARRA-2	0.110	0.001	0.001
BARRA-2	0.110	BARRA-3	0.110	0.000	0.000
Total de Pérdidas				0.001	0.001

Fuente: EasyPower

Tabla 30: Reportes de las cargas individuales.

Salida de las Cargas Individuales					
Nombre	Tipo	MW	MVAR	MVA	FP
ALUMB. PÚBL	kVA	0.003	0.000	0.003	0.985
LUM. FLUORESC	kVA	0.002	0.000	0.003	0.985
RECTIF. PLANA	kVA	0.005	0.003	0.005	0.870
TORNOS EMCO	kVA	0.020	0.011	0.023	0.870
LIMADORA	kVA	0.001	0.001	0.001	0.870
OTROS	kVA	0.002	0.001	0.002	0.890
FRESADORA	kVA	0.000	0.000	0.000	0.870

Fuente: EasyPower

4.6.3 En el ahorro de energía en el circuito de iluminación

Circuito de iluminación externa:

La mayor cantidad de lámparas que actualmente se utilizan en el alumbrado público de los centros universitarios, son lámparas de vapor de sodio de alta presión de 250 watts. Estas luces son altamente ineficientes, porque la mayor parte de la energía eléctrica se convierte en calor y no en luz. Con una eficiencia de 65-115 lm/W

Otras son lámparas de vapor de mercurio, más eficientes que las anteriores, pero más contaminantes. También existen en el circuito de alumbrado público tecnología de vapor de sodio, un 30% más eficiente que las de mercurio, menos contaminantes y con mejor calidad de luz.

Como una buena opción, se podría utilizar lámparas de 100 watts de luz blanca de leds, las cuales además tendrían la ventaja de una eficiencia lumínica de entre 10,000 a 11,000 Lumens/ Watts.

28 luminarias viejas x 250 W x 12 horas/días x 30 días = 90 kWh.

28 luminarias nuevas x 100 W x 12 horas/días x 30 días = 36 kWh.

Con una diferencia de 54 kWh al mes.

Con la tarifa de 0,061 establecida por ELEPCO S.A., el ahorro es de 3.29 USD al mes.

El laboratorio de Mecánica Industrial dispone de 76 luminarias fluorescentes de 40 W.

La iluminación corresponde a más del 5% del consumo de energía. En las oficinas y en el comercio la relación es aún mayor.

En todos los sectores es necesaria una verificación de la eficiencia de la energía en las instalaciones de iluminación, ya que en casi todos los casos existe un potencial de optimización.

Ahorro por concepto de luminarias más eficientes, propuesta:

- Una luminaria de las existentes con vieja tecnología, balasto magnético, una lámpara de 40 W c/u, consume 47,5 W aproximadamente.
- Una luminaria eficiente de las nuevas con balasto electrónico, una lámpara de 32W c/u consume 33,33 W aproximadamente e ilumina un 30% más que las actuales.

76 luminarias viejas x 47,5 W x 9 horas/días x 24 días = 780 kWh.

76 luminarias nuevas x 33,33 W x 9 horas/días x 24 días = 547.2 kWh.

Con una diferencia de 232.6 kWh al mes.

Con la tarifa de 0,061 establecida por ELEPCO S.A., el ahorro es de 14.19 USD al mes.

Estas mejoras disminuirían las pérdidas en 1 KWh, el precio del mismo está a 0.061 centavos. Por tanto, al año el ahorro sería 534.36 dólares.

4.7 Resumen del plan de mejoras

Las acciones propuestas en el plan de mejoras, se describen en la tabla a continuación, se deberán realizar cambios en las líneas de alimentación, transformador y luminarias.

Tabla 31: Acciones propuestas en el plan de mejoras.

PARÁMETRO	ACCIONES
Líneas de alimentación	Redistribuir las cargas del laboratorio equitativamente en las tres líneas de alimentación trifásica
Incremento de un transformador para la demanda de la carga del Laboratorio	Independizar la carga del laboratorio para mejorar la calidad de energía que se le brinda al mismo.
Ahorro de energía	Reemplazar la totalidad de las luminarias existentes por lámparas Leds de alta eficiencia
	Mejorar las conexiones en los diferentes tableros de alimentación de los equipos
Otros	Recomendar a las autoridades elaborar un proyecto para la implementación de las mejoras

Fuente: El Autor

4.8 Evaluación Económica del Plan de Acción.

La justificación para la ejecución de la mayoría de las inversiones de capital es que sean económicamente convenientes.

A menos que se les provea a quienes toman las decisiones de una amplia y fundamentada información acerca del costo de implementación y de operación futura de un proyecto de eficiencia energética, ya sea dentro de la entidad o en organizaciones exteriores tales como bancos y agencias financieras, no se logrará la aprobación de las inversiones necesarias.

La medida de conveniencia económica más básica es el Período Recuperación (PR).

En el caso en que los ahorros anuales son constantes, el PR en años será:

$$PR = [\text{Inversión en Capital}] / [\text{Ahorros anuales netos}]$$

Un período de recuperación corto supone una conveniencia económica. Muchas empresas requieren que sus inversiones tengan períodos de recuperación simple de dos años o menos, independientemente de la vida esperada del proyecto.

4.8.1 Ahorros anuales netos

A partir de las propuestas realizadas: las acciones de independizar el circuito del Laboratorio, agregar un nuevo transformador, sustituir las 76 luminarias convencionales de alumbrado público y las 28 lámparas fluorescentes, por otras más eficientes, conllevan a la eliminación de pérdidas, mejorando la calidad de energía como se puede ver en la tabla 29, del EasyPower, donde se evidencia la eliminación de un 1 KW de pérdida entre las Barras 2 y 3, lo que resulta en un ahorro total de 12199,2 kW*h al año. Con la tarifa de 0,061 USD, establecida por ELEPCO S.A., el ahorro es de 744.15 USD al año.

Tabla 32: Ahorros anuales netos.

<i>No.</i>	<i>Acción</i>	<i>kW*h /Año</i>	<i>Económico (USD)</i>
<i>1</i>	<i>Reducción de Pérdidas Totales en el Sistema</i>	<i>8760</i>	<i>534,36</i>
<i>2</i>	<i>Luminarias más eficientes</i>	<i>3439,2</i>	<i>209,79</i>
<i>Total anual</i>		<i>12199,2</i>	<i>744,15</i>

Fuente: El Autor

4.8.2 Inversiones de Capital

Para aplicar las propuestas se necesita realizar una inversión de capital, como un transformador PADMOUNTED de 45 KVA auto protegido y utilizando las mismas líneas de distribución hacia el Laboratorio de Mecánica Industrial y agregando un panel principal nuevo.

Tabla 33: Inversiones.

CENTRO DE TRANSFORMACIÓN 45KVA, 3F Y MONTAJE Y TABLERO DISTRIBUCION PRINCIPAL TRIFASICO 125A				
UNIDAD : U				
Material				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
TRANSF 45 KVA PAD MOUD RADIAL C/ACCESORIOS	U	1,00	2.509,16	2.509,16
BUSHING INSERT 15KV 200ALOAD BREACK-FEED THRU INSERT	U	3	190,5	571,50
CONDUCTOR XAT # 2 15KV	M	30	3,14	94,20
ELBOW CONECTOR 15V 200A	U	6	56,78	340,68
FUSIBLE TIPO K 8A 15KV	U	3	2,74	8,22
AISLADOR BARRAS 35*32MM C/PERNO CAMSCO SM35	U	2,00	0,77	1,54
AISLADOR BARRAS T/ESCALERA 4P 33MM 1/4 (CT4-30)	U	2,00	5,50	11,00
BARRA DE COBRE 1/8*3/4 245A (O0032)	U	4,00	5,95	23,80
BARRA DE COBRE 1/8*1/2 185A (O0031)	U	0,50	3,90	1,95
BREAKER CAJA MOLDEADA 3P 125A 400V CB GE (460010)	U	1,00	109,36	98,75
GABINETE MODULAR 60*60*20 PESADO (I-0319)	U	1,00	76,35	54,67
RIEL DIN ACERO 35MM CAMSCO (RIEL- HACER-35)	U	1	1,93	1,93
TUBO EMT 2 51MM X 3M	U	1	10,81	10,81
CONECTOR EMT 2 51MM EXTRANJERO	U	1	4,61	4,61
CODO 51MM ø 2 EXTRANJERO	U	1	1,63	1,63
			SUBTOTAL C	3.734,45

Fuente: El Autor

$$PR = [\text{Inversión en Capital}] / [\text{Ahorros anuales netos}]$$

$$PR = 3734,45 / 744,15$$

$$PR = 5,02 \text{ años}$$

4.9 Determinación del valor actual neto.

Para el cálculo del VAN se toma en cuenta el número de periodos, el tipo de periodo y la tasa de descuento, valores que podemos encontrar en la tabla 34.

Tabla 34: Datos para calcular el VAN.

DATOS	VALORES
NÚMERO DE PERIODOS	10
TIPO DE PERIODO	ANUAL
TASA DE DESCUENTO	10%

Fuente: El Autor.

Ecuación: VAN

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

V_t = Flujo de carga en cada periodo t.

I_0 = Valor del desembolso inicial.

n = Número de periodos considerados.

k = Interés.

Para el cálculo se tomarán los siguientes datos:

$V_t = 744,15$ USD.

$I_0 = 3734,45$ USD. (Inversión)

n = 10 años.

Tiempo de vida del equipo = 35 – 60 años.

k = 10%

Ecuación: Cálculo del VAN

$$VAN = \frac{744,15}{1+0,10} + \frac{744,15}{(1+0,10)^2} + \frac{744,15}{(1+0,10)^3} \dots + \frac{744,15}{(1+0,10)^{10}} - 3734,45$$

VAN= 838.03

Como se aprecia el VAN tiene un valor positivo, lo cual pone de manifiesto la viabilidad del proyecto de mejoras, así como el periodo de recuperación muestra la factibilidad de las inversiones propuestas.

4.10 Evaluación Ambiental

Los equipos e instalaciones eléctricas recomendados para mejorar la eficiencia energética en el laboratorio de mecánica industrial de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, no consumen ningún combustible de origen fósil, por lo tanto no van a

existir emisiones de gas que aporten a los gases de efecto invernadero en perjuicio del medio ambiente.

4.11 Conclusiones

- En las simulaciones se obtienen resultados en condiciones reales actuales que indican el mejoramiento del circuito de forma general.
- Se determinó la factibilidad de incrementar otro transformador para independizar la carga del Laboratorio del circuito actual y de esta manera aumentar también la reserva de carga del transformador existente al igual que la reserva de capacidad del conductor.
- Se analizó el ahorro de energía en los circuitos de iluminación del laboratorio al utilizar lámparas Leds de alta eficiencia.
- Considerando lo expuesto anteriormente, se elaboró un plan de mejoras orientado a obtener un uso eficiente de la energía eléctrica en las instalaciones del laboratorio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se realizaron las mediciones de los parámetros eléctricos referentes a los indicadores de calidad de energía eléctrica, encontrando que en el tablero principal la calidad de la energía era adecuada, existiendo algunas variaciones de voltaje en las líneas que alimentan los equipos, un aceptable factor de potencia de 0,92, a su vez la carga del transformador se encontraba al límite de su capacidad con un valor del 93,4 %, siendo el laboratorio el 33,71% de la carga del transformador.
- Las acciones propuestas en el plan de mejoras, como balancear las cargas del laboratorio, por fases, independizar el circuito con un nuevo transformador, y sustituir las luminarias, permitirán reducir las pérdidas y mejorarla calidad de la energía.

Recomendaciones

- Socializar a las personas responsables del laboratorio los criterios técnicos sobre eficiencia energética para un uso eficiente de la energía eléctrica.
- Implementar el plan de mejoras planteado mediante un proyecto de inversión para evitar sobrecargas y pérdidas en el sistema.
- Que el estudio realizado en el presente proyecto de investigación, sirva como base para un proyecto futuro, en el cual se realice una investigación más profunda en este campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Chilena de Eficiencia Energética. (15 de Febrero de 2016). Una herramienta de validación y optimización de los proyectos de Eficiencia Energética . Obtenido de <https://issuu.com/guias-agencia-ee/docs/una-herramienta-validacion-optimiza>
- Córdova, V. (2012). Auditoría eléctrica a la Fábrica de Cartones Nacionales CARTOPEL. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1924/12/UPS-CT002358.pdf>
- Digitecparts.com. (2017). Funcionamiento de las lámparas fluorescentes. Obtenido de <http://www.maquinariapro.com/electronica/lamparas-fluorescentes.html>
- EfectoLED. (22 de Febrero de 2017). Vida útil de una bombilla. Obtenido de <http://www.efectoled.com/blog/vida-util-de-una-bombilla/>
- Freire, P. (2014). Seminario tesis II. Universidad Técnica de Cotopaxi. Maestría en Gestión de Energías. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Guevara, C. (Enero de 2010). Minimización de pérdidas en redes eléctricas existentes . Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1339&edi=70&xit=minimizacion-de-perdidas-en-redes-electricas-existentes>
- IEEE STANDARD. (12 de Abril de 1993). 519-1992 - IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. Obtenido de https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2587623/mod_resource/content/2/IEEE-519-1992.pdf
- International Organization ISO. (Septiembre de 2016). ISO 50001 Energy management systems. Obtenido de https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/iso_50001_energy_management_systems.pdf
- International Organization ISO. (08 de Noviembre de 2011). Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. (ISO 50001:2011). AENOR. Obtenido de Energy management systems - Requirements with guidance for use (ISO 50001:2011).

- López, J. H. (Diciembre de 2005). Diagnóstico energético y elaboración de propuestas de uso eficiente de energía eléctrica para una institución educativa. Obtenido de http://www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/Documents/v1/revista_impulso_amarillo.pdf
- LRQA España. (2018). ISO 50001 Sistema de Gestión de la Energía. Obtenido de <http://www.lrqa.es/certificaciones/iso-50001-eficiencia-energetica/>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable Ecuador. (Mayo de 2014). Eficiencia Energética Sector Industrial. Obtenido de www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-industrial/
- Novoa, X. (s.f.).
- Novoa, X. (01 de Enero de 2017). La reforma y el mantenimiento de instalaciones eléctricas en edificios sanitarios. Caruña: Xavier Novoa Conde.
- Peña, A. C. (2012). Gestión de la eficiencia energética : cálculo del consumo, indicadores y mejora. España: AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).
- Rallo, D. (04 de Septiembre de 2015). ¿Por qué implantar un sistema de gestión de energía? Obtenido de <http://www.zemsania.com/sistema-de-gestion-de-energia/>
- Schalleberg, J. (2008). Energía renovables y eficiencia energética. España: Instituto Tecnológico de Canarias.
- Vásquez, R. (Noviembre de 2003). Calidad de Energía Filtrado de Armónicos. Obtenido de ¿Cómo decidir entre la opción de filtro activo, compensador activo o filtro híbrido ? : <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=121>
- Velasteguí, M. (Agosto de 2014). Artículo Científico. Obtenido de Levantamiento, rediseño y auditoría energética para la factibilidad de implantación de la Norma ISO 50001 en el sector de termoplásticos de la empresa Plasticaucho Industrial S.A.: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8850>
- Vera, V. (2012). 03 Analisis de armonicos y fp.pdf. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1875/4/03%20Analisis%20de%20armnicos%20y%20fp.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1

ENCUESTA

Encuesta para técnicos y docentes.

Técnico _____ Docente _____ Departamento de trabajo _____

Área _____

Número de estudiantes que utilizan el laboratorio para realizar prácticas. _____

Número de horas que permanece encendido un equipo: _____

Equipos encendidos en cada turno de laboratorio: _____

Número de Años de funcionamiento de los equipos y máquinas del laboratorio: _____

Marque con una cruz:

Horario del laboratorio: 09:30-11:30 _____; 14:30-16:30 _____

¿Se realiza mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos y maquinas del laboratorio? ¿Con qué frecuencia?

Si _____; No _____

¿Se ha percatado que existen variaciones de voltaje? De ser así, ¿en qué horario?

Si _____; No _____

¿Se ha realizado alguna vez una auditoría energética en el laboratorio?, ¿cuántas?

Si____; No____

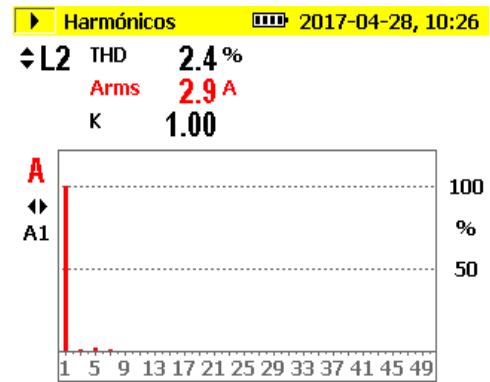
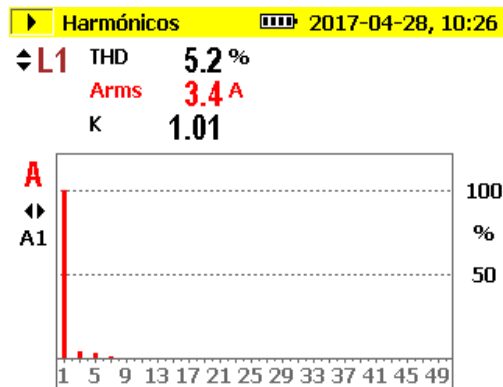
¿Se ha realizado en el laboratorio algún plan de ahorro?

Si____; No____

ANEXO 2

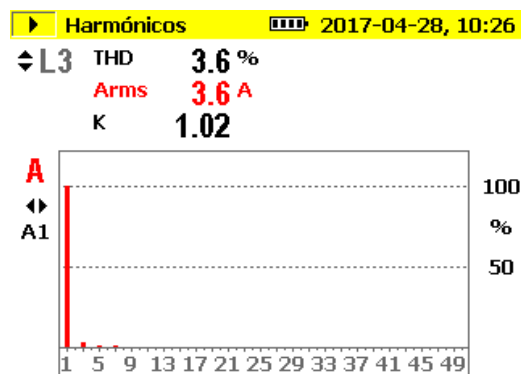
Promedio de los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en los equipos eléctricos determinados como puestos claves.

Resultados obtenidos en los tornos EMCO

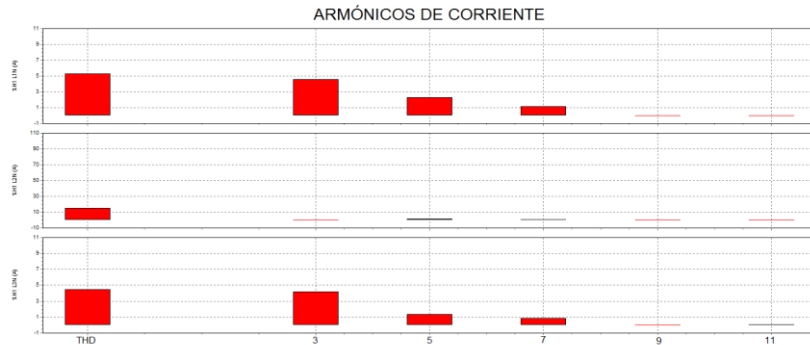


Armónicos de corriente de L1

Armónicos de corriente de L2



Armónicos de corriente de L3



Armónicos de corriente en las tres líneas

Resultados obtenidos en la Limadora

▶ Volts/Amps/Hertz 2017-04-28, 09:20

↕ L123 AN 0.0 A 60.01 Hz

	V rms	A rms
L1	123.8	5.5
L2	122.6	5.4
L3	126.1	5.5

Voltajes y corrientes de L1, L2, L3

▶ Volts/Amps/Hertz 2017-04-28, 09:20

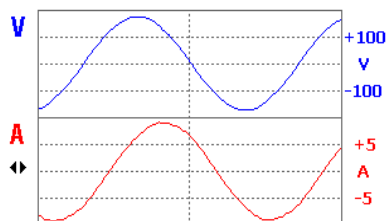
↕ L1

	min	max
V	122.5	124.6
A	0.0	29.5
F	59.95	60.05

Voltaje, corriente y frecuencia de L1

▶ Forma de onda 2017-04-28, 09:20

↕ L1 φ 48.21° 60.00 Hz



Formas de onda de voltaje y corriente de L1

▶ Potencia 2017-04-28, 09:21

↕ L123

	min	max
P	0.52	2.68
S	1.49	3.39
Q	1.39	1.76

Potencia activa, aparente y reactiva totales

Potencia 2017-04-28, 09:21

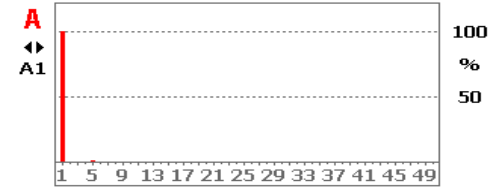
L123

		min	max
P	1.78 kW tot	0.52	2.68
S	2.35 kVA tot	1.49	3.39
PF	0.745 tot	0.345	0.862

Potencia activa, aparente y factor de potencia totales

Harmónicos 2017-04-28, 09:21

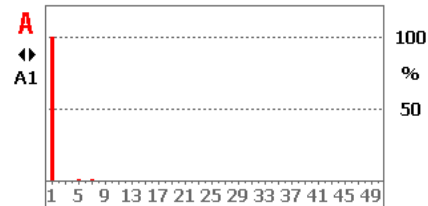
L1 THD **1.4** %
Arms **4.1** A
K **1.00**



Armónicos de corriente de L1

Harmónicos 2017-04-28, 09:21

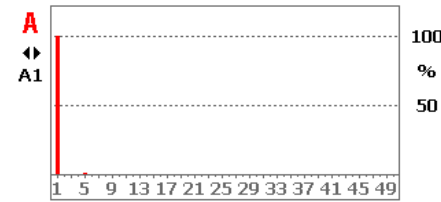
L2 THD **1.4** %
Arms **4.1** A
K **1.00**



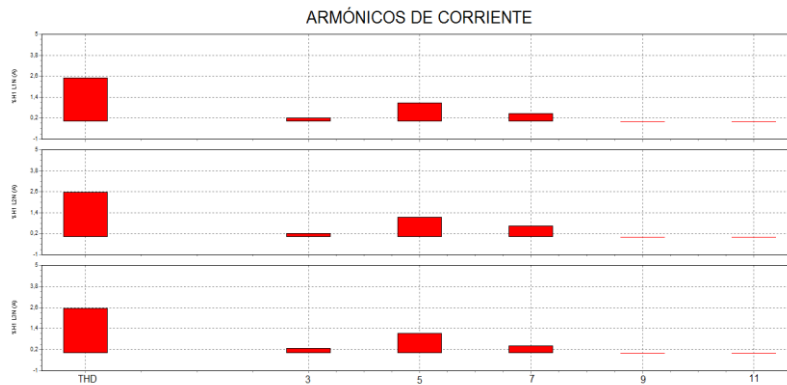
Armónicos de corriente de L2

Harmónicos 2017-04-28, 09:21

L3 THD **1.0** %
Arms **5.0** A
K **1.00**

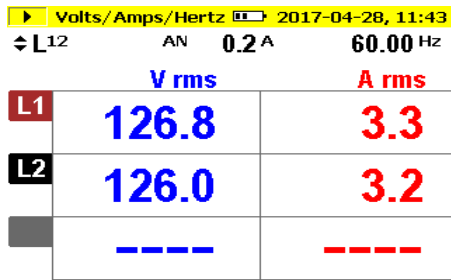


Armónicos de corriente

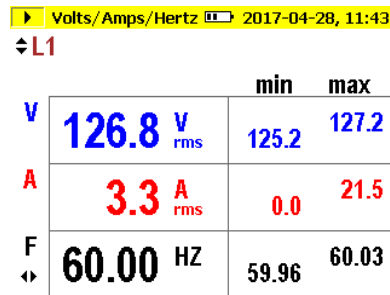


Armónicos de corriente en las tres líneas

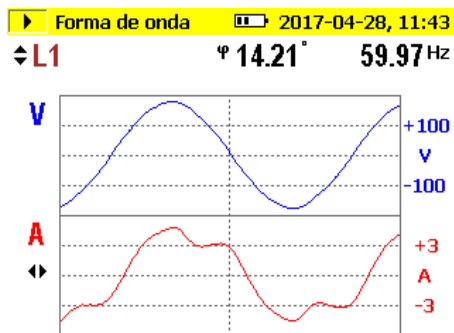
Resultados obtenidos en la Fresadora



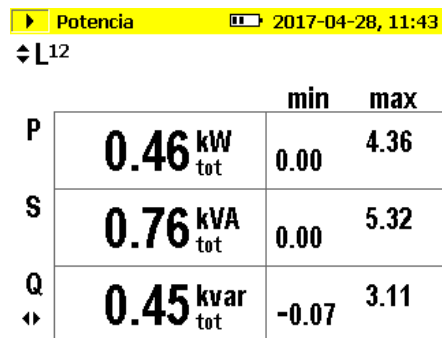
FF voltajes y corrientes de L1 y L2



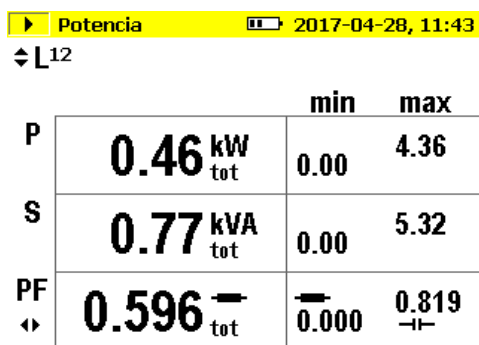
Voltaje, corriente y frecuencia de L1 de la fresadora



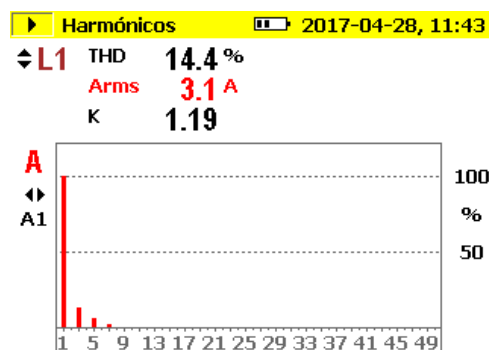
Formas de onda de voltaje y corriente de L1 de la fresadora



Potencia activa, aparente y reactiva totales de la fresadora

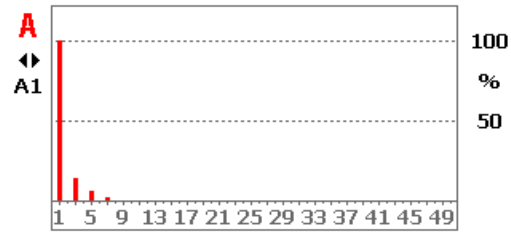


Potencia activa, aparente y factor de potencia totales de la fresadora

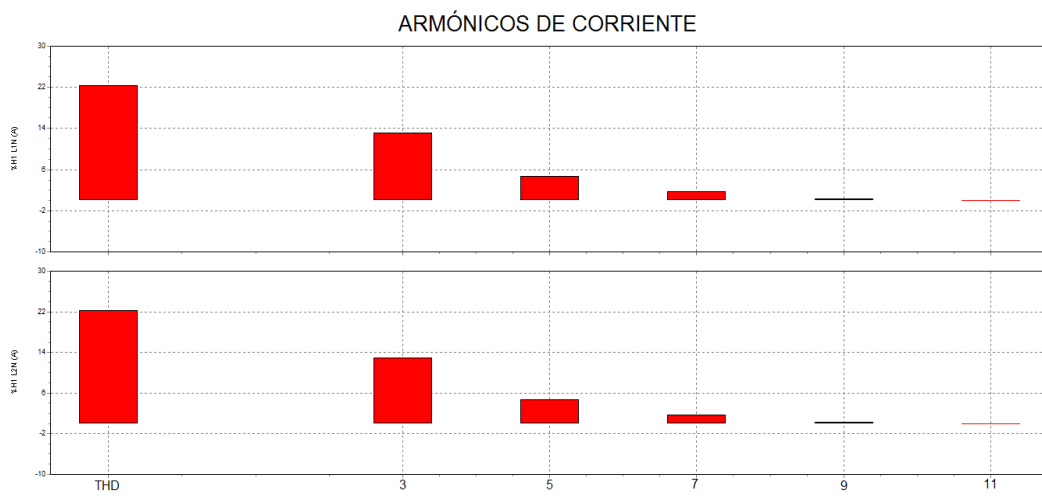


Armónicos de corriente de L1 de la fresadora

↕ **L2** THD **15.3 %**
 Arms **3.0 A**
 K **1.18**



Armónicos de corriente de L2 de la fresadora



Armónicos de corriente en las dos líneas de la fresadora

Resultados obtenidos en el tablero de iluminación

▶ Volts/Amps/Hertz 2017-04-28, 12:35

↕ L123 AN 0.3 A 59.97 Hz

	V rms	A rms
L1	110.6	14.4
L2	106.0	13.4
L3	3.2	0.0

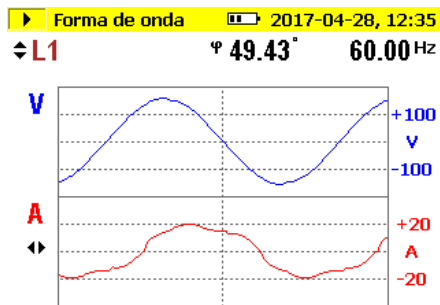
Voltajes y corrientes de L1 y L2

▶ Volts/Amps/Hertz 2017-04-28, 12:35

↕ L1

		min	max
V	110.5 V _{rms}	110.3	111.0
A	14.4 A _{rms}	14.4	14.5
F	59.98 HZ	59.97	59.99

Voltaje, corriente y frecuencia de L1



Formas de onda de voltaje y corriente de L1

▶ Potencia 2017-04-28, 12:36

↕ L123

		min	max
P	2.45 kW _{tot}	2.43	2.48
S	3.03 kVA _{tot}	3.00	3.07
Q	1.12 kvar _{tot}	1.08	1.14

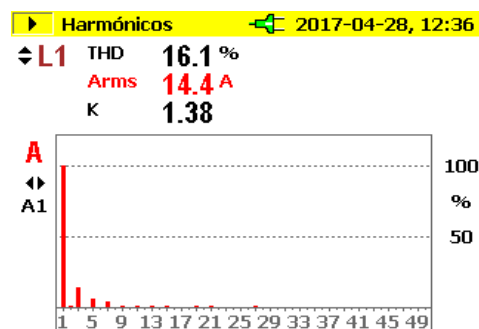
Potencia activa, aparente y reactiva totales

▶ Potencia 2017-04-28, 12:36

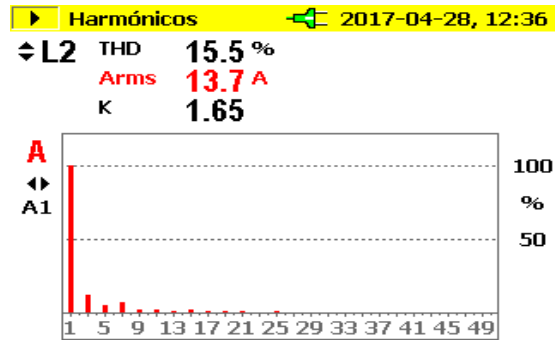
↕ L123

		min	max
P	2.44 kW _{tot}	2.43	2.48
S	3.02 kVA _{tot}	3.00	3.07
PF	0.544 _{tot}	0.542	0.547

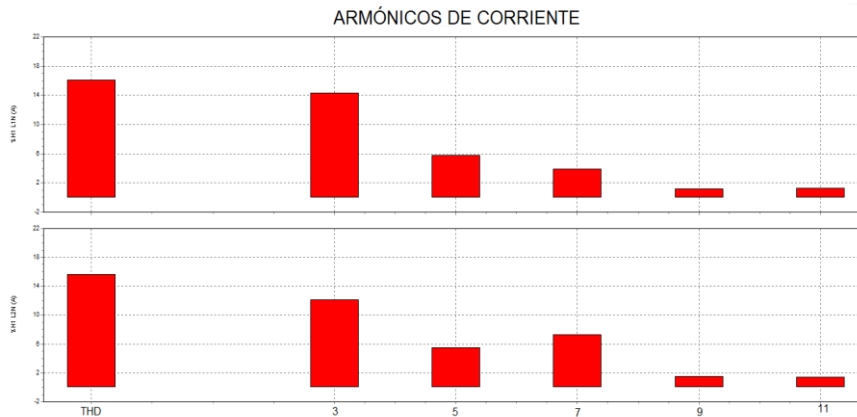
Potencia activa, aparente y factor de potencia totales



Armónicos de corriente de L1



Armónicos de corriente de L2



Armónicos de corriente en las dos líneas

Resultados obtenidos en tablero de control principal

Volts/Amps/Hertz 2017-04-28, 13:49

↔ L123 AN **0.2 A** **59.99 Hz**

	V rms	A rms
L1	129.7	28.6
L2	131.7	14.1
L3	128.9	27.2

Voltajes y corrientes de L1, L2, L3

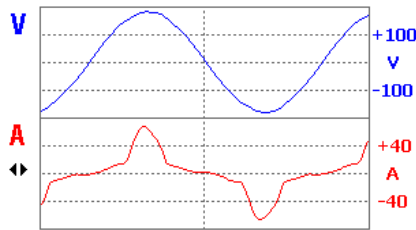
Volts/Amps/Hertz 2017-04-28, 13:49

↔ L1

		min	max
V	129.6 V rms	129.3	130.2
A	27.1 A rms	24.9	31.3
F	59.98 HZ	59.98	60.00

Voltaje, corriente y frecuencia de L1

► Forma de onda 2017-04-28, 13:49
 ↕ L1 $\varphi -3.45^\circ$ 59.99 Hz



► Potencia 2017-04-28, 13:50

↕ L123

		min	max
P	7.91 kW tot	7.35	8.40
S	8.48 kVA tot	8.12	8.94
Q	-0.29 kvar tot	-0.42	-0.14

Formas de onda de voltaje y corriente de L1 y Potencia activa, aparente y reactiva totales

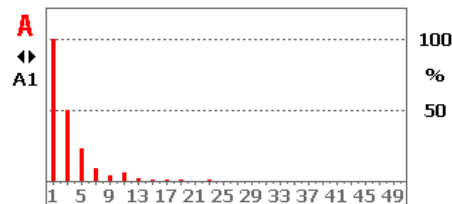
► Potencia 2017-04-28, 13:50

↕ L123

		min	max
P	8.03 kW tot	7.35	8.40
S	8.58 kVA tot	8.12	8.94
PF	0.939 tot	0.907	0.957

► Harmónicos 2017-04-28, 13:50

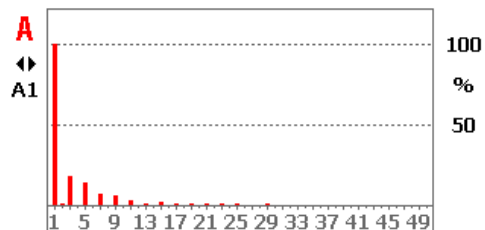
↕ L1 THD **56.4 %**
Arms **29.4 A**
K **4.41**



Potencia activa, aparente y factor de potencia totales y Armónicos de corriente de L1

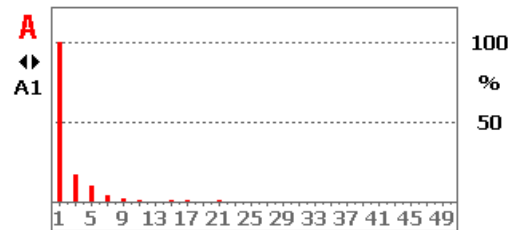
► Harmónicos 2017-04-28, 13:50

↕ L2 THD **24.8 %**
Arms **14.1 A**
K **2.42**



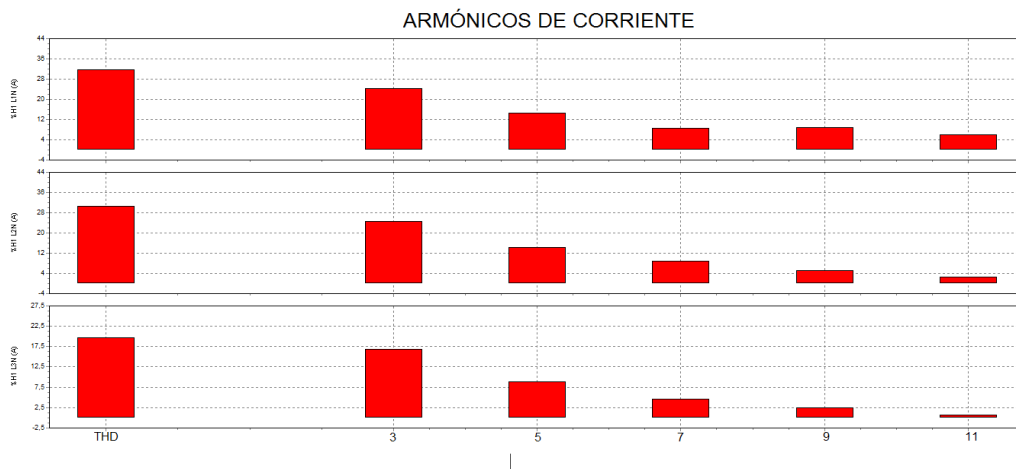
► Harmónicos 2017-04-28, 13:50

↕ L3 THD **20.4 %**
Arms **27.4 A**
K **1.59**



Armónicos de corriente de L2

Armónicos de corriente de L3



Armónicos de corriente en las dos líneas

Los registros de datos obtenidos en un cierto intervalo de tiempo en cada equipo seleccionado se los indicará en los anexos respectivos.