



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: INFORME DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Análisis de eficiencia energética en el sistema eléctrico del Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional SECAP-Ambato”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magister en Electricidad
mención sistemas eléctricos de potencia

Autor:

Ing. Corrales Tapia Carlos Ramiro

Tutor:

Ing. Gabriel Pesantez Msc.

LATACUNGA –ECUADOR

2022

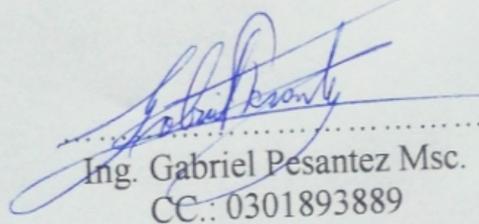
AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación "Análisis de eficiencia energética en el sistema eléctrico del Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional SECAP-Ambato" presentado por Corrales Tapia Carlos Ramiro para optar por el título magister en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, noviembre, 07, 2022


.....
Ing. Gabriel Pesantez Msc.
CC.: 0301893889

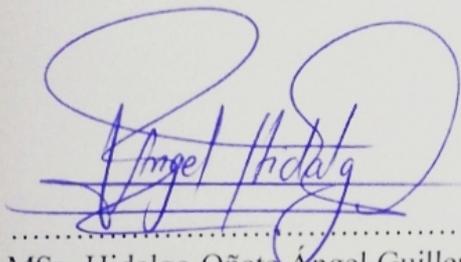
AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “Análisis de eficiencia energética en el sistema eléctrico del Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional SECAP-Ambato”, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

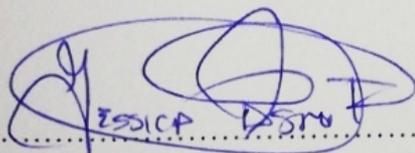
Latacunga, noviembre, 15, 2022



.....
MSc. Pacheco Mena Carlos Francisco
0503072902
Presidente del tribunal



.....
MSc. Hidalgo Oñate Ángel Guillermo
0503257404
Lector 2



.....
MSc. Castillo Fiallos Jessica Nataly
0604590216
Lector 3

DEDICATORIA

A mi madre Beatriz, a Gaby mi esposa como también a mi hijo José que con su ayuda me han permitido concluir este nuevo proyecto siempre motivándome, brindándome su ayuda, además a mi abuelito José Tapia que se ha convertido en mi fortaleza para afrontar nuevos proyectos, también a todos mis amigos que día a día brindaron su apoyo fortaleciendo los conocimientos y sobre todo la amistad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y familia en general que brindaron su ayuda en todo momento, sin su ayuda esta meta no se pudo haber concluido, además todas las personas que fortalecieron lazos de amistad, a los ingenieros que brindaron sus conocimientos para formar a buenos profesionales

RESPONSABILIDAD DE AUDITORIA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, noviembre, 21, 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carlos Ramiro Corrales Tapia', with a large, stylized flourish underneath.

Carlos Ramiro Corrales Tapia
05033349102

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, noviembre, 21, 2022

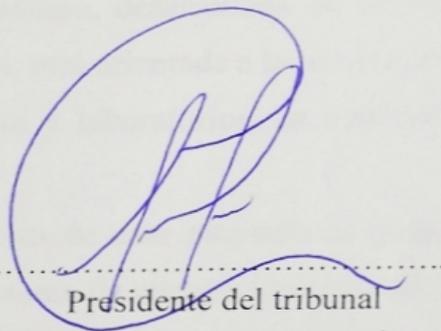


.....
Carlos Ramiro Corrales Tapia
05033349102

AVAL DE PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Análisis de eficiencia energética en el sistema eléctrico del Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional SECAP-Ambato” contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, noviembre, 15, 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'P' followed by several loops and a long horizontal stroke extending to the right. The signature is positioned above a horizontal dotted line.

Presidente del tribunal

Ing. Pacheco Mena Carlos Francisco, MSc.

0503072902

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Título: “Análisis de eficiencia energética en el sistema eléctrico del Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional SECAP-Ambato”

Autor: Corrales Tapia Carlos Ramiro

Tutor: Gabriel Pesántes MSc.

RESUMEN

En los últimos años, se vienen desarrollando una serie de iniciativas dirigidas a mejorar el uso de la energía eléctrica en el Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional SECAP. Una de las líneas de trabajo, desarrollada en colaboración con el Instituto Superior Tecnológico Tungurahua, está orientada a la integración de medidas a favor del consumo energético en el edificio y laboratorios, de esta manera disminuir la tarifa energética.

A partir de este estudio el objetivo de este proyecto es presentar de forma práctica propuestas en la reducción de consumo de energía eléctrica aplicando conocimientos de eficiencia y consideraciones técnicas para establecer un ahorro de energía óptimo.

Posterior se realizó un análisis técnico con la utilización de equipos de medición especializados para observar el comportamiento de las cargas y consumo eléctrico de los laboratorios y edificio tomando como punto fundamental el estudio en el factor de potencia, pliegos tarifarios y propuestas de eficiencia energética para obtener mejor rendimiento en el pago de planillas.

Finalmente se generarán mejoras técnicas y económicas que permitan disminuir el consumo energético así mismo regular factores que permitan la regulación en el sistema eléctrico.

PALABRAS CLAVE:

Eficiencia, Calidad, Herramientas, Regulación, Ahorro

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD
MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

Topic: "Energy efficiency analysis in the electrical system from Ecuadorian Professional Training Service SECAP-Ambato".

Author: Corrales Tapia Carlos Ramiro

Tutor: Gabriel Pesántes MSc.

ABSTRACT

In recent years, a series of initiatives have been developing, they aimed to improve electrical energy's use at Ecuadorian Professional Training Service (SECAP for its acronym in Spanish). One of work fields, that was developed in collaboration with Tungurahua Higher Education Technological Institute, is aimed at integrating measures in favor of energy consumption in the building and laboratories, thus it reduces energy rate.

Based on this study, this project objective is to present in a practical way proposals to reduce electricity consumption by applying knowledge of efficiency and technical considerations to establish optimal energy savings.

Subsequently, a technical analysis was carried out by using specialized measuring equipment to observe loads behavior o and laboratories and building' electrical consumption, taking as a fundamental point the power factor' study, tariff specifications and energy efficiency proposals to obtain better payroll performance.

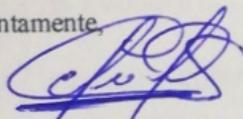
Finally, technical, and economic improvements will be generated that allow reducing energy consumption as well as regulating factors that allow regulation in the electrical system.

KEYWORDS: efficiency, quality, tools, regulation, savings

Yo, Beltrán Semblantes Marco Paúl con cédula de identidad número: 0502666514 Magister en Lingüística Aplicada a la Enseñanza del idioma Inglés como Lengua Extranjera con número de registro de la SENESCYT: 1020-2021-2354162; CERTIFICO haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL SERVICIO ECUATORIANO DE CAPACITACIÓN PROFESIONAL SECAP-AMBATO" de: Corrales Tapia Carlos Ramiro, aspirante a Magister en Electricidad. Mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

Latacunga, Noviembre del 2022.

Atentamente



Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes



**CENTRO
DE IDIOMAS**

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CC: 0502666514

INDICE DE CONTENIDOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.....	i
AVAL DEL TUTOR.....	ii
AVAL DEL TRIBUNAL.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESPONSABILIDAD DE AUDITORIA.....	vi
RENUNCIA DE DERECHOS.....	vii
AVAL DE PRESIDENTE DEL TRIBUNAL.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INDICE DE CONTENIDOS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
Fundamentación teórica- metodológica.....	1
1.1 Antecedentes de la investigación.....	1
1.2 Fundamentación teórica.....	3
1.2.1 Método de análisis prospectivo.....	6
1.2.2 Método de Holt-Winters.....	8
1.3 Cultura de uso eficiente de la energía.....	10
1.4 PIB Ecuador.....	10
1.5 Usuarios y consumo de energía.....	11
1.6 Eficiencia Energética.....	12
1.7 Ahorro energético.....	13
1.7.1 Factor de potencia.....	14

1.7.2 Armónicos	14
1.7.3. Transitorios	14
1.7.4. Desbalance de fases.....	15
1.7.5. Caídas de voltaje	15
1.7.6. Filtro hibrido para corrección de armónicos	15
1.7.7. Métodos de compensación armónica.....	16
1.8 Normas.....	17
1.8.1 Normas aplicadas al control de la demanda.....	18
1.8.2 Norma ISO 50001	18
1.9 Tipo De Investigación	19
CAPÍTULO II.....	21
Propuesta	21
2.1 Título del proyecto.....	21
2.2 Objetivo del proyecto	21
2.3 Justificación de la propuesta.....	21
2.4 Fundamentación de la propuesta	21
2.5 Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados.	22
2.6 Vectores Energéticos	23
2.7 Rangos y periodos de estudio	23
2.8 Identificación del sistema eléctrico (Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados.).....	24
2.9 Levantamiento del sistema eléctrico.....	24
2.10 Mediciones de parámetros eléctricos en el transformador de 500 kVA.....	28
2.10.1 Medidas de Tensión	28
2.10.2 Medidas de corriente	29
2.10.3 Mediciones de potencia.....	29
2.10.4 Distorsión Armónica	30

2.11 Distorsión Armónica Estado Actual	31
2.12 Análisis de armónicos por áreas.	31
2.12.1 Análisis de flickers en el transformador de 500 kVA	32
2.12.1 Mediciones de Armónicos de Corriente.....	32
2.13 Mediciones de armónicos en luminarias LED.....	33
2.13.1 Mediciones Cámara Termografía HT175.	34
2.14 Estado actual de las instalaciones.	34
2.15 Pliego Tarifario.....	35
2.15.1 Consumo eléctrico (kW) 2015-2020.....	36
2.15.2 Tarifas Eléctricas (kW) 2015-2020.....	38
2.15.3 Muestra Mensual de tarifa y consumo eléctrico	38
2.16 Escenario No. 1 Análisis de la demanda proyectada sin mejoras energéticas.	39
2.17 Evaluación del sistema en tiempo real.	40
2.18 Arquitectura, diseños, planos detallados de la propuesta.	40
2.19 Análisis de las cargas.....	42
2.20 Redimensionamiento de cargas lumínicas.....	43
2.20.1 Comparación de sistemas lumínicos tradicionales y actuales.	43
2.21 Conclusiones Capítulo II	44
CAPITULO III	45
Capítulo III. Aplicación y validación de la propuesta	45
3.1 Análisis de Resultados.....	45
3.1.1 Mediciones del Sistema eléctrico.....	45
3.1.2 Sistemas de Iluminación	45
3.1.3 Balance de las cargas de distribución.....	45
3.2 Mantenimiento del Sistema Eléctrico.....	46
3.3 Análisis de corrección de factor de potencia	47
3.3.1 Filtro híbrido para corrección de armónicos.	48

3.3.1 Comparación de la eficacia de filtros híbridos.....	49
3.3.2 Presupuesto del sistema de corrección de factor de potencia.	50
3.4 Distorsión Armónica Rectificada	51
3.4.1 Análisis de la proyección del SE en ETAP	52
3.5 Análisis económico sin mejoras en el sistema eléctrico principal.....	53
3.6 Validación técnica -económica de los resultados:.....	55
3.7 Cambio de lámparas a LED.....	55
3.7.1 Diseño de luminosidad mediante tecnología LED.....	56
3.8 Conclusiones Capítulo III.-.....	58
3.9 Recomendaciones	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	59
Anexos	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sistemas de tareas en relación con los objetivos específicos	xix
Tabla 2 Tasa de crecimiento del PIB 2016-2025 [12].....	11
Tabla 3 Carga total instalada	24
Tabla 4 Elementos de consumo, etapa de potencia	26
Tabla 5 Elementos de consumo etapa de iluminación.....	26
Tabla 6 Índices de consumo talleres	27
Tabla 7 Comparativa de consumo de luminarias.....	28
Tabla 8 Medición en bornes de bajo voltaje del Transformador.....	29
Tabla 9 Mediciones Termográficas	34
Tabla 10 Histórico de consumo eléctrico 2015-2020 SECAP-Ambato	35
Tabla 11 Muestra consumo mensual	38
Tabla 12 Luminaria actual	43
Tabla 13 Comparación luminaria actual vs propuesta.....	43
Tabla 14 Costo de Mantenimiento.....	46
Tabla 15 Costos Mantenimiento.....	47
Tabla 16 Selección de filtro hibrido.	49
Tabla 17 Costo implementación banco de capacitores.....	51
Tabla 18 Costo implementación filtro hibrido.....	51
Tabla 19 Variación del SE.....	53
Tabla 20 Propuesta de ahorro	55
Tabla 21 Características transformador 500 kVA	63
Tabla 22 Acometida.....	63
Tabla 23 Cargas Conectadas al Transformador.....	63
Tabla 24 Elementos de consumo etapa de iluminación.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Organigrama del análisis energético en las instalaciones eléctricas	3
Fig. 2 Predicción de suavizado exponencial	9
Fig. 3 Tasa de variación anual del consumo de energía y PIB [13].	11
Fig. 4 Usuarios por grupo de consumo 2016-2025 [12].	12
Fig. 5 Evolución decenal de energía por grupo de consumo.....	13
Fig. 6 Diagrama de flujo del proceso metodológico	22
Fig. 7 Carga Instalada Potencia Activa y Reactiva	25
Fig. 8 Potencia de las instalaciones eléctricas	27
Fig. 9 Consumo Luminarias	28
Fig. 10 Medición de Corriente Obtenido con el Analizador de Red	29
Fig. 11 Medición de Potencia.....	30
Fig. 12 Medición de Armónicos de Tensión.	30
Fig. 13 Distorsión armónica estado actual	31
Fig. 14 Distorsión armónica Lambda	32
Fig. 15 Medición Armónicos de Corriente.....	33
Fig. 16 Medición Termográfica.....	34
Fig. 17 Fuentes de alimentación SECAP-Ambato	35
Fig. 18 Consumo (kW) 2015-2020.....	37
Fig. 19 Consumo Total (kW) 2015-2020	37
Fig. 20 Tarifas (\$) 2015-2020	38
Fig. 21 Demanda Proyectada Sin Mejoras	39
Fig. 22 Tarifas Proyectada Sin Mejoras	40
Fig. 23 Resumen registro de datos del transformador de 500 kVA	40
Fig. 24 Diagnostico de Fuentes de alimentación SECAP-Ambato	41
Fig. 25 Fuentes de alimentación SECAP-Ambato	42
Fig. 26 Análisis de la carga	42
Fig. 27 Distorsión armónica ratificada	52
Fig. 28 Espectro de Voltajes.....	52
Fig. 29 Análisis sistema eléctrico.....	53
Fig. 30 Análisis Económico sin Mejoras.....	54
Fig. 31 Análisis Económico con Mejoras	54
Fig. 32 Luminarias tipo LED	56

Fig. 33 Simulación Iluminación área Betta	57
Fig. 34 Planimetría SECAP-Ambato.....	65
Fig. 35 Medición de Tensión Analizador de Red.....	66
Fig. 36 Mediciones de parámetros	66
Fig. 37 Tarifas Acumuladas (\$) 2015-2020	67
Fig. 38 Calibración del Equipo de Fábrica.....	67
Fig. 39 Diagrama Eléctrico SECAP- Ambato.....	68

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica en la actualidad es base fundamental para el desarrollo de los pueblos en otras palabras es el motor del mundo moderno, pero en nuestro país no se tiene conciencia acerca del ahorro y eficiencia energética, la mayor parte de equipos tanto médicos, sistemas de iluminación, equipos de oficina, ascensores, motores, bombas etc. para que todos ellos funcionen correctamente el servicio eléctrico debe de ser de buena calidad sin la presencia fluctuaciones o perturbaciones peor aún cortes de energía ya que esto pondría en peligro la integridad humana. Para el Ecuador la eficiencia energética tuvo inicio con planes de renovación de electrodomésticos, vehículos de transporte, también se implementó el cambio de iluminación incandescente por tecnología fluorescente, y recientemente se está haciendo el uso de cocinas de inducción. En el sector público no se ha realizado estudios de indicadores energéticos y tampoco se ha implantado políticas de gestión energética [1].

El desarrollo de la eficiencia energética requiere de programas permanentes que lleven a una mejora continua del sistema energético que crece a medida que hay un mejoramiento económico y crecimiento poblacional.

Planteamiento del problema:

Debido a la vida útil propia del edificio del SECAP-Ambato, así como las nuevas tendencias en la optimización del uso de energía nos llevan a optimizar el consumo de la misma

Formulación del problema:

¿Qué análisis y medidas se debe tomar con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica en el SECAP-Ambato?

Objetivos

Objetivo General

- Realizar un estudio de eficiencia energética mediante el análisis de datos para la optimización de la demanda energética de las instalaciones.

Objetivos Específicos:

- Efectuar un análisis del sistema eléctrico del SECAP-Ambato para la caracterización de los vectores energéticos.

- Definir las estrategias que permitan generar una solución óptima para garantizar la eficiencia energética y calidad de la misma.
- Aplicar la metodología mediante un plan de mejoras técnico y económico que permita la optimización energética en el Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional (SECAP) – Ambato.

Tabla 1. Sistemas de tareas en relación con los objetivos específicos

Objetivos específicos	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
1	<p>Medir los parámetros de la red principal</p> <p>Evaluar el consumo tarifario</p> <p>Analizar las horas de mayor demanda en las instalaciones eléctricas del SECAP-Ambato.</p>	Diagnosticar el consumo energético en la red principal	<p>Consultar fuentes bibliográficas.</p> <p>Analizar la información de trabajos anteriores relacionados con el tema.</p> <p>Recopilación de datos informáticos pliego tarifario, historial de consumo energético.).</p>
2	<p>Comparar los datos y generar un histórico de consumo</p> <p>Medir los parámetros establecidos mediante el analizador de red FLUKE 435</p> <p>Buscar indicios de puntos calientes en la red eléctrica</p>	Obtener alternativas que permitan garantizar la calidad energética	Análisis de datos obtenidos mediante instrumentos
3	<p>Cotizar el costo de implementación de las mejoras.</p> <p>Implementar banco de capacitores y filtros activos</p> <p>Cambiar el tipo de luminarias tradicionales a lámparas LED.</p>	Generar procedimientos y herramientas que permitan disminuir el consumo energético	Gestión total eficiente de la energía

Justificación

En el contexto mundial que involucra gobiernos, ciudades y entidades de toda índole, existen actualmente problemáticas comunes, que abordan escenarios ambientales desde diferentes perspectivas. Una de ellas está asociada con el consumo y usos de los recursos naturales dentro de las edificaciones, tanto en su construcción como en su operación. Esto considerando que el diseño, construcción y mantenimiento de edificios causa un gran impacto en el medio ambiente y en los recursos naturales. Así, los edificios, como construcciones estáticas que hacen parte de la vida diaria, donde el ser humano pasa el 90% de su vida, han sido construidas desde siempre con el desconocimiento que éstos producen cerca de la mitad (48%) de toda la emisión de gases de efecto invernadero lo cual es mucho mayor que lo emitido por los vehículos (27%) y que por el sector industrial (25%) [2].

Esta emisión de gases se produce debido a los diseños estructurales arquitectónicos poco favorables, los usos indebidos de la energía eléctrica, la utilización poco eficiente de los recursos energéticos, entre otros. Esta es una de las razones por las cuales se hace pertinente el planteamiento de esta investigación, que busca generar procedimientos y herramientas que permitan optimizar la demanda energética en la institución, con el propósito de establecer herramientas que permitan disminuir el consumo energético.

El análisis de eficiencia energética y confiabilidad permitirá evaluar medias que permitan una disminución de la tarifa energética y alta confiabilidad del sistema eléctrico principal.

CAPÍTULO I.

Fundamentación teórica- metodológica

1.1 Antecedentes de la investigación

El crecimiento económico va acompañado del crecimiento de la demanda de energía, a nivel residencial, comercial, industrial y en años recientes transporte. El cumplimiento de esta afirmación conduce a estudiar con especial atención la evolución de esta demanda y a “abandonar” en cierta medida la idea de su reducción. Una de las formas de conocer el peso de la energía en la economía es a través de la intensidad energética, la mayoría de los países intentan reducir la relación entre el consumo total de energía y el PIB, lo cual indicaría que la energía consumida se utiliza de forma más eficiente [3].

Como se deduce de lo comentado hasta ahora, existe un amplio acuerdo sobre el hecho de que el problema de la energía es, fundamentalmente, un problema de demanda. Sin embargo, no debemos olvidar que la energía es un bien económico, es decir, un bien escaso para el que existe un mercado y, por tanto, al menos dos agentes: oferentes y demandantes.

Al margen del empuje fundamental de la demanda a la hora de establecer en el intercambio de energía la cantidad y precios de equilibrio, de cuya contribución hemos hablado en el apartado anterior, debemos también prestar atención a la oferta y sus características (sector oligopolista y rigidez de la oferta), lo que ayudará a entender el problema global [1].

El desarrollo actual y prospectivo de la industria y los servicios, en una economía abierta y globalizada, requiere de acciones encaminadas a reducir costos y aumentar la competitividad. En la actualidad las empresas han visto como los agentes energéticos han pasado de ser un factor marginal en su estructura de costos a constituir un rubro importante en los mismos, a la vez que, la necesidad de lograr un mayor equilibrio entre economía y medio ambiente, han convertido al ahorro y uso eficiente de la energía en una herramienta fundamental para lograr este objetivo, manteniendo el nivel de rentabilidad empresarial.

Hasta el momento el problema de explotar el recurso eficiencia energética se ha efectuado de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética [4].

El mercado de energía eléctrica presenta singularidades que deben ser analizadas con detalle. La provisión de energía eléctrica requiere inversiones grandes, las plantas de

producción toman un tiempo significativo en ser instaladas para iniciar operaciones y, la electricidad es un bien esencial que no puede ser remplazado fácilmente en la sociedad moderna. Adicionalmente, en este mercado se toma en consideración que el producto cuyas características físicas hacen que deba ser consumido en el momento en que se produce, debido a que no es posible almacenarlo. De acuerdo con esto, el mercado debe balancear oferta y demanda en tiempo real, lo que implica contar con la disponibilidad de generadores de respaldo que son usados alrededor del 1% del tiempo, para satisfacer la demanda máxima [4].

Las políticas energéticas de los diferentes países se han enfocado en aumentar gradualmente el suministro de energía renovable, elaborándose para ello estrategias de introducción a diferentes niveles del Sistema Eléctrico, buscando aprovechar los recursos naturales para la producción de energía eléctrica, que minimicen el impacto ambiental de la actividad humana sobre el ambiente [5].

Como todas las Normas ISO de reciente creación, promueven además de la integración de la Gestión de la Energía con los demás sistemas de gestión existentes, ya sean de gestión de Calidad [6]. Como sistemas de gestión medioambiental (ISO 14001) u otros.

Por otro lado, la sistematización de los procesos de gestión de la energía, instaurados por el SGEN (Sistema de Gestión de la Energía) la Norma (ISO 50001) nos garantiza la eficiencia de las medidas adoptadas, con los paradigmas comunes de las normas ISO: Responsabilidad de la dirección, comunicación y participación de todas las partes de la empresa, planificación de objetivos, puesta en marcha de los planes y finalmente con la revisión y mejora continua del sistema [6].

El consumo específico de energía o índice de consumo se define como la cantidad de energía por unidad de actividad, medida en términos físicos (productos o servicios). En los países desarrollados se evidencia una marcada acción para elevar la eficiencia energética a partir del alza de los precios provocada por la primera crisis del petróleo de inicios de los años 70, acción que se refuerza con el nuevo incremento de precios que se produjo a inicios de los 80. Estas acciones pasaron a formar parte de la política energética en estos países, logrando desacoplar los ritmos de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), del consumo de energía [7]. Entre los elementos fundamentales de esa política están: el incremento máximo de la eficiencia en el uso de todas las formas de energía, la búsqueda

de fuentes alternativas al petróleo, el desarrollo de tecnologías y equipos de uso final de una alta eficiencia y el desplazamiento hacia industrias menos contaminantes.

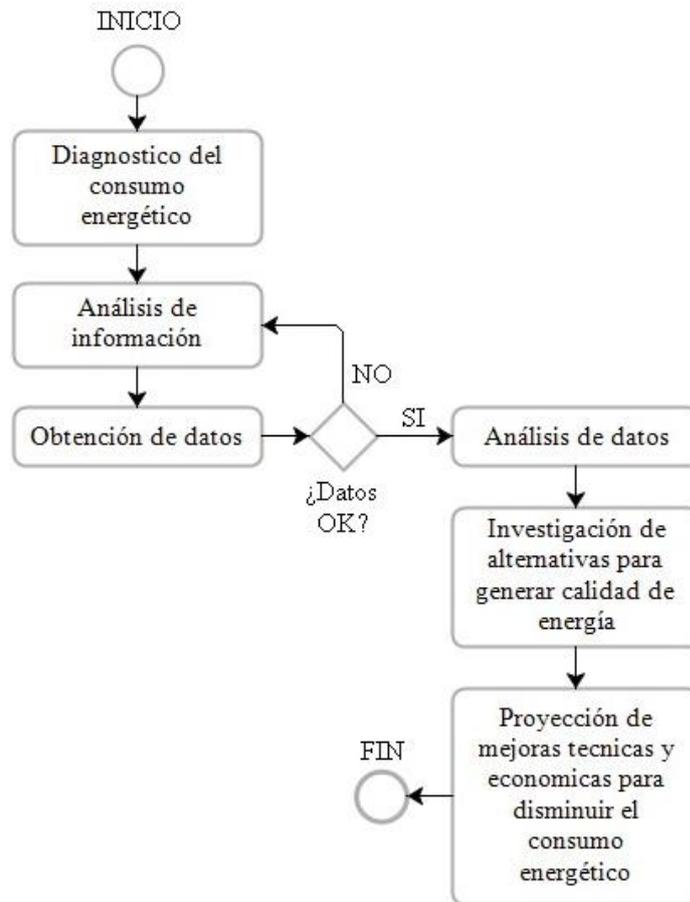


Fig. 1 Organigrama del análisis energético en las instalaciones eléctricas

1.2 Fundamentación teórica

En los últimos años, se vienen desarrollando una serie de iniciativas dirigidas a mejorar el uso de la energía eléctrica. Una de las líneas de trabajo, desarrollada en colaboración con estudiantes de la institución, está orientada a la integración de medidas a favor del consumo energético en el edificio y laboratorios, de esta manera disminuir la tarifa energética.

Como un punto fundamental de esta problemática, que se identifica la necesidad de un uso racional de la energía. En este horizonte es importante identificar estrategias que se toman ante este propósito, por un lado, el análisis de consumo energético, y por otro lado alternativas que permitan disminuir el consumo de recursos.

- Como punto de partida se define algunos parámetros importantes que intervienen

- Eficiencia energética: Es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Ser eficientes con el uso de la energía significa “hacer más con menos o al menos con lo mismo”, es aprovechar en forma más completa funcional la energía sin disminuir la calidad de vida de los usuarios finales.
- Energía eléctrica: Se origina de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos determinados, que se ponen en contacto a través de un transmisor eléctrico. Energía: Propiedad de los cuerpos que se manifiesta por su capacidad de realizar un cambio (de posición o de cualquier otro tipo).
- Energía primaria: Fuente de energía natural existente en la Naturaleza, como el carbón, el petróleo, el gas natural, el sol, agua almacenada o en movimiento, las mareas, el viento, el uranio, calor almacenado en la tierra (geotermia), etc. Después de su transformación, la energía primaria produce energía intermedia (gasolina, carbón, electricidad) [8].
- Energía mecánica: La energía mecánica relacionada con la posición y el movimiento del cuerpo, y que se divide en estas dos formas: Energía cinética, que se manifiesta cuando los cuerpos se mueven. Es decir, es la energía asociada a la velocidad de cada cuerpo. Se calcula con la fórmula:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad \text{Ec. (1)}$$

- Energía potencial: Hace referencia a la posición que ocupa una masa en el espacio. Su fórmula es

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad \text{Ec. (2)}$$

- La energía mecánica es la suma de la energía cinética y la energía potencial de un cuerpo. Su fórmula es:

$$E_m = E_p + E_c \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

E_m : es la energía mecánica (J),

E_p : la energía potencial (J)

E_c : la energía cinética (J).

m : masa

g : gravedad

h : altura

v : velocidad

LEED (Leadership in Energy & Environmental Design): Es un sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council) compuesto de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en todo tipo de edificios, que reconoce la construcción de espacios responsables con el medio ambiente, y cuyo diseño permite el uso eficiente de los recursos naturales [11].

IEEE es la "voz" de confianza para la ingeniería, la informática y la tecnología de la información en todo el mundo. Hay más de 420.000 miembros del IEEE en más de 160 países, publica una tercera parte de la literatura técnica del mundo en ingeniería eléctrica, informática y electrónica, y es líder en el desarrollo de normas internacionales que sustentan muchas de las telecomunicaciones de hoy en día, la tecnología de la información y los productos y servicios de generación de energía [12].

En la normativa del reglamento eléctrico de Chile bajo la normativa DS327 se plantea la Calidad de Servicio como un tema amplio, que incluye continuidad de suministro, calidad de productos (relativa a fluctuaciones de tensión, frecuencia de parpadeo, o "flicker", armónicas y otros) y calidad de servicio comercial. Los índices de confiabilidad, establecidos o estimados, permiten modelar y comprender el desempeño de la red eléctrica, evaluar sus componentes (cables, protecciones, aisladores, y otros) y servir de base para decisiones de inversión y automatización. El actual reglamento considera índices globales e individuales por duraciones de cortes mayores de 3 minutos, sea por fallas o desconexiones programadas o forzadas. Pero hay en estudio normas para micro cortes de menor duración [9].

Hipótesis: ¿El análisis de eficiencia energética permitirá detectar factores que influyen en el consumo energético en el SECAP-Ambato?

1.2.1 Método de análisis prospectivo

En el caso del análisis prospectivo se tomará de base un modelo econométrico, en este tipo de modelos se toman en cuenta algunas variables:

- Variables cualitativas: este tipo de variables no son usualmente representadas de forma numérica, sino en forma de una característica, estas son por ejemplo las percepciones de seguridad por parte de la ciudadanía al transitar en horarios de la noche o la afluencia de personas que transitan por determinadas calles de la ciudad, afluencia que anteriormente en este proyecto se lo ha representado como poca o nula afluencia, afluencia moderada y gran afluencia. Si se quiere usar este tipo de variables en un cálculo prospectivo, es necesario cuantificar dichas variables.
- Variables cuantitativas: este tipo de variables ya están expresadas de forma numérica y no es necesario un pos-procesamiento de datos para usarlas en los cálculos prospectivos, estas variables son, por ejemplo, el número de luminarias instaladas o la potencia que consume cada una de ellas.

Hay varios aspectos a considerar al momento de generar un análisis prospectivo, y todos ellos son representados en nuestro modelo en forma de variables, ya sean cualitativas o cuantitativas, los modelos posibles estarán constituidos con dichas variables, pero es posible que no todas sean necesarias para un resultado acertado.

El presente se traduce en un ahorro económico, el fin de toda implementación tecnológica para el escenario base presentado, es encontrar la mejor configuración en términos de beneficio económico a lo largo de la vida útil de los equipos, por este motivo la prospectiva o análisis prospectivo estará definida en base a un modelo energético construido con todas aquellas variables consideradas anteriormente en el capítulo 1, más todas aquellas que puedan tener algún tipo de influencia en el ahorro mediante las políticas energéticas [13].

Un modelo econométrico está formado por una o varias ecuaciones en las que la variable explicada o endógena depende de una o varias variables explicativas.

Un modelo econométrico está formado por:

- Una o varias ecuaciones o relaciones estructurales,
- Las variables explicativas y explicadas,

- Los parámetros (α y β) a estimar, y, por último,
- Un conjunto de observaciones o datos necesarios para el proceso de estimación.

En función del número de ecuaciones, un modelo econométrico puede ser:

- Uniecuacional
- Multiecuacional.

En cada ecuación, la variable explicada se denomina endógena y se representará en general con la letra Y. Una variable es endógena si es influida por alguna otra variable del modelo (endógena o no).

En un modelo uniecuacional existirá una sola variable endógena, que no puede influir en las variables explicativas o predeterminadas. Estas variables predeterminadas son causa de la variabilidad de la variable endógena; si el modelo es dinámico, las variables predeterminadas pueden ser de dos tipos: [13]

- Exógenas, o variables explicativas que no son influidas por otras variables del modelo, y
- Endógena retardada, que es la variable endógena medida en uno o varios instantes anteriores.

Si el modelo uniecuacional es estático, las únicas variables explicativas o predeterminadas son las exógenas. En un modelo multiecuacional, las variables explicativas de una ecuación pueden ser las predeterminadas y/o las otras variables endógenas.

Los parámetros o coeficientes para estimar en un modelo se denominan estructurales porque representan el efecto directo o estructural de cada variable explicativa (predeterminada o endógena, en modelos multiecuacional) sobre cada variable endógena o explicada. Son cantidades fijas o constantes que se deben estimar a partir de los datos de las variables. Los modelos se clasifican en lineales o no lineales en función de los parámetros; por ejemplo, son modelos lineales los siguientes: [13]

$$Y = \alpha \beta + X \varepsilon \quad \text{Ec. (4)}$$

$$n Y = \alpha \beta + X \varepsilon \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\frac{1}{Y} = \alpha \beta 1X + \beta 2X^2 + \varepsilon \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

Y : es la Regresión lineal simple

$n Y$: Regresión lineal

$\frac{1}{Y}$: Coeficientes de Regresión

β : Constante fija

α : Constante variable

Las perturbaciones aleatorias ε son términos que se introducen en cada ecuación estructural (salvo en las identidades contables) para tener en cuenta la no exactitud del modelo. Representan el efecto de otras variables explicativas no incluidas en el modelo. Los valores estimados u observados de estas perturbaciones se denominan residuos.

Los datos o información estadística sobre las variables del modelo se usan para estimar los coeficientes o parámetros estructurales. El conjunto de datos disponible es generalmente una muestra aleatoria tomada de una población o colectivo, al que se trata de aplicar el modelo estimado; en este caso se está ante un problema de inferencia estadística, y cada una de las observaciones debe ajustarse al modelo.

Dependiendo que los valores de las variables se tomen en distintos instantes del tiempo, o que se tomen en un mismo instante, pero se refieran a distintas personas, empresas o unidades experimentales, las variables y los modelos correspondientes se denominan dinámicos en el primer caso, y estáticos o de corte transversal en el segundo. Al estudiar modelos dinámicos se empleará el subíndice t para hacer referencia a los distintos datos, mientras que en los modelos estáticos es más frecuente usar el subíndice [13].

1.2.2 Método de Holt-Winters

El método de Holt-Winters es usado para descomponer las series temporales de cada ubicación de un cubo de espacio-tiempo en componentes estacionales y de tendencia para pronosticar eficazmente los periodos de tiempo futuros de cada ubicación. La salida principal es un mapa del periodo de tiempo predicho final, además de mensajes informativos y gráficos emergentes. También puede crear un nuevo cubo de espacio-tiempo que contenga los datos del cubo original junto con valores predichos anexados. También tiene la posibilidad de detectar valores atípicos en cada serie temporal para identificar posiciones y tiempos que se desvíen significativamente de los patrones y tendencias del resto de las series temporales.

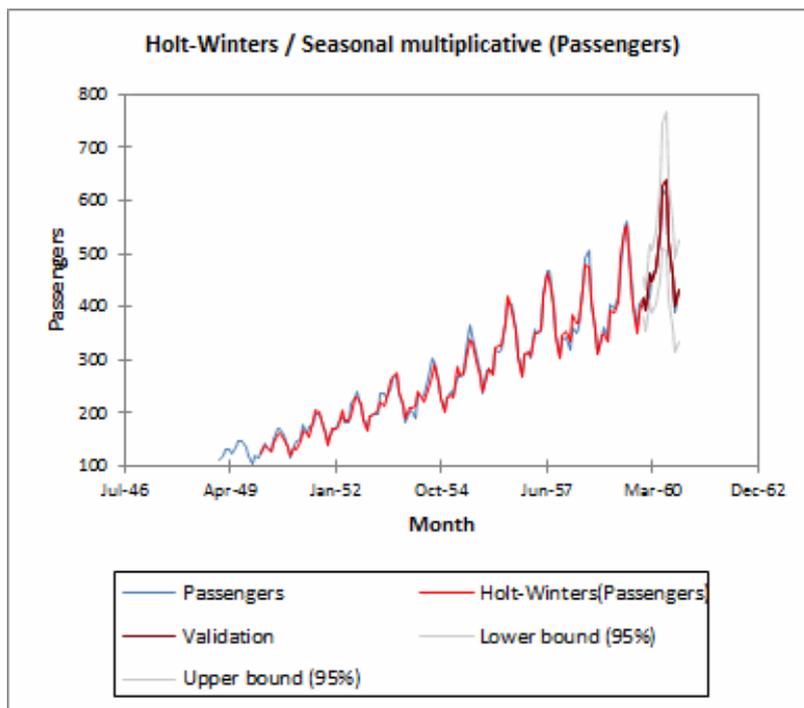


Fig. 2 Modelo de suavizado exponencial Holt Winters [10]

En las últimas décadas, el consumo de energía en el mundo ha aumentado rápidamente debido a cambios fundamentales en la industria y economía. En tales términos, las predicciones o pronósticos exactos de la demanda son imprescindibles para la decisión, desarrollar una estrategia óptima que incluya no sólo la reducción del riesgo, sino también la mejora de la economía y la sociedad en su conjunto [11]. La predicción de la demanda de electricidad es el requisito previo fundamental para lograr el objetivo de la gestión sostenible de la energía y la operación económica y segura de los sistemas de energía modernos [12].

Las predicciones de la demanda de energía eléctrica están ganando mucha atención también de los gerentes de la red eléctrica. La tarea de conocer la demanda de electricidad por adelantado es necesaria para mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda y para gestionar el proceso de producción, distribución y consumo de electricidad en una variedad de escalas temporales: muy corto plazo de pocos minutos a una hora, corto plazo de una semana a un año, mediano plazo de un año a cinco años, y largo plazo de cinco años a décadas e incluso hasta 20 años.

Los modelos precisos de predicción de carga son necesarios para una variedad de horizontes de tiempo, estos podrían enumerarse como: muy a corto plazo para control de frecuencia de carga y despacho económico; a corto plazo para la operación diaria en el

sistema de potencia, a mediano plazo para la programación de mantenimiento de generadores, y a largo plazo para construir nuevas líneas y subestaciones o para actualizar el sistema existente [13].

La gestión eficiente de los sistemas de potencia requiere pronósticos precisos de la demanda de electricidad (carga) para un rango de tiempos de entrega. Para permitir programación en tiempo real, los operadores del sistema producen previsiones para plazos de entrega cortos utilizando métodos automatizados en línea. En los mercados de energía desregulados, tales predicciones también son importantes para los participantes del mercado para apoyar las transacciones de energía [14].

Los métodos de suavización exponencial son herramientas poderosas para eliminar el ruido de las series de tiempo, predecir la demanda futura y disminuir costos de inventario. Al desarrollar un método de suavización y predicción que es intuitivo, fácil de implementar, computacionalmente estable, y puede manejar satisfactoriamente la estacionalidad tanto aditiva como multiplicativa, incluso cuando las series de tiempo contiene varias entradas cero y un gran componente de ruido [15].

1.3 Cultura de uso eficiente de la energía.

No solo se trata de producir más energía; sino, de consumirla de manera inteligente, las técnicas implementadas como iluminación eficiente en hogares, vías públicas, sustitución de electrodomésticos por más eficientes, son muestras del compromiso con la eficiencia energética y cuidado ambiental, detallando los siguientes puntos:

- Ahorro y eficiencia energética en iluminación
- Ahorro y eficiencia energética en equipos de oficina
- Ahorro y eficiencia energética en sistemas industriales
- Ahorro y eficiencia energética en vehículos.
- Ahorro y eficiencia energética en climatización de instalaciones.

1.4 PIB Ecuador

El Producto Interno Bruto Nacional en periodo entre 2008-2025, ha presentado un crecimiento de 3,4%, según los datos publicados en el Boletín No.106-2000.I-2025-IV “Cuentas Nacionales Trimestrales del Ecuador” de marzo de 2019, en la Tabla 1 se muestra la tasa de crecimiento del PIB 2016-2025 [16].

Tabla 2. Tasa de crecimiento del PIB 2016-2025 [17].

Año	%
2016	3,8
2017	0,1
2018	-1,2
2019	2,4
2020	1,4

Además, se considera una comparación entre el consumo de energía eléctrica con la variación del PIB, donde el crecimiento del sector residencial, comercial, industrial y alumbrado público se han incrementado, siendo superior al de la economía. En la Tabla. 2 se observa las tendencias en el periodo de 2016-2025.

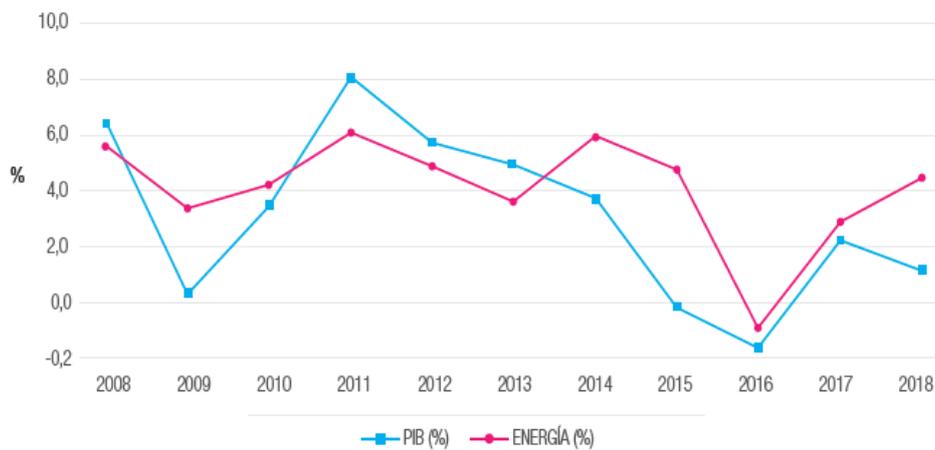


Fig. 3 Tasa de variación anual del consumo de energía y PIB [17].

En la Fig. 3 se observa la variación del consumo de energía con el producto interno bruto donde a inicios del 2016 se puede apreciar un crecimiento de la economía y también un incremento de la energía.

1.5 Usuarios y consumo de energía

Debido al crecimiento de la población, la expansión demográfica, el incremento de viviendas con servicio eléctrico, la creación de nuevos accesos viales y la dotación de alumbrado público, ocasiona un incremento en la demanda eléctrica. A continuación, se presentan series históricas de cantidad de usuarios y energía facturada a nivel nacional.

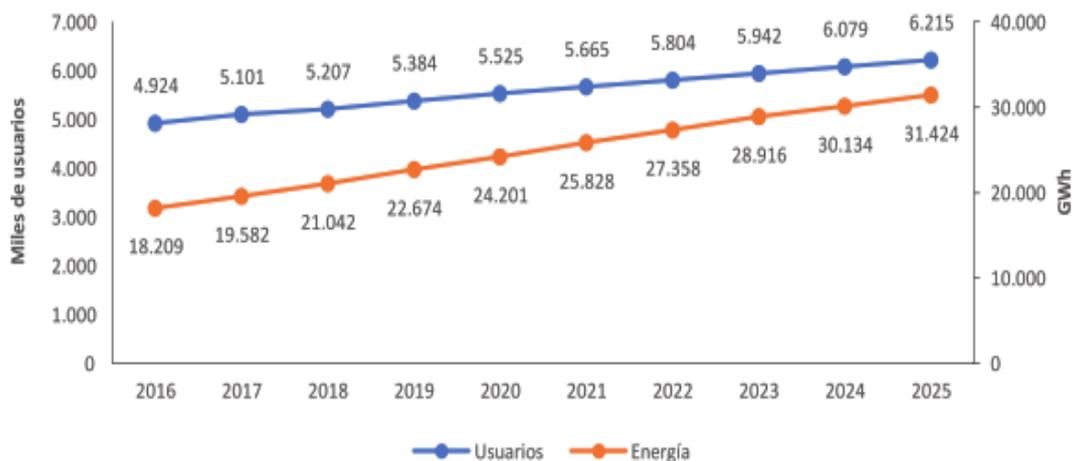


Fig. 4 Usuarios por grupo de consumo 2016-2025 [16].

En la Fig. 4 se observa el crecimiento de la demanda eléctrica ante el crecimiento del número de usuarios con un pico máximo aproximado en el año 2025 de 40.000 GWh.

1.6 Eficiencia Energética

La eficiencia energética tiene en cuenta todos los cambios que resultan en una disminución de la cantidad de energía necesaria para producir una unidad de actividad económica o para satisfacer los requerimientos energéticos de los servicios que requieren las personas, asegurando igual o superior nivel de confort.

Los indicadores de eficiencia energética se construyen con el objeto de dar seguimiento a los cambios en la eficiencia con que los países o áreas de la economía usan la energía.

Al realizar un análisis de las tendencias de la eficiencia energética a través del indicador de intensidad energética, debe que tomarse en cuenta que la evolución del monto de energía consumida por una sociedad depende de cambios ocurridos en:

- La actividad económica (valor agregado, población, área construida, toneladas-km transportadas);
- La estructura de la economía (estructura industrial, estructura modal del transporte, grado de saturación de los artefactos domésticos); y,
- La intensidad energética.

El diseño y aprobación de la Decisión 536, asume que, la interconexión de los sistemas eléctricos conduce a la utilización óptima de sus recursos energéticos, así como la

seguridad y confiabilidad en el suministro. Asimismo, que existen aspectos legales y de regulación con respecto a la autonomía de políticas internas de regulación y operación de los sistemas eléctricos, que deben armonizarse [18].

En lo referente al consumo de energía a nivel nacional en la última década, la categoría que ha experimentado el mayor crecimiento es la categoría industrial con un 94%, mientras que la categoría comercial experimentó un crecimiento del 89%, seguida de la categoría residencial con un 72%, la categoría de otros con un 74% y la categoría con menor crecimiento ha sido la categoría de alumbrado público con un 35%, como se muestra en la figura No. 4 [18].

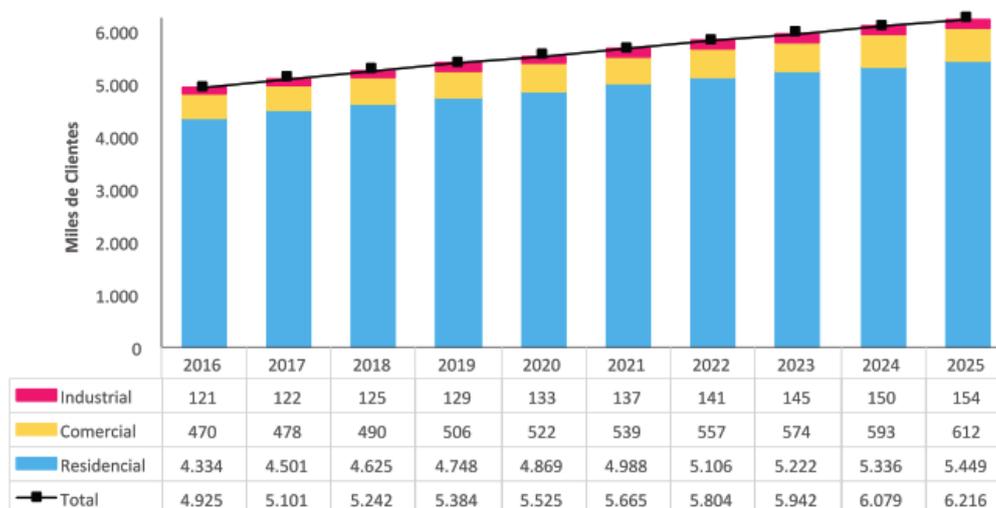


Fig. 5 Evolución decenal de energía por grupo de consumo [16]

1.7 Ahorro energético

Se trata de mejorar los sistemas eléctricos para mejorar el consumo energético más bajos y que se conviertan en más eficientes y de ser el caso obtener un sistema inteligente. Se puede considera en realizar múltiples acciones que doten de una optimización entre cantidad de energía consumida y servicios solicitados aumentando la mejor gestión tanto tecnológica como cultural [19].

La regulación y control de los sistemas eléctricos instalados en instituciones educativas deben tener condiciones de diseño establecidas por la normativa vigente en cuanto a la calidad de energía y eficiencia energética bajo la metodología de calificación energética que permita llevar una contabilización de consumo eléctrico versus equipos, sistemas eléctricos instalados en diferentes laboratorios que satisfagan la demanda de los usuarios.

A la vez se puede incorporar subsistemas de ahorro energético inteligente que permitan obtener datos en tiempo real del consumo energético y que se logre obtener una recuperación inmediata de la energía y su mejor aprovechamiento [19].

De acuerdo con [16] los causantes de que los equipos no trabajen son:

- Factor de Potencia.
- Armónicos.
- Transitorios.
- Desbalance de Fases.
- Caídas de voltaje en los conductores.

1.7.1 Factor de potencia.

El factor de potencia se define como el coeficiente de la relación de la potencia activa sobre la potencia aparente.

Penalización por bajo factor de potencia.

Para aquellos consumidores a los cuales el Sistema de Medición fijado por la Agencia de Control y Regulación de Electricidad, ARCONEL, considere la medición de energía reactiva, el distribuidor registrará mensualmente el factor de potencia.

Aquellos clientes que registren un factor de potencia medio mensual inferior a 0,92, la facturación total mensual será recargada en un factor igual a la relación por cociente entre 0,92 y el factor de potencia registrado [18].

1.7.2 Armónicos

El problema causado por las corrientes de la tercera armónica es un sobrecalentamiento de los conductores neutros ya que, en un sistema trifásico, las líneas están desfasadas 120° de forma que, cuando cada una de las fases tiene la misma carga, la corriente en el neutro es cero. Sin embargo, aunque las corrientes fundamentales se anulan entre sí, no ocurre lo mismo con las corrientes armónicas, aquellas que son un múltiplo impar del triple de la fundamental, los denominados terceros armónicos, se suman en el conductor neutro. En este caso una corriente del tercer armónico de una amplitud del 70% de la fundamental en cada fase da como resultado una corriente con una amplitud del 210% en el neutro.

Los armónicos 5to y 7mo pueden combinarse y crear oscilaciones generando un estímulo de torsión sobre maquinas eléctricas rotatorias, reduciendo la vida útil de las máquinas.

1.7.3. Transitorios

Se debe tomar en cuenta el transitorio impulsivo y el oscilatorio.

- **Transitorio impulsivo.**

Es un cambio súbito y unidireccional (positivo o negativo) en la condición de estado estable del voltaje, la corriente o ambos y de frecuencia diferente a la frecuencia del sistema de potencia.

Son de moderada y elevada magnitud, pero de corta duración medida en microsegundos.

- **Transitorios oscilatorios.**

Son un cambio súbito en la condición de estado estable de la tensión, la corriente o ambos, con polaridades positivas y negativas y de frecuencia diferente a la frecuencia de operación del sistema.

1.7.4. Desbalance de fases

El desbalance de fases en un sistema eléctrico ocurre cuando las tensiones entre las líneas no son iguales y puede ser definido como la desviación máxima respecto al valor promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresado en porcentaje el desequilibrio de tensiones son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, los transformadores conectados en delta abierto, fallas de aislamiento en conductores no conectados. Se recomienda que el desequilibrio de tensiones sea menor al 2%.

1.7.5. Caídas de voltaje

La caída de voltaje entre la acometida privada y el punto receptor de energía más lejano del circuito no superará el 5% del voltaje nominal del sistema. [20].

1.7.6. Filtro híbrido para corrección de armónicos

La creciente implementación de elementos de electrónica moderna, tiene como consecuencia directa un incremento en el contenido armónico en el fluido eléctrico, lo cual trae dificultades tanto para el usuario como para el distribuidor, dado que estos fenómenos se reflejan en el sistema eléctrico de la siguiente manera: aumento de la potencia reactiva, operación inadecuada de elementos de protección, variaciones en la amplitud y frecuencia de las ondas de tensión y corriente en general.

A. Variaciones de frecuencia

En general la frecuencia de la red suele ser muy estable debido, salvo casos excepcionales, al elevado grado de interconexión del sistema eléctrico de potencia. La variación de la frecuencia en un sistema a eléctrico se produce cuando existe una transmisión del equilibrio

entre carga y generación. En un sistema interconectado como es necesario un cambio de carga de 12000 MW para que se produzca una variación de frecuencia de 0,1 Hz.

Generalmente, las variaciones de frecuencia surgen a la velocidad de las máquinas rotativas, a los relojes sincronizados a la roja, y en general cualquier tipo de regulación electrónica que utilice la frecuencia como referencia de tiempos.

En condiciones normales de explotación, el valor medio de la frecuencia fundamental medida en periodos de 10s debe situarse entre los siguientes intervalos:

Para redes acopladas por conexiones síncronas a un sistema interconectado:

- 50 Hz \pm 1% (49,5 Hz a 50,5 Hz) durante el 99,5% de un año
- 50 Hz+4%/-6% (47 Hz a 52 Hz) durante el 100% del tiempo

Para redes sin conexión síncrona a un sistema interconectado (redes de alimentación existentes en zonas insulares):

- 50 Hz \pm 2% (49 Hz a 51 Hz) durante el 95% de una semana
- 50 Hz \pm 15% (42,5 Hz a 57,5 Hz) durante el 100% del tiempo

B. Variaciones lentas de tensión

Un factor importante para determinar la calidad del suministro eléctrico es la amplitud de la forma de onda de la tensión y por tanto su valor eficaz. En un sistema eléctrico el valor rms de la tensión puede variar con respecto a su valor nominal. Se considera una variación lenta de tensión cuando su duración es superior a 10 s. Sus causas suelen ser muy variadas, desde fallas en el suministro, en su mayoría debido a fenómenos atmosféricos, hasta variaciones de la impedancia del receptor (consumos no constantes de energía, distribución desigual por zonas).

La norma UNE-EN 50160 [21] establece que la tensión normalizada para las redes de baja tensión es:

- En el caso de sistemas trifásicos a cuatro conductores

$$U_n = 230 \text{ V entre fase y neutro}$$

- En el caso de un sistema trifásico de tres conductores

$$U_n = 230 \text{ V entre fases}$$

1.7.7. Métodos de compensación armónica

Para la mitigación armónica y compensación de la carga se han propuesto distintos métodos de compensación y topologías de circuitos. De todas las posibles configuraciones en esta sección se expondrá de forma necesariamente resumida, las características de aquellos más

habitualmente utilizados, a la vista del número de trabajos publicados en las que se hace referencia ya su uso industrial.

A. Filtros pasivos

Para compensar armónicos de corriente, tradicionalmente se han utilizado filtros pasivos paralelos. Estos consisten en ramas LC conectadas en paralelo con la carga. El funcionamiento se basa en presentar un camino de baja impedancia a la frecuencia del armónico minimizado. En principio, las características de filtrado de los filtros pasivos tipo H son determinados por la relación entre la impedancia de la fuente del filtro pasivos.

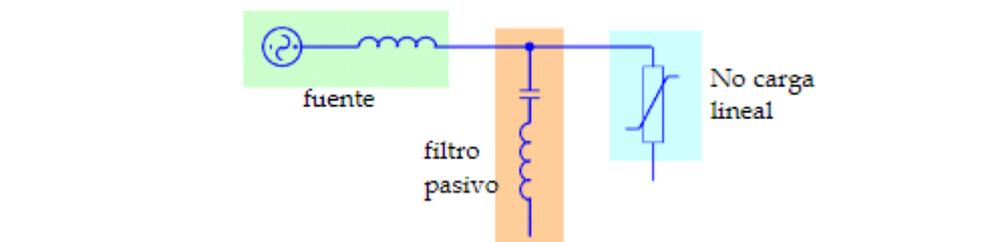


Fig. 6 Esquema de un filtro pasivo de conexión paralela H

Este filtro presentar algunas características para su utilización entre ellas se destacan las siguientes:

- Su característica de filtrado viene determinada por la impedancia de la fuente, la cual en la mayoría de las aplicaciones es desconocido e incluso sometido a variaciones según la configuración del sistema en otro lugar del sistema estas determinadas frecuencias se pueden presentar resonancias entre la impedancia de fuente y el filtro pasivo.
- El filtro pasivo se comporta como un sumidero para los armónicos generados desde el punto de vista de diseño, es necesario el conocimiento de los armónicos de corriente con objeto de elegir los valores de L y C adecuado para la sintonización del filtro pasivo. Esto hace que esta configuración esté limitada a sistemas que no presentan variaciones aleatorias de la forma de onda de la intensidad

1.8 Normas

Los estándares y normas establecidas dentro del Sector Eléctrico Ecuatoriano exigen el riguroso comportamiento con las leyes establecida como la regulación No. ARCONEL – 001/2020 referidos a la calidad de producto y dentro de la NORMA IEEE 519-1992 donde se indican claramente los límites a perturbaciones de los armónicos respecto a corriente (THDI) y voltaje (THDV) [22].

Bajo estas normas se puede evitar tener sanciones por incumplimiento valores que se verán reflejados en la facturación eléctrica y que se emiten en el pliego tarifario vigente como son:

- Tarifas de media tensión
- Tarifa G6

1.8.1 Normas aplicadas al control de la demanda

Organización Internacional de Normalización ISO, encargada de promover normas de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales. Busca la estandarización de normas de productos y seguridad para empresas u organizaciones.

- ISO 24767 e ISO 30100: establecen normas de seguridad y gestión para una red doméstica.
- ISO 25000: esta norma se aplica en productos software utilizados en el controlar y monitoreo.

de las normas que se utilizan tiene que ver con protocolos de comunicación.

- IEEE 802.11: se refiere al uso de la capa física y de la capa de enlace de datos en una red de área local inalámbrica.
- IEEE 830: especifica requisitos de software [23].

1.8.2 Norma ISO 50001

De acuerdo los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) Establece la implementación de política energética y el uso significativo de la energía. Cuyos beneficios son: [23]

- Establecimiento de una metodología, clara y estructurada, de la gestión de la energía.
- Reducción de los consumos de energía
- Reducción de los costos de producción permitiendo aumentar la competitividad de la empresa.
- Permite controlar el consumo energético en cada proceso, permitiendo tomar acciones correctivas.
- Incremento en el uso de energías renovables.
- Aprovechamiento de energías excedentes.
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo en la conservación del medio ambiente.
- Reducción de costos y oportunidades para el desarrollo de nuevas tecnologías y servicios.

1.9 Tipo De Investigación

Caso de estudio

Esta investigación se pretende analizar todas las alternativas viables para una realizar un análisis de eficiencia energética, como también alternativas que permitan orientar a la integración de medidas a favor del consumo energético en el edificio y laboratorios, para disminuir la tarifa energética.

Enfoque descriptivo

Esta investigación tiene un componente descriptivo ya que se pretende analizar el comportamiento energético, definiendo consumos y posibles alternativas de ahorro y calidad energética.

Componente experimental

El presente proyecto se torna una investigación experimental al momento que desarrollamos el análisis prospectivo, ya que tomamos la información histórica y generamos alternativas energéticas

Análisis documental

Un punto clave en la presente investigación es el proceso de análisis documental, ya que es donde se define el punto de partida para el caso de estudio; los documentos a ser analizados son el conjunto de toda la información referente a eficiencia energética, dichos documentos son: planos, datos técnicos de equipos instalados, historial de consumo energético, registros de fallas, entre otros; la información recolectada en este punto de la investigación será comparada con las prospectivas desarrolladas para fundamentar nuestro proyecto.

Conclusiones Capítulo I

- La falta de conocimiento de las de políticas en cuanto a eficiencia energética en el sector eléctrico es considerado uno de los aspectos principales del incremento energético lo cual genera penalidades y el incremento de tarifas eléctricas.
- La normativa de eficiencia energética ISO 50001 permite llevar un orden para la obtención de mejor calidad energética analizando parámetros: planificar, hacer, verificar y actuar.
- Uno de los principales vectores energéticos a considerar lo constituye el sistema eléctrico, el cual presenta diferentes problemas producto muchas veces de factores externos.
- Los factores predominantes que influyen en la calidad energética son la falta de control en la calidad de energía esto se refleja en la necesidad de tener políticas que permitan controlar y mantenerse en los estándares establecidos.

CAPÍTULO II.

Propuesta

2.1 Título del proyecto

“Análisis de eficiencia energética en el sistema eléctrico del Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional SECAP-Ambato”

2.2 Objetivo del proyecto

Desarrollar una metodología para el estudio de eficiencia energética, enfocado en el área eléctrica para definir estrategias que permitan generar una solución con el fin de garantizar la eficiencia energética y calidad del servicio eléctrico de la institución.

2.3 Justificación de la propuesta

El presente estudio hace referencia al uso eficiente de la energía, mediante propuestas que influyen directamente a la reducción del consumo de energía relacionado a las tarifas energéticas. El diseño de estrategias será específicamente para el análisis energético en los diferentes laboratorios del SECAP Ambato, esto implica que la elaboración y aplicación de las estrategias de gestión para mejorar la eficiencia energética en edificaciones se indagaran mediante métodos científicos del tipo cuantitativos, los mismos que pueden ser investigados técnica y científicamente, para una vez demostrada su validez y confiabilidad, implementarlos en otros escenarios de investigación o continuar este proyecto de tesis con su respectiva implementación.

2.4 Fundamentación de la propuesta

La importancia de la eficiencia energética en el país radica en la necesidad de implementar sistemas más eficientes, reducir consumos y ahorrar energía fomentando así políticas amigables con el ambiente.

La tecnología actual nos permite realizar análisis de una manera bastante selectiva, pero, ¿hasta qué punto es rentable la implementación de estas estrategias energéticas?, el presente estudio pretende dar una respuesta a esa pregunta, ya que al aplicar métodos prospectivos se pueden plantear varios escenarios posibles con el afán de encontrar el que aproveche mejor el factor energético, esto significa, que buscamos determinar la manera correcta de sugerir alternativas precisas para sacar el mejor partido al sistema energético del SECAP.

2.5 Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados.

De acuerdo como se describe en el capítulo 1, el modelo prospectivo generado en la presente investigación está basado en el análisis histórico del consumo eléctrico mediante una herramienta de libre acceso Holt Winters, y como tal, es necesario recopilar la información necesaria para que sea capaz de analizar los consumos energéticos.

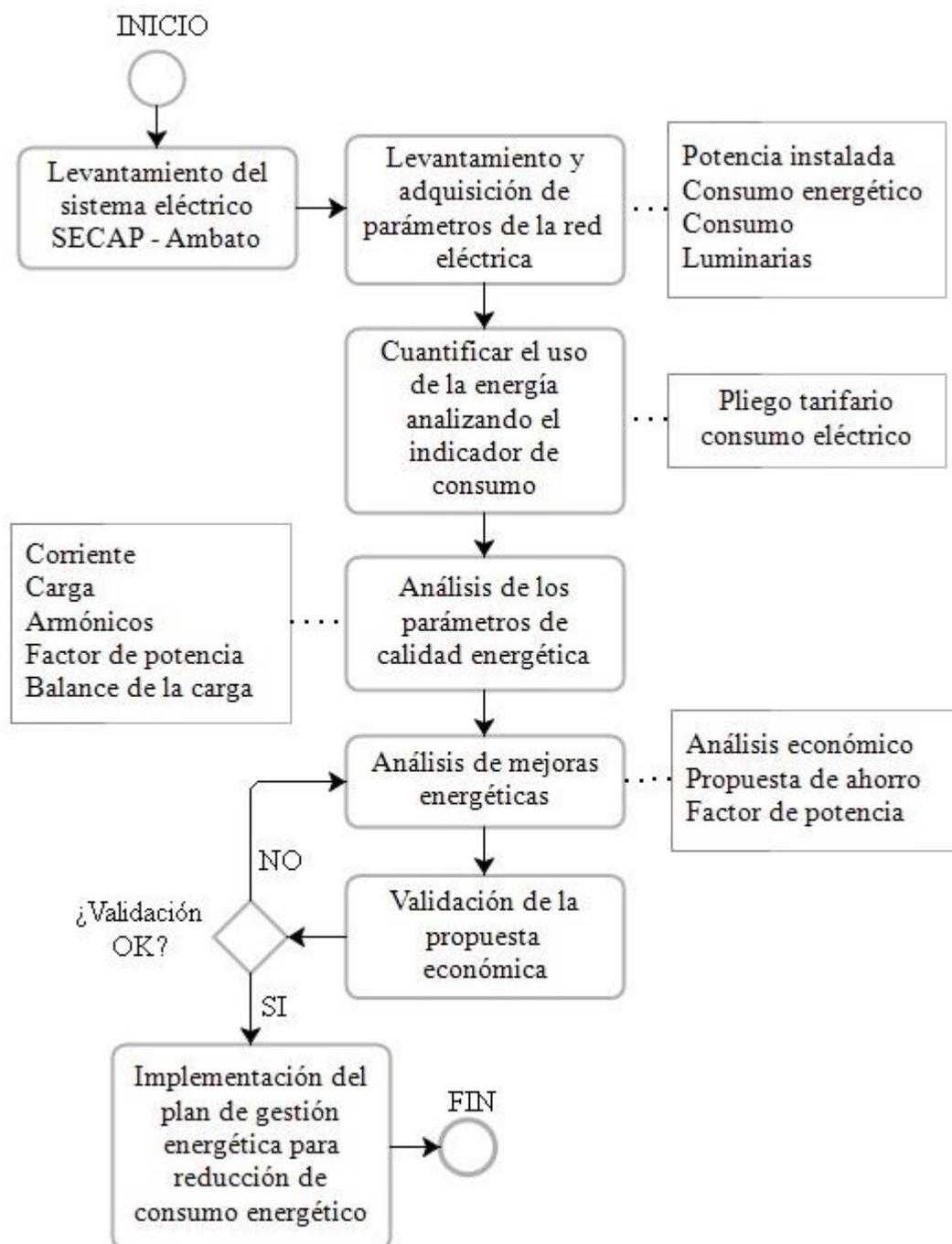


Fig. 7 Diagrama de flujo del proceso metodológico

La previsión se realiza en base a los consumos energéticos de los últimos 5 años permitiendo identificar las tasas de crecimiento con previsiones de consumos, se establece una herramienta tecnológica la misma que nos permite determinar la calidad energética, mediante los resultados obtenidos con los equipos especializados y los datos que arroja permiten llevar un control exacto del consumo de energía eléctrica. Paulatinamente se establece alternativas para el mejoramiento y control energético, permitiendo conocer las estrategias y parámetros técnicos a intervenir. Finalmente se establece las condiciones ideales del sistema eléctrico tomando en cuenta la carga en la institución.

2.6 Vectores Energéticos

Los vectores energéticos son los productos resultantes de las transformaciones o elaboraciones de recursos energéticos naturales. El único origen posible de toda energía secundaria es un centro de transformación, y el único destino posible un centro de consumo. Las principales vectores energéticos son los combustibles derivados del petróleo (gasolina, gasoil, queroseno), del gas natural (comprimido o licuado), de las rocas sedimentarias de carbón, de la biomasa, de los residuos, y la electricidad obtenida por transformación de diversas fuentes primarias como los combustibles fósiles, la energía nuclear, hidráulica, eólica, solar, etc [24].

Debido a que en las instalaciones del SECAP-Ambato el principal vector es el eléctrico debido a que en las instalaciones no existe otros consumos de vectores tomaremos en cuenta para el estudio planteado.

2.7 Rangos y periodos de estudio

Los rangos para considerarse para el presente estudio serán 3:

- **Análisis Histórico:** en este periodo se analizarán los consumos energéticos con una ventana de análisis de 4-5 años, es decir, se analizarán los datos y comprendidos entre el 2015 y se dará una prospectiva hasta el año 2020.
- **Análisis Actual:** en este caso, se analizará los resultados obtenidos mediante en analizador de red, para este análisis aparecerán más factores que determinarán la viabilidad de implementar alternativas energéticas y correcciones para controlar la calidad energética, por ejemplo, implementación de bancos de capacitores.

2.8 Identificación del sistema eléctrico (Metodología o procedimientos empleados para el cumplimiento de los objetivos planteados.)

Sistema Eléctrico.

Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional – SECAP dispone de un transformador que son utilizados para alimentar las áreas: Ganma, Betta, Alpha, Lambda, Kappa para este estudio se considera el análisis en el transformador de 500 kVA.

Considerando las áreas de estudio se realiza un diagrama eléctrico donde se presenta la distribución unifilar del mismo, el diagrama se puede observar en el Anexo: Fig. 37 Diagrama Eléctrico SECAP-Ambato.

2.9 Levantamiento del sistema eléctrico.

El levantamiento del sistema eléctrico comprende las 5 áreas en las cuales son distribuidas por secciones, talleres, aulas y laboratorios en los mismos se analiza las carga inductiva y resistiva para los estudios correspondientes.

Tabla 3. Carga total instalada

Distribución de cargas en las áreas instaladas		
Potencia Activa y Reactiva del Edificio		
	Activa [W]	Reactiva [VAR]
Betta	11600	3122
Alpha	5500	5220
Lambda	10250	4994
Kappa	100	450
Ganma	2500	2725
Total	29950	16504

En la presente Tabla 3. Es notorio que las cargas no son equivalentes y se tiene áreas con sobrecarga eléctrica debido principalmente al crecimiento de laboratorios que generan más carga y en consecuencia no se realizan estudios para el correcto balance de las mismas.

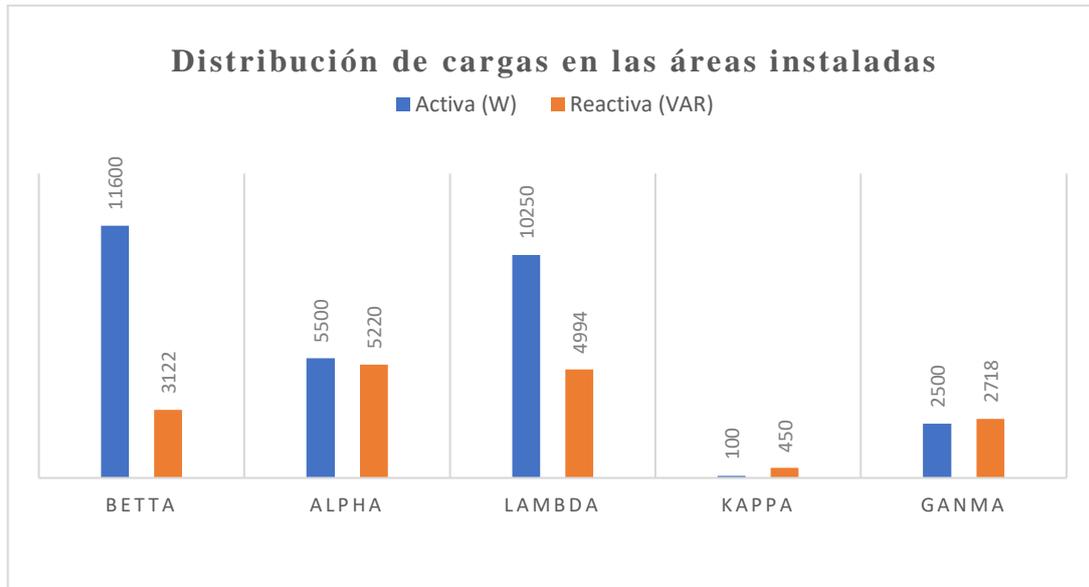


Fig. 8 Carga Instalada Potencia Activa y Reactiva

El análisis de cargas presenta niveles elevados en las áreas BETTA y LAMBDA principalmente por los equipos y laboratorios instalados, en esta sección se encuentran las áreas que generan mayor consumo energético.

Laboratorios de Análisis:

Para el presente proyecto de investigación se realiza el levantamiento de equipos ubicados en los talleres de ajustaje, laboratorios de torno y talleres de suelda se detallan a continuación:

Equipos de Talleres de ajustaje

- Tornos Lincon 8 unidades
- Fresadora Heckmodw 6 unidades
- Limadora 20064 1 unidad
- Taladros Pedestal 2 unidades

Laboratorios de Tornos CNC

- Torno CNC A1
- Torno CNC A2
- Router 160 mm
- Fresadora CNC

Talleres de Suelda

- Soldadoras Smaug 3 unidades
- Soldadoras de Tig 2 unidades

- Soldadoras de Electrodo 5 unidades

Tabla 4. Elementos de consumo, etapa de potencia

TALLERES CARGA INSTALADA	
	Potencia Total Máquina (kW)
Laboratorio de tornos CNC	26
Taller de Soldas	85
Taller de Ajustaje	116
Total	122,6

La Tabla 4. muestra la carga instalada en los laboratorios y talleres que representan mayor consumo energético, generan el 67% del consumo total donde se encuentran equipos y maquinarias.

Tabla 5. Elementos de consumo etapa de iluminación

Cant.	Características técnicas	Estado	Horas Usos Día	Estado de la Luminaria
96	Tipo: Fluorescentes Potencia: 32 W Arranque: Balastro electromagnético Voltaje: 110 V	Bueno	12	Luminaria opaca
290	Tipo: Fluorescentes Potencia: 25 W Arranque: halógeno Voltaje: 110 V	Bueno	24	Luminaria deteriorada
25	Tipo: Fluorescentes Potencia: 50 W Arranque: halógeno Voltaje: 110 V	Malo	24	Luminaria opaca

En la Tabla 5. Se puede apreciar el estado actual de las lámparas donde principalmente existen del tipo fluorescente las cuales presentan consumos importantes al sistema eléctrico.

Tabla 6. Índices de consumo talleres

Área	Potencia [W]	Porcentaje de consumo [%]
Betta	14722	31,69
Alpha	10720	23,07
Lambda	15244	32,81
Kappa	550	1,25
Ganma	5225	11,23

Mediante la presente tabla se muestra el porcentaje de consumo generado en cada una de las áreas de estudio esto permite conocer lugares representan las cargas críticas y de esta manera tomar alternativas que permitan generar ahorros energéticos.

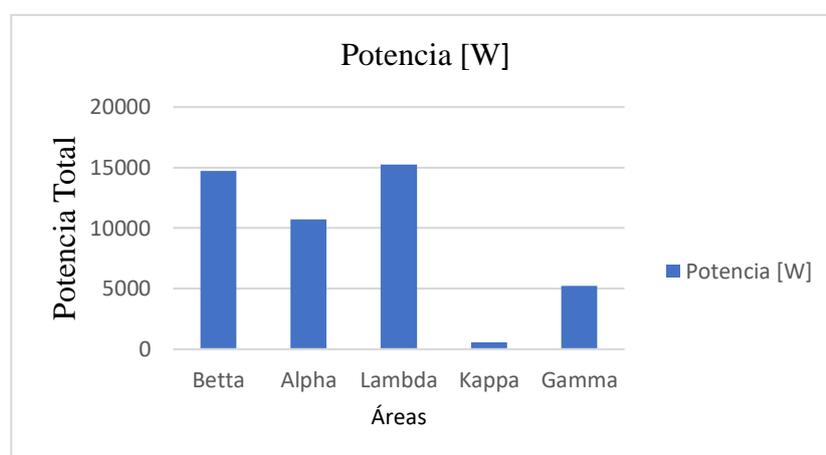


Fig. 9 Potencia de las instalaciones eléctricas

La potencia en el SECAP-Ambato es representada mediante la distribución por áreas donde se aprecia las de mayor consumo [W].

Los consumos generados en las instalaciones eléctricas presentan mayores índices en las secciones Betta, Alpha, Lambda esto se debe a que en estas áreas del sistema se encuentran laboratorios y maquinas eléctricas que consumen mayoritariamente cargas, por otro lado, las secciones Kappa, Gamma reflejan menores porcentajes de consumo debido a que en estas áreas se encuentran aulas que no representan cargas mayores.

Tabla 7. Comparativa de consumo de luminarias

Tipo de Luminaria	Nro. De Luminarias	Consumo Total [W]	Porcentaje de consumo [%]
F2X25W T12	837	20925	78,62
F150W T12	7	350	1,82
F32W T12	96	3072	16,03
LED15W	45	675	3,35

En la Tabla 7. se aprecia como el porcentaje de lámparas incandescentes representa un porcentaje mayoritario comparado con las lámparas LED esto genera distorsión armónica en el sistema eléctrico a su vez que el consumo es excesivo.

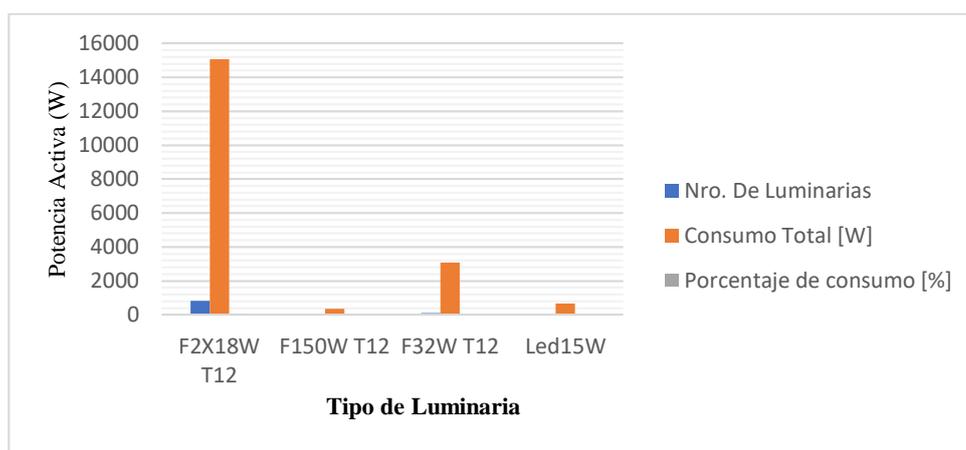


Fig. 10 Consumo Luminarias

En el presente estudio se realizó un levantamiento de carga y se pudo observar que en un 78,62 % las luminarias utilizadas en las instalaciones son F2X25W T12 de tipo fluorescente con juntamente con las del tipo F32W T12 en un 16,03% y apenas el 3,52% iluminación de tipo LED15W.

2.10 Mediciones de parámetros eléctricos en el transformador de 500 kVA

Se considera seguir los parámetros de medición detallados bajo la norma IEC 61000-4-7; el cual permite llevar una guía general medidas de armónicos e interarmónicos y técnicas de ensayo y de medida; así como a los aparatos de medida, aplicable a las redes de suministro y a los aparatos conectados a éstas [25].

2.10.1 Medidas de Tensión

Se toma en consideración las medidas obtenidas en los bornes del transformador mediante el analizador de redes.

Tabla 8 Medición en bornes de bajo voltaje del Transformador.

Líneas	Voltaje (V)	Potencia (kW)
L1	126,1	22,6
L2	125.7	18,0
L3	126.1	13,2

Los resultados obtenidos mediante el analizador permiten visualizar la tensión en las líneas su valor rms está en un rango de 125 a 126 voltios en función del tiempo se puede visualizar la disminución considerable de esos valores por línea al momento de activar los equipos en los laboratorios de análisis.

2.10.2 Medidas de corriente

El siguiente análisis hace referencia a las mediciones de corriente realizadas durante el intervalo en el cual el equipo realizo el análisis de la red.

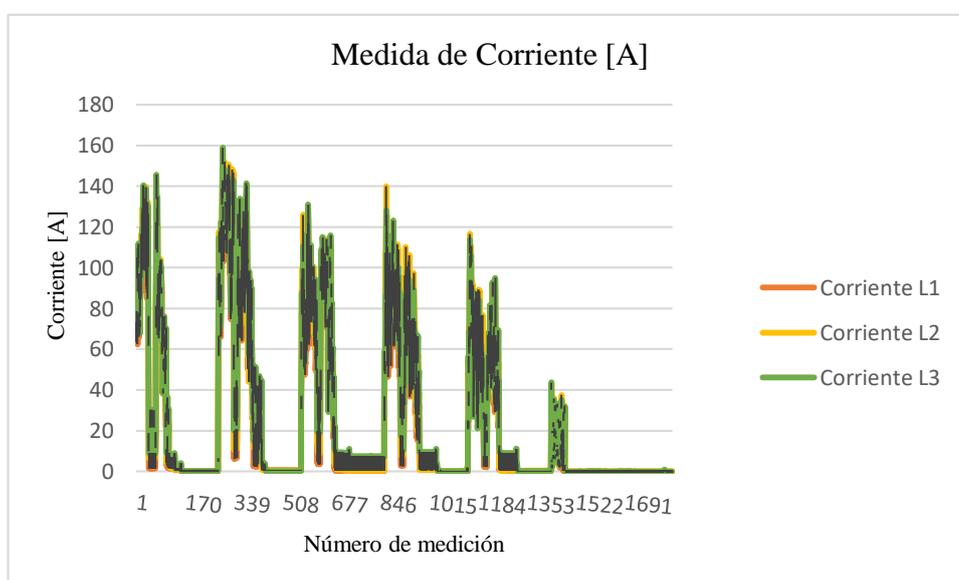


Fig. 11 Medición de Corriente Obtenido con el Analizador de Red

En la Fig. 11 Se puede visualizar que las corrientes presentan variaciones debido a todos los factores existentes en las instalaciones del sistema en lo cual se aprecia un desbalance de carga.

2.10.3 Mediciones de potencia

Al realizar la medición en referencia a la potencia del sistema se puede observar valores máximos y mínimos entre un rango de 10 a 79 kW presentando bastante variabilidad durante el funcionamiento del sistema.

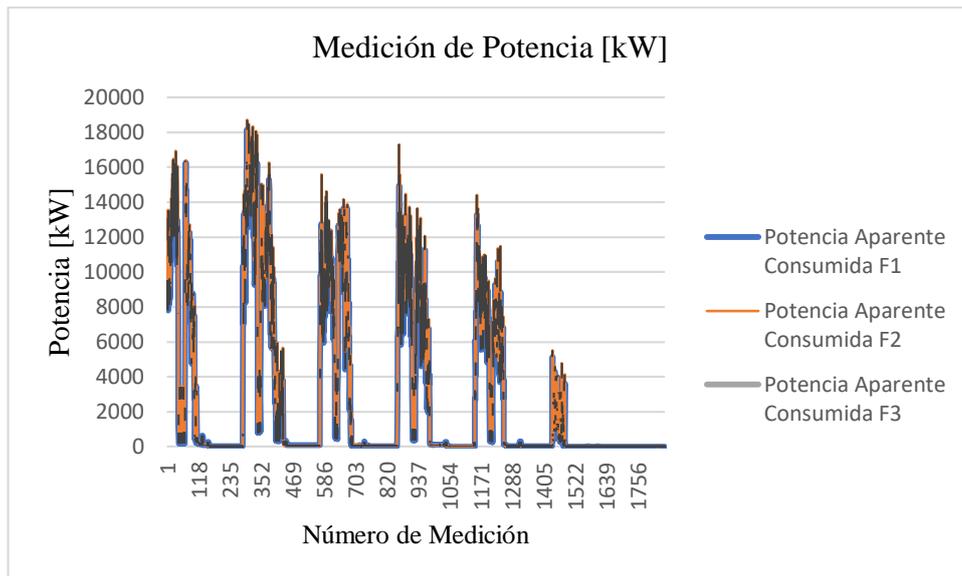


Fig. 12 Medición de Potencia

En la Fig. 12 se puede apreciar el comportamiento de la potencia aparente consumida de las fases en la cual se visualiza que el sistema presenta distorsiones ocasionadas principalmente por el desbalance en las cargas.

2.10.4 Distorsión Armónica

Las medidas tomadas a continuación representan el comportamiento del sistema en las mediciones de armónicos.

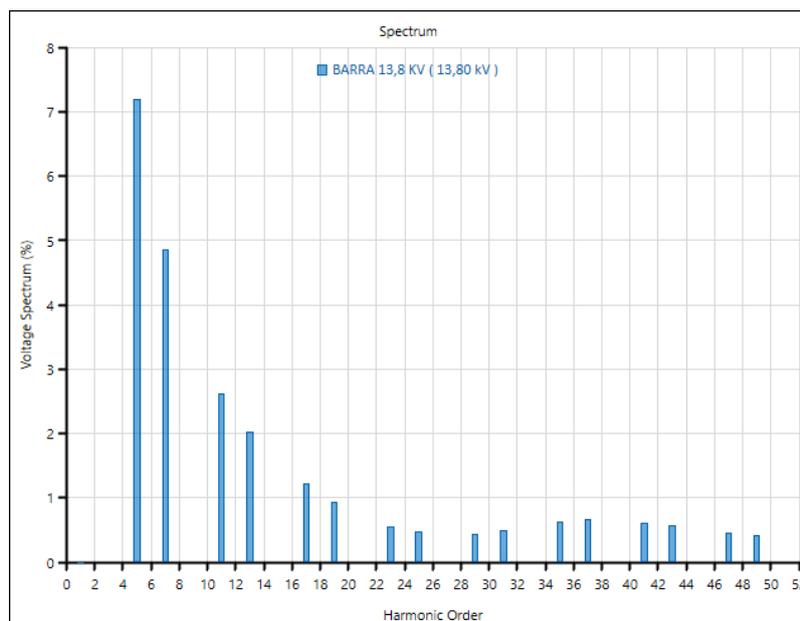


Fig. 13 Medición de Armónicos de Tensión.

Al realizar la medición de los armónicos de tensión del sistema se puede la presencia del tercer armónico de tensión presentando debido principalmente a las condiciones actuales del sistema eléctrico.

2.11 Distorsión Armónica Estado Actual

Al realizar el análisis correspondiente a la distorsión armónica podemos notar que las cargas lineales generan pulsos armónicos. Estas cargas generan distorsión de voltaje debido al estado de las instalaciones eléctricas, estas cargas generan grandes niveles en la tercera, quinta y séptima armónica las mismas que pueden dar lugar a una corriente de neutro. Estos efectos ocasionan ondas distorsionadas que pueden provocar algunos efectos adversos como resultado de la corriente con la impedancia del sistema. Estos efectos en la onda ocasionan grandes niveles en la onda tercera, quinta y séptima onda que dan lugar a una corriente en el neutro.

Al analizar el estado actual del sistema eléctrico se puede apreciar que el sistema presenta distorsión armónica.

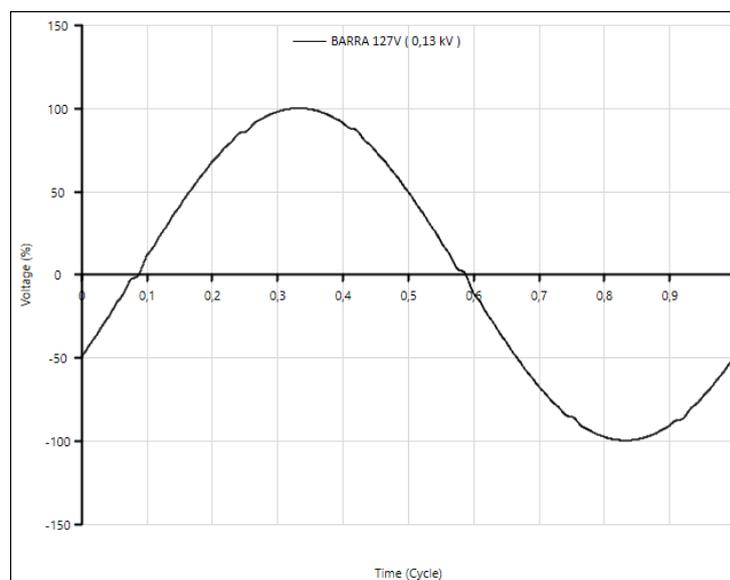


Fig. 14 Distorsión armónica estado actual

Al alimentar estas cargas al sistema eléctrico generan ondas distorsionadas los mismos que pueden provocar efectos adversos como el recalentamiento del transformador debido a las pérdidas inducidas por las altas frecuencias, daño por fallas de equipo debido a la operación no adecuada de los interruptores (fusibles y termomagnéticos).

2.12 Análisis de armónicos por áreas.

De acuerdo los datos obtenidos mediante el analizador de red se realiza una modelación en el programa Etap donde se procede a simular el estado actual de los armónicos por áreas en los mismo que se relejan los siguientes datos.

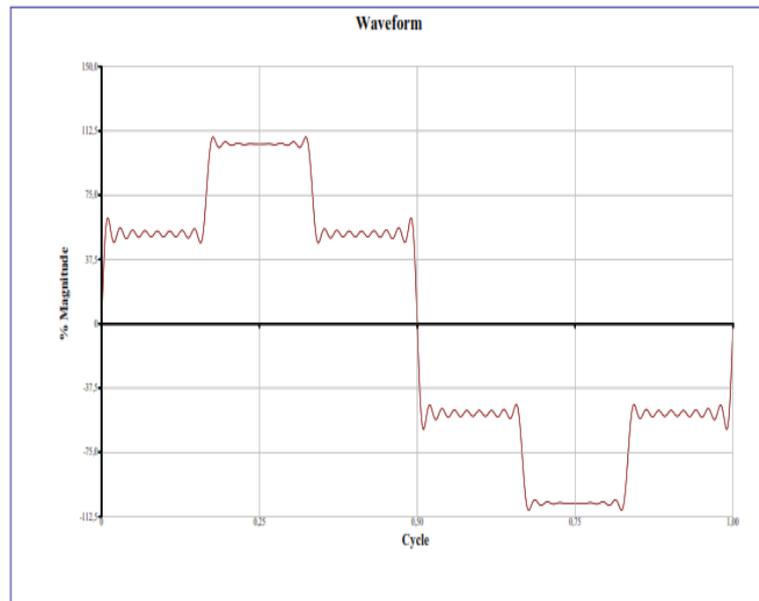


Fig. 15 Distorsión armónica en el área Lambda

Una de las áreas que mayor dificultad presenta la distorsión armónica es el área de lambda debido a que en esta sección se encuentran laboratorios que consumen la mayor cantidad de carga.

2.12.1 Análisis de flickers en el transformador de 500 kVA

En la siguiente tabla se muestra los flickers generados en el transformador de 500kVA se toman en consideración los eventos generados y se analizan los límites establecidos.

Tabla 9 Flickers transformador de 500 kVA

Línea	Pst Máx.	Pst Máx.	Eventos	%	Cumple
L1	3,85	0,19	801	78,18	NO
L2	4,13	0,16	807	78,77	NO
L3	3,67	0,17	834	82,29	NO

En la Tabla 9. se observa que las 3 líneas registran eventos que superan el límite permitido de Pst por más del 5% del periodo de medición por lo que se está incumpliendo con la regulación y se necesita dimensionar filtros para su corrección.

2.12.1 Mediciones de Armónicos de Corriente

El histograma que se presenta a continuación refleja el THD porcentual del transformador de 500kVA representando la medición de armónicos de corriente.

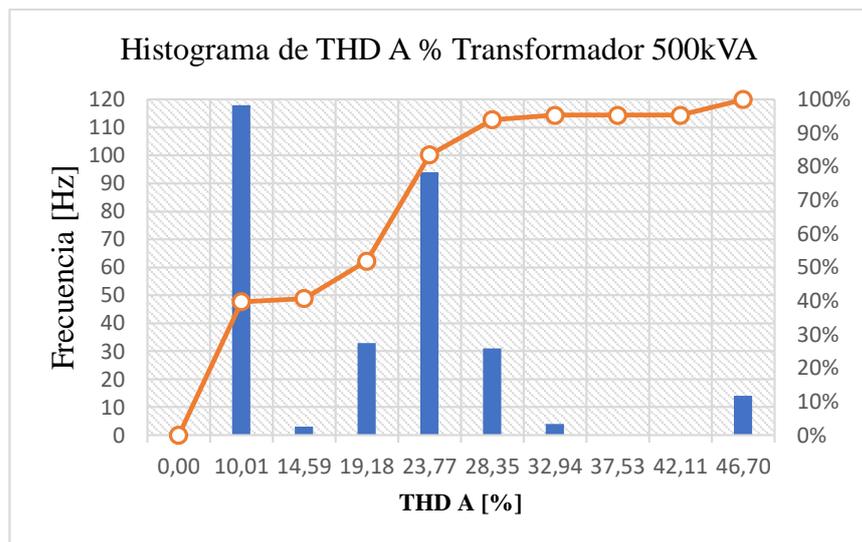


Fig. 16 Medición Armónicos de Corriente

En la Fig. 16 es notable la distorsión del THD correspondiente a la onda 1,3,5 ocasionado principalmente por el tipo de lámparas conectadas esto refleja un continuo problema al sistema eléctrico.

2.13 Mediciones de armónicos en luminarias LED

Se analizó cual es el efecto de la reducción de armónicos por el reemplazo luminarias tipo fluorescente por luminarias tipo LED. En la Tabla 9. se puede observar un análisis comparativo entre los valores de distorsión armónica que produce el circuito de iluminación actual que está compuesto por el 92% luminarias tipo fluorescente en comparación con las luminarias tipo LED, que componen el nuevo rediseño de iluminación propuesto. Dando como resultado que las luminarias de tipo LED producen un 13% menos distorsión armónica total de corriente de fase que las luminarias tipo fluorescente.

Tabla 10. Medición Armónicos Luminarias LED

Porcentaje de armónico			
Orden de armónico	Circuito de Iluminación Tradicionales	Luminarias led [%]	Diferencia [%]
THD	0,97	0,81	0,16
3er	0,44	0,36	0,08
5 to	0,42	0,32	0,10
7mo	0,13	0,12	0,01

En la Tabla 10. se muestra el análisis comparativo de la distorsión armónica total de voltaje THDV, dando como resultado que en la luminaria tipo LED produce un 28% menos que la generada por las luminarias fluorescentes.

2.13.1 Mediciones Cámara Termografía HT175.

En el siguiente apartado se pretende mostrar los datos a partir de las mediciones generadas mediante el uso de la cámara termográfica HT175, el cual identifica los diferentes puntos calientes del sistema.

Tabla 9 Mediciones termográficas

Fecha de inspección:	15/03/2022 11:35	Ubicación	SECAP-AMBATO
Equipo	Transformador 500kVA	Nombre del equipo:	Transformador Principal SECAP
Temp ambiente:	17°C	Velocidad del viento	NA
Carga (%)		Carga nominal máxima:	NA
Temperatura de excepción:	27,4 °C	Posible problema	Saturación de Carga
Acción recomendada		Prioridad de reparación:	
Emisividad:	0,95	Temperatura reflejada:	27,4 °C
Fabricante	HT175.	Cámara:	TiS20-11120124 (9Hz)

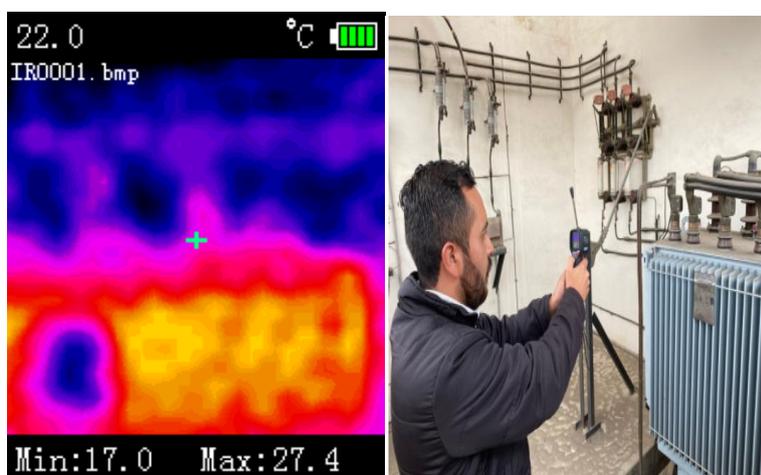


Fig. 17 Medición Termográfica

Mediante el análisis termográfico efectuado al transformador en las instalaciones del SECAP-Ambato se puede apreciar puntos calientes que reflejan temperaturas entre los 17,0 °C y los 27,4 °C esto se debe al deterioro en las instalaciones y la falta de mantenimiento preventivo.

2.14 Estado actual de las instalaciones.

En el siguiente diagrama se muestra la distribución de cargas a partir del levantamiento de información, las fuentes de alimentación del SECAP-Ambato. De esta manera se puede

identificar las áreas en estudio. Se ha tomado todas las cargas conectadas a cada transformador.

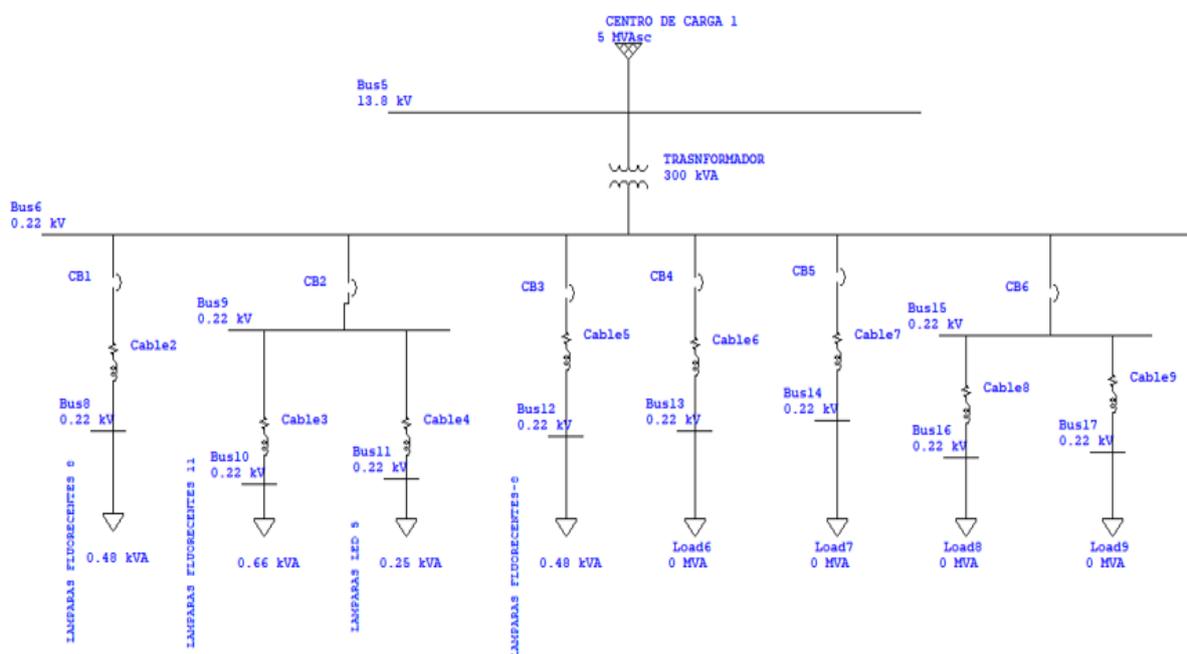


Fig. 18 Fuentes de alimentación SECAP-Ambato

Las instalaciones eléctricas se encuentran distribuidas desde el tablero de distribución principal que divide en varios circuitos los mismos que alimentan a los laboratorios y talleres, en el análisis realizado se puede tomar en consideración la falta de estudios para la correcta distribución del sistema eléctrico esto ocasiona problemas en el suministro, así como también calentamiento en los conductores y fallas frecuentes en algunos laboratorios donde la carga es alta debido al consumo eléctrico.

2.15 Pliego Tarifario

Para la implementación del sistema de eficiencia energéticas debe realizar un análisis histórico de los consumos eléctricos y cargas generadas desde el año 2015 hasta en 2020, La recopilación de estos datos es fundamental para el análisis económico y posteriormente proyectar alternativas que reduzcan el consumo.

Tabla 10. Histórico de consumo eléctrico 2015-2020 SECAP-Ambato

MES	2015		2016		2017		2025		2019		2020	
	Consumo (KWh)	Tarifa (\$)										
Enero	7200	725,77	7800,00	770,00	8400,00	811,78	10200,00	1017,51	10800,00	1134,78	8400,00	882,02
Febrero	8400	836,95	6000,00	611,31	7200,00	712,27	8400,00	845,11	10800,00	1014,34	6600,00	814,84
Marzo	8400	836,95	6600,00	660,84	7200,00	685,46	9600,00	974,57	10200,00	900,57	5400,00	588,76
Abril	7800	777,87	6600,00	635,39	5400,00	497,91	7200,00	717,20	9000,00	925,83	3600,00	325,42
Mayo	8400	836,95	6600,00	659,78	5400,00	495,93	7800,00	801,92	7800,00	772,78	3600,00	269,32
Junio	7800	777,87	6600,00	684,71	9000,00	885,61	10200,00	1047,38	9600,00	1014,58	3000,00	331,23
Julio	8400	836,95	7200,00	759,62	9600,00	934,51	12000,00	1165,88	10800,00	1049,64	3600,00	277,72
Agosto	7800	777,87	7800,00	763,04	9600,00	954,16	11400,00	1144,17	10200,00	1076,57	3600,00	268,59
Septiembre	6600	659,59	7800,00	762,33	9600,00	911,99	10800,00	1083,84	10200,00	1007,09	3600,00	333,31
Octubre	7200	777,87	6000,00	585,95	6600,00	691,73	9600,00	969,52	6600,00	712,70	3600,00	365,49
Noviembre	6000	600,59	6600,00	662,11	9000,00	908,27	9000,00	923,82	5400,00	581,88	3000,00	326,57
Diciembre	6000	600,59	7800,00	761,25	8400,00	871,19	8400,00	846,22	6600,00	654,66	3000,00	249,58
TOTAL	90000	9038,82	83400,00	8316,33	95400,00	9360,81	114600,00	11537,14	108000,00	10845,42	51000,00	5025,85

La Tabla 10. presenta el histórico de consumo eléctrico donde se puede apreciar incrementos y disminución debido principalmente a la emergencia sanitaria sin embargo en los años 2015 hasta el 2018 se puede tomar en referencia el comportamiento histórico en el consumo eléctrico el sistema presenta algunas novedades es el caso de los meses correspondiente entre marzo y septiembre donde el consumo llega al punto máximo esto ocasiona pagos elevados en la tarifa dando como resultado penalidades por facto de potencia.

Estos valores analizados dan a conocer la falta de un análisis energético y de esta manera llegar a brindar soluciones y alternativas que disminuyan la tarifa eléctrica.

2.15.1 Consumo eléctrico (kW/) 2015-2020

Mediante en siguiente análisis se toma en consideración el consumo (kW) correspondiente entre el periodo 2015-2020.

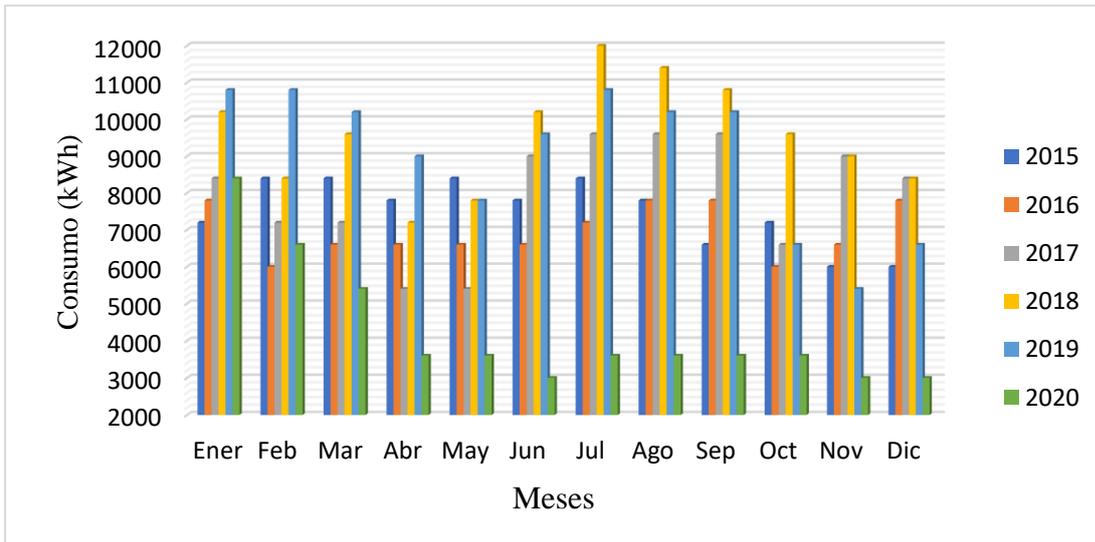


Fig. 19 Consumo (kW) 2015-2020

El consumo generado a lo largo de los cinco años refleja que existe una tendencia de altos consumos eléctricos lo que ha generado penalidades por factor de potencia sin embargo al tomar en referencia el tipo de transformador y la potencia es visible que el equipo puede abastecer mayor carga.

El consumo acumulado en el transcurso de los años permite visualizar como la carga no disminuye pese a que en los últimos periodos el sistema eléctrico no consume la carga habitual debido a la emergencia sanitaria esto nos da una alerta que el sistema tiene perdidas y refleja en la tarifa eléctrica.

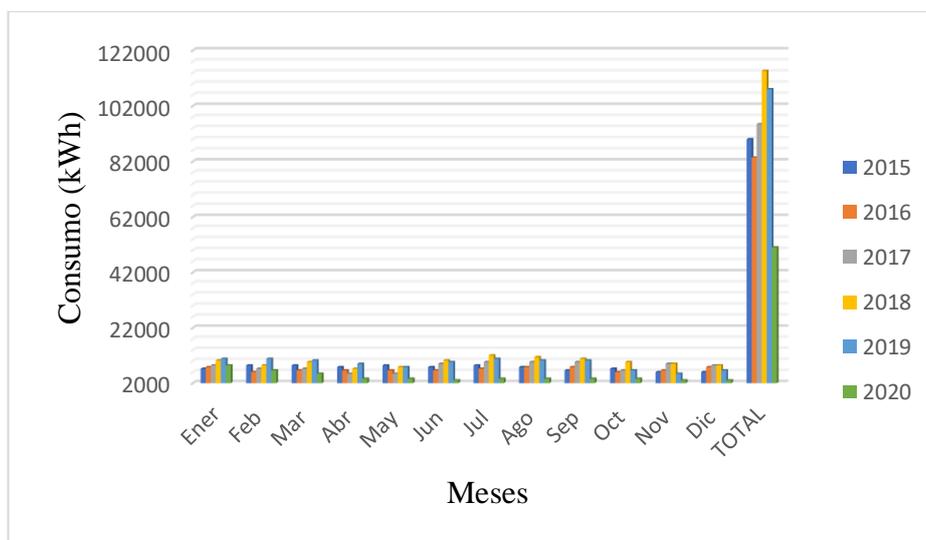


Fig. 20 Consumo total entre los periodos 2015-2020

El análisis del consumo aculado se visualiza la variación comprendía entre los periodos 2015- 2020 las cargas son uniformes considerando que los dos últimos periodos los equipos no trabajan a su capacidad habitual.

2.15.2 Tarifas Eléctricas (kW) 2015-2020

Uno de los aspectos importantes al realizar análisis energético es el tener una percepción de las tarifas generadas por consumos en el caso de este estudio se toma en referencia la tarifa eléctrica al ser el único vector existente.

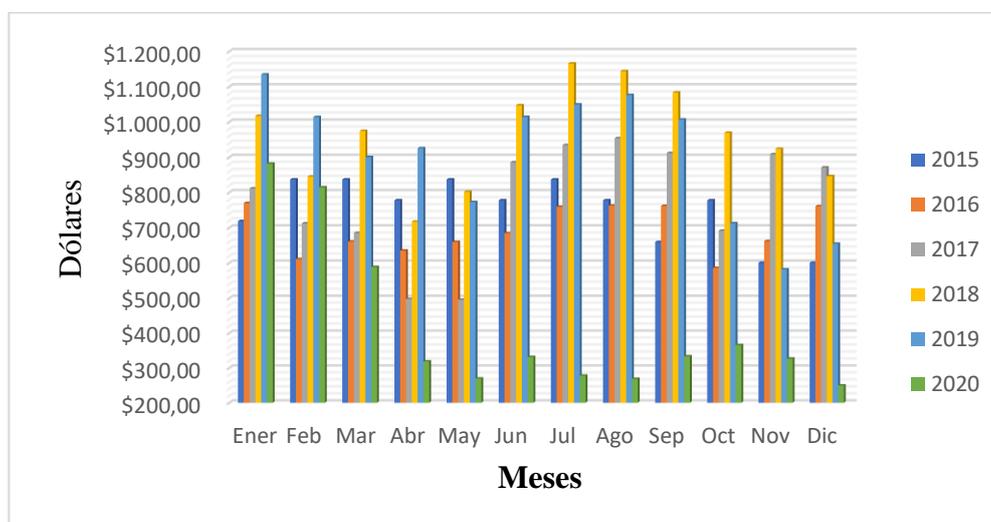


Fig. 21 Tarifas (\$) 2015-2020

La tarifa eléctrica comprendida en los periodos del 2015-2020 reflejan meses con mayor tarifa esto se debe principalmente a que en los meses de enero, julio, agosto y septiembre se realizan la mayor cantidad de prácticas y por ende se utilizan los laboratorios y talleres. En la tarifa acumulada se pudo observar que existen altos costos de consumo uno de los principales factores se debe a penalidades por factor de potencia.

2.15.3 Muestra Mensual de tarifa y consumo eléctrico

Se toma como referencia el mes de mayor consumo para realizar el análisis de carga y posterior estudio energético.

Tabla 11. Muestra consumo mensual

Mes de mayor consumo eléctrico (kWh)	10200
Costo de la tarifa mes de mayor consumo (\$)	1.076,57

Esta muestra nos permite analizar el mayor consumo (kW) y por consiguiente la tarifa con este escenario se puede tomar en consideración medidas que permitan mejorar y tener un sistema más eficiente.

2.16 Escenario No. 1 Análisis de la demanda proyectada sin mejoras energéticas.

En el periodo de corto plazo a un tiempo de 3 años, se plantea el mejoramiento energético, mediante las propuestas de mejora que se plantean en el estudio, las mismas que permitirán corregir ciertos factores que determinen el consumo excesivo y control de calidad energética a futuro.

A continuación, se presentan la demanda y tarifa eléctrica. Donde la línea color azul representa la tendencia de crecimiento desde el año 2015-2020, la línea tomate hace referencia a una previsión en el lapso de 3 años sin considerar mejoras en el sistema eléctrica.

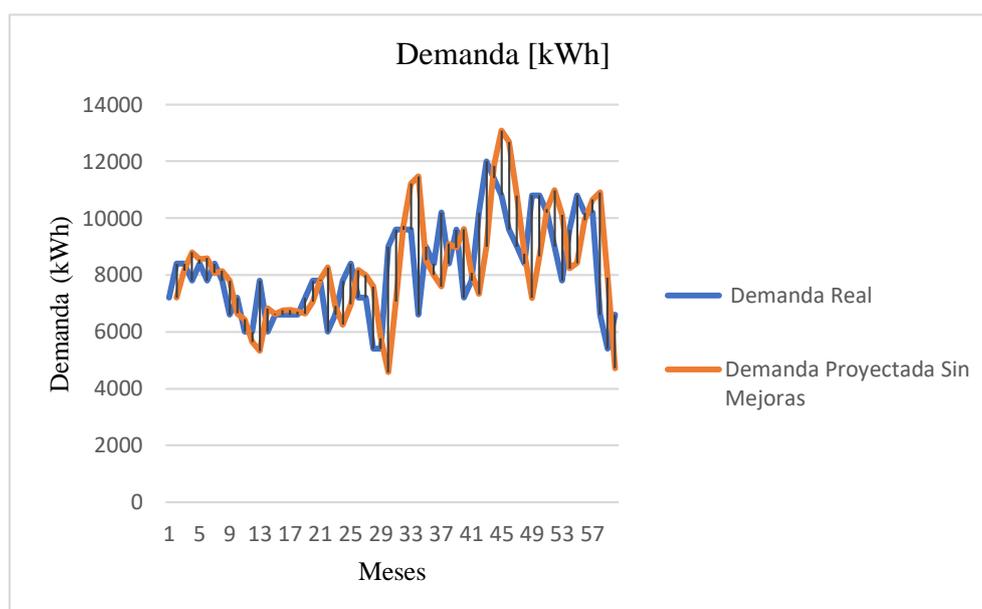


Fig. 22 Demanda Proyectada Sin Mejoras

Por otro lado, se presentan proyecciones relacionados con el análisis económico. Donde la línea color azul representa la tendencia de crecimiento desde el año 2015-2020, la línea tomate hace referencia a una previsión en el lapso de 3 años sin considerar mejoras en el sistema eléctrica. Cabe recalcar que la curva se mantiene lo que genera tarifas elevadas.

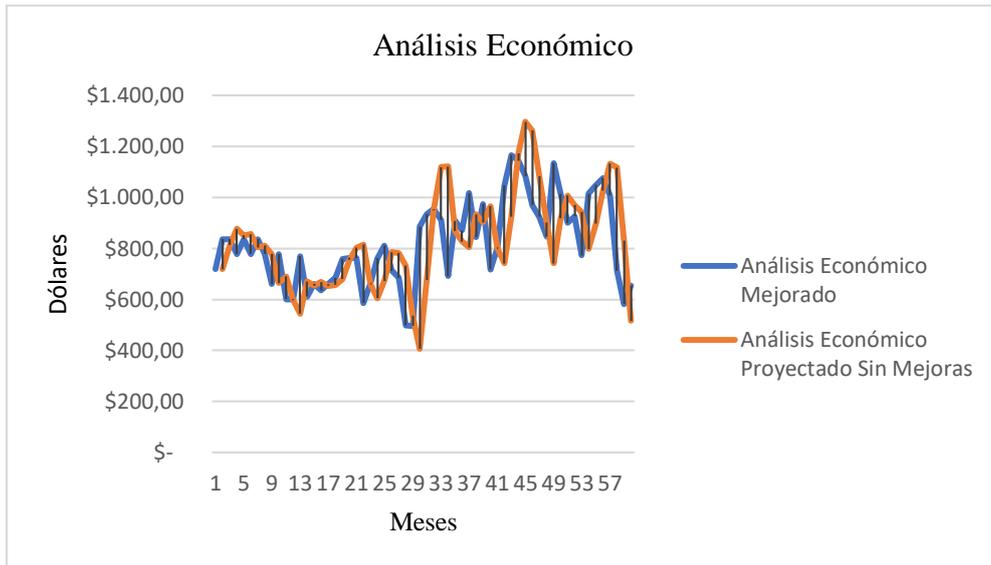


Fig. 23 Tarifas Proyectada Sin Mejoras

2.17 Evaluación del sistema en tiempo real.

Se realiza el registro de medición obtenida con el analizador durante la toma de registro de las fuentes colocadas en las instalaciones de SECAP-AMBATO como indica la tabla resumen, es necesario mencionar que no se trabaja a plena carga por motivos de la emergencia sanitaria.

Función	L1N(V) / L1(A) Máx.	L2N(V) / L2(A) Máx.	L3N(V) / L3(A) Máx.	LNG(V) / N(A) Máx.	Total Máx.
Tensión	131,66 V	131,34 V	131,44 V	0,06 V	
Corriente	9 A	10 A	14 A	3 A	
Tensión de Pico	186,5 V	186 V	188,1 V	0,2 V	
Corriente de Pico	26 A	34 A	32 A	6 A	
Factor Cresta Tensión	1,42	1,42	1,44	327,67	
Factor Cresta Corriente	327,67	327,67	327,67	327,67	
Tensión de Medio Cido	131,67 V	131,35 V	131,48 V	0,06 V	
Corriente de Medio Cido	10 A	12 A	15 A	4 A	
Potencia Activa	1 kW	1 kW	0,3 kW		2,2 kW
Potencia Aparente	1,2 kVA	1,3 kVA	1,9 kVA		4,3 kVA
Potencia Reactiva	-0,6 kvar	-0,7 kvar	1,6 kvar		0,2 kvar
Factor de Potencia	0,85	0,79	0,17		0,56
DPF	0,99	0,93	-0,44		0,92
Frecuencia					60,041 Hz
Factor K A	13,57	10,17	19,26	22,51	
THD V	1,6%	1,73%	1,72%	309,95%	
THD A	61,96%	70,09%	327,67%	73,53%	
THD W	0,4%	0,56%	11,8%		
Plt					
Pst					
Desequilibrio Vn					0,3%
Desequilibrio Vz					0,06%
Desequilibrio An					276,43%
Desequilibrio Az					227,65%

Fig. 24 Resumen registro de datos del transformador de 500 Kva

2.18 Arquitectura, diseños, planos detallados de la propuesta.

Una vez levantada la información de la SECAP-Ambato se realiza una simulación mediante el software ETAP el cual nos permite tener un panorama real de cómo está el estado actual de las instalaciones eléctricas.

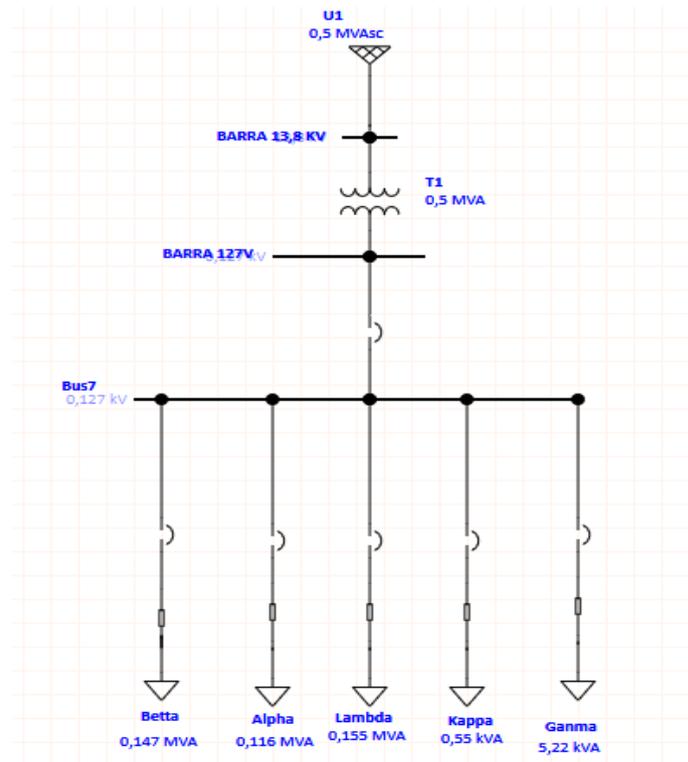


Fig. 25 Diagnostico de Fuentes de alimentación SECAP-Ambato

La simulación muestra un análisis de las cargas resistivas, inductivas y capacitivas las cuales están conectados al transformador principal de 500 kVA, analizando dichos parámetros se observa los siguientes factores:

- El transformador es un equipo antiguo el cual no ha tenido mantenimiento preventivo ni correctivo.
- Las luminarias incandescentes generan perturbaciones y a su vez su baja eficiencia genera consumos en las tarifas.
- El sistema presenta armónicos en la onda 3 y 7 mayormente generados por el tipo de lámparas instaladas en las instalaciones
- La distribución del sistema eléctrico presenta desbalances generando una carga mayoritaria en la sección KAPPA.

En la siguiente gráfica se representa los el análisis y simulación de las instalaciones eléctricas considerando las mejoras para estabilidad y mejor funcionamiento del sistema.

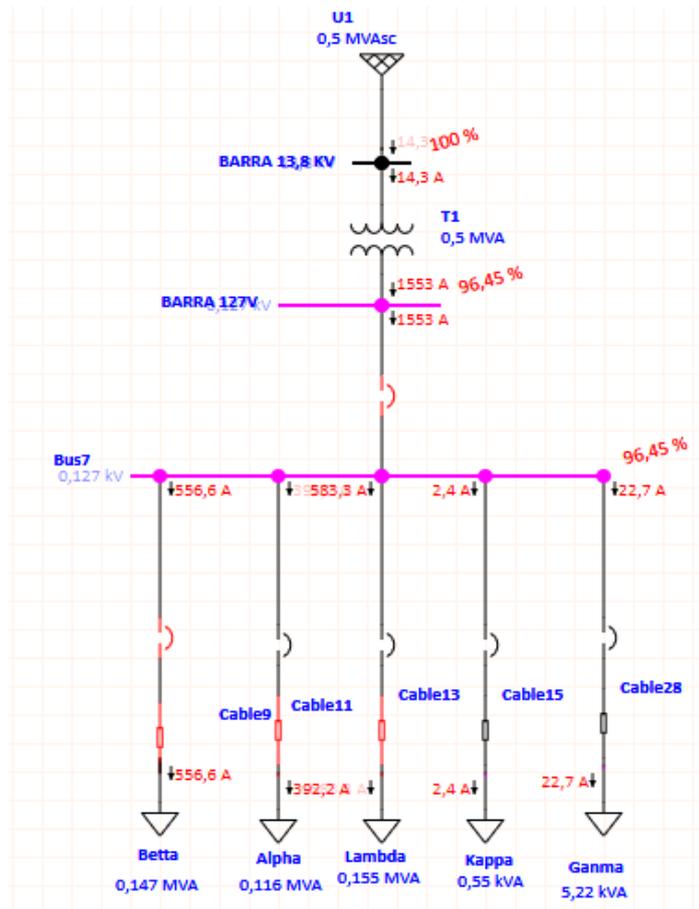


Fig. 26 Fuentes de alimentación SECAP-Ambato

2.19 Análisis de las cargas

De acuerdo a los datos obtenidos por el analizador de redes se interpreta la siguiente graficas correspondiente a las cargas generadas.

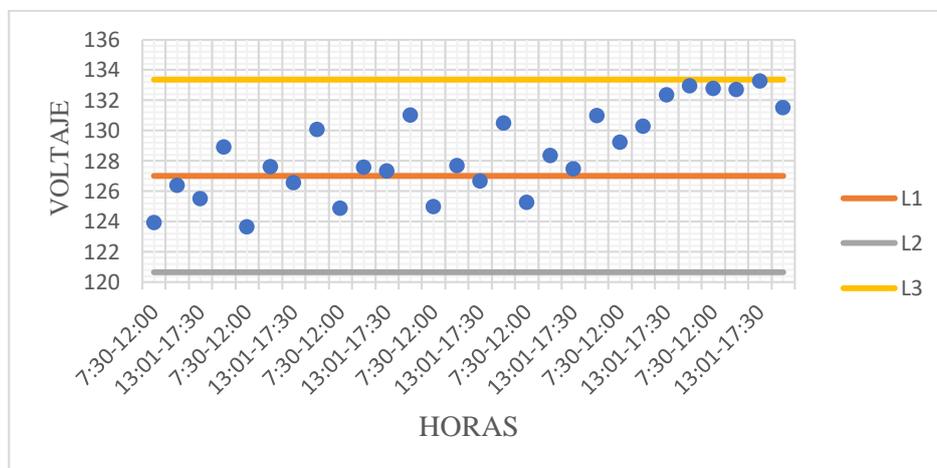


Fig. 27 Análisis de la carga

Mientras se realizó el análisis energético se pudo identificar que existe un desbalance en las cargas lo cual se ve reflejado en el analizador tomando en consideración que las líneas L2 y L3 se encuentran fuera de los parámetros normales.

2.20 Redimensionamiento de cargas lumínicas.

El 72,8 % de las luminarias existentes son obsoletas debido principalmente a que son tecnologías deficientes como lámparas incandescentes y fluorescentes; el cambio a tecnología led ofrece una alternativa eficiente que las tecnologías utilizadas con un consumo inferior, adicionalmente brinda una mejor calidad de energía debido a que las lámparas incandescentes y fluorescentes contribuyen a la distorsión armónica en la red.

Las cargas generadas con las luminarias instaladas actualmente presentan consumos elevados principalmente por el uso de sistemas tradicionales (lámparas florecientes), se puede constatar que el cambio a sistemas modernos es muy bajo con un 3.12%.

Tabla 12. Luminaria actual

Luminaria	Nro. De Luminarias	Consumo Total [W]	Porcentaje de consumo [%]
F2X25W T12	837	20925	78,62
F150W T12	7	350	1,82
F32W T12	96	3072	16,03
Led15W	45	675	3,52

La Tabla 12. presenta el cálculo total de las lámparas instaladas el consumo y el porcentaje representado se puede notar que el 96,48% de lámparas instaladas son del tipo tradicional y a la vez no cumplen con las especificaciones técnicas de luminosidad.

2.20.1 Comparación de sistemas lumínicos tradicionales y actuales.

Mediante la siguiente tabla se demuestra una comparación entre potencia y luminosidad donde se analiza el escenario actual y se realiza una propuesta de cómo se visualizaría al migrar los sistemas de luminarias a tecnologías actuales.

Tabla 13. Comparación luminaria actual vs propuesta

LUMINARIA ACTUAL			LUMINARIA PROPUESTA		
Luminaria	Potencia	Lúmenes	Luminaria	Potencia	Lúmenes
F2X25W T13	25W	217	LEDs SMD	5W	249
F150W T13	150 W	1326	LEDs	18W	1505
F32W T13	32W	410	LEDs SMD	5W	470

2.21 Conclusiones Capítulo II.-

- Mediante el análisis de los instrumentos de medición permiten llevar un registro de datos y mediciones que evidencian los factores energéticos del SECAP-Ambato.
- Uno de los principales factores evidenciados son la falta de mantenimiento correctivo y preventivo en el transformador principal, el cual genera problemas en el sistema de distribución de las áreas Ganma, Betta, Alpha, Lambda, Kappa el mismo que representa un factor en el correcto funcionamiento.
- Los resultados obtenidos con el analizador comparados con los datos arrojados en la simulación en base a las mejoras de los equipos presentan varias diferencias principalmente al incluir en el sistema bancos de capacitores que permitan controlar el ángulo de potencia.
- La norma IEC 61000-4-7 permiten obtener llevar una guía rápida y técnicas de medición acorde a los equipos instalados en el campus para tener una mejor evaluación de los mismo durante la inspección de auditoria energética.
- El levantamiento de información de pliego tarifario permite analizar el comportamiento económico y mediante el análisis del método de Holt Winter se aprecia que si no se realizan mejoras el costo de la tarifa tiende a subir y mantenerse con penalidades por factor de potencia.
- De los análisis se puede mencionar que en la red conectada al transformador obtenemos que una de las redes esta sobrecargada por lo que se debería realizar un estudio y análisis de cargas. Además de un mantenimiento en la cámara de transformación ya que este sistema se encuentra en deterioro.

CAPITULO III

Capítulo III. Aplicación y validación de la propuesta

3.1 Análisis de Resultados

Las mediciones y simulaciones de las instalaciones eléctricas del SECAP-Ambato, son mecanismos viables, que facultan generar un sistema de gestión y ahorro energético enfocados a los principales sistemas energéticos, como es iluminación y el mejoramiento de la red eléctrica, con el objetivo de brindar una propuesta de soluciones técnicas y económicas, En las mediciones realizadas se pudo establecer los siguientes parámetros que causan problemas energéticos.

3.1.1 Mediciones del Sistema eléctrico

Al realizar el análisis correspondiente en el sistema eléctrico se puede apreciar que el factor de potencia en ciertos meses del año cuando el consumo energético tiende a crecer genera valores inferiores a los valores establecidos lo cual genera sanciones. Por lo cual el SECAP-Ambato ha incurrido en multas. En el estudio se aprecia armónicos en la red principalmente debido a varios equipos de laboratorios y el uso del 78% de lámparas fluorescentes.

3.1.2 Sistemas de Iluminación

El resultado del análisis generado muestra que los sistemas de iluminación son deficientes debido a que la tecnología empleada es obsoleta y no cumplen los estándares mínimos como es el caso de la luminosidad donde el mínimo de luxes para el entorno educativo debe oscilar entre los 500 y 700 luxes, por otra parte, generan armónicos que conllevan a generar problemas con el factor de potencia.

Finalmente, todos estos aspectos provocan altos costos la tarifa eléctrica esto se puede apreciar mediante el análisis con el método del Hold Winters que demuestra que la proyección de gastos por consumo eléctrico tiende a crecer si se mantiene los estándares actuales.

3.1.3 Balance de las cargas de distribución

Existe un desbalance notable en los sistemas de distribución que al realizar el análisis en la red se pudo comprobar que la red 2,3 se encuentran desbalanceadas esto debido a que no se realizaron estudios previos para el rediseño eléctrico debido al incremento de equipos y

maquinas rotatorias en el transcurso del tiempo a su vez el sistema eléctrico presenta problemas en las conexiones esto se puede apreciar gracias al análisis con la cámara termográfica que presenta puntos calientes esto da como resultado pérdidas energéticas.

3.2 Mantenimiento del Sistema Eléctrico

Para mejorar la eficiencia energética en el presente estudio se ha realizado un cálculo de costos de mantenimiento el mismo que comprende mantenimientos correctivos e inspecciones que garanticen el correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas y por ende reflejar ahorros en las tarifas y mejoras de la calidad de energía.

Tabla 14. Costo de Mantenimiento

Equipo	Tipo de mantenimiento				Costo
	N°	Actividad	Preventivo	Correctivo	
Transformador de 500kVA	1	Inspección visual de la pasa tapas/aisladores y pararrayos en busca de rajaduras, grado de limpieza y contaminación	x		\$180,00
	2	Inspección de todos los medidores que posea el transformador junto con los pasa tapas tanto de alta como de baja tensión. Revise la existencia de fugas de aceite del tanque, uniones y tuberías.	x		\$50,00
	3	Revisión de aislamientos/potencia de aislamiento	x		\$150,00
	4	Analizar las puestas a tierras	x		\$200,00
	5	Revisión o ajustaje de pasa tapas, medidores, cableado (malos contactos, conexiones rotas o corroídas).	x		\$300,00
	6	Revisión pararrayos	x		\$100,00
	7	Ajuste de pernos, empaqueturas en mal estado, conexiones en mal estado		x	\$150,00
	8	Otros		x	\$100,00
	9	Limpieza polvo	x		\$200,00
	10	Limpieza maleza	x		\$50,00

	3	Revisión de aislamientos/potencia de aislamiento	x		\$150,00
	10	Inspección de tierras	x		\$200,00
	11	Revisión o ajuste de pasa tapas, medidores, cableado (malos contactos, conexiones rotas o corroídas).	x		\$200,00
	12	Revisión pararrayos	x		\$75,00
	13	Ajuste de pernos, empaqueturas en mal estado, conexiones en mal estado		x	\$100,00
	14	Otros		x	\$100,00
Repotenciación de motores de tornos (Arranque, control de velocidad)	15	Instalación de variadores		x	\$300,00
	16	Revisión de bornes principales		x	\$100,00
Total					\$2.725,0

Después de analizar las acciones de mantenimiento se tiene tener una noción del costo aproximado para mejorar las instalaciones eléctricas, así como también brindar generar ahorros por planillas esta estimación se basa en un mantenimiento correctivo y preventivo.

Tabla 15. Costos Mantenimiento

Equipos	Actividad	Costos
Conectores	Ajuste de conectores	\$150,00
Puntos Calientes	Reajuste de puntos calientes	\$200,00
Tablero de distribución	Instalación Tablero de distribución	\$300,00
Total		\$650,00

3.3 Análisis de corrección de factor de potencia

Para mejorar el factor de potencia de un receptor trifásico equilibrado inductivo (99% de los receptores industriales) hay que colocar en paralelo al receptor una batería de condensadores conectados en estrella o en triángulo. A continuación, se detalla el cálculo correspondiente para la selección del banco de capacitores.

Tabla 11. Corrección del factor de potencia

Factor de potencia Inicial	Factor de Potencia	Capacitor a Instalar
$P = 46454 \text{ W}$ $\cos \varphi = 0,6$	$\varphi = 0,95$	$30\mu\text{F}, 30\mu\text{F}, 15\mu\text{F}, 15\mu\text{F}$

En la Tabla 11. se analiza el valor del condensador el mismo que permitirá corregir el factor de potencia por consideraciones técnicas es recomendable utilizar un sistema de condensadores automáticos tipo RDC.

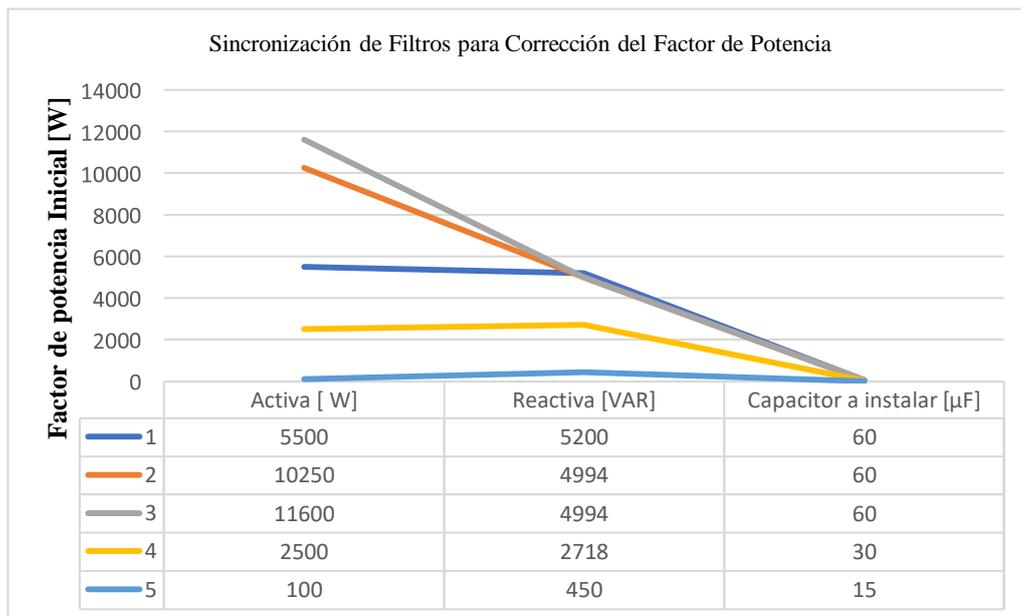


Fig. 28 Corrección factor de potencia

Debido a que el factor de potencia inicial varía de acuerdo a la carga no se activan al mismo tiempo todos los capacitores por este motivo se deben sincronizar paulatinamente de hasta corregir la carga máxima instalada.

El orden de activación varía con una combinación automática de cuatro capacitores de esta manera se puede combinar dos capacitores $15[\mu\text{F}]$ y dos capacitores de $30[\mu\text{F}]$, este sistema es controlado automáticamente por el módulo de filtros H5.

3.3.1 Filtro híbrido para corrección de armónicos.

El filtro híbrido es un dispositivo que permite reducir la amplitud de los armónicos en un amplio rango de armónicos en corriente y en tensión que permite pasar la tasa de distorsión

en tensión del 12,6% al 4,47%. Tiene también el efecto de pasar el factor de potencia de la instalación de 0,67 a 0,87.

Tabla 16. Selección de filtro híbrido.

Distorsión Armónica	Factor de Potencia	Tipo de Filtro
3er, 5to	$\varphi = 0,87$	H5
	$\varphi = 0,67$	Hibrido

En la Tabla 16. se toma en consideración el uso de un filtro tipo híbrido como medida para contrarrestar armónicos producidos por los sistemas de iluminación.

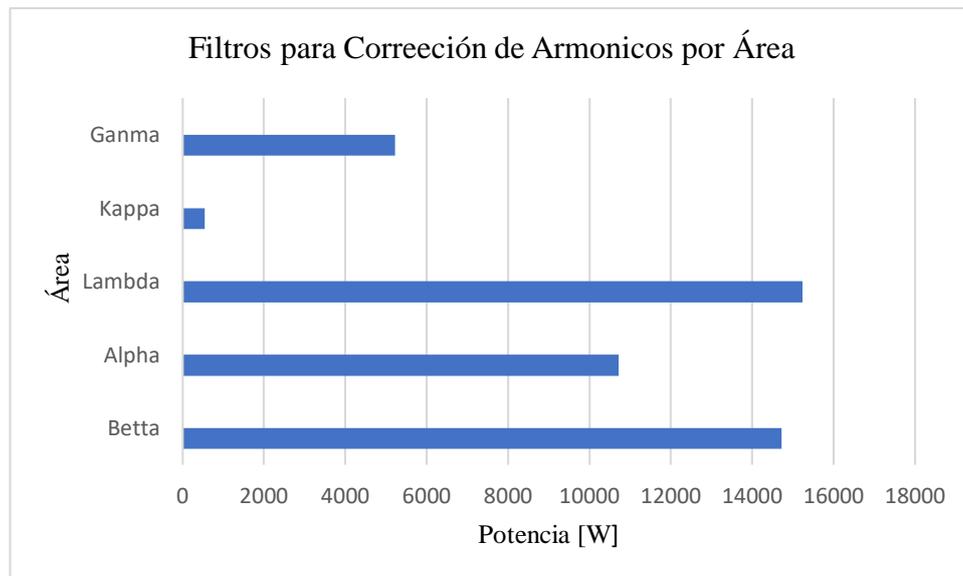


Fig. 29 Activación de filtros para armónicos

Esta solución permite resolver todos los problemas generados por los armónicos en 3 y 5 generados principalmente por luminarias del tipo LED. Se recomienda el uso de filtro híbridos en los tableros principales donde existe mayor distorsión armónica.

3.3.1 Comparación de la eficacia de filtros híbridos

El objetivo del dispositivo es compensar la energía reactiva en presencia de armónicos y la neutralización de los armónicos susceptibles de perturbar la instalación. La solución es la instalación de un filtro híbrido compuesto por un filtro pasivo sintonizado con la frecuencia del armónico preponderante (H5) que suministra la energía reactiva necesaria para el tratamiento de los otros órdenes de armónicos.

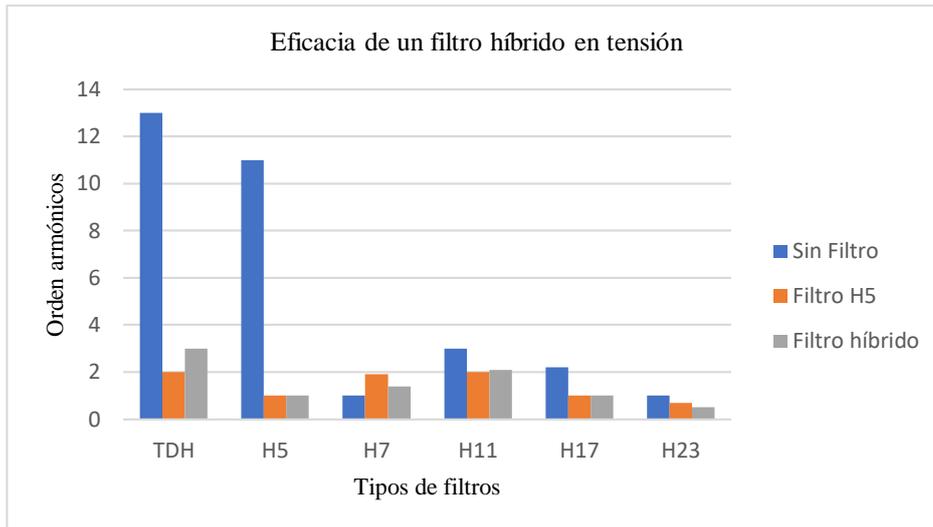


Fig. 30 Eficacia de un filtro híbrido en tensión

Las medidas, después de instaladas, indican que este dispositivo permite reducir la amplitud de los armónicos en un amplio rango de armónicos en corriente y en tensión y hace pasar la tasa de distorsión en tensión del 12,6% al 4,47%.

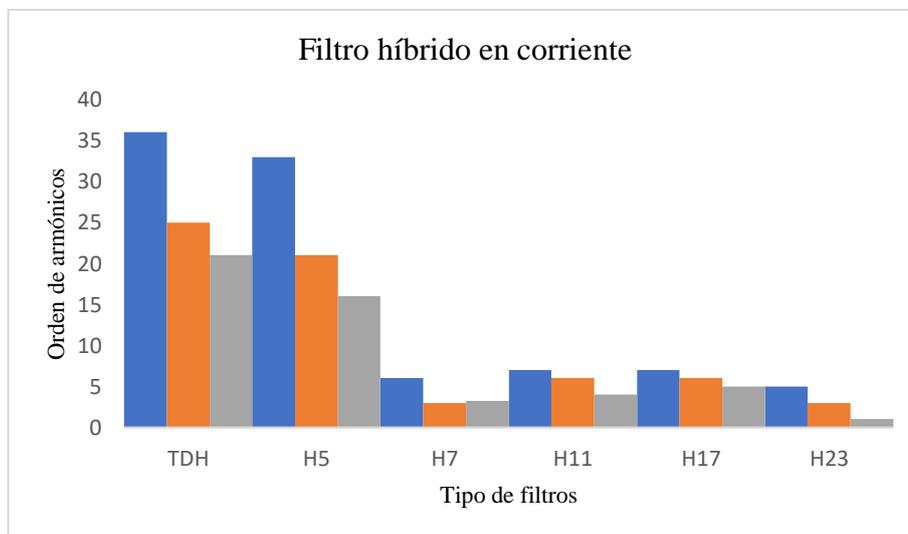


Fig. 31 Filtro híbrido en corriente

La solución aplicada es la instalación de un filtro híbrido compuesto por un filtro pasivo sintonizado con la frecuencia del armónico preponderante (H5) que suministra la energía reactiva necesaria (188 kVAR) y por un filtro activo utilizado para el tratamiento de los otros órdenes de armónicos.

3.3.2 Presupuesto del sistema de corrección de factor de potencia.

El sistema de corrección, se enfoca en la instalación de un banco de capacitores con cerebro de control autoajutable de 60 μ F y 15 μ F modelo M4M de la marca ABB con su tablero

de distribución correspondiente para la adaptación a las mediciones del transformador de 500kVA.

Tabla 17. Costo implementación banco de capacitores

Descripción	Marca	Costo
Banco de capacitores con cerebro de control autoajustable	Gabinete NEMA 12 y Medidor ABB	\$ 1126,40

La Tabla 17. muestra una alternativa que permita la corrección del factor de potencia este sistema cerebro control permite activar los capacitadores de acuerdo al factor de potencia ajustando los parámetros de acuerdo a la normativa y evitando penalidades.

Tabla 18. Costo implementación filtro híbrido

Descripción	Marca	Costo
Equipo Rectiphase de filtrado híbrido	MerlinGerin	\$ 1200,40

En la Tabla 18. se toma como alternativa el uso de un filtro híbrido esto con la finalidad de mitigar efectos producido con las luminarias lo cual genera distorsión en las ondas 3 y 5.

3.4 Distorsión Armónica Rectificada

El estudio de armónicos de corriente nos revela problemas en las ondas tres, cinco y siete las posibles soluciones son las siguientes:

1. Colocar un analizador o registrador de la calidad de la electricidad para registrar los datos y verificar los equipos que generan las distorsiones.
2. Empleo de filtros para reducir las armónicas indeseables.

En muchos casos reducir o eliminar los armónicos en el punto de origen resulta el método más efectivo sin embargo también es recomendable utilizar filtros híbridos y tipo H en los tableros principales de distribución.

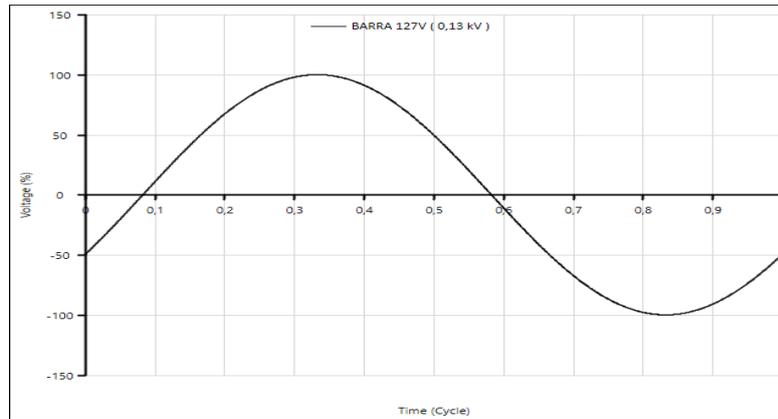


Fig. 32 Distorsión armónica rectificada

Mediante la aplicación de filtros se puede visualizar en la Fig. 32 como se mejora notablemente la onda sinusoidal eliminando armónicos que distorsionan el sistema se toma en consideración filtros automáticos que permiten controlar desde el origen las perturbaciones generadas en el sistema eléctrico.

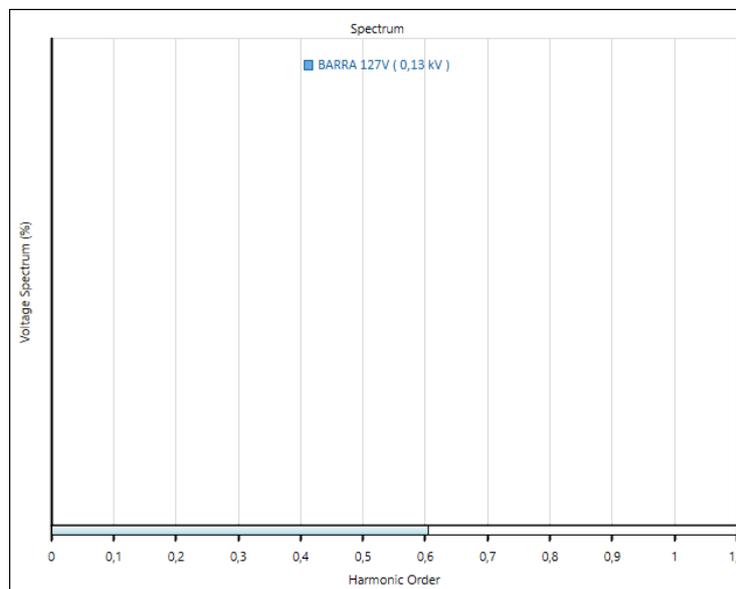


Fig. 33 Espectro de Voltajes

Al analizar el valor de los voltajes permisibles analizando los armónicos se puede notar que los datos simulados corrigen las distorsiones y de esta manera generan una onda que cumple con las características y normativas establecida para el correcto funcionamiento.

3.4.1 Análisis de la proyección del SE en ETAP

Al analizar la simulación tomamos en referencia como quedaría establecida la nueva variación considerando las correcciones y factores de crecimiento en la demanda.

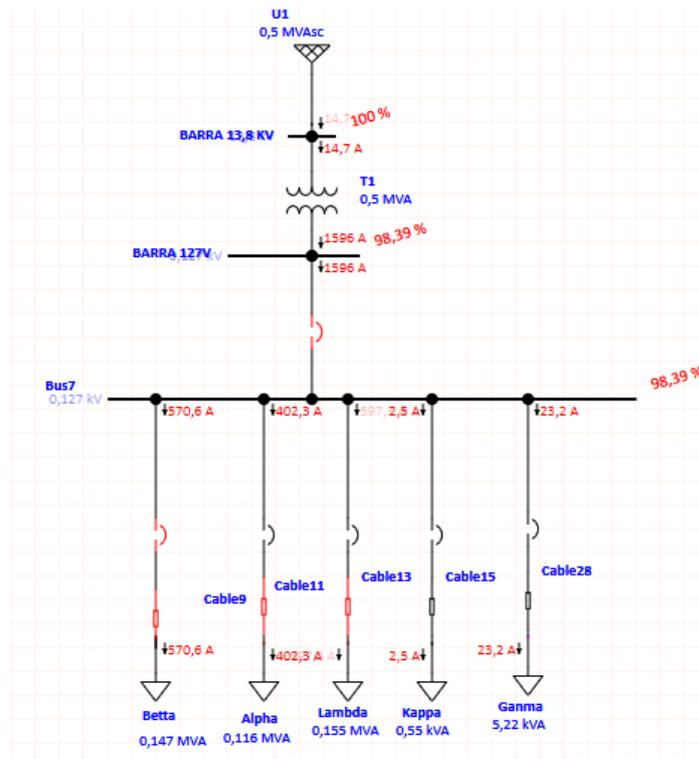


Fig. 34 Análisis sistema eléctrico

La Fig. 34 permite tener una apreciación de como el sistema se apreciaría con el uso de filtros y propuestas mejoradas de esta manera a continuación se muestra una tabla donde podemos analizar las variaciones con el diseño mejorado.

Tabla 19. Variación del SE

Barra	Voltaje Nom. (kV)	Variación anterior (%)	Variación nueva (%)
1	13,8	0	0
2	0,22	11,3	6,1
3	0,22	0,67	7,8
4	0,22	11,2	6,2
5	0,22	22,1	13,2
6	0,22	1,8	9,5

En la Tabla 19. se considera como se proyectaría la variación esto con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento a largo plazo.

3.5 Análisis económico sin mejoras en el sistema eléctrico principal.

El siguiente análisis brinda datos económicos considerando continuar sin las mejoras propuestas esto genera como resultado mantener gastos elevados.

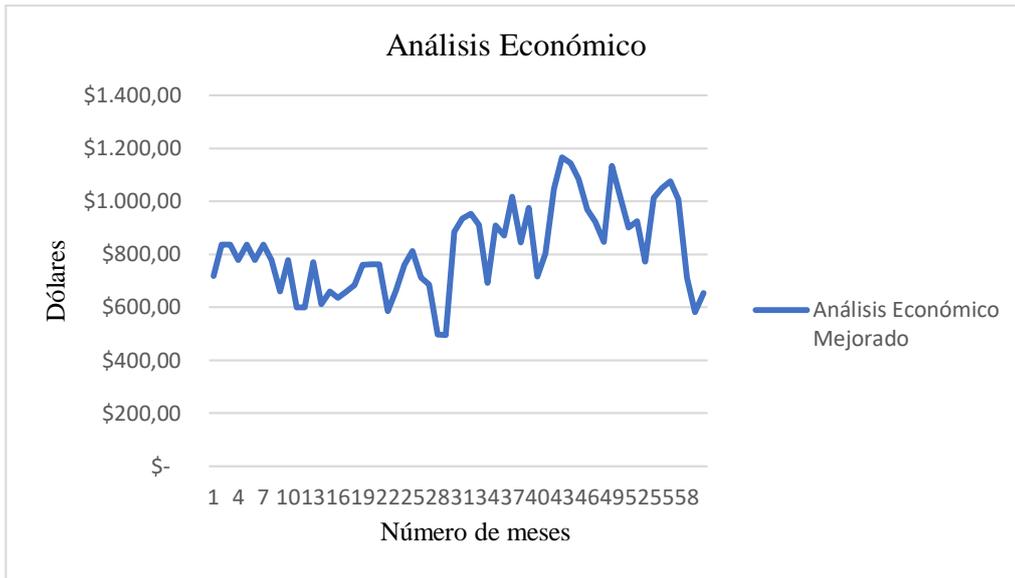


Fig. 35 Análisis Económico sin Mejoras

En el presente análisis económico muestra como el costo de energía eléctrica tiende a crecer en ciertos meses principalmente cuando se activan las cargas en las diferentes secciones del SECAP-Ambato sin embargo en los incrementos es cuando existen la mayor facturación debido principalmente a la falta de mejoras en el sistema eléctrico y también las penalidades que son resultado de la falta de corrección del factor de potencia.

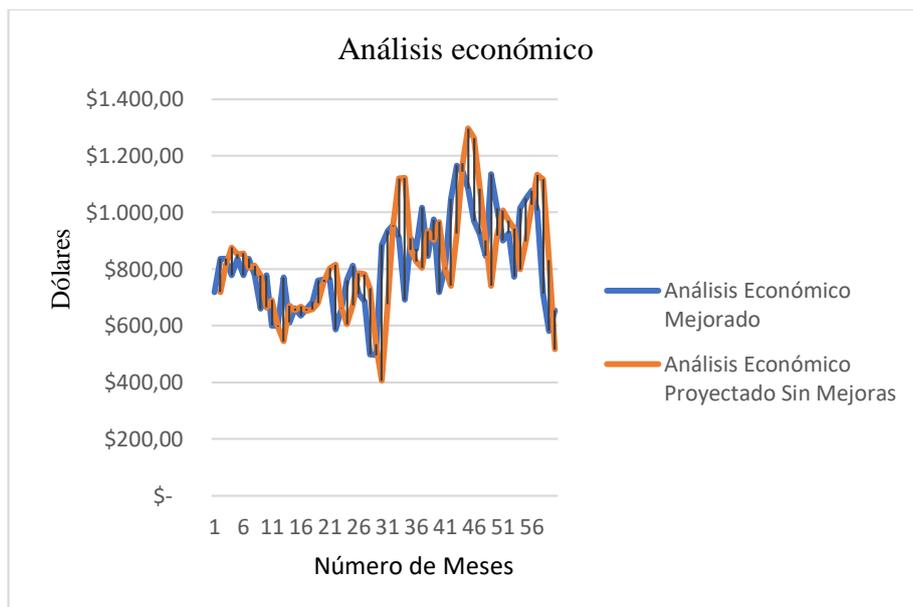


Fig. 36 Análisis Económico con Mejoras

En la Fig. 36 se aprecia que si al realizar las mejoras sugeridas en se generara un ahorro energético significativo el mismo que al proyectar los gastos económicos reflejan disminución en el pliego tarifario.

3.6 Validación técnica -económica de los resultados:

Para la verificar la rentabilidad del proyecto propuesto se ha hecho un análisis económico donde se analiza el ahorro traducido en pagos de planillas por conceptos de penalidades por factor de potencia y disminución en la tarifa eléctrica.

Tabla 20. Propuesta de ahorro

Propuesta de ahorro	Ahorro mensual	Ahorro anual
Reemplazo de sistema de luminarias, mantenimiento de transformadores e implementación de regulador de factor de potencia.	\$ 126	\$ 1512

En la Tabla 20. se puede apreciar que tomando en consideración ciertos cambios y corrigiendo parámetros es posible tener un ahorro mensual por conceptos de tarifas y penalidades por factor de potencia.

3.7 Cambio de lámparas a LED

Se pretende reemplazar 940 lámparas tipo fluorescente por luminarias de tecnología LED, esta acción permitirá tener varios beneficios tanto económicos como técnicos se analiza la siguiente propuesta que valida un ahorro energético.

En la revisión técnica de las lámparas cotizadas se muestra un ahorro del 60% en tecnología LED. El consumo eléctrico es 39600 kWh promedio anuales, el valor del kWh según el pliego tarifario en Ecuador corresponde a USD 0,077 por lo tanto el consumo anual en iluminación se encuentra en un promedio de USD 3049,2, Por ello que se ha planteado dos alternativas:

Alternativa 1: No hacer ningún reemplazo de luminarias, en donde el consumo anualizado de energía es de 39600 kWh por año.

Costo Inicial = USD 0

Costos anuales = 39600 kWh (0,077 USD/kWh) = \$ **3049,2**

Vida útil de las luminarias = 2,85 años

Alternativa 2: Sustitución de luminarias tipo LED:

Costo inicial = \$ 1512

Costos anuales con el 60% de ahorro con lámparas LED = 23760 kWh (0,077 USD/kWh)
= \$ 1829,52

Vida útil de las luminarias = 5 años

Una vez analizado las alternativas técnicas y económicas podemos tener como referencia que el ahorro anual generado es de \$ 1219,68 el mismo que se considera un valor considerable y conlleva a tener un ahorro energético.

3.7.1 Diseño de luminosidad mediante tecnología LED

En la siguiente propuesta se realiza un diseño mediante el programa SINDIC el mismo que tiene objetivo presentar una alternativa para simular como el sistema de luminosidad mejora considerablemente reemplazando las lámparas tradicionales por tecnología tipo LED, a continuación, se presenta una simulación.

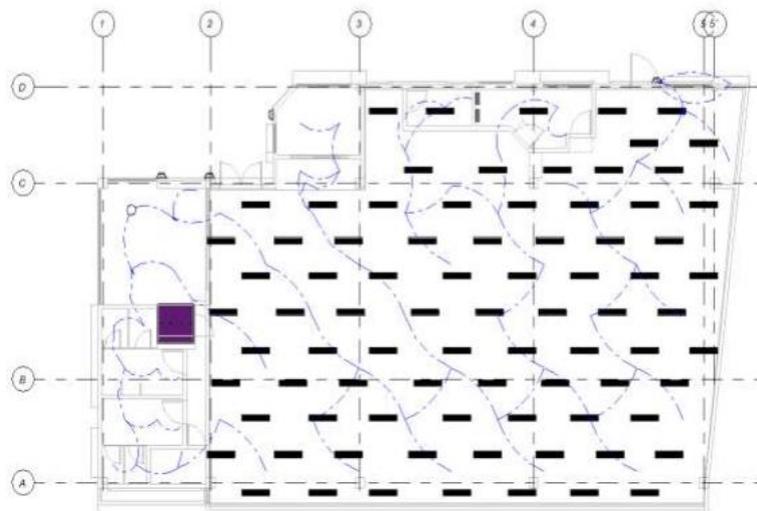


Fig. 37 Luminarias tipo LED

En la Fig. 37 se realiza un rediseño de luminosidad considerando la normativa NTE INEN 1 154 en cual indica que la iluminación en áreas industriales debe considerar el rango entre 85 a 100 lx se toma como ejemplo base el área de máquinas y herramientas con una simulación la misma que cumple los parámetros establecidos.

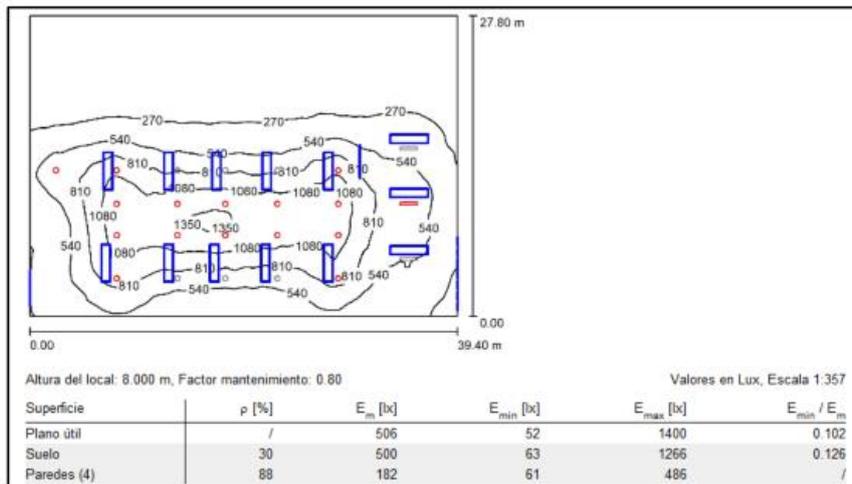


Fig. 38 Simulación Iluminación área Beta

Considerando las normativas vigentes y tomando en consideración el ahorro energético el rediseño propuesto cumple con las características establecidas de esta manera se garantiza una iluminación técnica y económicamente factible, se toma como base el diseño de iluminación del área BETTA considerando que en las demás áreas es necesario la realización de un rediseño en la iluminación principalmente por la deficiencia en la iluminación por uso de lámparas tradicionales y deterioro de las mismas.

Una vez analizado el valor económico y mediante estudio enfocado en una de las áreas de la iluminación del SECAP-Ambato se considera factible el estudio y rediseño de la iluminación en las áreas restantes con el objetivo que estas cumplan las normativas y parámetros establecidos en la normativa de esta manera se aporta al mejoramiento energético del mismo.

3.8 Conclusiones Capítulo III.-

- Aplicando la propuesta de mantenimientos se puede garantizar el funcionamiento adecuado de las instalaciones eléctricas además permitirá generar ahorro energético.
- Para corregir el factor de potencia se procede a colocar un banco de capacitores de 30 μF , μF para evitar el elevado factor de potencia y de esta manera eliminar multas por penalidades al no trabajar con los estándares y normativas establecidas.
- Al establecer los planes de ahorro energético con tecnología LED, en el periodo de corto plazo se maneja la reducción de kWh, además permitirá cumplir con los estándares acorde a lo que estipula el instituto ecuatoriano de seguro social IESS.

3.9 Recomendaciones

- El deterioro en las instalaciones eléctricas se produce principalmente por los años de uso es necesario establecer un programa de mantenimiento que garantice el correcto funcionamiento de las mismas.
- Colocar el analizador de red en la carga principal una vez realizado el estudio tomar lectura de las cargas secundarias con el fin brindar un análisis más profundo.
- Identificar los vectores energéticos para escoger y realizar un análisis de eficiencia energética adecuada

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] Y. G. V. JD Baquero Muñoz, «Desarrollo para estrategias para el consumo energético mediante el aprovechamiento de recursos y utilización de energías alternativas,» Medellín, 2017.
- [2] John Ruble, «AIArchitect,» 28 07 2006. [En línea]. Available: <http://info.aia.org/aiarchitect/thisweek072806.htm>.
- [3] L. M. B. y. R. Lanza, «s Factores de Producción y la Productividad,» *Teorias Prácticas*, p. 396, 2010.
- [4] (. P. M. Y., «Scientia et Technica Año XI,» . *ISSN 0122-1701*, vol. 6, p. 6, 2005)..
- [5] V. y. Araújo, «DESARROLLO DE ESTRATEGIAS PARA EL CONSUMO ENERGÉTICO,» *UNIVERSIDAD LIBRE*, vol. 1, n° 14, p. 34, 2017.
- [6] I. Excellence, «Iso Excellence,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.isotools.org/normas/calidad/iso-9001/>.
- [7] O. Hill, «INDICADORES DE EFICIENCIA,» CEPAL, 2018. [En línea]. Available: <https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/carmencrespo3.pdf>.
- [8] Endesa, «Empresa Nacional de Electricidad Sociedad Anónima,» Madrid, 2014.
- [9] J. R. J. H. R Baeza, «Evaluación de confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica en desregulación,» Valparaiso, 2002.
- [10] D. S. Blogathon, «Método de Holt Winter para análisis de series temporales,» 3 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/08/holt-winters-method-for-time-series-analysis/>. [Último acceso: 12 enero 2022].
- [11] E. y. C. F. MEIRA, «Forecasting mid-long term electric energy consumption through bagging ARIMA and exponential smoothing methods.,» *Energy [en línea]*, vol. 3, n° 1, p. 144, 2018.
- [12] A. e. a. LAOUAFI, «Online electricity demand forecasting based on an effective forecast combination methodology'',» *Electric Power Systems Research*, vol. 3, n° EPSR.2017.03.016., p. 47, 2017.
- [13] A. e. a. LAOUAFI, «Daily peak electricity demand forecasting based on an adaptive hybrid two-stage methodology'',» *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 5, n° 0142-0615, p. 144, 2018.
- [14] J. TAYLOR, «Triple seasonal methods for short-term electricity demand forecasting'',» *European Journal of Operational Research*, vol. 1, n° 1, p. 152, 2010.
- [15] T. L. ., a. FERBAR, «Demand forecasting with four-parameter exponential smoothing'',» *International Journal of Production Economics*, vol. 181, p. 173, 2016.
- [16] M. d. E. y. R. N. n. Renovables, «Plan Maestro de Electricidad,» vol. II, p. 100, 2019.

- [17] C. N. D. E. (CONELEC), «Plan de Electrificación 2012- 2022,» *ARIAE2*, vol. 1, n° 3, p. 56, 2013.
- [18] CONELEC, «Agencia de regulación y control de electricidad,» 10 septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol2-Estudio-y-gestión-de-la-demanda-eléctrica.pdf>. [Último acceso: 19 febrero 2021].
- [19] S. M. Serrano, «Eficiencia en edificios residenciales y metodología para calificación energética,» 10 01 2020. [En línea]. Available: <https://onedrive.live.com/?cid=55269503ADD1C67C&id=5547CC9E54E6F48B%21187761&parId=5547CC9E54E6F48B%21187741&o=OneUp>.
- [20] C. F. L. C. WALTER DANIEL CAISABANDA MEZA, «ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO,» 10 octubre 2009. [En línea]. Available: www.repositorioespel.com.ec. [Último acceso: 10 enero 2020].
- [21] I. Usunáriz, «NORMATIVAS APLICABLES A LA CALIDAD DE ENERGÍA,» *CALIDAD DE ENERGÍA*, vol. 3, n° 1, p. 14, 2018.
- [22] T. S. Q. VEGA, «eficiencia energetica textiles La Escala.pdf,» 10 junio 2011. [En línea]. Available: <https://onedrive.live.com/?cid=55269503ADD1C67C&id=5547CC9E54E6F48B%21187760&parId=5547CC9E54E6F48B%21187741&o=OneUp>. [Último acceso: 11 enero 2020].
- [23] J. L. P. CARRERA, «REPOSITORIO SALESIANA DE QUITO,» 4 Agosto 2014. [En línea]. Available: www.repositoriosalesiana/ingenieriaelectronica.com.ec. [Último acceso: 10 enero 2020].
- [24] VDMS, «<https://www.blogger.com/profile/05613355394702214506>,» 24 01 2013. [En línea]. Available: <https://www.blogger.com/profile/05613355394702214506>. [Último acceso: 17 06 2022].
- [25] ELSPEC, «elspec-ltd,» ELSP, 23 03 2018. [En línea]. Available: <https://www.elspec-ltd.com/conociendo-la-norma-iec-61000-4-30-clase-a/?lang=es>. [Último acceso: 05 03 2022].
- [26] C. d. Ecuador, CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, Quito, 2008.
- [27] P. D. Gonzales Loaiza, "Telegestión del alumbrado público con tecnología LED", Loja-Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 2014.
- [28] A. Tama Franco, La revolucion del alumbrado publico, Quito: ESPOL, 2012.
- [29] A. Rodriguez, TELEGESTIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO INTELIGENTE PARA EL PARQUE METROPOLITANO EL TUNAL UBICADO EN LA CIUDAD DE BOGOTA, BOGOTA: UNIVERSIDAD DE LA SALLE, 2016.
- [30] CONELEC, Regulación-No.-CONELEC-005_14-Prestación-APG, QUITO: CONELEC, 2018.

- [31] H. Acuña y I. Konow, *Métodos y Técnicas de investigación prospectiva para la toma de decisiones*, Chile: FUNTURO, 1990.
- [32] T. Miklos, *Planeación prospectiva y estratégica*, Mexico: Reduaz, 2015.
- [33] J. A. Rueda Flores, *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEGESTIÓN QUE PERMITA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA DEL ALUMBRADO PÚBLICO EN EL CENTRO HISTÓRICO DE IBARRA CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE S.A.*, Latacunga: ESPE, 2020.
- [34] R. . O. Flores Lora, *Ahorro Energético en alumbrado público con el desarrollo de un prototipo de sistema de telegestión remoto para lamparas tipo Led de la Empresa Eléctrica MELNORTE S.A*, Quito: EPN, 2018.
- [35] Ministerio de Turismo, «MOVIMIENTOS INTERNOS: GEOVIT,» 19 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://servicios.turismo.gob.ec/boletin-coyuntural-de-alojamiento/8-turismo-en-cifras/movimientos-internos-geovit/289>. [Último acceso: 19 Marzo 2021].
- [36] ARCONEL, *Regulación Nro. 054/2018*, Quito, 2018.
- [37] J. C. y. Ocerin, *Econometría: Modelos econométricos y series temporales*, Barcelona : REVERTÉ S.A., 2012.
- [38] M. D. I. Y. P. S. D. L. CALIDAD, *REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO RTE INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO”*, Quito, 2012.
- [39] V. I. d. t. e. z. residenciales., «Wikipedia,» 30 06 2021. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Kil%C3%B3metro_por_hora.
- [40] j. A. Y. h. B. . (Griffin, «Energía y Demanda,» 2010.
- [41] T. d. c. d. P. 2008-2018, «Banco Mundial,» 23 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=EC>.
- [42] «LA ENERGÍA ELÉCTRICA DENTRO DEL TERRITORIO ECUATORIANO,» 2010. [En línea]. Available: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2599/1/tm4388.pdf>.
- [43] M. S. Janett, «TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN,» *UNAN – FAREM - MATAGALPA*, p. 131, 2013.
- [44] .. C. y. H. (2013), «MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN,» *MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTOGACIÓN*, p. 161, 2001.
- [45] M. y. B. D. ROSSI, «`Forecasting data centers power consumption with the Holt-Winters method´´. Conference: Environmental, Energy and Structural Monitoring Systems,» *EESMS*, vol. 3, nº EESMS.2015.7175879., p. 214, 2015.

Anexos

Anexo 1. Detalle de los elementos de la cámara de distribución de 500 kVA

Tabla 21 Características transformador 500kva

Cant.	Equipo	Marca	Tipo de red	Horas Usos Día	Voltaje primario/secundario	Potencia
1	Transformador T1	ECUAT RAN Serie 00816	3F	24h	13.5 kV / 220 V	500kVA

Tabla 22 Acometida

Cant.	Acometida	Empresa	Cargabilidad
1	Acometida Monofásica	EEASA S.A.	Directa
1	Acometida Monofásica	EEASA S S.A.	Directa
1	Acometida Trifásica	EEASA S S.A.	Directa

Anexo 2. Elementos de distribución

Tabla 23 Cargas Conectadas al Transformador

Área	Transformador
Taller de confecciones	Transformador 500kVA
Área de desarrollo infantil	
Auditórium	
Aula 102 de automotriz	
Aula 103 de metal mecánica	
Aula 104 de metal mecánica	
Aula 105 de automotriz	
Aula 301 edificio	
Aula 302 edificio	
Aula 303 edificio central	
Aula de mantenimiento de computadoras (aula 304)	
Aula de calzado	
Laboratorio de electricidad automotriz	
Laboratorio inyección electrónica automotriz	
Bodega de automotriz	

Centro de idiomas
Laboratorio de habilidades manuales
Laboratorio de tornos CNC
Laboratorio de automatización
Laboratorio de computación n.- 1
Laboratorio de computación n.- 3
Laboratorio de computación n.- 4
Laboratorio inyección a diésel
Laboratorio de electrónica básica
Laboratorio de electrónica digital
Laboratorio de motores automotriz
Laboratorio de neumática
Laboratorio de potencia eléctrica
Laboratorio de refrigeración
Oficina de automotriz
Oficina de calzado
Oficina de servicios institucional humano
Oficina administrativa y talento humano
Sala de docentes mecánica industrial
Taller de ajustaje

Anexo 3 Detalles sistema de iluminación

Tabla 24 Elementos de consumo etapa de iluminación

Cant.	Elemento	Modelo/Características técnicas	Estado	Horas Usos Día	Estado de la Luminaria
96	Betta	Tipo: Fluorescentes Potencia: 32 W Arranque: Balasto electromagnético Voltaje: 110 V	Bueno	12	Luminaria opaca

290	Alpha	Tipo: Fluorescentes Potencia: 25 W Arranque: halógeno Voltaje: 110 V	Bueno	12	Luminaria deteriorada
258	Lambda	Tipo: Fluorescentes Potencia: 25 W Arranque: halógeno Voltaje: 110 V	Bueno	12	Luminaria opaca
25	Kappa	Tipo: Fluorescentes Potencia: 50 W Arranque: halógeno Voltaje: 110 V	Malo	8	Luminaria opaca
95	Ganma	Tipo: Fluorescentes Potencia: 50 W Arranque: halógeno Voltaje: 110 V	Bueno	16	Luminaria deteriorada
TOTAL					19888 W

Anexo 4 Planimetría SECAP- Ambato

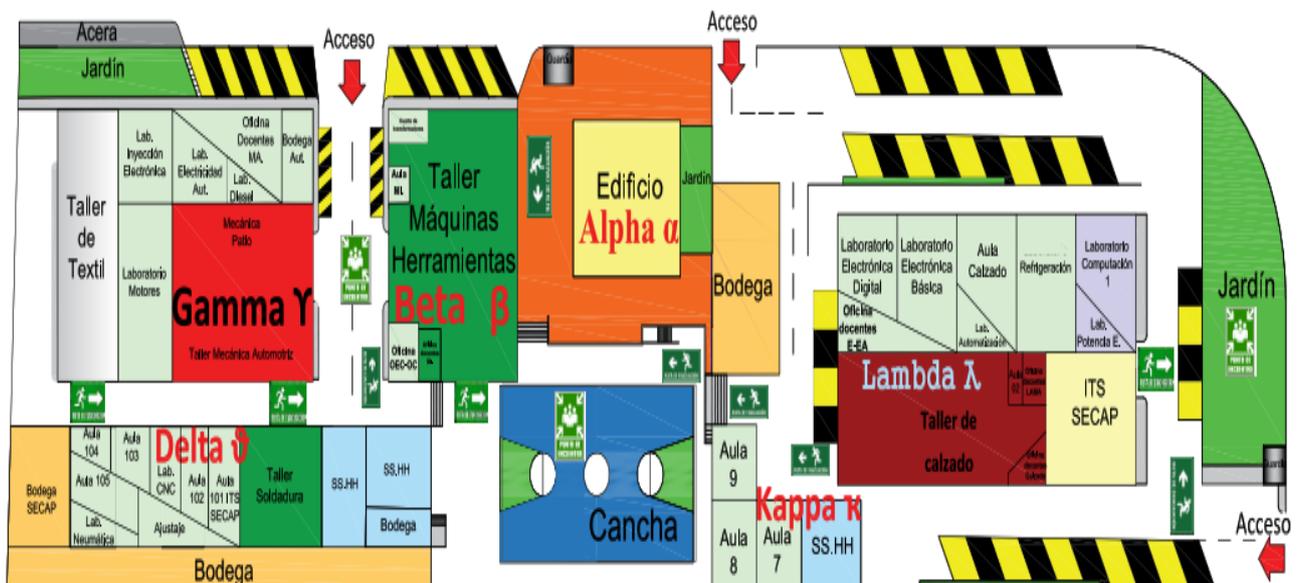


Fig. 39 Planimetría SECAP-Ambato

Anexo 5 Análisis mediciones analizador de red

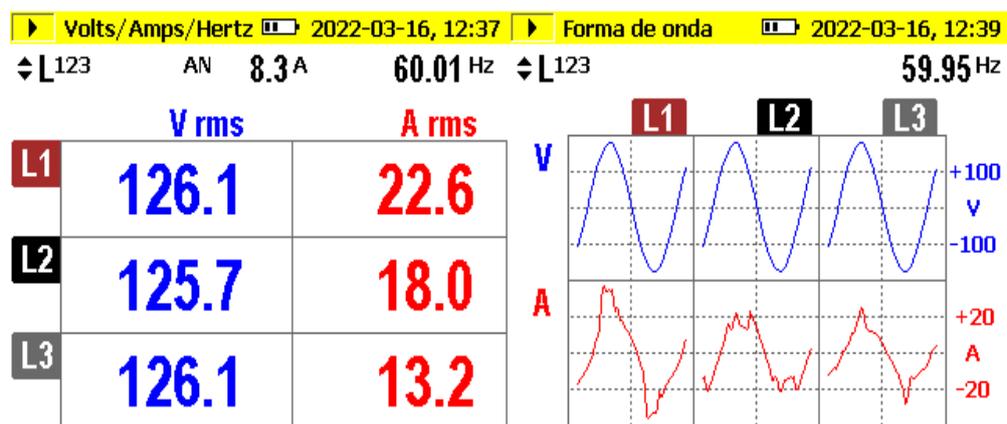


Fig. 40 Medición de Tensión Analizador de Red

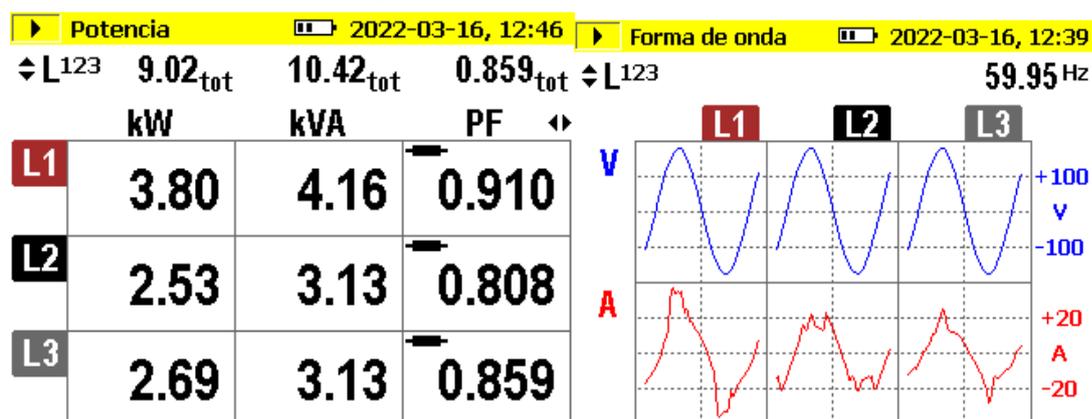


Fig. 41 Mediciones de parámetros

Anexo 5 Pliego tarifario

Tabla 10 Consumo(kW) 2015-2020

Mes	Consumo (kW)					
	2015	2016	2017	2025	2019	2020
Enero	7200	7800	8400	10200	10800	8400
Febrero	8400	6000	7200	8400	10800	6600
Marzo	8400	6600	7200	9600	10200	5400
Abril	7800	6600	5400	7200	9000	3600
Mayo	8400	6600	5400	7800	7800	3600
Junio	7800	6600	9000	10200	9600	3000
Julio	8400	7200	9600	12000	10800	3600
Agosto	7800	7800	9600	11400	10200	3600
Septiembre	6600	7800	9600	10800	10200	3600
Octubre	7200	6000	6600	9600	6600	3600
Noviembre	6000	6600	9000	9000	5400	3000
Diciembre	6000	7800	8400	8400	6600	3000
TOTAL	90000	83400	95400	114600	108000	51000

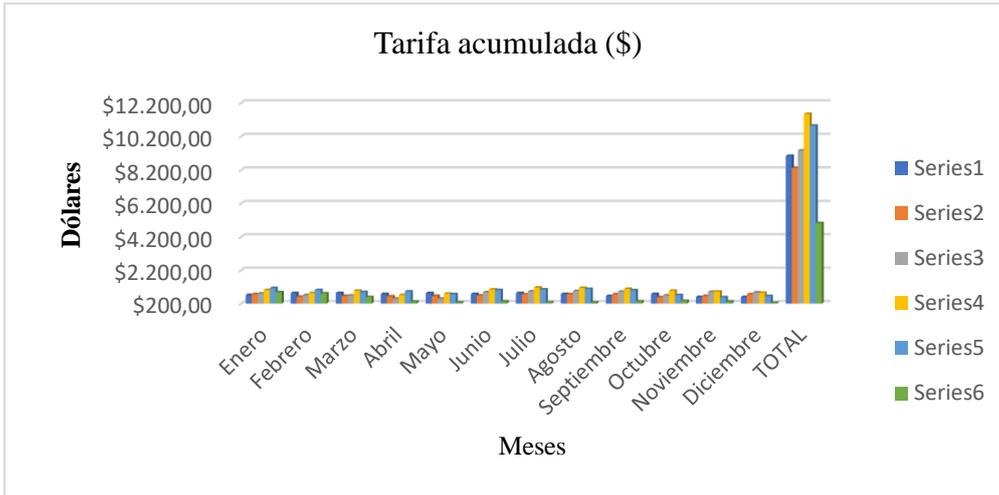


Fig. 42 Tarifas Acumuladas (\$) 2015-2020



Fluke Calibration

Fluke Calibration is a leader in precision calibration instrumentation and software for electrical, temperature, pressure, flow, and RF measurements. Fluke Calibration helps measurement professionals, with instruments and software found in standards and calibration laboratories around the world.

©1995-2022 Fluke Corporation

Links:

[1] <https://la.flukecal.com/sites/default/files/profile/blog/cal-logo-profile-img2.jpg>

Fig. 43 Calibración del Equipo de Fábrica

Anexo 6 Diagrama Eléctrico

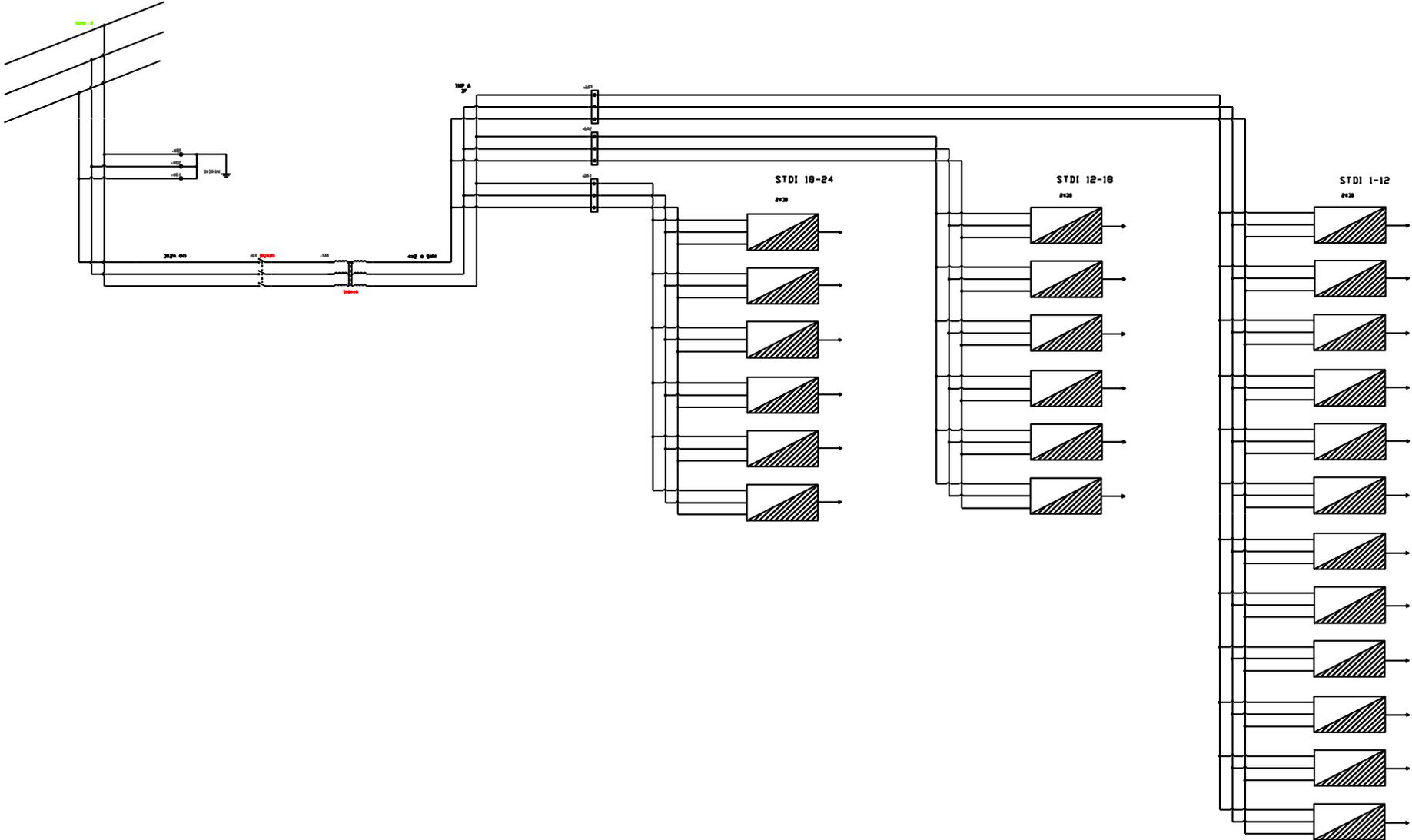


Fig. 44 Diagrama Eléctrico SECAP- Ambato

