ANÁLISIS DE CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL SECAP-AMBATO

ANALYSIS OF QUALITY AND ENERGY EFFICIENCY IN THE DISTRIBUTION SYSTEM OF SECAP-AMBATO

Carlos Corrales Tapia [1*]

[1] Carrera de electricidad. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4604-8929. Correo: ccorrales.istt@gmail.com

Galo Tapia Estrella [2]

[2] Carrera de electricidad. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1325-327X. Correo: gtapia.istt@gmail.com

Gabriel Vaca Ortega [3]

[3] Carrera de electricidad. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6192-7868. Correo: gvaca.istt@gmail.com

Roberto Segura Flores [4]

[4] Carrera de electricidad. Instituto Superior Tecnológico Tungurahua. Ecuador. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5107-9773. Correo: rsegura.istt@gmail.com

*** Autor para correspondencia: ccorrales.istt@gmail.com**

Resumen

En los últimos años, el Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional (SECAP) ha trabajado en colaboración con el Instituto Superior Tecnológico Tungurahua (ISTT) para implementar medidas que favorezcan el consumo energético en sus instalaciones, con el objetivo de reducir la tarifa energética y mejorar la eficiencia energética. Se llevó a cabo un estudio para evaluar la eficiencia energética del SECAP durante los periodos 2019-2020, en el que se recopiló información relevante. La metodología empleada en la investigación incluyó la medición del consumo energético, la identificación de los equipos con mayor consumo, el análisis de los factores que influyen en el consumo energético y la propuesta de medidas para reducir el consumo. Los resultados de la investigación permitieron generar procedimientos y herramientas que contribuyen a la disminución del consumo energético y a la identificación de alternativas para garantizar

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

la calidad energética en el SECAP. En definitiva, la implementación de estas medidas se alinea con el compromiso del SECAP y el ISTT con el desarrollo sostenible y la responsabilidad social, y contribuye al cuidado del medio ambiente y al uso eficiente de los recursos energéticos.

Palabras clave: eficiencia energética; consumo energético; tarifa energética; medidas de ahorro energético

Abstract

In recent years, the Ecuadorian Professional Training Service (SECAP) has worked in collaboration with the ISTT to implement measures that promote energy consumption in its facilities, with the aim of reducing the energy tariff and improving energy efficiency. A study was carried out to evaluate SECAP's energy efficiency during the 2019-2020 periods, in which relevant information was collected. The methodology used in the research included measuring energy consumption, identifying the equipment with the highest consumption, analyzing the factors that influence energy consumption, and proposing measures to reduce consumption. The results of the research allowed the generation of procedures and tools that contribute to the reduction of energy consumption and the identification of alternatives to ensure energy quality in SECAP. Ultimately, the implementation of these measures aligns with SECAP and ISTT's commitment to sustainable development and social responsibility, contributing to the care of the environment and the efficient use of energy resources.

Keywords: *energy efficiency; energy consumption; energy tariff; energy-saving measures*

Fecha de recibido: 04/02/2023
Fecha de aceptado: 23/05/2023
Fecha de publicado: 08/06/2023

Introducción

El Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional (SECAP) es una institución pública que se dedica a la formación y capacitación técnica y profesional en Ecuador. En este contexto, el edificio de SECAP ha sido objeto de un análisis de eficiencia energética desarrollado por investigadores del Instituto Superior Tecnológico Tungurahua (ISTT), una institución educativa de nivel superior ubicada en la ciudad de Ambato, Ecuador.

Para realizar el estudio, se ha utilizado una metodología que incluye el análisis del consumo energético de las instalaciones del SECAP durante los periodos 2019-2020, así como la identificación de las principales fuentes de consumo energético y la propuesta de medidas de ahorro energético que puedan mejorar la eficiencia energética del edificio.

La investigación se enmarca en la necesidad de mejorar la eficiencia energética en Ecuador y reducir el impacto ambiental, en línea con los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. Además, se

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).
Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

han consultado varias fuentes bibliográficas relevantes para el tema, entre ellas el estudio de García et al. (2018), que analiza la eficiencia energética en edificios públicos de Ecuador, y el trabajo de Chávez et al. (2020), que se enfoca en el uso de energías renovables en instituciones educativas de la región andina de Ecuador.

A nivel macro, la investigación se relaciona con los esfuerzos del país por mejorar la eficiencia energética y contribuir a la sostenibilidad ambiental. A nivel meso, se sitúa en el sector de la educación y la formación profesional en Ecuador, en el que el ISTT tiene un papel clave. A nivel micro, se centra en el análisis detallado de las instalaciones y equipos de SECAP y la identificación de oportunidades de mejora en términos de eficiencia energética.

Materiales y métodos

Esta investigación pretende analizar todas las alternativas viables y la eficiencia energética, como también alternativas que permitirán 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 que analizará el comportamiento energético, definiendo consumos y posibles alternativas de ahorro y calidad energética.

Componente experimental: El proyecto torna una investigación experimental al momento que se desarrolla el análisis prospectivo, debido a que se toma la información histórica y se genera alternativas energéticas

Análisis documental: Un punto clave de la 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 perspectivas desarrolladas para fundamentar el proyecto

Antecedentes de la investigación

Según Bilbao y Lanza (2010), el crecimiento económico se acompaña del crecimiento de la demanda de energía, lo que hace necesario estudiar la evolución de esta demanda y abandonar la idea de su reducción. La intensidad energética se utiliza para conocer el peso de la energía en la economía, y la mayoría de los países intentan reducir la relación entre el consumo total de energía y el PIB para indicar un uso más eficiente de la energía. Además, Baquero Muñoz y González (2017) señalan que el problema de la energía es fundamentalmente un problema de demanda, pero no debemos olvidar que la energía es un bien económico y que existen tanto oferentes como demandantes en el mercado.

En la actualidad, las empresas han visto cómo los agentes energéticos han pasado de ser un factor marginal en su estructura de costos a constituir un rubro importante en los mismos, y la necesidad de lograr un mayor equilibrio entre economía y medio ambiente ha convertido al ahorro y uso eficiente de la energía en una herramienta fundamental para lograr este objetivo, manteniendo el nivel de rentabilidad empresarial. Yanes y Gaitán (2005) indican que el mercado de energía eléctrica presenta singularidades que deben ser analizadas

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

con detalle, como el hecho de que la electricidad es un bien esencial que no puede ser fácilmente reemplazado y que el mercado debe balancear oferta y demanda en tiempo real. Por lo tanto, se necesitan generadores de respaldo para satisfacer la demanda máxima, lo que implica una gran inversión.

Las políticas energéticas de los países se han enfocado en aumentar gradualmente el suministro de energía renovable para minimizar el impacto ambiental de la actividad humana sobre el medio ambiente. Para ello, se han elaborado estrategias de introducción de energía renovable a diferentes niveles del sistema eléctrico. Además, como indica ISOTools (2015), la Norma ISO 50001 promueve la integración de la gestión de la energía con otros sistemas de gestión existentes, como la gestión de la calidad y la gestión medioambiental, y la sistematización de los procesos de gestión de la energía garantiza la eficiencia de las medidas adoptadas mediante la responsabilidad de la dirección, la comunicación y participación de todos los miembros de la empresa, la planificación de objetivos, la puesta en marcha de los planes y la revisión y mejora continua del sistema.

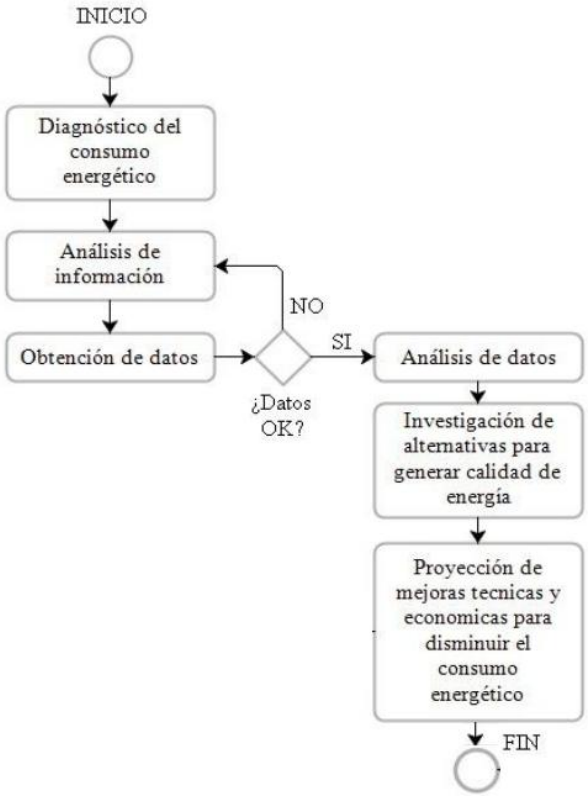


Figura 1. Organigrama del análisis energético en las instalaciones eléctricas.

Fundamentación teórica

En los últimos años, se desarrollan 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.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

La auditoría energética es un procedimiento sistemático para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos en una instalación, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía desde el punto de vista técnico y económico (Araujo , 2022).

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 (De Oliveira, 2018).

IEEE: es una fuente confiable 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 (Laouafi, 2017).

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 (Baeza y otros, 2003).

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 las mismas que son enfocadas en el campo de estudio:

- Variables cualitativas: 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.
- Variables cuantitativas: Estas variables ya están expresadas de forma numérica y no es necesario un pos-procesamiento de datos para utilizarlas en los cálculos prospectivos, estas variables son, por ejemplo, el número de luminarias instaladas o la potencia que consume cada una de ellas.

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

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial “ALEMA-Pentaciencias” E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

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.

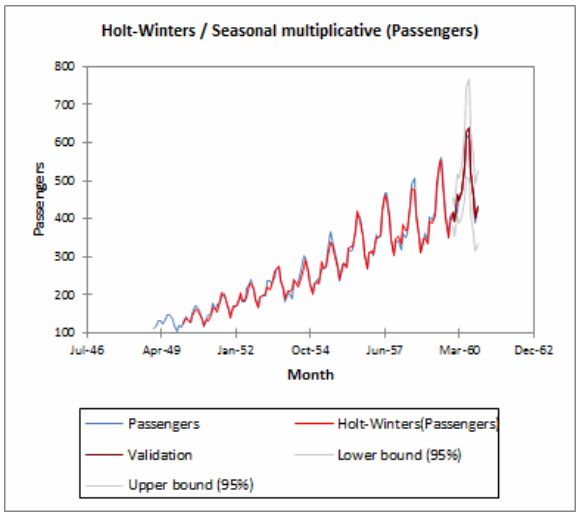


Figura 2. Modelo de suavizado exponencial Holt Winters (Blogathon, 2021).

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 (De Oliveira, 2018). 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 (Laouafi A. , 2017).

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 (Laouafi & Mordjaoui, 2016).

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.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

- Ahorro y eficiencia energética en climatización de instalaciones.

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 (Muñoz & Balderramo, 2018).

Tabla 1. Tasa de crecimiento del PIB 2016-2025.

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

Fuente: (*Muñoz & Balderramo, 2018).*

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 Figura 3 se observa las tendencias en el periodo de 2016-2025.

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.

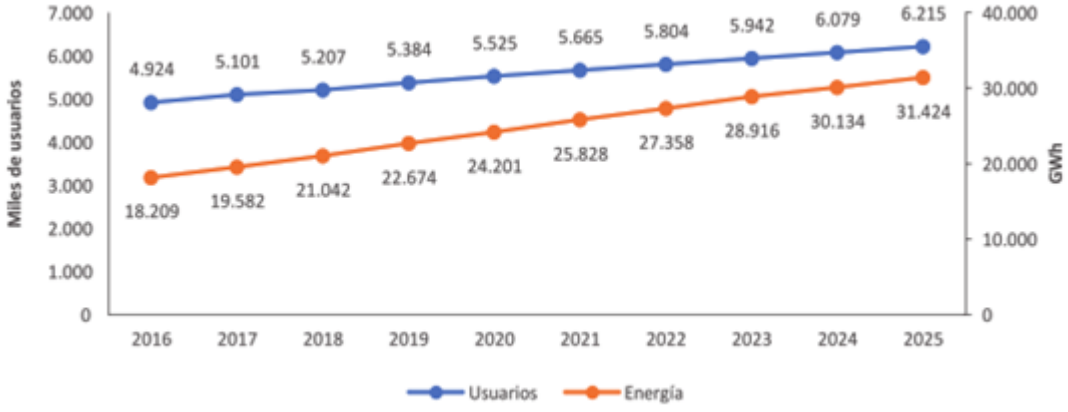


Figura 3. Usuarios por grupo de consumo 2016-2025.
Fuente: *(Muñoz & Balderramo, 2018)*

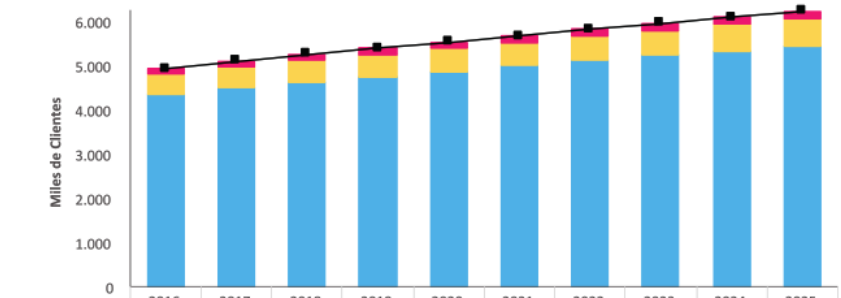
Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).
Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

En la Figura 3 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.

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.

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 4.



	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Industrial	121	122	125	129	133	137	141	145	150	154
Comercial	470	478	490	506	522	539	557	574	593	612
Residencial	4.334	4.501	4.625	4.748	4.869	4.988	5.106	5.222	5.336	5.449
Total	4.925	5.101	5.242	5.384	5.525	5.665	5.804	5.942	6.079	6.216

Figura 4. Evolución decenal de energía por grupo de consumo.
Fuente: (Muñoz & Balderramo, 2018)

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 (Serrano, 2012).

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 (Serrano, 2012).

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

- Factor de Potencia.
- Armónicos.
- Transitorios.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

- Desbalance de Fases.
- Caídas de voltaje en los conductores.

Factor de potencia.

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

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 120º 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.

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).

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

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 control y monitoreo de las normas que relacionadas con protocolos de comunicación.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

- 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.

Norma ISO 50001

De acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se establece la implementación de política energética y el uso significativo de la energía. Los beneficios reportados son:

- 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.

Resultados y discusión

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.

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 los 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.

Sistemas de Iluminación

El resultado del análisis 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 en 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.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

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 máquinas 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.

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 2. Corrección del factor de potencia.

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

En la Tabla 2 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.

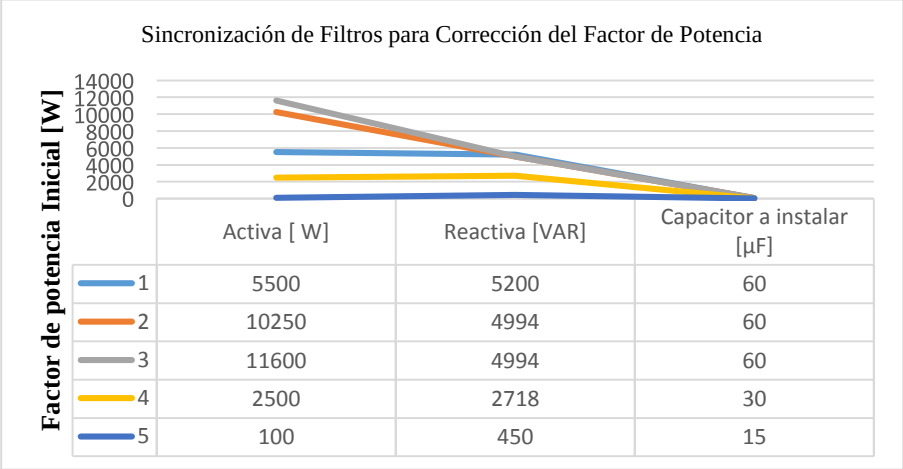


Figura 5. Corrección factor de potencia.

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 varia con una combinación automática de cuatro capacitores de esta manera se puede combinar dos capacitores 15[µF] y dos capacitores de 30[µF], este sistema es controlado automáticamente por el módulo de filtros H5.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

Filtro híbrido para corrección de armónicos

El filtro hibrido 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 3. Selección de filtro híbrido.

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

En la Tabla 3 se toma en consideración el uso de un filtro tipo híbrido como medida para contrarrestar armónicos producidos por los sistemas de iluminación.

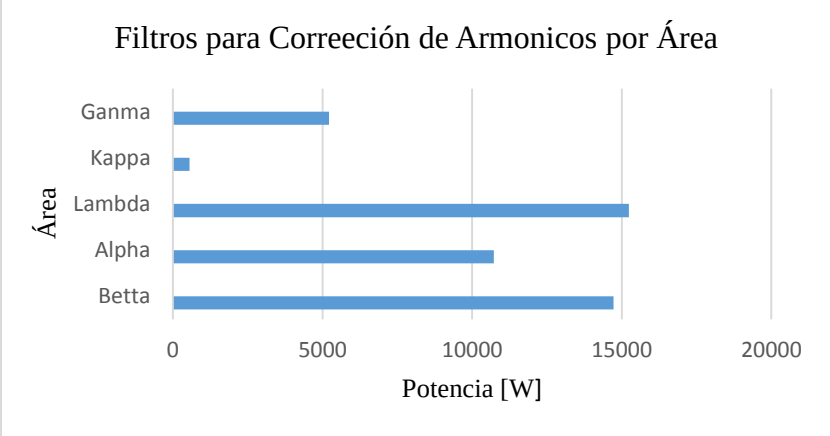


Figura 6 Activación de filtros para armónicos.

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.

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.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

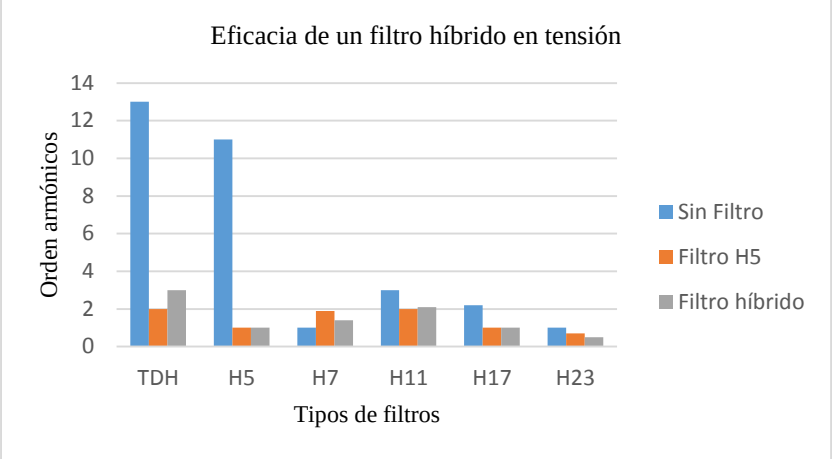


Figura 7 Eficacia de un filtro hibrido en tensión.

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%.

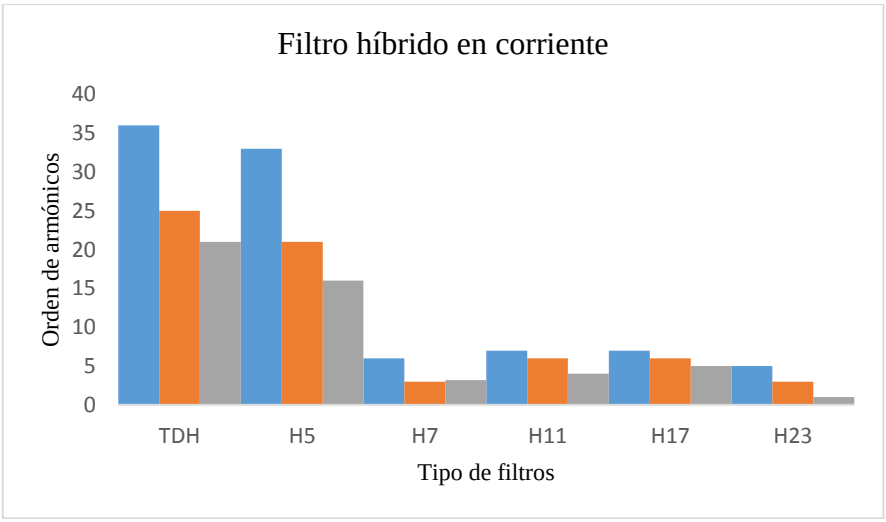


Figura 8 Filtro híbrido en corriente.

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.

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 autoajustable de 60 µF y 15 µF modelo M4M de la marca ABB con su tablero de distribución correspondiente para la adaptación a las mediciones del transformador de 500kVA.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

Tabla 4. 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 4 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.

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.

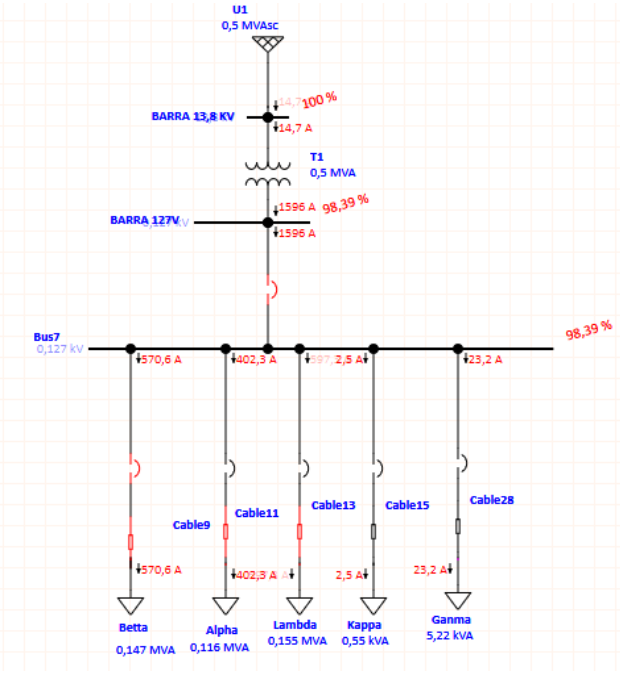


Figura. 9 Análisis sistema eléctrico.

La Figura 9 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.

Tabla5. Variación del SE

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

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

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

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.

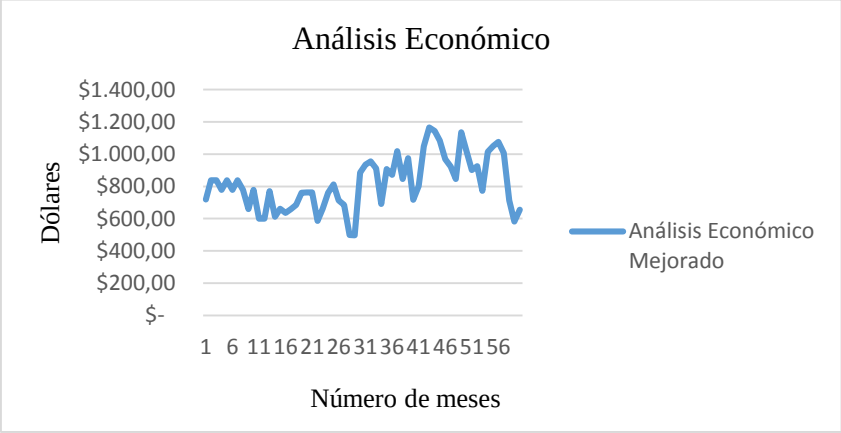


Figura 10 Análisis Económico sin Mejoras.

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.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

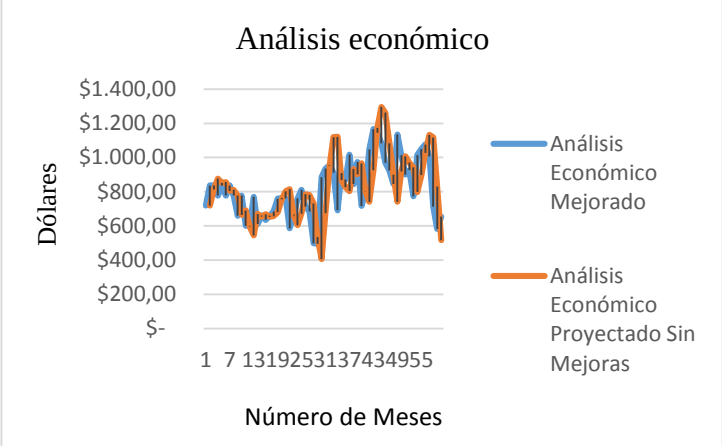


Figura 11 Análisis Económico con Mejoras.

En la Fig. 11 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.

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 6. 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 6 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.

Cambio de lámparas a LED

Se reemplazarán 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.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

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.

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 remplazando las lámparas tradicionales por tecnología tipo LED, a continuación, se presenta una simulación.

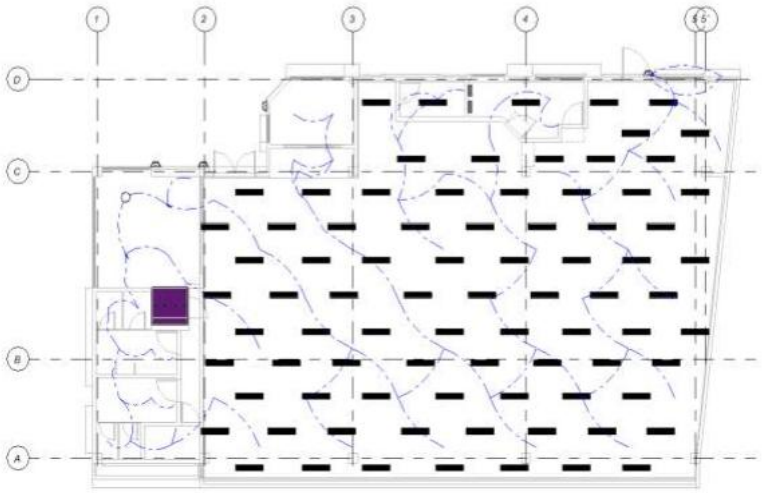
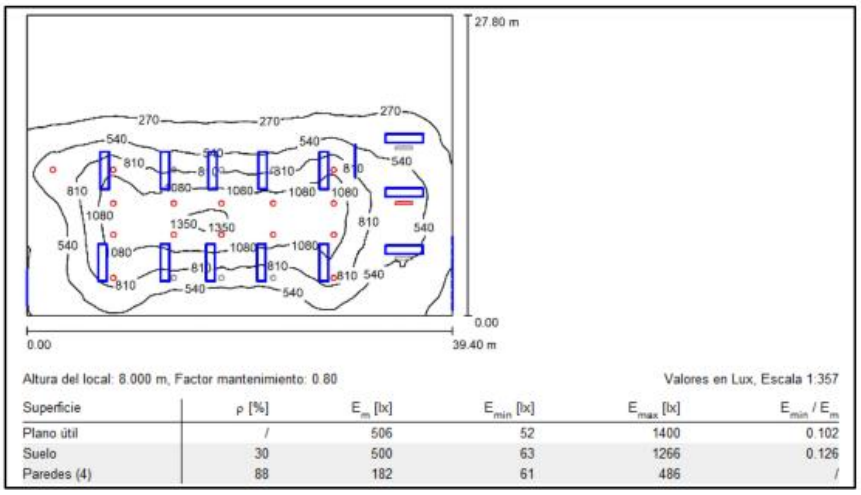


Figura 12 Luminarias tipo LED.

En la Figura 12 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.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com



Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	506	52	1400	0.102
Suelo	30	500	63	1266	0.126
Paredes (4)	88	182	61	486	/

Figura 13 Simulación Iluminación área Betta.

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.

Conclusiones

El análisis de los instrumentos de medición permite 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 enfocados 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 permite llevar una guía rápida y técnicas de medición acorde a los equipos instalados en el campus para tener una mejor evaluación de los mismos durante la inspección de auditoría 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 está 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.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

Agradecimientos

Un agradecimiento a las autoridades y personal que hace el Instituto Superior Tecnológico Tungurahua quienes facilitaron el ingreso a las instalaciones y la ejecución de este proyecto.

Referencias

Araujo, A. (2022). Estudio de eficiencia energética en los laboratorios de mecánica industrial y soldadura de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.

Baeza, R., Rodríguez, J., & Hernandez, J. (2003). Evaluación de confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica en desregulación. Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá.

Baquero Muñoz, J. D., & Gonzalez, V. (2017). Desarrollo para estrategias para el consumo energético mediante el aprovechamiento de recursos y utilización de energías alternativas. Universidad Libre sede Bosque Popular.

Bilbao, L., & Lanza, R. (2010). Historia Económica. Teoría Prácticas. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

Blogathon, D. (agosto de 2021). Método de Holt Winter para análisis de series temporales. Obtenido de Analytics Vidhya: https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/08/holt-winters-method-for-time-series-analysis/

Crespo, C. (2018). Indicadores de Eficiencia Energética. Obtenido de CEPAL: https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/carmencrespo3.pdf

De Oliveira, E. (2018). Forecasting mid-long term electric energy consumption through bagging ARIMA and exponential smoothing methods. Energy. ELSEVIER, 3(1), 144.

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.

Muñoz, E., & Balderramo, N. (2018). Eficiencia Energética en Función del Desarrollo del Plan Maestro de Electrificación (PME) en Ecuador. REVISTA DE INVESTIGACIONES EN ENERGÍA, MEDIO AMBIENTE Y TECNOLOGÍA: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 3(2). https://doi.org/https://doi.org/10.33936/riemat.v3i2.1624

ISOTools, E. (2015). Normas ISO. Obtenido de https://www.isotools.org/normas/calidad/iso-9001/

Laouafi, A. (2017). Online electricity demand forecasting based on an effective forecast combination methodology. Electric Power Systems Research, 5(0142-0615), 148.

Laouafi, A., & Mordjaoui, M. (2016). Daily peak electricity demand forecasting based on an adaptive hybrid two-stage methodology. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 77, 136-144.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com

Taylor, J. (2010). Triple seasonal methods for short-term electricity demand forecasting. European Journal of Operational Research, 204(1), 139-152.

Serrano, S. (2012). Eficiencia energética en edificios residenciales y metodología para su calificación energética. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona.

Usunáriz, I. (2018). Normativas aplicables a la calidad de energía. 3(1), 14.

Yanes, J., & Gaitan, O. (2005). Herramientas para la gestión energética empresarial. Scientia et technica, 3(29), 169-174.

P. D. Gonzales Loaiza, "Telegestión del alumbrado público con tecnología LED", Loja-Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 2014.

Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo (CC-BY-NC-SA).

Grupo Editorial "ALEMA-Pentaciencias" E-mail: alema.pentaciencias@gmail.com