


Study of Energy Performance Indicators (EnPI) of a Basic Hospital in Ecuador

Estudio de Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) de un Hospital Básico en el Ecuador

 F.R. Arias¹

 A.S. Freire¹

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador
E-mail: fernando.arias6251@utc.edu.ec; armando.freire2833@utc.edu.ec

Abstract

The following document presents a systematic process of energy use through an analysis of energy indicators in a health building, where the importance of regular energy consumption profile requirements to establish specific performance indicators in a hospital is affirmed. A basic hospital located in the province of Cotopaxi (Ecuador), with 15 beds, is analyzed, an energy balance is made where electricity is determined as the largest energy carrier with 46,84 %, the electricity tariff is evaluated during the period of the year (2022), managing to identify an annual consumption of 124 030 kWh, also identifies the distributed percentage of electricity in this hospital, with the highest consumption of electric motors with 38%, and lighting with 22 %, based on the analysis carried out, a capacitor bank was implemented to help improve the power factor from 0,87 to 0,95 through simulation with the ETAP software and the replacement of fluorescent lamps with LED technology, optimizing the level of luminosity within the permitted levels through the use of the DIALux software. 69 kWh/year and carbon dioxide emissions of 1 688,43 kg/CO₂/year.

Index terms— Health care buildings, Systematic processes, Energy performance indicators, Carbon dioxide emissions.

Resumen

El siguiente documento presenta un proceso sistemático del uso de la energía a través de un análisis de indicadores energéticos en un edificio sanitario, donde se afirma la importancia de requerimientos de perfiles de consumo energético con regularidad para establecer indicadores de rendimiento específicos en un hospital. Se analiza un hospital básico situado en la provincia de Cotopaxi (Ecuador), dotado de 15 camas, se realiza un balance energético donde se determina a la energía eléctrica como el mayor portador energético con un 46,84 %, la tarifa eléctrica se evalúa durante el periodo del año (2022), logrando identificar un consumo anual de 124 030 kWh, además se identifica el porcentaje distribuido de energía eléctrica en este hospital, siendo el de mayor consumo los motores eléctricos con un 38 %, e iluminación con un 22 %, encontrando indicadores energéticos que permitieron tomar decisiones para efectuar ahorros de energía mediante el análisis de calidad de energía y lumínica, en base al análisis realizado se implementa un banco de capacitores que ayuda a mejorar el factor de potencia de 0,87 a 0,95 mediante simulación con el software ETAP y la sustitución de lámparas fluorescentes por tecnología LED optimizando el nivel de luminosidad dentro de los niveles permitidos mediante el uso del software DIALux, como resultado final se logra una reducción estimada de energía eléctrica anual de 8 807.69 kWh/año y emisiones de dióxido de carbono en 1 688,43 kg/CO₂/año.

Palabras clave— Edificios sanitarios, Procesos sistemáticos, Indicadores de rendimiento energético, Emisiones de dióxido de carbono.

Recibido: 23-04-2023, Aprobado tras revisión: 14-06-2023

Forma sugerida de citación: Arias, F.; Freire, A. (2023). "Estudio de Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) del Suministro Eléctrico de un Hospital Básico en el Ecuador". Revista Técnica "energía". No. 20, Issue I, Pp. 33-42

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.580>

© 2023 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



1. INTRODUCCIÓN

Analizar el uso de la energía dentro de una unidad hospitalaria es esencial ya que estas áreas demandan de climatización originada por la combustión de petróleo o gas, iluminación producida por la electricidad, vapor causado por la transformación del agua a través de derivados de petróleo [1]. Un proceso no eficiente se traduce en un proceso sin el uso adecuado de la energía, la producción y consumo de energía van a la par causando incrementos constantes de los precios de los servicios, además del deterioro medio ambiental, entonces se ve la importancia de contar con una gestión energética [2].

Definir indicadores de desempeño energético (IDEn) es importante dentro de una organización, siendo un mecanismo clave que permite aseverar resultados eficaces y medibles en el tiempo, bajo conocimientos introducidos en la norma ISO 50 001 [3]. Medir a través de indicadores de desempeño energético permite mejorar el sistema a través de enfoques multidisciplinarios se deben comparar el antes y después, con el objetivo de reducir el consumo energético y la emisión de gases de efecto invernadero [4].

Los edificios hospitalarios deben ser funcionales y de apoyo a las diversas funciones que se llevan a cabo, ya que además de la atención que brindan y el servicio que ofrecen, también son centros educativos y de formación desarrollándose como incubadoras para la investigación y el desarrollo en medicina y ciencias farmacéuticas [5]. Se deben emplear varias técnicas siguiendo actividades como acciones que deban ser llevadas a la práctica del uso eficiente de la energía, como cambios tecnológicos y cambio del comportamiento del usuario del servicio [6].

Se proponen planes de acción que llevados a la práctica se obtienen oportunidades de recuperación de la energía, siendo necesario un estudio del potencial energético que presente una viabilidad técnica y una rentabilidad económica en comparación con las fuentes de energías convencionales [7]. El propósito es construir una metodología de compilación y cuantificación del consumo real de la energía dentro del establecimiento de salud para disminuir el uso de energía y reducir las emisiones de CO₂.

La distribución del documento se basa de la siguiente manera: La teoría que sustenta la investigación se observa en la sección 2, la metodología utilizada se encuentra en la sección 3, la presentación de la propuesta y análisis de resultados en la sección 4, y finalmente las conclusiones y recomendaciones en la sección 5.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El establecimiento destinado para la atención y asistencia a enfermos objeto de estudio se sitúa en la provincia de Cotopaxi, cantón Salcedo, parroquia San Miguel (Ecuador), cuenta con 15 camas y una superficie aproximada útil de 2 400 m², la infraestructura

hospitalaria fue diseñado y construido en el año 1977 y comienza a funcionar en 1979-07-29 [8]. En las instalaciones laboran un total de 56 personas entre médicos, enfermeros, auxiliares de enfermería, gestores administrativos, personal de farmacia, cocina, lavandería, limpieza, entre otros.

2.1. Descripción del Hospital

El hospital brinda atención en consulta externa, hospitalización y emergencia en especialidades básicas como medicina interna, ginecología, pediatría y cirugía, además del servicio de laboratorio y rayos x, farmacia, entre otros. En la Fig. 1 muestra un gráfico con la estructura del edificio.



Figura 1: Instalaciones del Hospital Yerovi Mackuarta

Las paredes del edificio están formadas por medio pie de ladrillo macizo, el tejado está cubierto por Eternit e incluye aislamiento térmico a través de tumbado tipo aluminio, la planta baja está aislada bajo estructura de suelo. Los marcos de ventana son de aluminio, el espesor medio de los perfiles de aluminio es de 1,50 mm tienen un vidrio exterior de 6mm.

2.2. Estado del Arte

De estudios con relación a indicadores energéticos en hospitales se afirma lo siguiente:

Un estudio llevado a cabo en un país australiano, donde define, analiza y evalúa indicadores energéticos, concluyen que la energía utilizada en hospitales varía dependiendo de fuentes y tecnologías accesibles [9].

En el país de China se efectuó encuestas a sus colaboradores concluyendo que se debe implementar diferentes niveles de herramientas políticas para diversos actores involucrados [10].

En [11] destacan acciones de ahorro de energía sostenible y afirman que al llevar a la ejecución el proyecto requiere de un tiempo prolongado y no aceptable de la interrupción de los servicios.

La importancia de la supervisión energética en los hospitales marroquíes está destinado a mejorar la energía y los indicadores de desempeño energético, además de la

elaboración de buenas prácticas, sugieren la oportunidad para crear indicadores energéticos sobre atención en salud actualizada de acuerdo al tipo de actividad que se lleve a cabo en el hospital [12].

Para la gestión energética en el sector salud de Colombia, tiene un enfoque de desarrollo limpio y sostenible en instituciones de servicios de salud, el estudio se enfoca en el consumo energético está concentrado en la climatización e iluminación y expone la importancia de identificar cargas con mayor consumo energético [13].

El análisis de un hospital en el Ecuador, define oportunidades de ahorro y propone un sistema de gestión de la energía para mejorar los procesos [14], además afirman que la utilización de tecnología antigua hace que consuma más energéticos, procediendo a proponer cambios tecnológicos [15].

2.3. Procesos de una Planificación Energética

Las metodologías utilizadas para la planificación energética es: Diagnóstico de desempeño energético, la línea base energética, indicadores de desempeño energético, además de objetivos, metas y planes de acción [16], [17], [18].

El diagnóstico de desempeño energético es un proceso sistemático que accede identificar el consumo energético de una edificación, se evalúa mediante PHVA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar) de un SGEN (Sistema de gestión energética), al ejecutar una evaluación de consumos energéticos se obtiene una línea base, para esto requiere de la aplicación de tres términos: la medición, el seguimiento y el análisis. La línea base energética (LBE) es una referencia cuantitativa que provee la base en comparación con el desempeño energético, son fundamentales ya que permiten medir su desempeño energético y demostrar su mejora en el tiempo, se determina al comparar el desempeño en un periodo dado con la línea base energética e indica el estado del desempeño energético antes de realizar acciones de mejora.

Los indicadores de desempeño energético (IDEn) son unidad de desempeño energético definida por la organización que permiten el control y monitoreo de procesos en los que se evalúa el desempeño, y determinan si se ha logrado un ahorro real objetivo, se emplean para visualizar resultados en el desempeño energético con relación a lo deseado, comparándose con la línea base energética [16], [18], [19].

En la tabla 1 se detallan algunos indicadores energéticos utilizados en edificios hospitalarios.

Tabla 1: Indicadores de Rendimiento Energético Utilizado en Edificios Hospitalarios [7], [20]

| Índice | Descripción | Unidades | Evaluación |
|---|--|--|--|
| Intensidad del uso de la energía. | Energía anual utilizada en el edificio. | $\frac{kWh}{m^2 \text{ año}}$ | Relación entre el consumo de la energía de un edificio y la superficie neta del edificio. |
| Intensidad energética de los edificios. | Energía anual de consumo sobre el tamaño de un edificio. | $\frac{kWh}{m^2 \text{ año}}$ | Método de cálculo simple de una ratio entre la energía anual. |
| Demanda anual de energía por cama ocupada. | Energía anual de consumo sobre camas ocupadas. | $\frac{kWh}{cama}$ | Relación de entre el consumo de energía utilizada para el área de hospitalización y número de camas utilizadas. |
| Demanda anual de energía por número de altas hospitalarias. | Energía anual de consumo sobre altas hospitalarias. | $\frac{kWh}{\text{número altas hora}}$ | Relación de entre el consumo de energía utilizada para el área de hospitalización y número de altas hospitalarias. |

3. METODOLOGÍA

Se realiza un balance energético del hospital caso de estudio, se determina el comportamiento del uso de la energía eléctrica en los últimos tres años, mediante un análisis del consumo de la tarifa eléctrica en el año 2022 se estima el consumo anual en función de las horas de su funcionamiento, se realiza mediciones específicas de los circuitos eléctricos para diferenciar los consumos eléctricos correspondientes a cada tablero de distribución, se idéntica indicadores energéticos agregados y desagregados para determinar las áreas prioritarias en las que se deben aplicar mejoras de ahorro y eficiencia energética, se utiliza un analizador de redes fijo Fluke 1 748, pinza amperimétrica 376 FC y luxómetro, equipos que permiten conocer los valores de consumo de energía eléctrica y niveles de iluminación en lúmenes.

Para la ventilación y climatización se identifica por medio de deterioros por los años que lleva la construcción, debido a factores como consecuencia de las variaciones climatológicas el territorio se encuentra influenciado por su propia geografía y no varía con la altitud y la región.



3.1. Estadística Energética

El gasto y representación porcentual por portador energético se determina al consumo de energía eléctrica como mayor portador energético con un 46,84 %, utilizado para diferentes aplicaciones en la industria, seguido el oxígeno con un 36,90 % utilizado en pacientes ventilados, GLP (Gas licuado de petróleo) con un 12,80 % utilizado para la cocción de alimentos y calentamiento de agua, diésel con un 1,80 % utilizado en la generación de energía eléctrica y finalmente la gasolina con un 1,70 %, (ver Fig. 2).

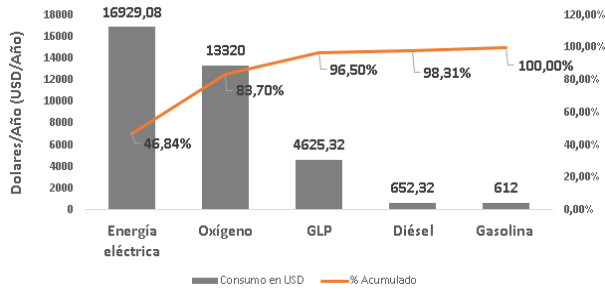


Figura 2: Representación Porcentual de Portadores Energéticos

Entre los años 2020 y 2022 el consumo de energía eléctrica fue mayor en el año 2020 debido a la pandemia del COVID 19, en el año 2021 tiende a una baja de 9,66 % y en el año 2022 con respecto al año 2021 tiende a un crecimiento de 5,48 % (ver Fig. 3).

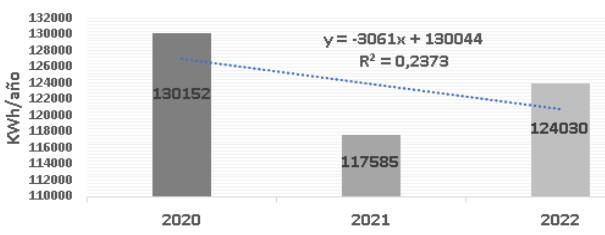


Figura 3: Historial de Consumo Eléctrico del Hospital en el Periodo 2020-2022

El suministro eléctrico procede de la red de la empresa eléctrica Elepco S.A. a medio voltaje de 13 800 V a 220 V mediante un transformador trifásico instalado en cámara en el interior del edificio. El transformador es de marca INATRA de 75 kVA es el que abastece a toda la carga total del hospital, de los terminales del transformador parte en bajo voltaje al tablero general y de ahí se deriva al tablero de transferencia automático en conjunto con la acometida del generador 152 kVA que alimenta para casos de emergencia, del tablero de transferencia sale una acometida al tablero general, de este tablero se distribuyen la alimentación a cargas generales del hospital, además del tablero general alimenta a un tablero de transferencia automático que ingresa a la acometida de un generador de 20 kVA exclusivo para el banco de vacunas para casos de emergencia.

Del tablero de distribución principal parte a sub tableros que alimentan el sistema de fuerza normal,

regulada, iluminación y aire acondicionado, las acometidas a los sub tableros son trifásicos 4 hilos, se comprende el sistema a bajo voltaje desde los terminales del transformador hasta el uso final de la energía, y operan a un voltaje de 220/127 V, consideraciones técnicas que fueron destinadas para servicios de la salud.

El departamento de mantenimiento eléctrico del hospital recopiló mensualmente datos del consumo de electricidad a partir de datos de facturas emitidas por la distribuidora, se analiza los datos para comparar y comprobar que el precio sea el pactado en el contrato, el precio fluctuó en función del valor de la energía mediante pliego tarifario 0,06 USD/kWh. Además, se evaluó el consumo eléctrico mediante información de 12 meses con respecto al servicio brindado, el promedio mensual de consumo eléctrico en el año 2022 es de 10 335,83 kWh, con un consumo anual de 124 030 kWh y una potencia máxima de 42 kW determinado por la distribuidora, cancelado un valor total por el servicio anual de USD 10 149,97 (ver Fig. 4).

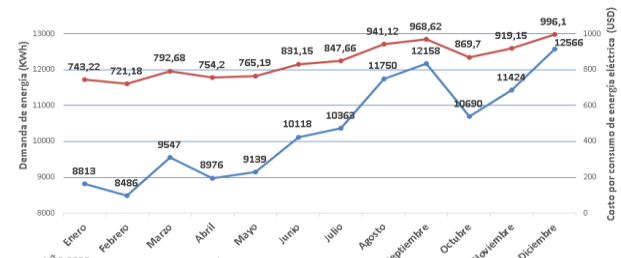


Figura 4: Consumo y Costo Anual de Energía Eléctrica año 2022

A través de la estimación de la demanda se determina los porcentajes de distribución de consumo eléctrico, donde se identifica que el de mayor consumo son los motores eléctricos con un 38 %, seguido por la iluminación con un 21 %, entre otros (ver Fig. 5). También se establece la distribución de consumo por áreas de servicio con un 6,68 % consulta externa, un 0,90 % triaje respiratorio, un 8,47 % quirófano, un 5,90 % sala de partos, un 3,91% emergencia, un 3,30 % laboratorio, un 1,14 % imagenología, un 30,32 % lavandería, un 4,25% cocina, un 1,59 % ECU 911, un 2,53 % residencia médica, un 8,40 % iluminación externa, un 6,25% cuarto de máquinas, un 12,79 % área administrativa y un 3,52 % banco de vacunas.

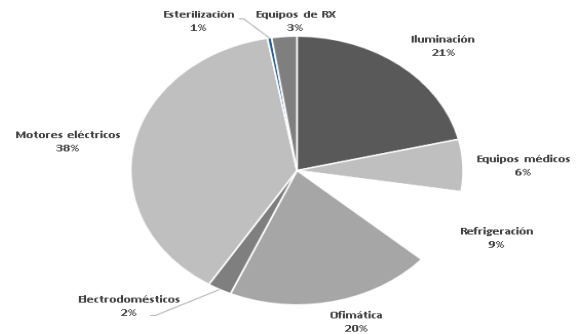


Figura 5: Porcentajes de Utilización de la Energía Total Consumida



3.2. Identificación de Indicadores de Desempeño Energéticos (IDEn)

Para la identificación de indicadores de desempeño energético (IDEn), el proceso para la construcción de la línea base se establece mediante estrategias utilizadas en el estado del arte [7], [20], [21].

Para un hospital de 15 camas y un valor de consumo anual de energía eléctrica de 124,03 MWh.

Mediante el indicador específico agregado de energía anual, cuantifica la energía utilizada al año en (MWh) por cantidad de camas en dicho hospital (número de camas), como indica en (1).

$$\frac{E_E}{\text{camas/año}} = \frac{(MWh)}{(\text{camas/año})} \quad (1)$$

$$\frac{E_E}{\text{camas/año}} = \frac{124,03 \text{ MWh}}{15 \text{ camas/año}} = 8,27 \text{ MWh/cama/año}$$

A través de la correlación del consumo de la energía mensual (kWh) y el porcentaje ocupacional en la estancia (camas/mes), (ver Fig. 6).

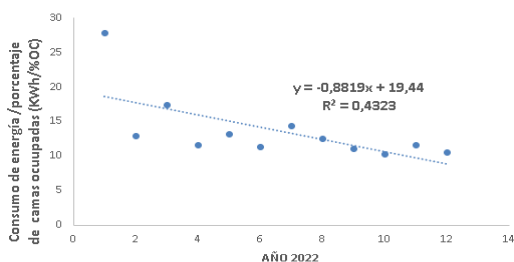


Figura 6: Relación del Consumo de la Demanda con el Porcentaje de Camas Ocupadas/mes

Para hallar otro indicador energético hospitalario en el suministro eléctrico, se establece el consumo de la energía mensual (kWh) por metro cuadrado (m²) para una aproximación de 2 400 m² (ver Fig. 7).

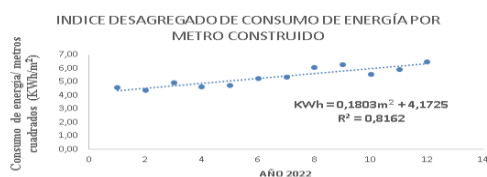


Figura 7: Indicador Energético Consumo de Energía Mensual por Metro Cuadrado/mes

Para el área de lavandería la línea base establece la correlación de consumo de la energía mensual (kWh) y los kilogramos ropa lavada mes (kg rl/mes), (ver Fig. 8).

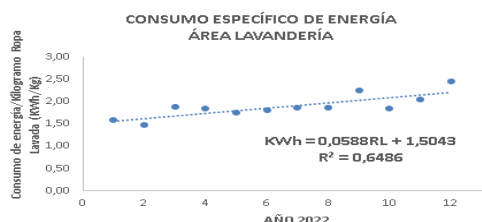


Figura 8: Indicador Energético Específico, Consumo de Energía por Kilogramo Ropa Lavada/mes

La descripción del índice de la densidad de potencia eléctrica de alumbrado relaciona la potencia instalada de alumbrado (W), con el valor de la superficie construida (m²), y establece que mediante el tipo de edificio la evaluación de la DPEA no debe superar el valor de 14 W/m², para hospitales, sanatorios y clínicas (ver Fig. 9).

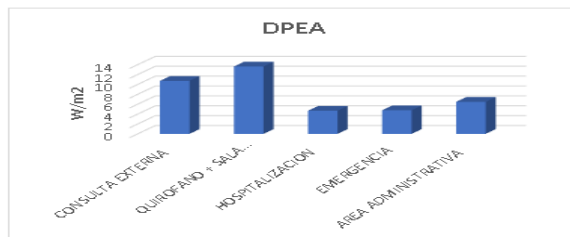


Figura 9: Índice de Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado (DPEA)

3.2.1. Análisis

En la Fig. 7 y 8 se determina los índices desagregados de acuerdo a las áreas de mayor consumo, el coeficiente de determinación R² indica la relación de la variable dependiente (consumo eléctrico), y de las variables independientes (porcentaje de ocupación de camas, metros cuadrados, kilogramo ropa lavada), además de presentar pérdidas no asociadas debido a la ineficiencia del sistema eléctrico.

En la Fig. 9 se presenta la evaluación del índice de densidad de potencia eléctrica de alumbrado (DPEA), se puede afirmar que se encuentra dentro del requerimiento de la norma establecida NOM-007-ENER-2014, bajo el valor de 14 (W/m²) como especifica la normativa.

3.3. Calidad de Energía Eléctrica

El desarrollo de la metodología propuesta para el estudio de la calidad de energía es mediante el uso del analizador de redes marca Fluke modelo 1 748 con número de serie del instrumento 4 546 480, equipo de medición utilizado para la obtención de parámetros eléctricos, el procedimiento se realiza con la instalación del equipo en el lado de bajo voltaje del transformador como el punto de común acoplamiento (PCC).

Se determino los datos como niveles de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, armónicos de voltaje, armónicos de corriente y flickers en un periodo de registro de 7 días continuos y con toma de muestra en intervalos de 10 minutos desde el 27 julio a las 9:20 a.m. hasta al 3 de agosto a las 9:20 a.m. del año 2022.

En la tabla 2 se observa los resultados del estudio de calidad de energía y la aplicación de la regulación ecuatoriana ARCERNNR – 002/20, [22].

Tabla 2: Resultados del Estudio de Calidad de Energía

| PARÁMETROS | PROM. | MÁX. | MÍN. | ARCENL 002/20 |
|----------------|-------|-------|--------|---------------|
| Voltaje fase A | 125,6 | 128,6 | 122,13 | Si cumple |
| Voltaje fase B | 126 | 128,9 | 122,77 | Si cumple |
| Voltaje fase C | 125,9 | 129 | 122,18 | Si cumple |

| | | | | |
|--|-------|-------|-------|-----------|
| Desbalance de voltaje | 0,26 | | | Si cumple |
| Corriente fase A | 48,03 | 140,6 | 19,57 | N/A |
| Corriente fase B | 45,34 | 80,36 | 14,99 | N/A |
| Corriente fase C | 39,95 | 99,69 | 16,55 | N/A |
| Desbalance de corriente | 0,25 | | | N/A |
| Factor de potencia total | 0,87 | 0,98 | 0,46 | No cumple |
| Distorsión de armónico de voltaje fase A | 1,25 | 4,83 | 0,4 | Si cumple |
| Distorsión de armónico de voltaje fase B | 1,14 | 5,5 | 0,42 | Si cumple |
| Distorsión de armónico de voltaje fase C | 1,3 | 6,23 | 0,46 | Si cumple |
| Distorsión de armónico de corriente fase A | 19,02 | 48,09 | 5,17 | No cumple |
| Distorsión de armónico de corriente fase B | 20,51 | 62,07 | 5,77 | No cumple |
| Distorsión de armónico de corriente fase C | 34,32 | 76,15 | 5,95 | No cumple |
| Flicker corta duración fase A | 0,33 | 1,96 | 0,06 | Si cumple |
| Flicker corta duración fase B | 0,33 | 1,69 | 0,04 | Si cumple |
| Flicker corta duración fase C | 0,36 | 2,31 | 0,05 | Si cumple |

Los resultados de la tabla 2 muestran los parámetros que cumplieron la regulación ARCERNR 002/20 (si cumple), mientras las que no cumplen (resaltado de color tomate) se debe a la presencia del más del 5 % de distorsión de la demanda total (TDD) con un valor promedio de 24,62 %, debido a la presencia de carga capacitiva generada por las luminarias en el periodo de la noche, además de cargas monofásicas causantes de generar la tercera armónica, motores y bombas eléctricas que generan la quinta armónica con mayor presencia en la fase C, además causando un bajo factor de potencia promedio del 0,87 que debe ser compensado por banco de capacitores para mejorar a un valor superior del 0,92 exigido por la regulación.

3.4. Diagnóstico del Sistema de Iluminación

El sistema de iluminación representa un gran porcentaje del consumo energético, es por ello que se determina la cantidad y tipo de lámparas existentes por área de servicio del Hospital Yerovi Mackuart, y la utilización de energía para el sistema lumínico.

Para el desarrollo del sistema lumínico en el hospital Yerovi Mackuart, se aplica las normativas UNE-EN 12464-1 y Decreto Ejecutivo 2393, donde se identifica niveles de iluminación mínima que se deben cumplir por área asignada de trabajo [23], [24].

Los pasos a seguir in sitio fueron: encender las lámparas con antelación, se espera 20 minutos después de encendido, se verifica si influye luz natural, la medición se realiza tanto en el día como en la noche, se efectuó 3 mediciones en cada punto o zona determinada.

Para la distribución del sistema de iluminación se contabiliza 174 lámparas, se verifica el tipo de lámpara, además se toma en cuenta el color de pintura para evitar la reflectancia, identificando el color blanco hueso en todo el establecimiento. Para la medición de campo se utiliza el luxómetro modelo 20250-00, por ser un equipo que permite las mediciones precisas, y para su utilización se sigue los pasos de la normativa NOM-025-STPS-2008 [25], en el gráfico de la Fig. 10 se puede apreciar los resultados obtenidos a través de la medición del nivel de iluminación in situ.



Figura 10: Medición en Lúmenes (LX) por Área de Servicio HBYM

El estudio de iluminación efectuado en el hospital se lo realizó en las áreas de servicio directo al paciente como consulta externa, hospitalización, emergencia y quirófano, los resultados arrojados demostraron que en la mayoría de áreas no cumple con el nivel establecido en la normativa internacional UNE-EN 12464-1.

4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. Compensación Reactiva

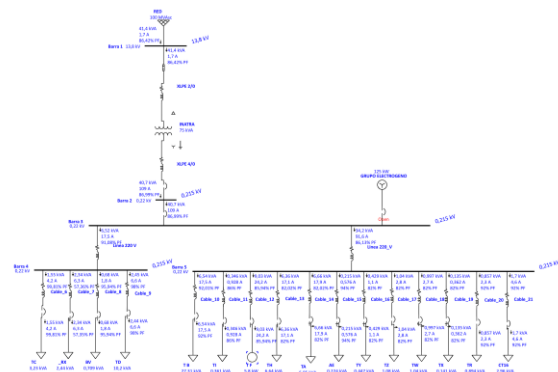


Figura 91: Simulación de Flujo de Potencia del HBYM

En base al estudio de calidad de energía ejecutado, se realiza una simulación de flujo de potencia en estado estable por medio del software ETAP (ver Fig. 11), mediante el cual se utiliza para el análisis de compensación reactiva y mitigación de distorsión armónica de corriente generada por el hospital de manera de cumplir la normativa regulatoria del Ecuador ARCERNR 002/20.

4.1.1. Corrección del bajo factor de potencia

La corrección del bajo factor de potencia se realiza mediante la ecuación (2), donde P es la potencia activa y Q_C es la potencia reactiva de compensación necesaria para mejorar el factor de potencia inicial $\varphi 1$ de 0,87 a un valor $\varphi 2$ del 0,95 para una potencia máxima obtenida de 36,79 kW.

$$Q_C = P * (\tan(\varphi 1) - \tan(\varphi 2)) \quad (2)$$

$$Q_C = 36,79(\tan(\cos^{-1}(0,87)) - \tan(\cos^{-1}(0,95)))$$

$$Q_C = 8,44 \text{ kVAr}$$

Para el cálculo del capacitor por fase se utiliza la ecuación (3), donde V es el voltaje de fase, f es la frecuencia y C es el valor del capacitor:

$$C = \frac{Q_C/3}{2\pi f(V)^2} \quad (3)$$

$$C = \frac{8,44 \text{ kVAr}/3}{2\pi * 60(127 \text{ V})^2}$$

$$C = 463 \mu\text{F}$$

La reactancia del condensador (X_C) está dado por la ecuación (4), donde kV es el voltaje de fase en kilovoltios:

$$X_C = \frac{kV^2}{Q_C} \quad (4)$$

$$X_C = \frac{(0,127 \text{ kV})^2}{8,44 \text{ kVAr}}$$

$$X_C = 5,72 \Omega$$

La reactancia del reactor (X_L) está dado por la ecuación (5), donde h_s es el orden armónico de sintonización:

$$X_L = \frac{X_C}{h_s^2} \quad (5)$$

$$X_L = \frac{5,72}{(4,9)^2}$$

$$X_L = 0,24 \Omega$$

La resistencia del reactor (X_R) dado por la ecuación (6):

$$X_R = \sqrt{X_C * X_L} \quad (6)$$

$$X_R = \sqrt{5,72 * 0,24}$$

$$X_R = 1,17 \Omega$$

Aplicando un factor de calidad de 100 se obtiene un valor de resistencia (R) mediante la ecuación (7):

$$R = \frac{X_R}{Q} \quad (7)$$

$$R = \frac{1,17}{100}$$

$$R = 0,012 \Omega$$

En la tabla 3 se observa el resultado del filtro pasivo sintonizado al quinto orden armónico, estos valores sirven para el diseño y simulación en el software ETAP.

Tabla 3: Valores de Filtro Pasivo Sintonizado a la Quinta Armónica

| Filtro pasivo | Qc (kVAr) | Q | Xc | hs | XL | XR | R (mΩ) |
|---------------|-----------|-----|------|------|------|------|--------|
| | 8,44 | 100 | 5,72 | 4,90 | 0,24 | 1,20 | 12,00 |

4.1.2. Diseño de compensación por filtro pasivo

Debido al alto contenido de armónico total de corriente mayor al 8 % por parte de la presencia del armónico 3 y 5 que no cumple la regulación vigente ARCERNNR 002/20 se implementa una compensación reactiva sintonizado a los armónicos presentes de manera que no entren en resonancia.

Los armónicos de orden homopolar no pasan por la conexión en delta del lado de alta del transformador y el armónico de quinto orden si está presente y no cumple con la regulación vigente, en vista que el problema del tercer orden armónico en el lado de baja o PCC analizado, la solución es el balance de cargas y el mejoramiento de puesta a tierra de las cargas debido a la presencia de corrientes en el neutro.

Para la sintonización de la quinta armónica se realiza mediante la implementación de un filtro pasivo mediante el software ETAP, de esta manera evitamos la resonancia y compensamos la potencia reactiva necesaria para mejorar el factor de potencia a 0,95.

Como resultado a la implementación de un filtro pasivo de 8,46 kVAr obtenido por el diseño del software ETAP equivalente al calculado anteriormente, los valores de armónicos en porcentajes se encuentran por debajo del 7 % cumpliendo la regulación ARCERNNR 002/20, de igual manera el contenido de armónico total de corriente se encuentra en un valor de 6,18 % cumpliendo ser menor al 8 % permitido por la normativa para esta red eléctrica.

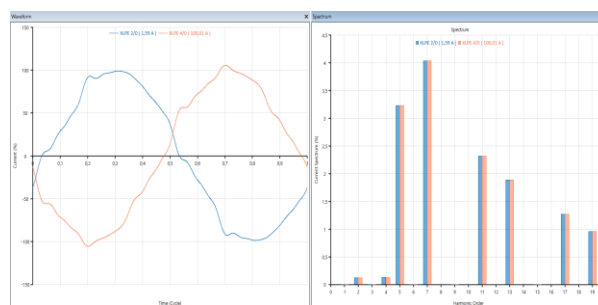


Figura 12: Comparación de Armónicos Presentes en el Lado de Baja (color tomate) y Lado de Alta (color azul) del Transformador del Hospital Yerovi Mackuart con la Implementación del Filtro Pasivo

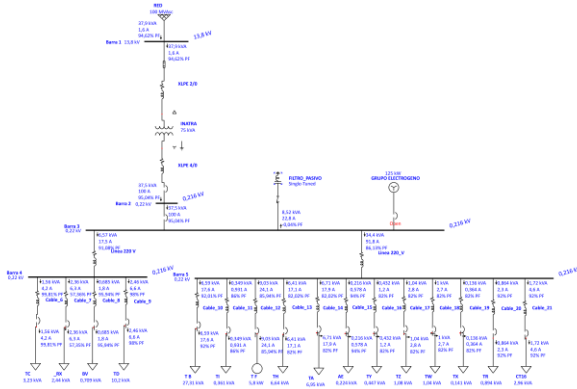


Figura 13: Simulación de Flujo de Potencia del HBVM con la Implementación del Filtro Pasivo

Se observa el flujo de potencia en el estudio del hospital Yerovi Mackuart que con la implementación del filtro pasivo mejora el factor de potencia de un valor de 0,87 a un 0,95 para cumplir la regulación ARCERNR 002/20 de un valor mayor al 0,92.

4.1.3. Ahorro de energía mediante la compensación reactiva

Mediante la implementación del filtro pasivo para la compensación reactiva en el alimentador principal a 220 V del hospital de un consumo de potencia reactiva de 20,10 kVAr a un 11,70 kVAr, representa casi a la mitad de energía desperdiciada en la componente reactiva que consume el hospital, representando a un valor económico de la energía, donde se muestra un ahorro de energía mediante la implementación de un filtro pasivo para la compensación reactiva.

La estimación de energía ahorrada mediante la implementación del filtro pasivo es mensualmente de 300 kWh que representa a 20 USD y un ahorro anual de 240 USD al año.

4.2. Sistema de Iluminación

Para la modelación del sistema de iluminación se utiliza el software DIALux.

Con el objetivo de mejorar los índices de eficiencia energética se propone una alternativa al Hospital Yerovi Mackuart, la cual consiste en el cambio de lámparas fluorescentes por lámparas de mejor calidad y rendimiento prolongado como son las lámparas LED. Estas lámparas se sugieren colocar en las áreas determinadas donde se ha identificado 88 lámparas fluorescentes con balastro, donde las mediciones de lúmenes no cumplen con lo propuesto en la normativa y para las áreas determinadas donde cumple con la normativa se propone realizar un mantenimiento preventivo.

Se emplea un total de 88 luminarias LED para el diseño del sistema de iluminación, con una eficiencia luminosa desde 3 350 lm/W hasta 8 570 lm/W, el sistema

planteado para el cambio de luminarias cumple los parámetros establecidos producto del adecuado diseño del ambiente visual, de esta manera mejora las actividades diarias y cumple con un confort visual adecuado.

4.2.1. Distribución de energía en la iluminación

En el reconocimiento de escenarios de iluminación a través de la verificación del número y distribución de las luminarias en el establecimiento de salud se contabiliza 174 lámparas, mediante evaluación lumínica y confirmación con la simulación en DIALux se detectó 88 lámparas que pertenece al 50,57 % del total de las luminarias con bajos niveles de iluminación, en la Fig. 14 se observa la distribución de energía en el hospital, en el uso de la energía por concepto de iluminación.

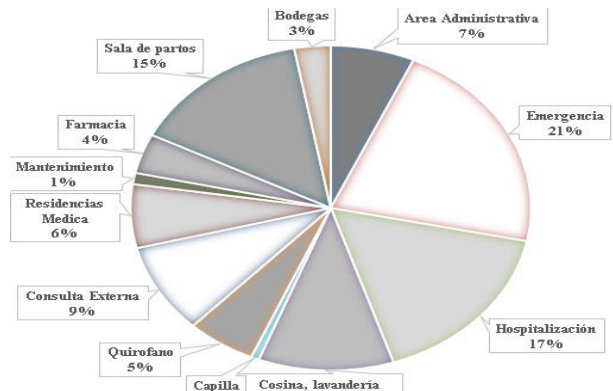


Figura14: Porcentaje Relativo por Área de Trabajo en el Sistema de Iluminación Actual

4.2.2. Ahorro energético en iluminación

El cambio de lámparas fluorescentes a LED permite un ahorro energético estimado de 5 207,69 kWh/año, en la Fig. 15 se observa el porcentaje de ahorro energético anual en iluminación y se alcanza un porcentaje de 19,74 % con el cambio de lámparas fluorescentes a lámparas LED.

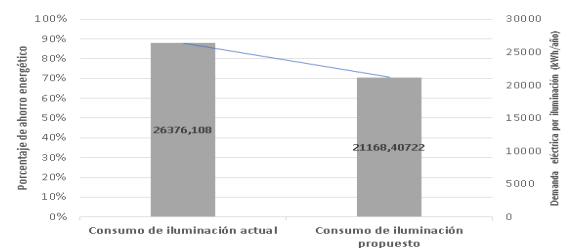


Figura 15: Porcentaje de Ahorro Energético por Iluminación

4.3. Ahorro Energético Anual Global

El ahorro anual por la implementación del banco de capacitores y cambio de lámparas en luminarias alcanzo un valor estimado total de 8 807,70 kWh, por el valor de 0,06 USD del costo por kWh consumida mediante pliego tarifario asciende a un ahorro económico anual de 572,50 USD.



4.4. Evaluación de Indicadores Energéticos

Con los resultados obtenidos se evalúa los indicadores energéticos realizando la comparación de los (IDEn) con el primer indicador global evaluado anteriormente con la ecuación (1).

Para un hospital de 15 camas con un valor de consumo anual de energía eléctrica propuesto 115 222 kWh/año.

$$\frac{E_E}{\text{camas/año}} = \frac{115,22 \text{ MWh}}{15 \text{ camas/año}} = 7,68 \frac{\text{MWh}}{\text{camas/año}}$$

En este caso se puede ver la diferencia ya que disminuye el consumo de energía anual de 8,26 (MWh/cama) /año a un valor de 7,68(MWh/camas/año).

El indicador de eficiencia energética establece la relación del costo de la energía anual ahorrada (USD) y la energía anual ahorrada al año (kWh).

$$\frac{572,50 \text{ USD}}{8\,807,70 \text{ kWh/año}} = 0,06 \text{ USD/kWh/año}$$

El indicador de emisiones evitadas de dióxido de carbono (CO₂), se evalúa las emisiones evitadas mediante propuesta logrando reducir 8 807,69 kWh/año y 1 688,43 kg/CO₂/año.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de indicadores energéticos permitió evaluar tanto de forma agregada como desagregada, además de definir el orden de criterios de evaluación e identificar indicadores de consumo específico de energía, la eficiencia energética alcanzo un valor de 0,065(USD/(kWh/año)) y la emisión de gases efecto invernadero alcanzo un valor de 1 688,43 kg/ CO₂/año.

Mediante el análisis de flujo de potencia implementado se realiza la compensación reactiva de la carga debido al bajo factor de potencia que se encuentra en 0,87 por debajo del límite exigido por la regulación ARCERNR 002/20, al realizar el estudio de armónicos, se procede a realizar un balance de cargas para disminuir la generación del tercer armónico, de tal manera de compensar el bajo factor de potencia sintonizando a la quinta armónica predominante mayor al 10 % de THDi, el proceso se realiza mediante el software ETAP para visualizar el comportamiento de la implementación de un filtro pasivo, como resultado el factor de potencia sube a 0,95 y el valor de la demanda aparente baja a 37,5 kVA con un THDi de 6,18 % que se encuentra por debajo del 8 % exigido por la normativa.

Al sustituir lámparas fluorescentes por lámparas LED con niveles lumínicos acorde a la normativa UNE-EN 12464-1 de eficiencia energética con potencia de 24 W, se disminuyó el consumo eléctrico y mejoro el nivel de luminosidad dentro de los valores permitidos, reduciendo el consumo energético estimado en 5 207,69 kWh/año.

Se debe implementar un balance de todas las cargas conectadas a los tableros principales y subtableros de derivación, debido al alto desbalance existente en sus tres fases, esto ocasiona que se genere armónicos del tercer orden al tener cargas monofásicas conectadas, además se debe realizar un mejoramiento de las puestas a tierras, debido a un alto valor de corriente que circula por el neutro del transformador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] K. Gauer, N. Serrano, A. Zamorano, R. R. Dise, and R. Santiago, "Eficiencia energética en hospitales públicos". 2009.
- [2] T. E. Management, "La gestión energética y su impacto en el sector industrial de la provincia de Villa Clara,Cuba," Facultad de ingeniería mecánica, pp. 11–23, Septiembre 2013.
- [3] M. Z. Yilmazoglu, "Decreasing energy consumption and carbon footprint in a school building: a comparative study on energy audits", Int. J. Global Warming, Vol. 13, No. 2, pp.237–257, 2017.
- [4] A. M. Papadopoulos, "Energy Efficiency in Hospitals: Historical Development, Trends and Perspectives," pp. 217–233, 2016.
- [5] C. Jean, D. Ángel, and A. Jaime, "Nuevas Estrategias para un Plan de Uso Eficiente de la Energía Eléctrica", Ciencia, docencia y tecnología vol. 28, pp. 75–99, 2017.
- [6] K. Gauer, N. Serrano, A. Zamorano, R. R. Dise, and R. Santiago, Eficiencia energética en hospitales públicos. Santiago de Chile, Septiembre 2009.
- [7] J. Aunión-villa and M. Gómez-chaparro, "Study of the energy intensity by built areas in a medium-sized Spanish hospital," Energy efficiency, 2021.
- [8] J.Campaña and W. Chicaiza "Análisis e implementación de un sistema cliente/ servidor para la automatización de historias clínicas del hospital Yerovi Mackuart del área de salud n-º 3 salcedo, utilizando las herramientas open source", Universidad Técnica de Cotopaxi , Latacunga, 2011.
- [9] A. Liu, W. Miller, G. Crompton, and Y. Ma, "Principles to define energy key performance indicators for the healthcare sector," Proc. - 2020 Int. Conf. Smart Grids Energy Syst. SGES 2020, pp. 898–903, 2020.
- [10] T. Wang, X. Li, P. Liao, and D. Fang, "Building energy efficiency for public hospitals and healthcare facilities in China: Barriers and drivers," Energy, vol. 103, pp. 588–597, 2016. doi: 10.1016/j.energy.2016.03.039.
- [11] A. Buonomano, F. Calise, G. Ferruzzi, and A. Palombo, "Dynamic energy performance analysis: Case study for energy efficiency retrofits of

- hospital buildings,” *Energy*, 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.10.042.
- [12] B. Nouridine and A. Saad, “Energy Efficiency and Importance of Energy Monitoring System in Moroccan Hospitals,” *Rev. Invest. (Guadalajara)*, vol. 4, no. 2, pp. 39–45, 2020.
- [13] D. Martínez-Sierra, M. García-Samper, H. Hernández-Palma, and W. Niebles-Nuñez, “Energy management in the health sector of Colombia: A case of clean and sustainable development,” *Inf. Technol.*, vol. 30, no. 5, pp. 47–56, 2019.
- [14] A. Bonilla and W. Llanganate, “Auditoría Energética del Hospital Básico Latacunga. Propuesta de mejoras para obtener un eficiente uso energético,” Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, Latacunga, 2017.
- [15] C. Llivipuma and S. Víctor, “Implementación inicial de un sistema de gestión de uso de energía en un hospital público del Ecuador,” Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, 2016.
- [16] O. F. Prias Caicedo, J. C. Campos Avella, D. B. Rojas Rodríguez, and A. Palencia Salas, Implementación de un sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma ISO. 2019. Segunda Edición, Red colombiana de conocimiento en eficiencia energética, 2018.
- [17] R. Ramón, “Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía en el contexto Centro Americano”, Segunda Edición, Mexico, 2018.
- [18] D. Gesellschaft, “Guía técnica para la implementación de sistemas de gestión de la energía en el marco de la red de aprendizaje, Mexico, vol. 59, Febrero, 2017.
- [19] E. Cosenza, M. Devetta, M. Toma, and G. Stiff, Sistema de gestión de la energía (SGEn) para las autoridades locales, Union Europea, 2020.
- [20] N. Y. Dahlan et al., “Energy Star based benchmarking model for Malaysian Government hospitals - A qualitative and quantitative approach to assess energy performances,” *J. Build. Eng.*, vol. 45, no. October 2021.
- [21] S. Arrocas, H. Coria and C. Bosc, “Identificación de indicadores energéticos para el diseño de un programa de ahorro y eficiencia energética en una instalación hospitalaria”, Facultad de Ingeniería UNLP 5° Jornada, 2019.
- [22] ARCERNNR, “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”, 002/20, noviembre 13, 2020.
- [23] AENOR, “UNE EN 12464-1:2011 Iluminación e los lugares de trabajo,” Asociación española de Normalización y certificación, p. 54, 2012.
- [24] IESS, “Decreto Ejectivo 2393 Reglamento De Seguridad Y Salud De Los Trabajadores Y Mejoramiento Del Medio Ambiente De Trabajo,” Iess, pp. 2–94, 2011.
- [25] Secretaria de Trabajo, “Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008,” Caribemexicano.Qroo.Gob.Mx, pp. 1–9, 2008.



Fernando Arias Atiaja. - Nació el 02 de septiembre de 1980. Curso los estudios tecnológicos en el Instituto Tecnológico Superior Ramón Barba Naranjo; Título de Tecnólogo en Mantenimiento Eléctrico y Control Industrial. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2021. Actualmente desempeña como profesional independiente y cursa sus estudios de cuarto nivel en la Universidad Técnica de Cotopaxi en la carrera de electricidad mención en sistemas eléctricos de potencia. Sus campos de investigación están relacionados con la automatización industrial, eficiencia energética, calidad de energía, protección ambiental y sistemas eléctricos de potencia.



Armando Freire Freire. - Nació en Latacunga, Ecuador en 1994. Curso sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Ramón Barba Naranjo. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2020. Recibió su título de Magister en electricidad mención en sistemas eléctricos de potencia de la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2023. Actualmente desempeña el cargo de operador y técnico de mantenimiento de la subestación eléctrica Novacero S.A. planta Lasso. Sus campos de investigación están relacionados con las energías renovables, calidad de energía, coordinación de protecciones, mantenimiento y operación de equipos de potencia.