



Gestión Energética para Optimizar los Indicadores de Desempeño IDEn del Suministro Eléctrico en el Hospital Básico Yerovi Mackuart del Cantón Salcedo, en la Provincia de Cotopaxi, en el año 2022

Energy Management to Optimize IDEn Performance Indicators of Electricity Supply at the Yerovi Mackuart Basic Hospital in Salcedo Canton, Cotopaxi Province, in 2022

Fernando Rafael Arias Atiaja | Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador)

Carlos Iván Quinatoa Caiza | Universidad Técnica de de Cotopaxi (Ecuador)

ARTICLE HISTORY

Received: 20/12/2022
Accepted: 02/05/2023

PALABRAS CLAVE

Portadores energéticos, parámetros eléctricos, factor de potencia, IDEn, DPEA.

KEY WORDS

Energy carriers, electrical parameters, power factor, IDEn, DPEA.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el hospital Yerovi Mackuart, donde se identificaron portadores energéticos, se recopilaron niveles de consumo eléctrico de abril 2021 a septiembre 2022, se realizó la medición de parámetros eléctricos en los principales servicios y en la red del hospital, mediante la utilización de un analizador de redes, pinza amperimétrica y luxómetro, lo que confirmó la ineficiencia tanto en el uso de la energía eléctrica como lumínica, la compensación reactiva permitió incrementar un factor de potencia de 0,87 a 0,95, disminuyendo la cargabilidad del transformador, simular en DIALUX el sistema lumínico ayudó a evaluar y con base en tecnología LED cumplir criterios de calidad lumínica, disminuir la demanda eléctrica kWh, mientras los IDEn fueron mejorados al obtener una disminución de 13.748,2 kWh/año, y evitar 2635,63 kg/CO₂/año, las DPEA alcanzaron valores menores a 14 W/m²; por último, el estudio económico mostró una rentabilidad de valor actual neto de USD 2361,03 y una tasa interna de retorno de 21,25%.

ABSTRACT

The present research was carried out in the Yerovi Mackuart hospital, where energy providers were identified, electricity consumption levels were compiled from April 2021-September 2022, electrical parameters were measured in the main services and in the hospital network, using a network analyzer, amperimetric clamp and luxmeter, the reactive compensation allowed to increase the power frequency from 0.87 to 0.95, reducing the chargeability of the transformer, simulating the lighting system in DIALUX it also helped to evaluate and based on LED technology, to meet lighting quality criteria, to reduce the electrical demand kWh, while the IDEn were significantly improved by obtaining a decrease of 13748.2 kWh/year, and avoided 2635.63 kg/CO₂/year, the DPEA reached values of less than 14 W/m² and finally the economic study revealed a net present value cost-effectiveness of USD 2361.03 and an internal return rate of 21.25%.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión energética es una herramienta fundamental, un proceso sin el uso adecuado de la energía, es un proceso no eficiente enmarcado en el desarrollo de la sociedad humana, en el sistema energético actual donde la utilización de combustibles fósiles es insostenible, la producción y el consumo de energía causan incrementos constantes en los precios, como también el deterioro del medio ambiental, entonces surge la importancia

de contar con una gestión energética adecuada en todos los ámbitos [1].

El uso de la energía es esencial dentro de una unidad hospitalaria, estas áreas demandan de climatización originada por combustión de petróleo o gas, iluminación producida por electricidad, vapor causado por la transformación del agua a través de la combustión de derivados del petróleo, agua del sistema de agua potable [2].

Una evaluación racional de la energía en edificios sanitarios requiere de una minuciosa identificación de perfiles de consumo con regularidad, la variabilidad de resultados manifiesta que, para obtener una adecuada gestión energética, el consumo energético debe estudiarse por separado en cada área [3].

Impulsar la eficiencia energética es primordial en el estudio de gestión energética, para mejorar el uso racional de la energía y el aprovechamiento de la misma, destacando como una gran oportunidad [4].

El estudio de indicadores de desempeño energético (IDEn) es un mecanismo clave que permite que los resultados sean eficaces y medibles en el tiempo, dentro de la norma ISO 50001 [5].

La evaluación energética permite mejorar los indicadores de desempeño energético a través de enfoques multidisciplinarios, estos se dividen en cuatro subgrupos como evaluación, encuesta y recopilación de datos, retroadaptación y recopilación de datos para el control, se compara la auditoría antes y después de la rehabilitación, el objetivo es valorar para ver si se redujo la emisión de gases de efecto invernadero y el consumo de energía [6].

En salud pública el estudio energético es de gran interés, ya que ha sido muy irrisorio el estudio y poco a poco se han ido desarrollado desde centros de enfermería primitivos a organizaciones altamente complejas. Los hospitales además de la atención y el servicio que ofrecen, son establecimientos de enseñanza y de formación que van creciendo como incubadoras para la investigación y el adelanto en medicina y ciencias farmacéuticas, por lo tanto, los hospitales deben ser funcionales y de apoyo a las diversas funciones que se llevan a cabo [7].

Se propone un plan de acción conforme la creación de políticas energéticas, comenzando por la responsabilidad del personal y del usuario, cumplimiento de medidas internas que sirvan para detectar pérdidas de energía e impulsar la eficiencia energética, actividades que sean llevadas a la práctica dentro del referido uso eficiente de la energía, como promoción del cambio tecnológico y promoción del cambio del comportamiento del usuario del servicio [3].

Por lo tanto, se propone un enfoque basado en obtener varias oportunidades de recuperación de energía, siendo para ello necesario el estudio del potencial energético que presenta una viabilidad técnica y una rentabilidad económica frente a fuentes de energía convencionales [8].

La intención de este estudio pone de manifiesto el desarrollo de un análisis de calidad de energía y lumínica en el Hospital Básico Yerovi Mackuart. El objetivo es analizar el comportamiento del sistema eléctrico a través de un diagnóstico energético.

El objetivo fundamental es crear una metodología

de recopilación y cuantificación del consumo en el sistema energético hospitalario, identificar factores relevantes que afecten los procesos y proponer soluciones medibles en el tiempo; esperando obtener como resultado un bien común para la sociedad a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, además la educación de la comunidad en gestión energética y contribuir para una sustentabilidad y optimización en el uso racional de la energía y el aprovechamiento de la misma.

2. FUNDAMENTACIÓN

A. SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA (SGEn)

La ISO (Internacional Organization for Standardization) es la Organización Internacional de Normalización que elaboró la norma en junio del 2011, sobre sistemas de gestión de la energía ISO 50001 [4]. El sistema de gestión energética (SGEn) es un conjunto de reglas que proporciona una estructura y métodos necesarios para alcanzar los objetivos a través de procesos que establezcan la mejora continua del desempeño energético.

Cuando se aplica el SGEn en una organización se busca mejorar su gestión mediante estrategias que permitan aumentar y optimizar su eficiencia, el objetivo es aprobar la integración con otros sistemas de gestión organizacional como el de seguridad, medioambiente, calidad y salud. El desempeño energético lleva una correlación con la eficiencia energética el uso de la energía y el consumo de la misma [9] - [11].

En la figura 1 se observa el modelo de gestión de la energía basado en el ciclo de mejora continua PHVA (ver Figura 1).

B. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA SGEn

Están compuestos por la base sobre la que se fundamenta la operación de SGEn, en figura 2 los ejes como planeación, elaboración, verificación, requerimientos (ver Figura 2) [11],[12].

C. PROCESO DE UNA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA

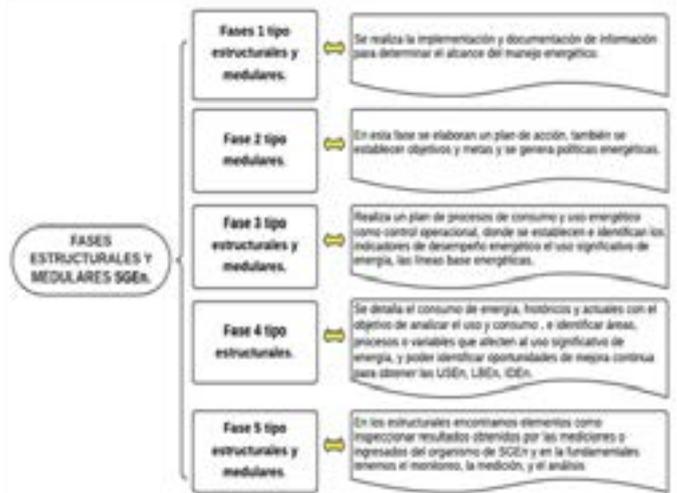
La planificación debe tener en cuenta incertidumbres, riesgos y oportunidades asociados al sistema y desempeño energético, donde interviene el gestor energético apoyado por su equipo, que debe planificar la recopilación de datos que certifiquen las particularidades claves de la operación que afecta al desempeño energético donde midan, identifiquen y analicen. Las metodologías utiliza-

Figura 1.

Ejes de estructuración del SGE_n, del ciclo de mejora continua [11]

Figura 2.

Fases estructurales y modulares [4], [12], [13]



das para la planificación son diagnóstico de desempeño energético, la línea base energética, indicadores de desempeño energético, además de objetivos metas y planes de acción (ver Figura 3) [14] - [16].

D. USOS SIGNIFICATIVOS DE LA ENERGÍA (USE_n)

Los USE_n establecen dos definiciones como potenciales e importantes para el desempeño energético y consumo substancial de energía; en el primero se utiliza resultados de estudios previos con buenas prácticas, con niveles de consumo y eficiencia en el uso de la energía, mientras que en el segundo se identifica un balance y muestra la representación de un mayor porcentaje de la energía [15].

E. PRINCIPIO DE PARETO

Es una representación gráfica que muestra la categoría relativa de diferentes causas para priorizar y lograr mayor efectividad; esta herramienta permite tomar decisiones sobre las causas que hay que resolver.

Podemos suponer dentro de una organización que un 20% de los procesos representan un 80% del consumo energético, por lo que estos son denominados como significativos [17], [4]. La figura 4 pertenece a la representación gráfica del diagrama de Pareto (ver Figura 4).

F. LÍNEA BASE ENERGÉTICA (LBE_n) E INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO (IDE_n)

A la línea base o referencia cuantitativa que provee la base de comparación del desempeño energético, estas LBE_n son fundamentales ya que permiten medir el desempeño energético y demostrar su mejora en el tiempo, las LBE_n se determinan al comparar el desempeño en un

período dado con la línea base energética e indica el estado del desempeño energético antes de realizar acciones de mejora, y se determinan en función de los límites y alcances, definidos por el SGE_n [14], [16].

Los indicadores de desempeño energético (IDE_n) son unidades de desempeño energético definidas 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 [14], [16].

G. ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS

Para obtener los parámetros eléctricos y selección del equipo analizador de redes se siguió la metodología de la figura 5 (ver Figura 5):

Como señala [18] se procedió a la selección del equipo analizador de redes de clase A, que cuenta con certificado de calibración, se adquirió el analizador de redes Fluke 1748, para obtener datos exactos y precisos.

Realizada la configuración del equipo e instalación se halló mediciones promedio de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, armónicos y flicker, dentro de un período comprendido entre el 27/03/2022 y el 04/08/2022 acorde a la normativa [19].

Nivel de voltaje

La regulación N.º ARCERNR-002/20, define al nivel de voltaje, con la tabla 1 de [19]:

$$\Delta V_k = \left(\frac{V_k - V_N}{V_N} \right) \quad (1)$$

Donde:

ΔV_k : Variación del voltaje de suministro con respecto al nominal en k (%).

Figura 3.

Esquema de la planificación del SGE [14]

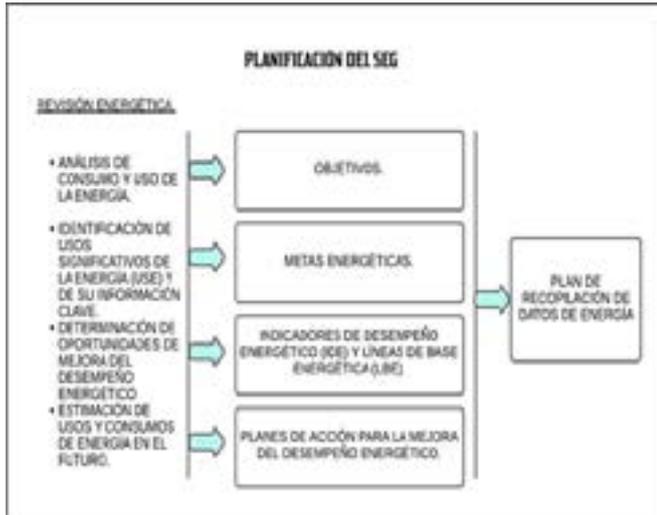


Figura 4.

Representación gráfica de Pareto [17]

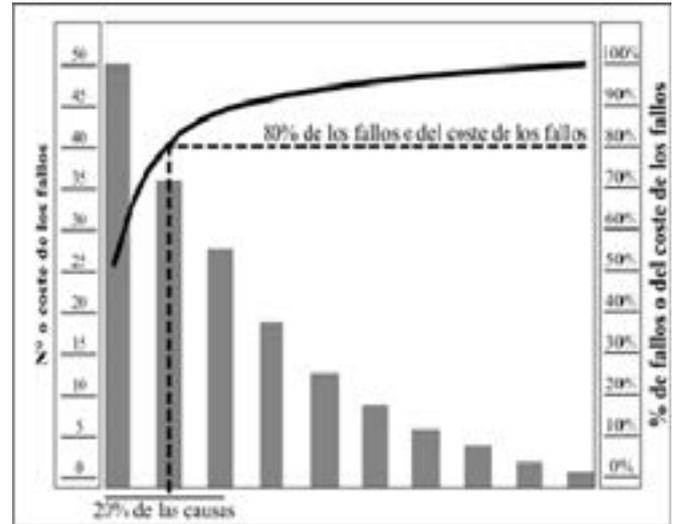
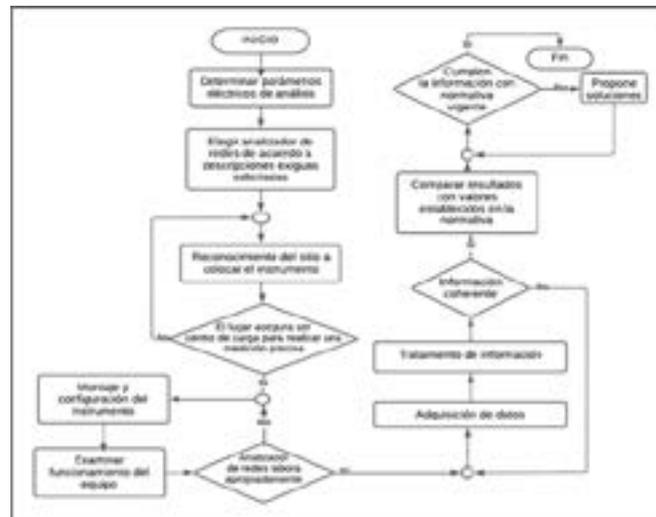


Figura 5.

Metodología para obtener parámetros eléctricos a través del analizador de redes



V_k : voltaje de suministro en el sitio k , definitivo como el promedio de las mediciones consignadas (por lo menos cada 3 segundos) dentro del período de 10 minutos (V).
 V_{Nk} : Voltaje nominal en el punto k (V).

Desequilibrio de voltaje y corriente

Dependencia del componente de secuencia positiva y negativa expresado como porcentaje, el desequilibrio de voltaje de un servicio trifásico es inferior al 5%, el desequilibrio de corriente puede ser mayor cuando existen cargas monofásicas [19]-[20], y está representado por la siguiente ecuación:

$$\% \text{Desequilibrio} = \frac{|V_{neg}|}{|V_{pos}|} \quad (2)$$

$$D_i = \left(\frac{I_{max} - I_{med}}{I_{med}} \right) \times (100\%) \quad (3)$$

Donde:

I_{max} : Corriente máxima entre las fases (A).

I_{med} : Corriente promedio de las fases existentes (A).

Distorsión armónica de voltaje

Es aquella medida de la cantidad que distorsiona o cambia la representación de onda del voltaje, los límites máximos de voltaje y factor de distorsión armónica individual se muestran en la tabla 2 [19], [21].

Distorsión armónica de corriente

Se aplica para usuarios conectados a rangos de sistemas donde el PPC es de 120 V a 69 KV. Podemos observar mediante la tabla 2 de [21].

Para determinar la corriente de cortocircuito utilizamos la ecuación 4:

$$I_{SC} = \frac{I_n}{X_{Tpu}} \quad (4)$$

Donde:

I_{SC} : Corriente máxima de cortocircuito en el PCC

I_L : Máxima demanda de corriente de carga

I_n : Corriente nominal monofásica (A)

X_{Tpu} : Reactancia del transformador por unidad (P.U.)

H. PROCEDIMIENTO PARA EL DIAGNÓSTICO DE ILUMINACIÓN

Para determinar el nivel de iluminación de las áreas en estudio y para cumplir este objetivo se procedió a seguir la metodología con los pasos de la figura 6 (ver Figura 6).

Para seleccionar el equipo de medición de luxes adecuado se consideró el criterio de [22] Apéndice A, A.3. Instrumentación, para ello se consideró un rango de medición de 0,5 a 500 luxes, mediante este criterio se eligió un luxómetro Digi-Sense 20250-00 que cumplió con las características requeridas.

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

A. LOCALIZACIÓN TERRITORIAL

El Hospital Básico Yerovi Mackuart se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi en el cantón Salcedo en la parroquia San Miguel, sirve a una población aproximada de 57.528 habitantes con un área de 12.070m² sus coordenadas geográficas son 1°0'20"S 78°35'23"W, se encuentra a 2652 metros sobre el nivel del mar, en la figura 7 se puede observar su ubicación geográfica (ver Figura 7).

B. BALANCE ENERGÉTICO DEL HOSPITAL CASO DE ESTUDIO

Se identificaron los portadores energéticos más representativos, mediante información de período de un año, comprendido entre octubre 2021-septiembre 2022, cuantificado en dólares, en la figura 8 se observa la barra más representativa que pertenece a energía eléctrica con un valor anual de USD 16.929,08, que comprende únicamente el rubro por consumo, sin considerar valores de terceros que se incluyen en la factura.

El porcentaje de consumos energéticos se distribuye de la siguiente manera: energía eléctrica en un 47,2%, el oxígeno en un 37,4%, seguido por el GLP en un 13%, el diésel en un 0,6% y la gasolina en un 1,7% (ver Figura 8).

Mediante la aplicación del diagrama de Pareto en la organización se observa que el 83,70% de energéticos que consume el hospital corresponde a energía eléctrica y oxígeno y el 17,30% corresponde al resto de energéticos.

C. DESCRIPCIÓN DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DEL HOSPITAL YEROVI MACKUART

El suministro eléctrico es atendido a medio voltaje de 13,2 kV, a través de la distribuidora y mediante el transformador se reduce a bajo voltaje, 220 y 127 voltios para su consumo, el transformador es de marca INATRA de 75 kVA el que abastece la carga total al hospital, de los terminales del transformador parte en bajo voltaje al tablero general y de ahí se deriva al tablero de transferencia automático, igual ingresa 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 de todo el hospital.

Del tablero de distribución principal parte a subtableros que alimentan el sistema de fuerza normal, regulada, iluminación y aire acondicionado, las acometidas a los subtableros son trifásicos, 4 hilos tensión nominal 220/127.

Se comprende el sistema a baja tensión desde los terminales del transformador hasta el uso final de la energía, y opera a un voltaje 220/127, consideraciones técnicas que fueron destinadas para servicios de salud.

Debido a los años que presentan las instalaciones del servicio hospitalario, ni el personal técnico ni administrativo muestran planos de construcción ni planos eléctricos unifilares, por lo que se procedió a hacer un levantamiento unifilar eléctrico mediante visita *in situ* (ver Figura 9).

Una apropiada distribución de planta en establecimientos donde laboran personal médico, de enfermería, auxiliar y servicios técnicos, y son destinado a la atención y asistencia a enfermos tiene como resultado el mejoramiento continuo de la calidad de producto y el estado anímico del talento humano que labora. A continuación, en la figura 10 se presenta la representación gráfica de las instalaciones (ver Figura 10).

D. ANÁLISIS DE LA DEMANDA, CONSUMO Y COSTOS RELACIONADOS A LA ENERGÍA ELÉCTRICA

En este apartado se evaluó el consumo eléctrico mediante información de 18 meses con respecto al servicio brindado, se visualiza la demanda de consumo eléctrico y los valores facturados mensuales desde abril 2021 hasta septiembre 2022 (ver Figura 11).

En la figura 11 se observa que la demanda eléctrica varía según los meses del año, para el año 2022 en el mes de febrero se tiene el consumo más bajo con 8486 kWh, y septiembre muestra el consumo más alto con un valor de 12.158 kWh, mientras que para el año 2021 el mayor consumo se da en el mes de julio con 10.934 kWh, y el más bajo se da en el mes de noviembre con un consumo de 8894 kWh, esta variación de consumo se refleja debido al incremento de pacientes atendidos en estos períodos, además del uso de equipos de calefacción y ventilación,

Figura 6.
Metodología para medir parámetros de iluminación

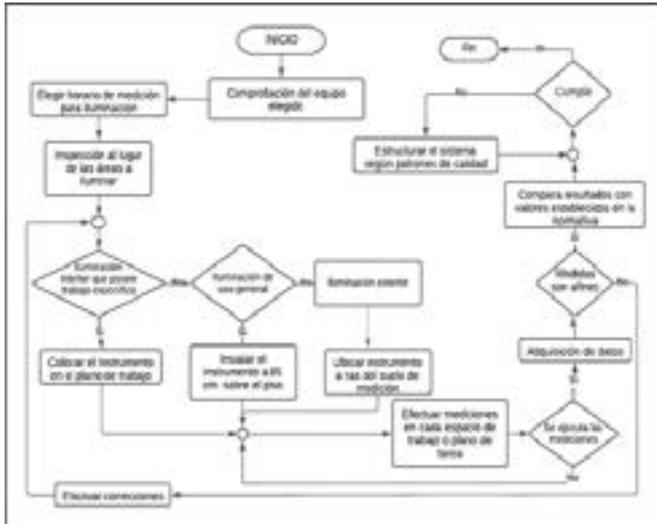


Figura 7.
Vista aérea del Hospital Básico Yerovi Mackuart



Figura 8.
Diagrama de Pareto de portadores energéticos

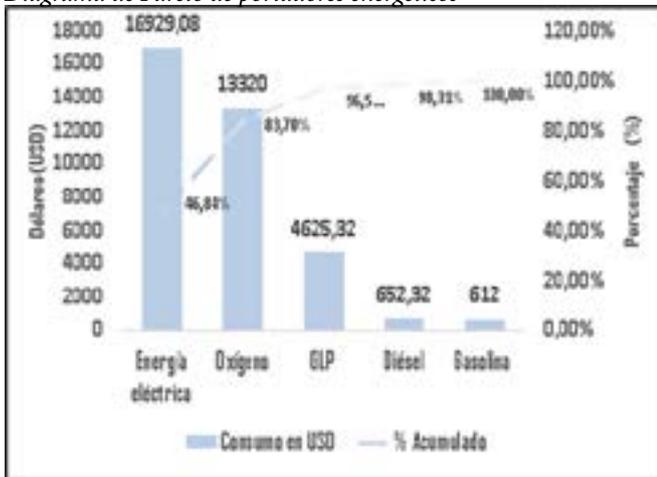


Figura 9.
Diagrama unifilar del HBYM

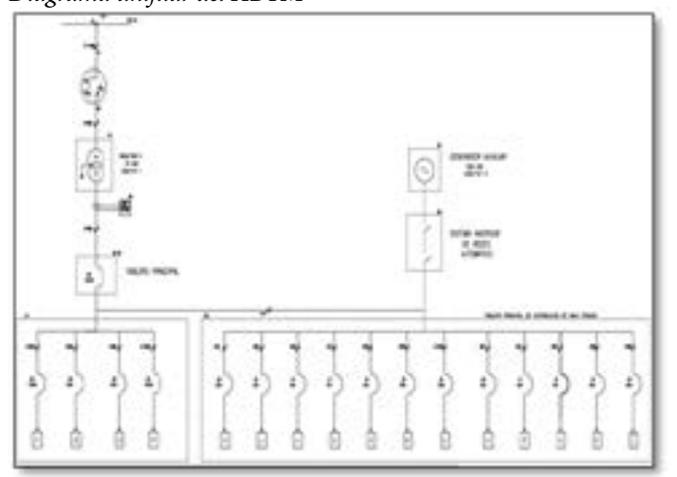
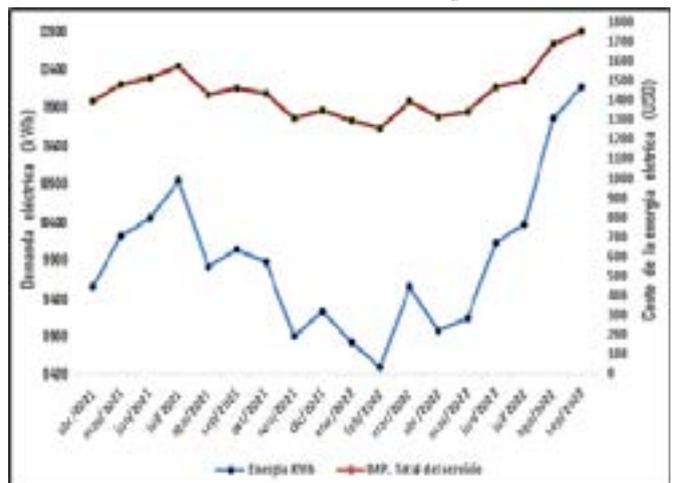


Figura 10.
Representación gráfica del Hospital Básico Yerovi Mackuart



Figura 11.
Consumo eléctrico mensual desde abril 2021 a septiembre 2022 (KWh)



ya que según el INAMHI para la provincia de Cotopaxi en temporada de verano alcanza una temperatura máxima de 19°C y una mínima de 3°C [23], además de que

en invierno es más frío y hay menos horas de luz natural, esto se traducen en mayor consumo de energía.

E. CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL HOSPITAL BÁSICO YEROVI MACKUART

El equipo de medición utilizado para la obtención de parámetros eléctricos fue mediante el analizador de redes Fluke 1748, con número de serie del instrumento 45464802, conectado en el transformador en baja tensión por un lapso de 8 días continuos y con toma de muestra de 10 minutos [19], [20], [21], para ello se utilizó la metodología de la figura 5.

Niveles de voltaje

Con el propósito de analizar los niveles de voltaje consideramos el voltaje de fase (127 V). El HBYM al ser suministrado en baja tensión 220-127 V, según la normativa, no debe sobrepasar $\pm 8,00\%$

Desequilibrio de voltaje

Mediante el reporte del analizador de redes se obtuvo información precisa, además para hallar el desequilibrio de tensión se calcula con la siguiente expresión:

$$D_V = \left(\frac{V_{max} - V_{med}}{V_{med}} \right) * (100\%) = \left(\frac{126.036 - 125.89}{125.89} \right) * (100\%) = 0,115974 < 2\%$$

Los resultados muestran que el porcentaje de desequilibrio de voltaje está por debajo de los límites permitidos concluyendo que no existe desbalance de tensión.

Desequilibrio de corriente

Para encontrar el desequilibrio de corriente requerimos de valores de corriente que dependen de la carga durante un período de tiempo.

El desequilibrio de corriente se calcula con la siguiente expresión:

$$D_V = \left(\frac{V_{max} - V_{med}}{V_{med}} \right) * (100\%) = \left(\frac{48,54 - 45,03}{45,03} \right) * (100\%) = 0,115974 < 2\%$$

Factor de potencia

El Hospital Básico Yerovi Mackuart mediante el equipo analizador de redes arroja un resultado con un factor de potencia promedio de 0,87 durante las horas de trabajo.

Demanda eléctrica HBYM

Muestra una demanda máxima de 80,87 kVA lo que se concluye que el transformador se encuentra al 108% de cargabilidad

Distorsión armónica individual

Debido a que el hospital alimenta del suministro eléctrico a bajo voltaje a 127/220 voltios, el rango debe mantenerse por debajo del 5,00% para armónicos individuales de tensión.

Distorsión armónica total (THD)

Teniendo datos, se analiza valores porcentuales del THD que según la regulación no deben superar al 8%.

El promedio del THD máximo entre fases alcanza un valor de 2,60% lo que es inferior al límite permisible.

Distorsión armónica de corriente

Distorsión armónica individual

Para establecer la distorsión armónica individual de corriente, se establece la relación I_{sc}/I_L mediante el cálculo de la corriente nominal.

$$I_n = \frac{S_T}{V_N} = \frac{75KVA}{220V} = 340A$$

Una vez que se obtiene el valor de la corriente nominal se procede a hallar la corriente de cortocircuito, además es necesario conocer la impedancia por unidad del transformador, para esto utilizamos el valor de placa del transformador tensión de corto circuito igual a 3,2.

$$X_{Tpu} = \frac{3,2}{100} = 0,032 pu$$

Para establecer la distorsión armónica individual de corriente, se establece la relación I_{sc}/I_L mediante el cálculo de la corriente nominal.

$$I_n = \frac{S_T}{V_N} = \frac{75KVA}{220V} = 340A$$

$$X_{Tpu} = \frac{3,2}{100} = 0,032 pu$$

$$I_{sc} = \frac{I_n}{X_{Tpu}} = \frac{340A}{0,032pu} = 10625 A$$

Se puede observar que la relación I_{sc}/I_L esta dentro de la condición $20 < 50$, donde muestra para evaluación de armónicos (h) entre $3 \leq h > 11$ de un 7,00% y entre $11 \leq h < 17$ de un valor de 3,50%.

El promedio máximo del TDD es igual a 6,23 y se encuentra en la fase C y está por debajo de los valores permisibles de la regulación ARCERNR 002/20.

Flicker

Conforme a la regulación 002/20 se procede a analizar la perturbación rápida de voltaje de corta duración (Pst) cuyo valor no debe exceder la unidad.

Evaluación de calidad de energía

El diagnóstico de calidad de energía realizado al Hospital Básico Yerovi Mackuart se realiza mediante el cumplimiento de indicadores propuestos en la regulación ecuatoriana ARCERNR 002/20 en el punto de común acoplamiento lado de bajo voltaje del transformador del hospital, donde se observa mediante la evaluación de las mediciones de parámetros eléctricos de una semana que el nivel de voltaje de fase evaluado a 127 voltios cumple el $\pm 8\%$ de variación para el nivel de bajo voltaje, así como la no presencia de desequilibrio por encima del 2% en voltaje, además mediante el estudio de potencias se pudo observar que la cargabilidad del transformador se encuentra en un 73,33% que corresponde a 55 kVA utilizados para la máxima demanda del hospital, se tiene una libre capacidad de 20 kVA para un futuro incremento de carga, la distorsión de armónicos individuales y totales de voltaje cumplen los límites de la regulación mencionada y finalmente el estudio de perturbación de voltaje de corta duración (Pst) no supera el percentil del 95%, concluyendo que estos indicadores mencionados son cumplidos de acuerdo a la normativa. El que no cumplió la normativa acogida en este estudio fue el bajo factor de potencia promedio del 0,87 que debe ser compensado por el banco de capacitores para mejorar a un valor superior del 0,92 exigido por la regulación ARCERNR 002/20.

F. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Para realizar este diagnóstico se siguió la metodología implementada en la figura 6, además se presenta los valores mínimos requeridos de iluminación para hospitales y centros sanatorios según normativas NOM-025-STPS-2008 (Decreto Ejecutivo 2393), (NTE INEN 2248), prEN 12464-1:2011, [22], [25], [26], [27]

Para la medición de campo se utilizó el luxómetro modelo 20250-00, por ser un equipo que permite las mediciones precisas, y para su utilización se siguió los pasos de la normativa 025-STPS-2008, en la figura 12 se puede apreciar los resultados obtenidos a través de la medición del nivel de iluminación *in situ* (ver Figura 12).

Evaluación del sistema de iluminación

La evaluación lumínica se realizó en las áreas de atención directa al usuario y área administrativa en el resto de áreas como bodega, mantenimiento no se hizo la evaluación lumínica, en la figura 12 se observa que el nivel de iluminación en el área administrativa tiene un

buen desempeño lumínico, mientras que en la mayoría de áreas indicaron en un 77,87% el incumplimiento de los niveles de luxes establecidos según normativa prEN 12464-1:2011, y solo en un 22,13% en un nivel de cumplimiento, adicional el área hospitalaria por ser un área de asistencia especializada requiere de instalaciones eficientes y niveles de iluminación adecuados para llevar a cabo su trabajo.

Se observa que la mayoría de luminarias instaladas en el hospital corresponde a focos fluorescentes, los que por el tiempo de trabajo han ido perdiendo luminosidad y algunos de ellos se encuentran en mal estado y necesitan una pronta reparación o cambio, además las luminarias tipo LED alcanzan mejores resultados de luminosidad en las áreas instaladas por lo cual entran en el rango según pide la normativa.

Para corroborar las mediciones se realiza la modelación del sistema de iluminación con el uso del software DIALux evo 9.0, como muestra la figura 13, la simulación presenta valores similares a los de la medición con el equipo de campo (ver Figura 13).

La simulación del HBVM, está basada en áreas de trabajo como: consulta externa, quirófano y sala de partos, hospitalización y emergencia y áreas administrativas, el hospital cuenta con lámparas de vapor de mercurio, las que para su operación dependen de un balastro. La marca a utilizar para la simulación y las que se encuentran en el hospital es SYLVANIA, modelo Sylproof Superia Policarbonato Difusor T8 2x36W.

G. ANALISIS TARIFARIO

Para el análisis de la tarifa eléctrica se considera el tipo de tarifa como asistencia social con demanda medida, en [24], numeral 4.1.2 Categoría general. «Corresponde al SPEE que es destinado por el consumidor a actividades diferentes al uso doméstico (categoría residencial), básicamente comprende el comercio, la industria y la prestación de servicios públicos y privados», literal d) Entidades de asistencia social: hospitales y centros de salud, asilos y similares del estado.

En la figura 14 se expone la tarifa de suministro de energía eléctrica del mes de septiembre 2022, HBVM (ver Figura 14).

Para el análisis facturable por la empresa distribuidora, para hallar el consumo se hace la diferencia entre la lectura anterior con la lectura actual, para este caso suman un total de 149 kW, por ser suministrado la energía a medio voltaje con demanda, el sistema utiliza el factor de multiplicación de 80 que se multiplica por el valor de 149 kW de consumo, dando un resultado total consumido para este mes de 11.920 kWh, para determinar las pérdidas del transformador (PTT), este valor se multiplica por 0,02 como lo determina la normativa dando un valor de 238 kWh, los que se suman al consumo total más pérdidas

Figura 12.

Medición en lúmenes (LX) por área de trabajo

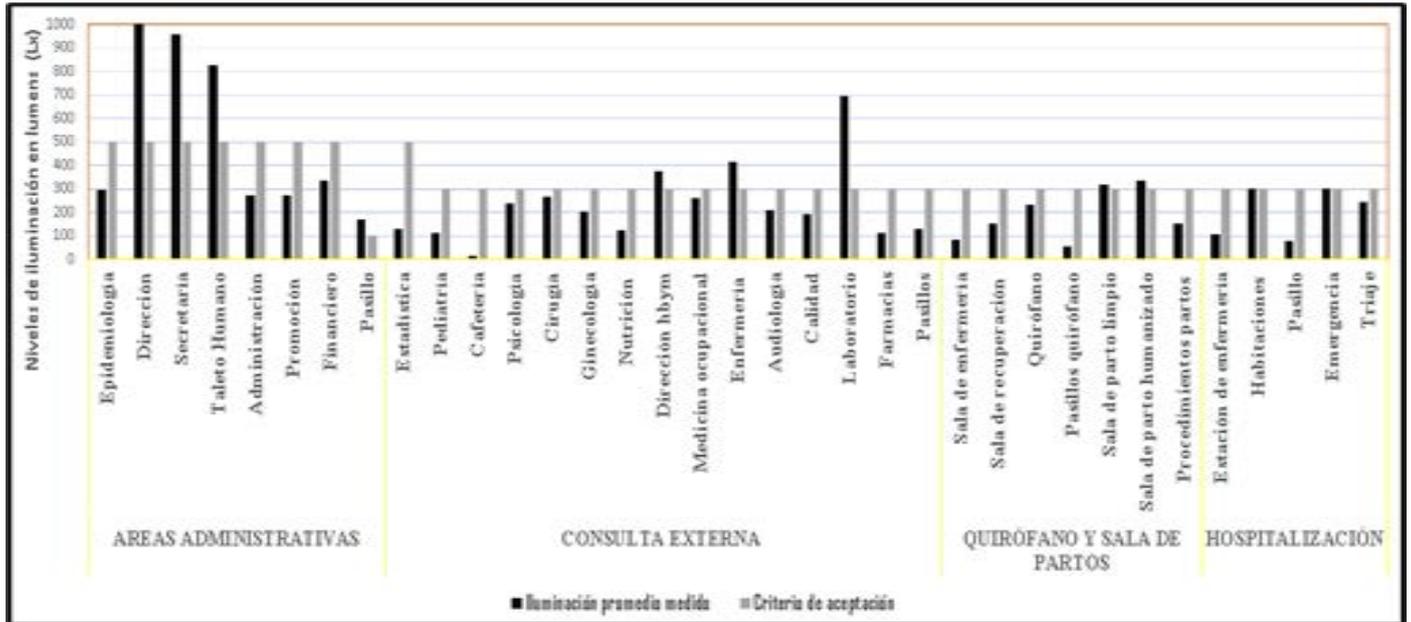


Figura 13.

Simulación en DIALux durante el día

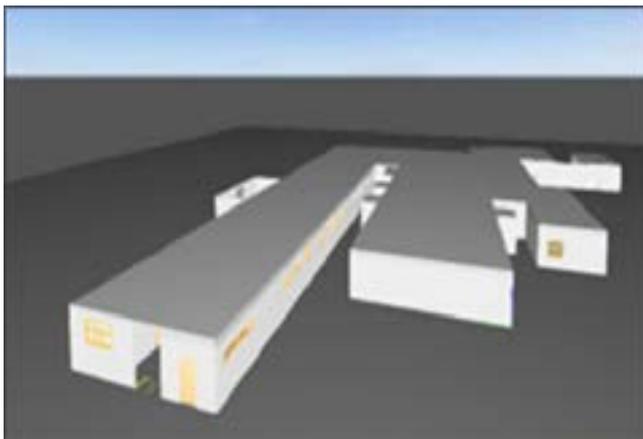


Figura 14.

Planilla suministro de energía eléctrica, mes de septiembre 2022, HBYM

CONCEPTO	VALOR UNITARIO	IMPUESTO	VALOR TOTAL
Consumo	0,065	0,000	0,065
Comercialización	0,125	0,000	0,125
Penalización	0,072	0,000	0,072
Costo de Suministro Total	0,262	0,000	0,262
Carga por Respuesta de Carga	0,125	0,000	0,125
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO			0,514
Impuesto		0,000	0,000
Costo de Distribución		0,000	0,000
Costo de Pérdidas		0,000	0,000
Costo de Mantenimiento		0,000	0,000
Costo de Operación		0,000	0,000
Costo de Suministro		0,000	0,000
TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO			0,514

internas del transformador, dando un total de 12.158 kWh.

Para determinar la demanda se hace referencia a la demanda máxima en el horario punta para este caso se considera un valor de 42 kW.

Para la facturación en [24], literal 6 «La facturación del SPEE corresponde a la sumatoria de los rubros de los componentes de: energía, potencia, pérdidas en el transformador, comercialización y penalización por bajo factor de potencia de acuerdo a las características de consumidor regulado».

Para determinar los valores en USD para la tarifa en el anexo 1 de [24], «cargos tarifarios únicos por energía, para bajo y medio voltaje, en asistencia social, beneficio público y culto religioso», da un valor en USD/ kWh de 0,065, mientras que para la demanda muestra un valor de USD 3 por kilovatio demandado.

El valor en USD por concepto de consumo de energía: USD 0,65 * 12.158 kWh que es igual a USD 790,27.

Para la comercialización da un valor de USD 1,414.

Para la demanda se multiplica USD 3 * 42 kW dando un valor de USD 127,29.

Análisis

El nivel de voltaje evaluado para el estudio corresponde al voltaje de línea a 220 V, la variación de voltaje se encuentra dentro del rango permitido +- 8% según la norma 002/20, en la cual indica que en el punto de acoplamiento común o PCC entrega los niveles adecuados de voltaje y no es necesario realizar el cambio de TAP del transformador para obtener mayor o menor voltaje.

El estudio de cargabilidad del transformador muestra que para las mediciones del transformador se encuentra al 108% de cargabilidad con una potencia aparente máxima de 81 kVA, a través de este resultado indica que se debe realizar un estudio de incremento de carga para el cambio de la capacidad instalada. Además, se obtiene por mediciones un factor de potencia de 0,87 inductivo, para lo cual se debería implementar una compensación reactiva para solventar el bajo factor de potencia.

Mediante la normativa UNE 12464-1:2011 para iluminación se pudo comprobar que la mayoría de luminarias instaladas permanecen trabajando hasta el día de hoy con lámpara fluorescentes con un bajo nivel de luminosidad debido al tiempo de trabajo de las lámparas y al tipo de lámpara utilizada como también a la falta de mantenimiento.

El consumidor para el estudio del hospital, según el pliego tarifario vigente, se denomina: ASDM-asistencia social con demanda medida, para lo cual se detalla para este tipo de consumidor una demanda constante de 42 kW con factor de potencia de 0,94 y un factor de multiplicación de 80 para la respectiva facturación mensual del hospital, donde se pudo evidenciar que el consumo mensual bordea los 9905,22 kWh, valor que sirve de referencia para la propuesta de ahorro de energía mediante la implementación de alternativas para mejorar los indicadores de desempeño energético IDEn.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Mediante el estudio de análisis de calidad de energía efectuado en las instalaciones del Hospital Básico Yerovi Mackuart se pudo determinar un bajo factor de potencia, lo que causa un uso energético ineficiente, para lo que se considera al comportamiento de la demanda media mensual e igual factor de potencia en horas de actividad, deseando alcanzar un factor de potencia de 0,95. El factor de potencia deseado queda especificado por el requerimiento de la legislación eléctrica en el país > 0,92. Para determinar el tipo de acciones de mejora de un bajo factor de potencia durante la mayor parte del tiempo la-

boral, ocasionando que se aproveche de manera eficiente toda la energía consumida.

Con base en los datos recogidos de 7 días continuos por el analizador de redes, se empleó la ecuación 5 para determinar el valor de compensación reactiva de 0,87 a un valor de 0,95 para una potencia máxima obtenida de 36,79 kW.

$$Q_c = P * (\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2)) \quad (5)$$

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

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

Para el cálculo del capacitor por fase se utilizó la ecuación 6:

$$C = \frac{Q_c / 3}{2 * \pi * f * (V)^2} \quad (6)$$

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

$$C = 463 \mu F$$

La reactancia del condensador dado por la ecuación 7:

$$X_c = \frac{kV^2}{Q_c} \quad (7)$$

$$X_c = \frac{(0,127)^2}{8,44}$$

$$X_c = 5,72$$

La reactancia del reactor dado por la ecuación 8:

$$X_L = \frac{X_c}{hs^2} \quad (8)$$

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

$$X_L = 0,24$$

La resistencia del reactor dado por la ecuación 9:

$$X_R = \sqrt{X_c * X_L} \quad (9)$$

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

$$X_R = 1,17$$

Aplicando un factor de calidad de 100 se obtiene un valor de resistencia mediante la ecuación 10:

$$R = \frac{X_R}{Q} \quad (10)$$

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

$$R = 0,012$$

Tabla 1.

Valores de filtro pasivo sintonizado a la quinta armónica

	Qc (kVAr)	Q	X _C	h _s	X _L	X _R	R (mΩ)
Filtro pasivo	8,44	100	5,72	4,9	0,24	1,17	12

En la tabla 1 se observa el resultado del filtro pasivo sintonizado al quinto orden armónico, estos valores sirven para el diseño y simulación en el software ETAP (ver Tabla 1).

En la tabla 2 se observa el costo mediante la implementación de capacitores, como resultado se tiene un valor de 107,00 kVA por costo instalado (ver Tabla 2).

SIMULACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO CON LOS NUEVOS VALORES MEDIANTE EL PROGRAMA ETAP 2.0.

El software ETAP 2.0 es un programa que permite la simulación predictiva del sistema eléctrico, que proporciona un entorno eficaz y especialmente la calidad de energía, para determinar su correcto cálculo para el banco de capacitores que compensan la energía reactiva y aumentan el factor de potencia, se verificó en la simulación como se muestra en la figura 15 (ver Figura 15):

La figura 16 se muestra la potencia activa, reactiva, y aparente nueva con la implementación del banco de capacitores y en la figura 17 se muestra el incremento del factor de potencia a 0,95 (ver Figuras 16 y 17).

Con el mejoramiento del factor de potencia de 0,87 a 0,95 es muy beneficioso para un uso racional de la energía eléctrica no solo de tipo económico al evitar penalizaciones, también muestra progresos considerables en el mejoramiento del perfil de tensión, disminución en el calentamiento del conductor, reducción de pérdidas, además de presentar en la cargabilidad de máquinas eléctricas aspectos considerables.

B. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Mediante la normativa, [25], [26], [27] se desarrolló el estudio del sistema lumínico en el hospital Yerovi Mackuart, con el objetivo de mejorar la calidad luminosa, se realizó la simulación del sistema de iluminación mediante el software DIALux evo y, con la finalidad de obtener resultados digitales a corto plazo, se determinó el nivel de incumplimiento con un número de 88 lámparas, con estos resultados se propone una alternativa, la cual consiste en el cambio de lámparas fluorescentes que para su funcionamiento requieren de un balastro de mayor consumo y bajo nivel de luminosidad, ocasionando deficiencia energética, por lámparas de mejor calidad y rendimiento prolongado como son las lámparas

Tabla 2.

Cotización del banco de capacitores automático

Descripción	8,44 KVAR
Subtotal (\$)	710,61
Instalación (\$)	95,00
IVA 12% (\$)	96,67
Total (\$)	902,28
Costo por kVAr instalado (\$)	107,00

LED que son lámparas de estado sólido de tipo SUPERIA SYLPROOF LED 1265MM. Las lámparas LED de potencia de 24 W, se sugieren colocar en las áreas determinadas donde las mediciones de Lx no cumplen con los niveles requeridos, y para las áreas determinadas donde cumple con la normativa se propone realizar un mantenimiento preventivo, en las figuras 18 y 19 se aprecia la simulación con las nuevas lámparas y con los valores aceptables (ver Figuras 18 y 19).

C. MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Evaluación mediante las densidades de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA)

Dentro de la normativa, entre sus campos de aplicación están los hospitales y su iluminación interior a partir de mediciones realizadas para establecer si se cumplen con los lineamientos referentes a la norma y evaluación de los requisitos máximos de este indicador energético.

Mediante el tipo de edificio la DPEA no debe sobrepasar de 14 (W/m²) para hospitales, sanatorios y clínicas, en [29] las DPEA se calcula aplicando la ecuación 11, como se muestra a continuación:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Area total iluminada}} \quad (11)$$

En la tabla 3 se visualiza la comparación por áreas de los niveles de eficiencia energética en términos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado en el Hospital Básico Yerovi Mackuart (ver Tabla 3).

Mediante la utilización de las nuevas lámparas la evaluación de eficiencia energética a través de la aplicación de la DPEA, se tuvo una disminución del 43%, mejorando este indicador.

D. INDICADOR DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO APLICANDO EL FACTOR DE EMISIÓN CO₂

Según [30] uno de los indicadores de desempeño energético son las emisiones de dióxido de carbono, este indicador se determinó mediante factor de emisión de CO₂ del margen combinado *ex post* EFgrid, CM, 2020 = 0,1917

Tabla 3.

Comparación de DPEA por área

ÁREAS	SUP (m2)	Potencia anterior en (W)	DPEA (W/m2) anterior	Potencia actual en (W)	DPEA (W/m2) actual
QUIRÓFANO	95,07	996	10,10	396	4,165
HOSPITALIZACIÓN	353,52	1725	4,34	765	2,164
SALA DE PARTO	76,18	457	5,88	177	2,323
EMERGENCIA	129,09	731	5,45	291	2,254
FARMACIA	45,54	402	8,43	162	3,557
LABORATORIO	54,79	611	9,34	291	5,311
RAYOS X	87,17	227	1,47	147	1,686
ESTADÍSTICA	39,52	515	12,96	192	4,858
BANCO DE VACUNAS	27,36	265	9,36	105	3,838
CONSULTORIOS	328,85	2211	6,42	891	2,709
PASILLOS C.E.	155,56	1033	6,58	393	2,526
ÁREA ADMINISTRATIVA	172,74	1334	7,41	534	3,091
TOTAL	1565,39	10495	7,31	4344	3,207

Figura 15.

Simulación del sistema eléctrico en ETAP 2.0 con compensación reactiva

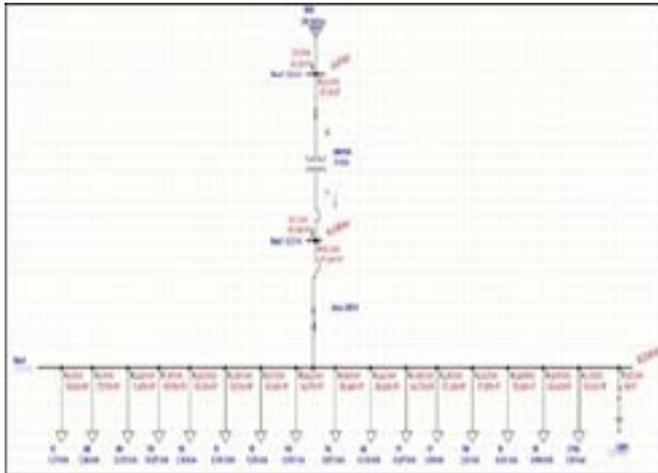


Figura 17.

Diferencia entre factor de potencia anterior y actual con el banco de capacitores

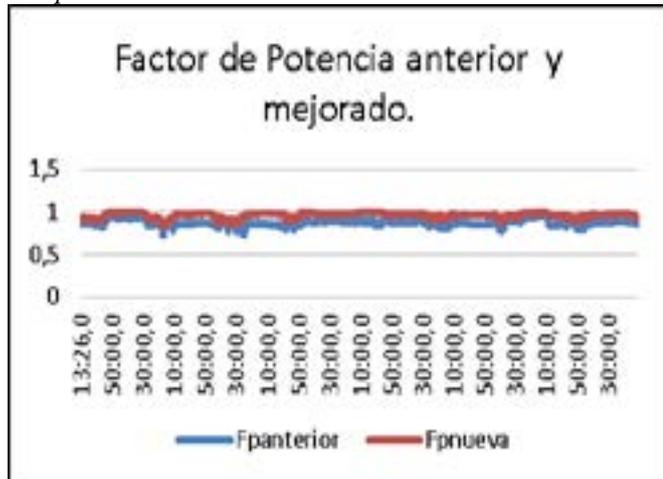


Figura 16.

Potencias nuevas en KVAR y KVA

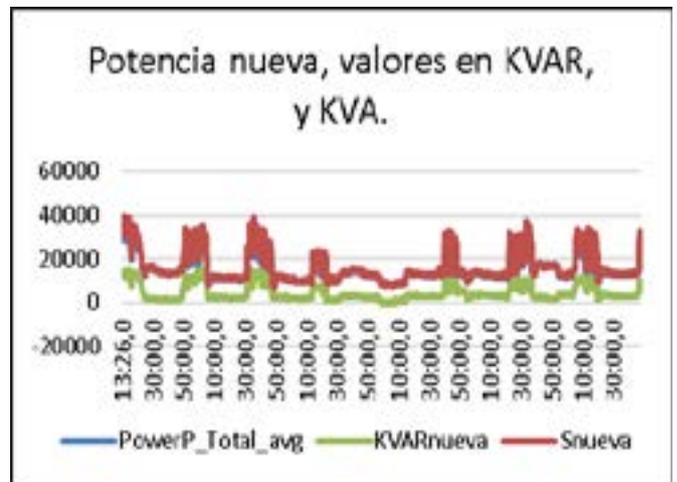


Figura 18.

Simulación en DIALux con las nuevas lámparas durante el día



Figura 19.

Simulación en DIALux con las lámparas sugeridas durante la noche en la entrada principal



ton CO₂/MWh o (0,1917 kg CO₂/kW·h) por ser utilizado en proyectos de eficiencia energética, igualmente facilita evaluar los kg de CO₂ del 2022 al no disponerse de un dato actual, en la tabla 4 se realiza el estudio con el número de pacientes atendidos a través del reporte de estadística facilitado por el HBYM, dentro del período de estudio de 18 meses (ver Tabla 4).

La tabla 4 nos ilustra con los valores aplicados al factor de emisión CO₂ relacionados a la atención al paciente, período enero diciembre 2021 y enero agosto 2022, con un valor total de 1,053 que aprecia un resultado satisfactorio.

EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

A través de valor de factor de emisión CO₂ (0,1917 kg CO₂/kWh) se logró calcular las emisiones de dióxido de carbono de la propuesta.

Se pudo observar que con la implementación del banco de capacitores se logró un ahorro energético de 3611,17 kWh/año y emisiones evitadas de 692,0237 kg/CO₂/año y en iluminación mediante la evaluación en el campo y la contabilización de 88 lámparas con problemas lumínicos, esto ayudó a determinar la sustitución de lámparas fluorescentes a lámparas LED de potencia de 24 W de consumo que alcanzó una reducción de 10.137,6 kWh/año y emisiones evitadas de 1943,37 kg/CO₂/año, sumando estos valores se determinó un total de ahorro energético 13.748,2 kWh/año y un total de emisiones evitadas de 2635,63 kg/CO₂/año (ver tabla 5).

E. REDUCCIÓN MENSUAL POR CONCEPTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON PROPUESTAS DE MEJORA

Para el estudio tarifario con propuestas de mejora se tomó en cuenta la factura utilizada en el análisis tarifario del mes de septiembre del año 2022, datos de estudio

para la reducción de gastos por concepto de pago por consumo de energía eléctrica, en la tabla 6 indica la diferencia entre el consumo leído y el consumo nuevo con propuestas de mejora, con un gasto inferior de 56,01 dólares mensuales a favor (ver Tabla 6).

F. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA

El presente análisis económico se realizó en base al consumo en kWh y su incidencia expresada en USD.

Se determinó una inversión total de USD 2516,20, desglosados los gastos se muestran de la siguiente manera (ver Tabla 7):

Cada lámpara tiene un costo en el mercado de USD 13,34 por 88 lámparas es igual a USD 1173,92.

El costo por instalación del total de las lámparas es igual a USD 440.

El costo por la instalación del banco de capacitores según la tabla 2 tiene un valor de USD 902,28

PERÍODO DE RECUPERACIÓN

Los resultados obtenidos con base en la aplicación del valor actual neto dieron como resultado un valor positivo de USD 2361,03 demostrando que es viable la propuesta de la implementación del banco de capacitores y cambio a luminarias LED.

Otro parámetro financiero tomado en cuenta en este análisis fue la tasa interna de retorno, que dio como resultado un 21,25% siendo superior a la tasa pasiva referencial de 8,39% emitida por el Banco Central del Ecuador en el mes de diciembre del 2022 (ver Tabla 8).

Además, el resultado de la relación beneficio costo es de 1,34 lo que indica que esta propuesta es rentable.

El tiempo que toma el proyecto para generar suficiente flujo de efectivo es 2 años, 11 meses.

Tabla 4.

Indicador de desempeño energético actual aplicando factor de emisión de CO₂

Aplicación de factor de emisión CO₂ ex post EFgrid, CM, 2020.

Año	Mes	Consumo eléctrico (KW/h)	Emisión CO ₂ (kg)	Pacientes atendidos (PA)	Consumo energético por paciente atendido (Kwh/PA)
2021	Ene-Dic	99.960	19.162,33	108.904	0,91787262
2022	Ene-Ago	89.350	17.128,4	70.739	1,26309391
Total	18 meses	189.310	36.290,73	179.643	1,053

Tabla 5.

Emisiones CO₂ evitadas mediante propuestas de mejora

Propuesta	Ahorro energético (KWh/año)	Emisiones CO ₂ evitados (kg/CO ₂ /año)
Implementación del banco de capacitores.	3611,17	6.920,262
Sistema de iluminación LED	10.137,6	1943,37
Total	13.748,2	2635,63

Tabla 6.

Reducción de costo mensual por consumo de energía eléctrica con propuesta de mejora

Fecha	Energía KWh facturada	Energía KWh con propuesta de mejora	Diferencia KWh/mes	Reducción de pérdidas PIT en KWh/mes.	Reducción de costo de energía mensual USD
Septiembre/2022	11.920	10.774,3	1145,73	22,91	88,45

Tabla 7.

Evaluación financiera del cambio a efectuar

Períodos	Egreso Inversión	Gastos	Ingreso	Flujo de caja neto
0	2516,28		0	-2516,28
1			29	864,63
2			29	864,63
3			29	864,63
4			29	864,63
5			29	864,63
	Valor actual neto	\$ 2361,03	Tasa interna de retorno	21,25%
Relación beneficio costo		1,34		

Tabla 8.

Tiempo de recuperación de la inversión

Períodos	Flujo de caja neto	Flujo acumulado
0	-2516,2	
1	864,63	864,63
2	864,63	1729,26
3	864,63	2593,89
4	864,63	3458,53
5	864,63	4323,17

4. CONCLUSIONES

La compensación reactiva ayudó a mejorar el factor de potencia de un 0,87 a 0,95 valor superior al estándar permitido por la normativa 002/20 mejorando así la carga-bilidad del transformador y evitando ser multado.

Al emplear lámparas LED con una eficiencia lumínica acorde a la normativa UNE-EN 12464-1 y de potencia de 24 W, disminuyó el consumo eléctrico en un valor de 10.137,6 kWh/año, mejorando los niveles de luminosidad además de cumplir criterios aceptables, al mismo tiempo, hay que tomar en cuenta la importancia que tiene la utilización de una iluminación eficiente para una correcta iluminación de hospitales a fin de mejorar la eficiencia del personal y pacientes.

Los indicadores de desempeño mejoraron la capacidad energética productiva, mediante el ahorro de 13.748,2 kWh/año permitiendo reducir el CO₂ lanzado a la atmósfera en 2635,3 kg/CO₂/año, permitiendo mejorar las medidas y cuantificar los objetivos.

Los indicadores financieros evaluados dan resultados positivos que ayudan a mejorar la gestión económica de la institución, aunque sin ser excelentes, los indicadores aportan para un normal desempeño, ya que en el sector público todos los recursos deben ser manejados de una manera eficiente para el cumplimiento de metas concretas.

REFERENCIAS

- [1] Cañizares G., Rivero M., Pérez R. y González E. «La gestión energética y su impacto en el sector industrial de la provincia de Villa Clara, Cuba», *Tecnología Química*, pp. 11-23, 2013.
- [2] Aunión J. and Gómez M., «Study of the energy intensity by built areas in a medium-sized Spanish hospital», *Energy Efficiency*, 2021.
- [3] Lohr W., Gauer K., Serrano N. y Zamorano A., *Eficiencia energética en hospitales públicos*, Santiago de Chile, 2009.
- [4] Laire M., Fiallos Y. y Aguilera A., *Guía de implementación de sistemas de gestión de la energía basado en la ISO 50001*, Agencia de Sostenibilidad Energética, 2018.
- [5] Yilmazoglu M. Z., «Decreasing energy consumption and carbon footprint in a school building: a comparative study on energy audits», *International Journal of global warming*, vol. 13, n.º 2, 2017.
- [6] Papadopoulos A. M. «Energy efficiency in hospitals: historical development, trends and perspectives», *Energy performance of buildings*, pp. 217-233, 2016, DOI: 10.1007/978-3-319-20831-2.
- [7] Hernández J. C., Pinto Á. y González J. et al., «Nuevas estrategias para un plan de uso eficiente de la energía eléctrica», *Ciencia, Docencia y Tecnología*, vol. 28, n.º 54, pp. 75-99, 2017.
- [8] Nouridine B. and Saad A. «Energy efficiency and importance of energy monitoring system in moroccan hospitals», *Rev. Invest.*, vol. 4, n.º 2, pp. 39-45, 2020. Guadalajara. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9078270>
- [9] Escobar G. y García J. M., *Gestión de la eficiencia energética a través de proveedores de servicios energéticos*, AENOR, 2020.
- [10] Aguilera M., Laire Y. y Fiallos Y. *Beneficios de los sistemas de gestión de energía basados en la ISO 50001 y casos de éxito*, 4.ª ed., 2017.
- [11] Ministerio de Energía y Minas, *Guía de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético en hospitales*, vol. 2, n.º 143. 2014. [Online]. Available: http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/11_guia_agroindustria DGEE.pdf
- [12] Albuja L. y Soria P., *Elaboración de un sistema de gestión energética para el hospital Baca Ortiz de Quito, según normativa INEN NTE ISO 50001*, 2017.
- [13] Cosenza E., Devetta M., Toma M. y Stiff G. *Sistema de gestión de la energía (SGEn) para las autoridades locales*, Unión Europea, 2020.
- [14] Prias Caicedo O. F., Campos Avella J. C., Rojas Rodríguez D. B y Palencia S. A. *Implementación de un sistema de gestión de la energía guía con base en la norma ISO 50001*, 2019. [Online]. Available: <https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish QRFs and PDFs/NQA-ISO-50001-Guia-de-implantacion.pdf>
- [15] Ramón R., *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía en el contexto centroamericano*, México, 2018.
- [16] Nadeje R., Ortigosa J., Caballero S., Córdova A. y Feibogen E., *Guía técnica para la implementación de sistemas de gestión de la energía en el marco de una red de aprendizaje*, México, GIZ GmbH, 2017.
- [17] Cuatrecasas L., *Gestión integral de la calidad: implantación control y certificación*, 5.ª ed., 2017. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=k449DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [18] IEEE Power and E. Society, «IEEE Recommended practice for monitoring electric power quality», 2019. [Online]. Available: <http://www.ieee.org/web/aboutus/whatis/policies/p9-26.html>.
- [19] ARCERNR, «Calidad del servicio de distribución y comercialización de la energía eléctrica»-002/20, noviembre, 2020.
- [20] AENOR, UNE- EN 61000-4-30 C Compatibilidad electromagnética (CEM) Parte 4-30: técnicas de ensayo y de medida. Métodos de medida de la calidad de suministro, Génova, España, 2004.

- [21] IEEE Power and Energy Society, IEEE 519 Recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems, 2014.
- [22] Secretaría de Trabajo, «Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008», Caribemexicano.Qroo.Gob.Mx, pp. 1-9, 2008, [Online]. Available: http://caribemexicano.qroo.gob.mx/descargas/Marco_Juridico/federal/NOM-011-TUR-2001_Seguridad,Operacion_e_Informacion_en_Turismo_de_Aventura.pdf
- [23] INAMHI, «Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología». [Online]. Available: <https://www.inamhi.gob.ec/>
- [24] ARCERNR, *Pliego tarifario servicio público de energía eléctrica*, pdf, p. 39, 2022.
- [25] Ministerio de trabajo, *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente del trabajo*, Decreto Ejecutivo 2393, pp. 2-94, 2003, [Online]. Available: <https://prosigma.com.ec/pdf/nlegal/Decreto-Ejecutivo2393.pdf>
- [26] Ministerio de Energía y Minas, *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público*, 2010.
- [27] CEN, *Iluminación en los lugares de trabajo. Lugares de trabajo en interiores*, UNE EN 12464-1, 2019.
- [28] Trashorras J., *Configuración de instalaciones eléctricas*, 1.ª ed. Madrid, España: Paraninfo, 2013.
- [29] CCNNPURRE, «Norma oficial mexicana NOM-007-ENE-2014», Secretaría de Energía, México, 2014.
- [30] CTFE, «Factor de emisión de CO₂ del sistema nacional interconectado de Ecuador», Gob. Ecuador, p. 40, 2019, [Online]. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/wp>