

Determination of Energy Quality Indicators for the Case of a User Connected in Medium Voltage

Determinación de los Indicadores de Calidad Energética para el Caso de un Usuario Conectado en Media Tensión

 D. P. Monga¹

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador
dmongas@uteq.edu.ec

Abstract

The purpose of this study was to determine the energy quality parameters in the system of an industrial user connected in medium voltage, which registered penalties from the local distributor for failing to comply with minimum quality parameters. An energy audit was carried out according to regulation No. ARCERNNR 002/20; monitoring the system with a FLUKE network analyzer, showing flickers greater than 1, harmonic distortion of up to 36% and average power factor of 0.84 during 50% of the records obtained. The ETAP software was used to analyze the load flows, registering voltage variations of up to 26%. According to the results obtained, improvements were proposed such as; load redistribution, power factor compensation, harmonics and use of solar energy, actions verified through DIALux and ETAP. With the analysis and proposals raised, it is proposed to substantially improve the energy performance of the user.

Index terms— ARCERNNR 002/20, Energy Audit, ETAP, PowerLog.

Resumen

El propósito del presente estudio fue determinar los parámetros de calidad energética en el sistema de un usuario industrial conectado en media tensión, el cual registraba penalizaciones por parte de la distribuidora local por incumplir con parámetros mínimos de calidad. Se ejecutó una auditoría energética acorde a la regulación Nro. ARCERNNR 002/20; monitoreando el sistema con un analizador de redes FLUKE, evidenciándose flickers superiores a 1, distorsión armónica de hasta el 36% y factor de potencia promedio de 0,84 durante el 50% de los registros obtenidos. Se empleó el software ETAP para analizar los flujos de carga, registrándose variaciones de tensión de hasta el 26%. De acuerdo a los resultados obtenidos, se propuso mejoras como; redistribución de carga, compensación del factor de potencia, armónicos y aprovechamiento de energía solar, acciones comprobadas mediante DIALux y ETAP. Con el análisis y propuestas planteadas, se propone mejorar sustancialmente el desempeño energético del usuario.

Palabras clave— ARCERNNR 002/20, Auditoría Energética, ETAP, PowerLog

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

Forma sugerida de citación: Monga, D. (2023). "Determinación de los Indicadores de Calidad Energética para el Caso de un Usuario Conectado en Media Tensión". Revista Técnica "energía". No. 20, Issue I, Pp. 9-15

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

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.578>

© 2023 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



1. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, se ha ido buscando continuamente priorizar el cuidado medioambiental durante la ejecución de actividades industriales alrededor del mundo, actividades que están estrechamente relacionadas con el uso de energías, por ello se han establecido y acordado protocolos y tratados que tienen como propósito fundamental el precautelar el recurso ambiental mediante la reducción de la emisión de gases efecto invernadero, con acciones afirmativas como la implementación de energías renovables, el uso de equipos eficientes, educación energética, optimización de los tiempos operacionales, entre otros [1].

A la par, se han ido desarrollando y estableciendo estrategias orientadas a mejorar el desempeño energético de las industrias durante la ejecución de dichas actividades, esto mediante la implementación de normativas y procedimientos técnicos a los que toda entidad debe regirse para su calificación periódica, en el ámbito energético resulta muy eficiente la norma ISO 50001 [2].

De acuerdo a la regulación No. ARCERNNR 002/20, todo consumidor de la categoría general conectado en media tensión; deberá cumplir con los parámetros mínimos establecidos en cuanto a: niveles de tensión, distorsión armónica total de voltaje y corriente, factor de potencia, flickers y frecuencia. Pudiendo la empresa distribuidora multar e incluso suspender temporalmente la provisión de servicio eléctrico al usuario mientras este compense los desequilibrios existentes en las magnitudes energéticas de su sistema con respecto al rango de valores permitidos [3].

En cuanto a los niveles de iluminación, la normativa de seguridad ocupacional [4], establece los niveles mínimos que deberán cumplirse para las diferentes actividades con el fin de garantizar el confort y la integridad de los usuarios en cada entorno.

Durante la ejecución del diagnóstico energético en una entidad, se deberá considerar la antigüedad, procedencia, frecuencia de mantenimiento y características de los insumos existentes [5].

Debido a ello el propósito principal de la presente investigación fue evaluar la situación del sistema energético de un usuario conectado en media tensión, mediante el levantamiento de información y el monitoreo de variables eléctricas, para posteriormente comparar los datos obtenidos con respecto a lo estipulado en la regulación antes mencionada. Consecuentemente se buscó plantear soluciones de mejora a dichos problemas y establecer estrategias orientadas a la mejora del desempeño energético de la industria, adicionalmente dichas mejoras fueron puestas a prueba con el objetivo de comprobar la teoría y garantizar la eficiencia de las mismas mediante el uso de softwares [6], [7].

2. DESARROLLO

La presente investigación se ejecutó mediante una auditoría energética y consta de 4 etapas consecutivas como se muestra en el flujograma de la Fig. 1.

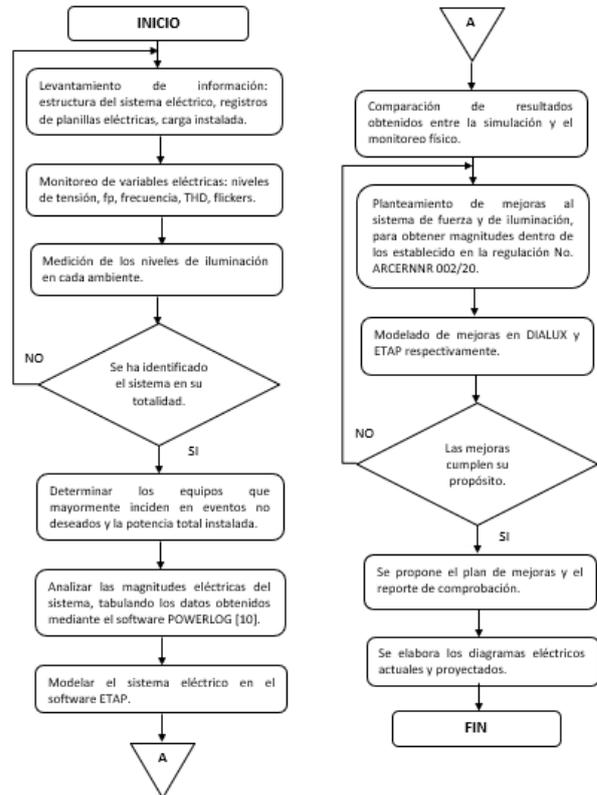


Figura 1: Flujograma de la Investigación

2.1. Información de Campo

Se determinó que la potencia instalada por el usuario es de 114600 W, además se empleó un diagrama de Pareto para la identificación de los usuarios significativos en el sistema (USEn), en donde se observa que los 6 primeros activos inciden en los aumentos de consumo energético como se muestra en la Fig. 2.

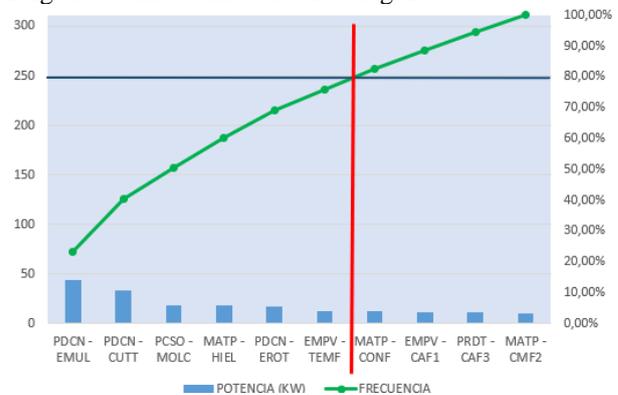


Figura 2: Usuarios Significativos Energéticos



2.2. Análisis de Carga

Se procedió a monitorear el sistema en las barras principales de los transformadores de distribución con los que cuenta el usuario, acorde a lo estipulado en la regulación No. ARCERNR 002/20, empleándose un analizador de redes FLUKE 435 [8], durante 7 días con mediciones en intervalos de 10 minutos [3]. Los resultados se analizarán en el software PowerLog [8].

A. Equipo de transformación I (T-I)

Transformador trifásico de 125 kVA, conectado en media tensión a la red de distribución, relación de transformación 13,8/0,22 kV y conexión Delta – Yn, en la Fig. 3 se observa el consumo energético característico en el trafo durante una semana de trabajo.

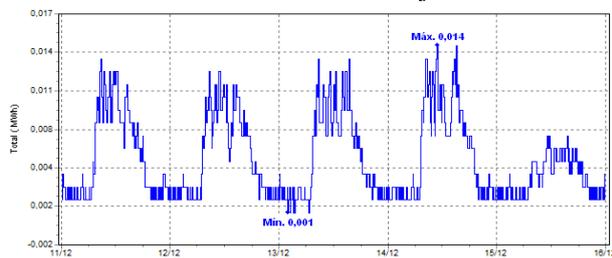


Figura 3: Consumo Energético Durante una Semana en el T-I

Niveles de Tensión

A lo largo de la medición, se registró valores fuera del 8% permitido para variaciones de tensión [3], sin embargo, en ninguna de las fases se registra una incidencia igual o mayor al 5% (ver tabla 1).

Tabla 1: Variaciones de Tensión en el T-I

Fase	Nivel Máx. (V)	Nivel Mín. (V)	Sucesos	(%)	Cumple
L1	132,30	111,90	56	1,80	Si
L2	133,30	112,90	45	1,50	Si
L3	133,90	113,20	45	1,50	Si

Distorsión Armónica Total (THD%)

En la tabla 2 se observa que ninguna de las fases mostró magnitudes fuera de rango en cuanto a distorsión armónica total de voltaje, sin embargo, en cuanto a distorsión armónica total de corriente sucede lo opuesto.

Tabla 2: Distorsión Armónica Total en el T-I

THD Voltaje				
Fase	% Máx.	% Mín.	Lím. (%)	Cumple
L1	2,40	0,30	8,00	Si
L2	2,70	0,60	8,00	Si
L3	2,70	0,40	8,00	Si
THD Corriente				
Fase	% Máx.	% Mín.	Lím. (%)	Cumple
L1	21,30	5,10	8,00	No
L2	36,50	5,40	8,00	No
L3	19,60	2,10	8,00	No

Factor de potencia

En la Fig. 4 se observa la variación del factor de potencia en el transformador I, en donde se evidencia varias mediciones con magnitudes menores al valor mínimo permitido 0,92 [3].

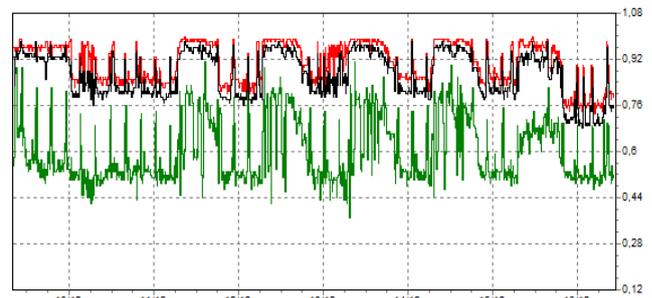


Figura 4: Fp en el T-I

En la tabla 3 se observa la tabulación promedio de los valores obtenidos con respecto al factor de potencia durante la medición.

Tabla 3: fp en el T-I

Fase	fp máx.	fp mín.	fp prom.	Suces.	%	Cumple
L1	1	0,63	0,84	730	71,40	No
L2	1	0,74	0,87	534	52,30	No
L3	1	0,64	0,85	630	61,60	No
Tot.	0,98	0,68	0,85	600	50,70	No

Flickers

Se obtuvieron valores de Pst superiores a 1 en al menos el 80% de mediciones, por lo que no se cumple con lo estipulado en la regulación, ver Fig. 5.

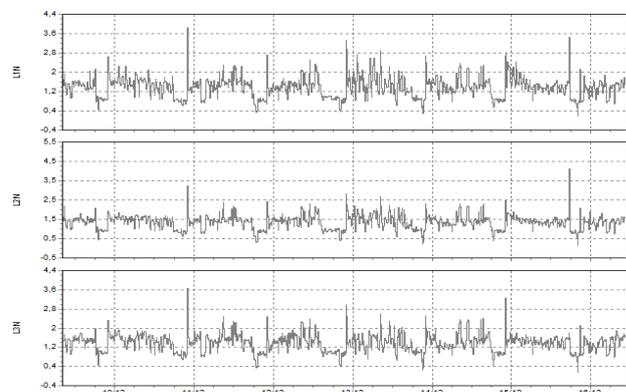


Figura 5: Pst en el T-I

Equipo de transformación II (T-II)

Transformador trifásico de 75 kVA, conectado en media tensión a la red de distribución, relación de transformación 13,8/0,22 kV y conexión Delta – Yn, en la Fig. 6 se observa el consumo energético característico en el trafo durante una semana de trabajo.



Figura 6: Consumo Energético Durante una Semana Típica de Trabajo T-II

Niveles de Tensión

A lo largo de la medición, se registró valores fuera del 8% permitido para variaciones de tensión [3], sin embargo, en ninguna de las fases se registra una incidencia igual o mayor al 5% (ver tabla 4).

Tabla 4: Variaciones de Tensión T-II

Fase	Nivel Máx. (V)	Nivel Mín. (V)	Sucesos	(%)	Cumple
L1	132,90	113,20	1	0,03	Si
L2	133,20	120,20	0	0,00	Si
L3	109,80	109,30	2	0,06	Si

Distorsión Armónica Total (THD%)

En la tabla 5 se observa que ninguna de las fases mostró magnitudes fuera de rango en cuanto a distorsión armónica total de voltaje y de corriente.

Tabla 5: Distorsión Armónica Total en el T-II

THD Voltaje				
Fase	% Máx.	% Mín.	Lím. (%)	Cumple
L1	1,50	0,40	8,00	Si
L2	1,50	0,40	8,00	Si
L3	1,60	0,40	8,00	Si
THD Corriente				
Fase	% Máx.	% Mín.	Lím. (%)	Cumple
L1	5,50	1,90	8,00	No
L2	6,30	1,60	8,00	No
L3	4,80	1,80	8,00	No

Factor de potencia

En la Fig. 7 se observa la variación del factor de potencia en el transformador I, en donde se evidencia valores aceptables dentro del rango permitido 0,92 [3].

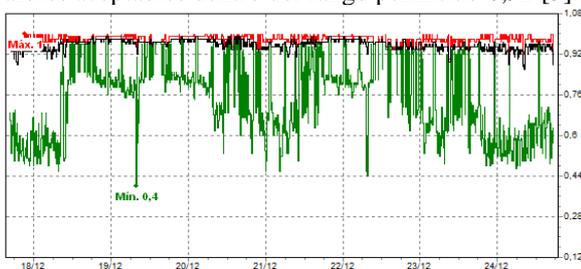


Figura 7: Fp en el T- II

En la tabla 6 se observa la tabulación promedio de los valores obtenidos con respecto al factor de potencia durante la medición.

Tabla 6: fp en el T-II

Fase	fp máx.	fp mín.	fp prom.	Suces.	%	Cumple
L1	0,99	0,90	0,97	3	0,30	No
L2	0,99	0,81	0,95	125	12,30	No
L3	0,99	0,86	0,95	43	4,23	No
Tot.	0,99	0,86	0,96	29	2,86	No

Flickers

Se obtuvieron valores de Pst superiores a 1 en al menos el 80% de mediciones, por lo que no se cumple con lo estipulado en la regulación, ver Fig. 8.

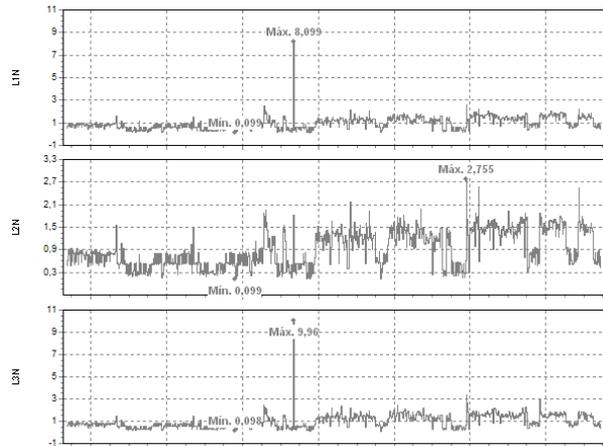


Figura 8: Pst en el T-II

2.3. Medición de los Niveles de Iluminación

Descripción del Sistema

El sistema se encontraba conformado en un 70% por lámparas fluorescentes, la infraestructura del lugar está conformada por cubiertas metálicas en configuración en pendiente, lo cual hace factible la implementación de elementos de iluminación alternativos como tubos solares y cubiertas tipo traslucida.

De manera que se realizó mediciones de iluminación con un luxómetro digital, determinándose que en el 50% de los ambientes en estudio no cumplían con los niveles mínimos permitidos [4], como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7: Medición de los Niveles de Iluminación en los Ambientes

Área	Medición Realizada [LUX]	Nivel Mín. Permitido [LUX]	Cumple
Almacenamiento	125	140	No
Administrativo	253	300	No
Laboratorios	700	300	Si
Producción	223	200	Si
Comercial	103	200	No
Calderas	260	100	Si

2.4. Modelamiento del Sistema

En base a la información estructural del sistema obtenida del levantamiento de carga y en función a los



valores de potencia y demanda analizados en PowerLog y provenientes del analizador de redes FLUKE, Se procedió a configurar y simular el sistema eléctrico del usuario en el software ETAP, determinándose que el 63,64% de barras presentan variaciones de tensión inadecuadas y el 50% de conductores se encuentran sobrecargados, ambas circunstancias en condiciones a plena carga. En la Fig. 9 se muestra la simulación del sistema.

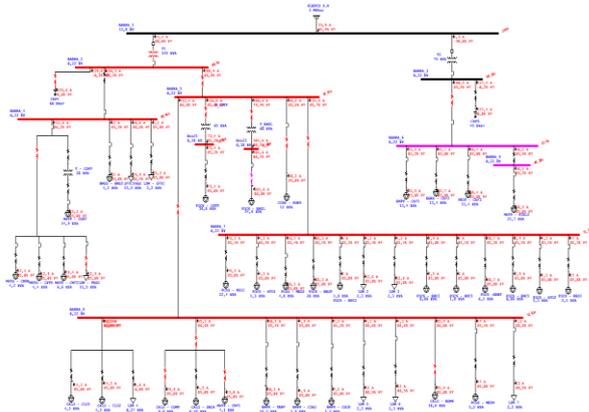


Figura 9: Simulación del Sistema Actual

2.5. Oportunidades de Mejora

En la tabla 8 se detallan las oportunidades de mejora planteadas con el propósito de mejorar el desempeño energético de la industria.

Tabla 8. Oportunidades de Mejora		
Mejora	Desarrollo	Observación
Balance de carga	Se prevé distribuir equitativamente la carga de del usuario en cada una de las fases del sistema con el propósito de eliminar la sobrecarga existente en conductores y barras.	Se comprobará mediante software.
Ahorro energético en iluminación.	Se prevé renovar el sistema de iluminación a tecnología led y aprovechar la energía lumínica natural, para reducir el consumo energético por concepto de iluminación en un 30%.	Se comprobará mediante software.
Corrección del factor del fp	Se prevé implementar un banco de capacitores para corregir el exceso de potencia reactiva en el transformador I	Se dimensionará los componentes .
Análisis financiero	El tiempo de retorno de la inversión deberá ser igual o menor a 4 años.	Se determinará el tiempo.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de Resultados

A continuación, se analiza cada una de las mejoras planteadas al sistema.

Balance de carga

Se distribuyó equitativamente las cargas en las fases del sistema, para posteriormente ser simulado, obteniéndose variaciones inferiores al 8% en cuanto a niveles de tensión y corrientes inferiores a la capacidad nominal de los conductores del sistema, lo cual se muestra en la Fig. 10.

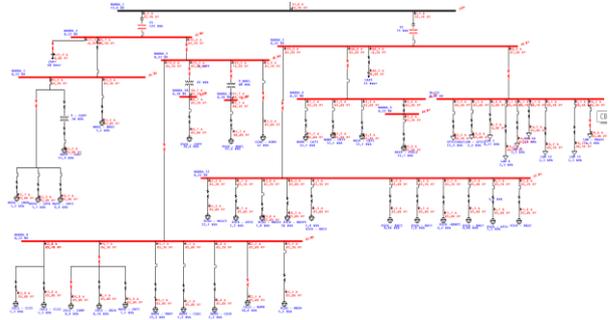


Figura 10: Simulación de Mejoras en ETAP

Iluminación

Se empleó el software DIALux con el propósito de simular el entorno de la industria con la implementación de traslucidos que aporten al ingreso de energía lumínica natural al ambiente, con lo que se obtuvo un ahorro del 30% con respecto al sistema actual, ver Fig. 11.

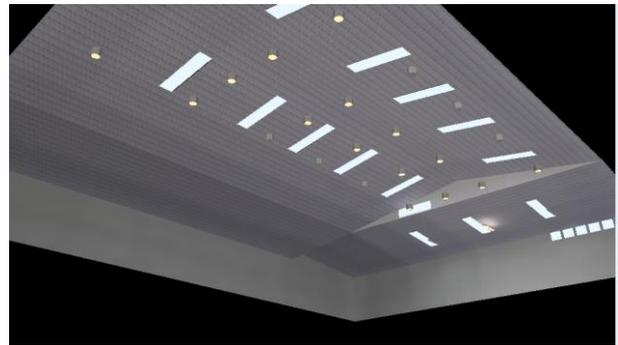


Figura 11: Simulación de Mejoras en DIALux

En la Fig. 12 se muestran los resultados de la simulación, en donde se observa que absolutamente todos los espacios del ambiente cumplen con el nivel mínimo de iluminación necesario 200 lux [4].

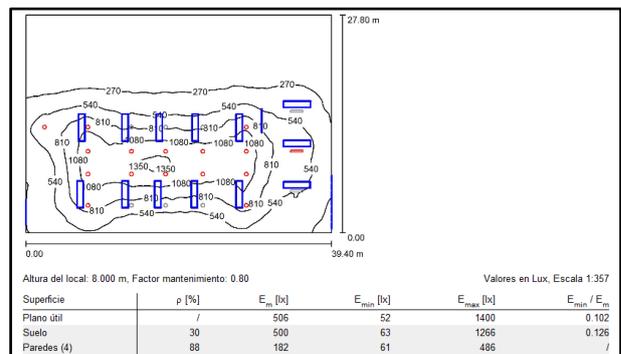


Figura 12: Resultados de la simulación en DIALux

Corrección del fp

Con el uso de la ecuación (1), se dimensionó el banco de capacitores necesario para corregir el factor de potencia del T-I.

Datos preliminares:

$$P_{\text{instalada}} = 300 \text{ kW}$$

Proyección futura de aumento de cargas = 15%

$$P_{\text{instalada proyectada}} = 345 \text{ kW}$$

$$fp_{\text{actual}} = 0,84$$

$$fp_{\text{mínimo deseado}} = 0,92$$

$$\text{Factor K seleccionado de tablas} = 0,217 [9]$$

$$Q_{B.Cap} = P_{\text{inst. proyectada}} \cdot K \quad (1)$$

$$Q_{B.Cap} = 345 \cdot 0,217$$

$$Q_{B.Cap} = 75 \text{ kVAR}$$

Se determinó una potencia reactiva de 75 kVAR como magnitud necesaria para compensar el factor de potencia en el transformador, de manera que se ubicará 15 kVAR en cada fase con lo que se obtendrá un factor de potencia adecuado dentro de la normativa.

Periodo de recuperación

Con la implementación de las propuestas, se espera un ahorro de al menos el 5% con respecto al rubro cancelado por concepto de consumo de energía eléctrica por parte del usuario en el año previo al presente estudio. Mediante la ecuación (2) se puede determinar el periodo de recuperación de la inversión.

$$PRI = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorros Anuales}} \quad (2)$$

$$PRI = \frac{6013,15}{1474}$$

$$PRI = 4 \text{ años}$$

3.2. Discusión de Resultados

En concordancia a los datos obtenidos desde el analizador de redes; se puede determinar que la segunda fase del sistema se encontraba con una magnitud de carga prácticamente nula, lo cual ocasionaba problemas como: desbalances en el sistema y puntos calientes, sin embargo con la propuesta planteada para el balanceo de carga se ha evidenciado mediante la simulación que el resultado sería totalmente eficiente; reduciéndose las variaciones de tensión en las barras del sistema a valores inferiores al 8% y las corrientes en los conductores eléctricos llegando a valores por debajo de su capacidad, todo ello aporta al desempeño óptimo del sistema.

El aporte de energía lumínica natural significa un ahorro de al menos el 30% de consumo energético, las ondas de iluminación mostradas en el resultado de la simulación, muestran que en toda el área y perímetro de

los ambientes se cumple con el nivel mínimo de iluminación establecido 200 lux para actividades industriales.

El factor de potencia es un parámetro que significa pérdidas en el sistema y que ocasiona operaciones anormales que resultan en afectación al control de la distribuidora del servicio eléctrico, por lo que en el transcurso de la investigación se evidenció los rubros significativos que la industria cancelaba por un bajo factor de potencia, rubros que podrían fácilmente cubrir los montos necesarios para la implementación del banco de capacitores necesario para corregir dicho parámetro.

Con el análisis realizado se logró importantes aportes en la búsqueda de la mejora continua en el desempeño energético de la industria, ahora la misma cuenta con diagramas eléctricos que servirán como guía y facilitarán actividades de mantenimiento, así mismo ahora se conoce la estructuración del sistema eléctrico para que en casos de incrementos de carga, el ingreso al sistema se lo haga de manera balanceada.

Las mejoras son factibles debido a que el periodo de recuperación de la inversión no supera el lapso de 4 años, con lo que se confirma la fiabilidad de las propuestas desde el aspecto financiero.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el balance de cargas se garantiza variaciones de tensión menores al 8%, así mismo ninguno de los conductores y barras del sistema excederán su capacidad nominal y se prioriza la integridad de los activos y el desempeño energético.

El reemplazo de lámparas e inclusión de sistemas alternativos de iluminación garantiza el ahorro del 30% en lo que respecta a consumo eléctrico por iluminación y garantiza al menos los niveles mínimos de iluminación en cada ambiente con lo que a la par se garantiza también el confort del usuario.

Con la implementación del banco de capacitores y su compensación reactiva, se garantiza un factor de potencia igual o mayor a 0,92 con lo que se soluciona el problema de sanciones con la distribuidora y se gana eficiencia energética en el sistema.

Las propuestas planteadas han sido verificadas y comprobadas mediante software, el tiempo de recuperación de la inversión destinada a las mismas es de 4 años, con lo que se cumple con lo establecido en la teoría financiera.

Se deben efectuar mantenimientos y mediciones al sistema con una frecuencia anual como mínimo para garantizar la vida útil y desempeño de activos.

Se sugiere automatizar los servicios de iluminación y otros con el objetivo de tener una industria inteligente y sustentable, lo cual resulte en ahorro energético.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Velázquez de Castro González, «Cambio climático y protocolo de Kioto. Ciencia y estrategias: Compromisos para España», Revista Española de Salud Pública, vol. 79, No. 2, pp. 191-201, abr. 2005.
- [2] «ISO 50001: Guía para Implementación Sistemas de Gestión de la Energía».
- [3] <https://www.guiaiso50001.cl/>
- [4] «Regulacion-No.-ARCERNR-002_20-Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica».
- [5] https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/12/Regulacion-No.-ARCERNR-002_20-Calidad-de-Distribucion.pdf
- [6] «Resolución No. CD 513 – IESS - Normativa aplicable a la seguridad y salud en el trabajo».
- [7] https://sart.iess.gob.ec/DSGRT/norma_interactiva/IESS_Normativa.pdf
- [8] J. Moubray, «MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD»
- [9] «ETAP | Software de Modelado, Análisis y Optimización de Sistemas de Potencia». <https://etap.com/es>
- [10] «DIALux: the worldwide leading lighting design software». <https://www.dialux.com/en-GB/>
- [11] [1] C. A. D. Efraín y F. U. P. Iván, «FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO», Escuela Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2015.
- [12] M. Holguín, «ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL “NUEVO CAMPUS” DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA», Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2010.
- [13] «Estimación del factor K en transformadores de distribución usando modelos de regresión lineal». http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_artt_ext&pid=S0123-921X2016000200003



Diego Monga. - Nació en Latacunga, Ecuador en 1992. Recibió su título de Ingeniero Electromecánico de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en 2018, obtuvo el grado de Magister en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia en la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2021. Sus campos de investigación están relacionados con el Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia, Energías Renovables, Eficiencia Energética y Distribución.