

Estudio de calidad y eficiencia energética

RESUMEN: En el presente artículo se realizó un análisis de los parámetros eléctricos para determinar la calidad de la energía en un edificio de protección civil, que cuenta con equipos de bombeo y compresión principalmente.

Se tomaron mediciones durante dos semanas en intervalos de 1 minuto. Los parámetros medidos fueron tensiones, corrientes, desbalances, armónicos, frecuencias, factor de potencia y energías, principalmente.

De los resultados obtenidos se destacó que ocurrieron 42 eventos relacionados con variaciones en la tensión y corriente que superaron el límite establecido por el IEEE -1100-2005.

No se detectaron problemas de distorsión armónicas en tensión y en corriente conforme al estándar IEEE -519-1992.

Para el periodo de análisis, el valor del factor de potencia promedio total fue de 0.93, el cual incluye los eventos de picos y huecos de tensión.

Con lo anterior se determinó que aunque no hay problemas destacables en la calidad de la energía, se recomienda monitorear los parámetros eléctricos anualmente o cuando se requiera instalar equipos nuevos de cargas no lineales, para verificar que se encuentran dentro de los rangos estipulados por las normas y evitar posibles daños del sistema eléctrico del edificio y de los equipos.

PALABRAS CLAVE: Calidad de la energía, central de emergencias, código de red, auditoría energética, factor de potencia.



Colaboración

Mariel Morales Martínez; Armando Campos Domínguez; Adrián Vidal Santo; Francisco Ortiz Martínez; Josué Domínguez Márquez, Universidad Veracruzana

Fecha de recepción: 24 de marzo del 2023

Fecha de aceptación: 12 de mayo del 2023

ABSTRACT:

In this article, an analysis of the electrical parameters was carried out to determine the power quality in a civil protection building, which mainly has pumping and compression equipment.

Measurements were taken for two weeks at one-minute intervals. The measured parameters were voltages, currents, imbalances, harmonics, frequencies, power factor and energies mainly.

From the results obtained, were appreciated 42 events related with voltage variations and current that exceeded the limit established by the IEEE -1100-2005 standard.

No harmonic distortion problems were detected in voltage and in current according to the IEEE -519-1992 standard.

For the analysis period, the value of the total average Power Factor was 0.93, which includes the events of voltage sags and swells.

With this, it was determined that although there are no notable problems in the power quality, it is recommended to monitor the electrical parameters annually or when it is required to install new non-linear charging equipment, to verify that they are within the ranges stipulated by the standards and avoid possible damage to the building's electrical system and equipment.

KEYWORDS: Power quality, emergency center, Código de red, energy consumption analysis, power factor.

INTRODUCCIÓN

En este artículo se describe el estudio de calidad de energía realizado en las subestaciones eléctricas de edificios ubicados en la Administración Portuaria Integral del Pacífico, México.

Uno de los objetivos de la calidad de energía eléctrica es que ésta es un medio para que en la parte técnica, el inmueble espere obtener del proveedor de servicios eléctricos, un suministro con tensiones equilibradas, sinusoidales y de amplitudes y frecuencias nominales constantes [1].

El evaluar la calidad de la energía es importante porque los equipos o cargas, tanto eléctricos como electrónicos, se ven afectados si esta calidad no es adecuada. Algunas de los aspectos a considerar son: (1) coordinar a las partes involucradas, (2) adquirir y utilizar de manera segura el equipo de prueba necesario, (3) implementar técnicas de diagnóstico adecuadas al problema percibido, (4) interpretación adecuada de los resultados y (5) proporcionar recomendaciones rentables para eliminar o mitigar la causa de las perturbaciones si existieran [2].

El objetivo de este estudio fue examinar la calidad con que se está recibiendo la energía eléctrica en la subestación de la central de emergencias y en sus cargas, para analizar la información recabada del equipo de medición eléctrica y realizar comparaciones de los parámetros como son tensiones, corrientes, desbalanceos, frecuencias, armónicos, factor de potencia y energías con respecto a las normas para proponer posibles soluciones a las problemáticas que puedan detectarse.

Para cada uno de estos parámetros existen tanto normas nacionales (NOM, NMX) como internacionales (IEEE, IEC, ANSI).

Para destacar la importancia del estudio de la calidad de la energía, se han realizado múltiples análisis a diferentes edificios en países del mundo.

Uno de estos estudios fue realizado en Ecuador, donde se hizo una evaluación de la calidad de energía eléctrica en el edificio matriz del municipio de Ambato. En este caso, el sistema eléctrico que tiende a verse más afectado es el de baja tensión acoplado al secundario del transformador de 250 kVA, el cual alimenta a todos los departamentos del edificio. Mediante investigación de campo se recolectó una base de datos sobre el incremento de carga instalada en sistemas de iluminación, sistemas especiales, sistemas de fuerza, entre otros. En el reporte técnico los autores [3], muestran el consumo mensual de energía correspondiente a los años 2019-2022, los parámetros eléctricos de potencia, tensión, factor de potencia, porcentaje de armónicos totales e individuales tanto para tensión y corriente para la evaluación de calidad de energía eléctrica.

Otro estudio de calidad de energía se realizó en el país de Guatemala en el edificio del Ministerio de Relaciones Exteriores, con el objetivo de conocer el estado actual de las instalaciones eléctricas, y en su caso proponer mejoras que promuevan una disminución en el consumo de energía, para reducir los efectos ambientales que producen la generación de electricidad y promover el uso de fuentes de energía renovables como los paneles fotovoltaicos [4].

De igual manera, en México, se realizó un análisis en donde se buscó valorar las magnitudes paramétricas de calidad de la energía eléctrica referenciadas a las normas CFE-L000045 e IEEE-519, del sistema de energía eléctrica del edificio 2 de la ESIME Unidad Zacatenco del IPN para determinar su estado de operación en régimen permanente [5].

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción de la red eléctrica monitoreada

La energía eléctrica que recibe la subestación del edificio es suministrada en media tensión a 13200 V que alimenta a un transformador de pedestal de 150 kVA en conexión delta/estrella, para suministrar una tensión en el secundario de 220-127 V.

Las principales cargas que están conectadas a la red eléctrica del edificio son:

- Aires acondicionados y manejadoras de aire
- Copiadoras
- Alumbrados y contactos
- Sistemas de cómputo, comunicación y redes
- Sistemas de compresión y bombeo

La medición de los parámetros se realizó con el equipo analizador de calidad eléctrica trifásico Fluke Modelo 438-II con certificado de calibración vigente, con el fin de obtener datos para analizar el sistema de distribución de energía eléctrica.

El analizador de redes se instaló por un periodo de tiempo de dos semanas realizando el monitoreo en intervalos de 1 minuto.

En la Tabla 1 se muestran las características del transformador.

Tabla 1. Características del transformador eléctrico de 150 kVA

Características del transformador de central de emergencias.	
Marca	T J
Tipo	Pedestal, en aceite
Capacidad	150 kVA
Tensión del primario	13,200 V
Tensión del secundario	220Δ-127Y V
Frecuencia	60 Hz

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Tensión línea a línea (fase a fase).

Los valores promedios medidos de tensión de línea a línea en el lado del secundario del transformador para la fecha del 10/12/2022 (13:59) al 27/12/2022 (18:05) fueron los siguientes:

L1-L2: 231.349 V
L2-L3: 231.890 V
L3-L1: 231.680 V

El valor mínimo medido fue de 145.15 V y se presentó el día 26/12/2022 a las 15:08:19 am en la línea 1, que se prolongó por 294 mili segundos. Este evento se considera un sag, porque supera los 8 ms y el valor del -10% del valor rms de la tensión nominal ($220 \cdot 0.9 = 198$ V).

El valor máximo medido fue de 235.45 V y se presentó el día 15/12/2022 a las 10:48:16 en la línea L2.

En el estándar IEEE -1100-2005 [6], se indica que la variación de la tensión no debe ser mayor del 5% (para cargas críticas) del valor de tensión nominal de 220 V ($209 \text{ V} \leq 220 \text{ V} \leq 231 \text{ V}$). El valor máximo medido y reportado de tensión (235.45 V), sobrepasa el valor estipulado por la IEEE (231 V), por lo que se considera como un evento de pico de tensión sólo para cargas críticas, ya que para equipos no críticos se aplica como límite superior el 110% del valor rms a 60Hz, es decir, 242 V ($220 \cdot 1.1$ V), de manera que los 235 V máximos medidos y reportados está dentro del rango de tensión aceptable para operar cargas no críticas sin que estas se vean afectadas en su desempeño y vida útil. En la Figura 1 se muestra la gráfica de tensión de línea a línea generada durante el periodo de medición.

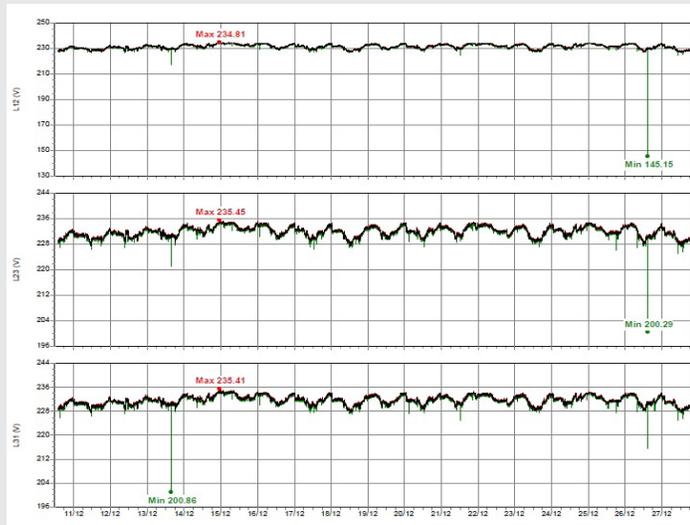


Figura 1. Tensiones línea - línea.
Fuente: Elaboración propia.

Tensión línea a neutro (fase a neutro)

Los valores promedios, medidos, de tensión de línea a neutro, en el lado del secundario del transforma-

dor de la subestación de la Central de Emergencias, 10/12/2022 (13:59) al 27/12/2022 (18:05) fueron los siguientes:

L1N: 133.596 V
L2N: 133.723 V
L3N: 133.892 V

El valor mínimo medido fue de 91.88 V y se presentó 26/12/2022 a las 15:08:19 am en la línea L2, que se prolongó por 294 mili segundos. Este evento se considera un sag, porque supera los 8 ms y el valor del -10% del valor rms de la tensión nominal ($127 \cdot 0.9 = 114.3$ V). Sin embargo, fue notable que durante el periodo de medición no hubo réplicas de esta caída de tensión en esta línea, como en otros edificios del API monitoreados anteriormente.

El valor máximo medido fue de 136.01 V y se presentó el día 14/12/2022 a las 23:11:54 am en la línea L3 por un tiempo de 1000 ms, dato que supera el valor y el tiempo máximo estipulado por la IEEE de 133.3 V y de 8 ms, respectivamente.

Los datos de baja tensión más críticos fueron medidos en las líneas 2 y 3, con valores de 91.88 V (26/12/2022 a las 15:08:19) y 92.105 V (13/12/2022 a las 15:48:39) y se mantuvieron por 294 y 145 ms, respectivamente, como se aprecia en la Figura 2. Estos valores se encuentran fuera del rango recomendado por el estándar IEEE -1100 - 2005, cuya variación no debe ser mayor del 5% (para cargas críticas) del valor de tensión nominal de 127 V ($120.6 \leq 127 \leq 133.3$ V).

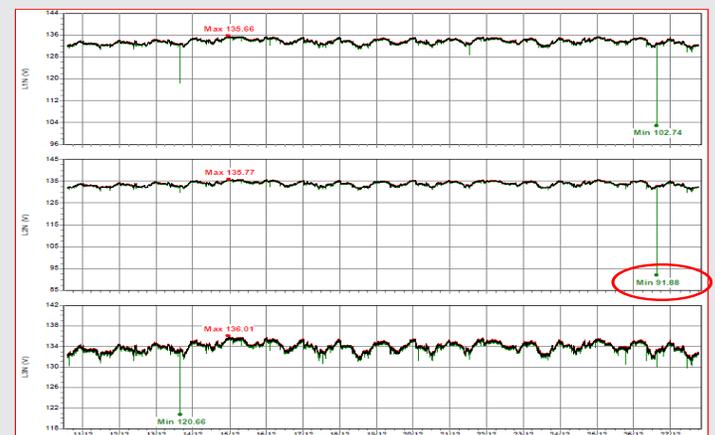


Figura 2. Tensión línea-neutro.
Fuente: Elaboración propia.

Corrientes

Para el mismo periodo analizado, los valores de las corrientes que circulan por las fases L1, L2 y L3 tienen un comportamiento similar, que van desde valores mínimos de 4.1 A, 6.7 A y 5.8 A, respectivamente; valores medios de 20.88 A, 26.78 A y 24.51, y valores máximos

de 243.8 A, 247.7 A y 267.7 A, para las fases L1, L2 y L3, respectivamente, como se muestra en la Figura 3. Se aprecia que en la línea 3 se consume más corriente y que la línea 1 tiene un consumo menor en los valores máximos de corriente, por lo que se recomienda tratar de balancear estas líneas.

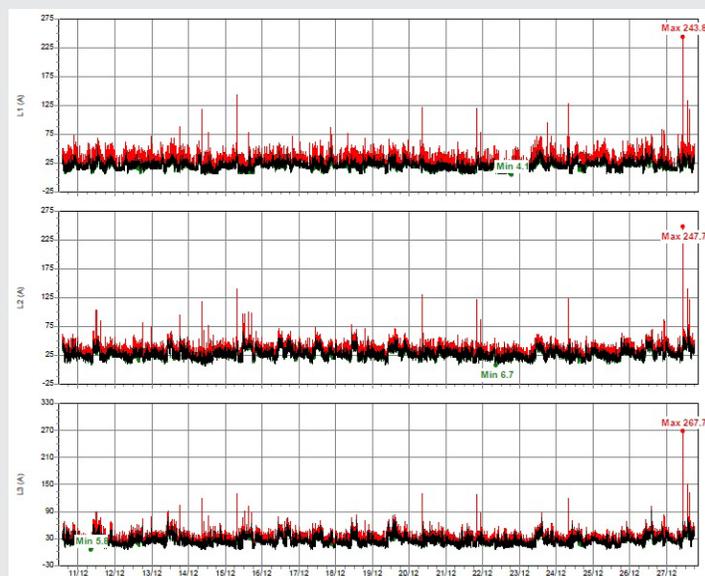


Figura 3. Corrientes.

Fuente: Elaboración propia.

Las corrientes máximas del día 27 de diciembre, representan un evento crítico ocurrido a las 10:42:54 y finalizó a las 10:43:54, es decir, tuvo un tiempo de duración de 1000 ms y que representan un evento de pico de corriente superior a 10 veces el consumo promedio de la corriente.

Corriente en el hilo de neutro

Se tuvo una circulación de corriente por el hilo de neutro cuyo valor promedio fue de 8.51 A, sin embargo, también se observaron valores máximos de hasta 56.3 A. Estos valores de corriente que circulan por el neutro anticipan problemas de desbalanceo que se vuelven críticos.

Desbalanceo por tensión entre líneas

Cuando las tensiones de línea aplicadas a un motor de inducción multifásico no son iguales, se producirán corrientes desequilibradas en los devanados del estator. Un pequeño porcentaje de desequilibrio de tensión dará como resultado un porcentaje mucho mayor de desequilibrio de corriente. En consecuencia, el aumento de la temperatura del motor que funciona con una determinada carga y el porcentaje de desequilibrio de tensión es mayor que el motor que funciona en las mismas condiciones con tensiones equilibradas.

Para el periodo de medición, en la Figura 4 se muestra un desbalanceo por tensión máximo de 23.86%, y el promedio y el mínimo cercanos a cero. También se

puede apreciar que hubo otro evento que superan el 3% de desbalance (en círculo azul), y se deben a las diferentes fallas en el suministro eléctrico que se presentaron durante el periodo de medición, como se reportó en párrafos anteriores hubo caídas drásticas de tensión lo que coincide con el desbalance en la misma fecha y hora, y que indica una mala calidad de energía en esos instantes.

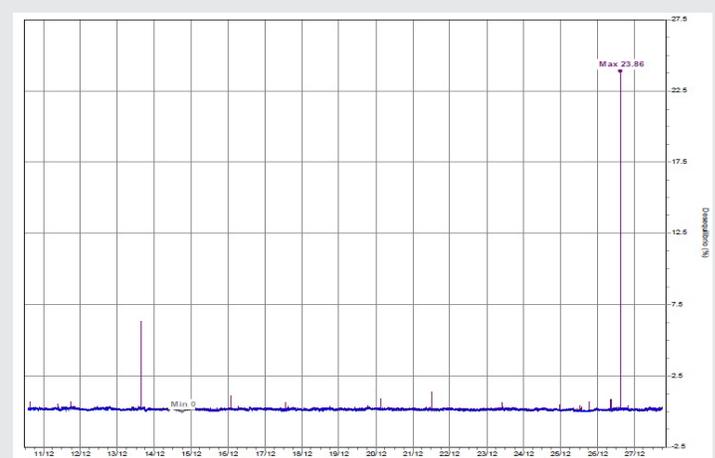


Figura 4. Desbalanceo por tensión entre líneas.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, el valor máximo registrado fue derivado de un evento de hueco de tensión o sag que se presentó el día 26 de diciembre a las 15:08:20 y que a su vez provocó una disminución en la tensión de neutro a tierra (91.88 V), también se manifiesta una circulación de corriente en el hilo de neutro a tierra 56.3 A es día 18 de diciembre y un valor de 53.9 A el día 27 de diciembre. Descartando este evento, el valor promedio de desbalanceo es menor del 3% (ANSI C84.1-1995) y por lo tanto, se considera adecuado para el sistema eléctrico trifásico con hilo de neutro medido y analizado.

Desbalanceo por corriente entre líneas

El valor máximo de desbalanceo por corriente fue de 93.31% el 15 de diciembre. Sin embargo, el valor más representativo es la media estadística, cuyo valor fue de 21.61%, y el cual no supera el máximo aceptable establecido por Casaravilla y Echinope de 40% [7].

Armónicos

THD_V

El valor de THD_V máximo fue de 1.12% en la línea L1 con respecto al valor de la fundamental; por lo tanto, este valor se encuentra dentro del rango recomendado por el estándar IEEE -519-1992 [8], en el que se menciona que para tensiones inferiores a 69 kV, el valor del %THD_V, no debe ser mayor del 5%.

THD_I

En la Figura 5 se muestra el histograma del espectro de armónicas por corriente. El valor máximo de THD_I

se presentó en la línea L2 con un valor de 68.25% con respecto al valor de la fundamental, y el valor promedio en las tres líneas supera el 10%, por lo que este valor sobrepasa el rango recomendado por el estándar IEEE -519-1992, que indica que, para tensiones inferiores a 69 kV, el valor del %THD_I, no debe ser mayor del 10%.

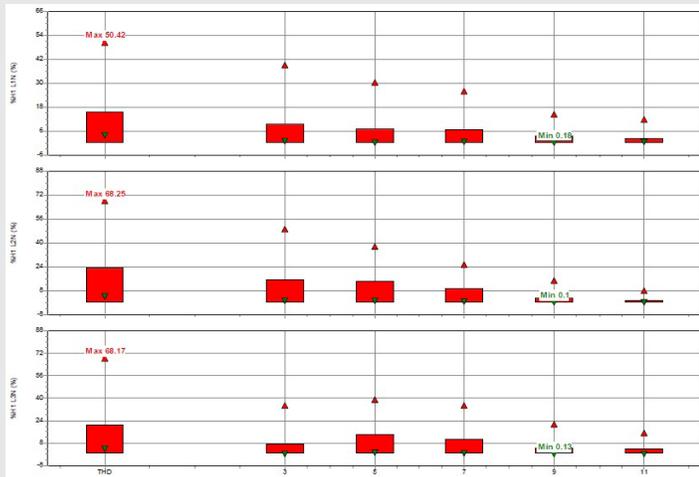


Figura 5. Histograma del espectro de armónicas por corriente. Fuente: Elaboración propia.

El valor promedio (%) de la THD_I en la línea L2, fue superior al 10%, siendo este un valor de 23.64%.

Frecuencia

La frecuencia de operación del sistema eléctrico en México, tanto para generadores como para consumidores debe ser de 60 Hz. Para el periodo de análisis el valor promedio de la frecuencia fue de 60 Hz, reportándose un mínimo de 59.752 Hz a las 18:14:54 del 18/12/2022 y un valor máximo de 60.097 Hz a las 07:56:54 del 21/12/2022, sin embargo, se consideran eventos aislados que no afectan el buen funcionamiento de los equipos eléctricos conectados a esta red eléctrica.

Flicker (parpadeo)

Los flickers o parpadeos se manifiestan en los dispositivos de iluminación y se generan por fluctuaciones bruscas de la tensión en la red eléctrica. El estándar IEEE 1453-2015 [9] especifica que para baja tensión (para mediciones en el secundario del transformador) el límite aceptable para el flicker de corta duración (Pst) es de 1.0 y para el de larga duración (Plt) es de 0.7, ambos adimensionales evaluados en periodos de 10 minutos y 2 horas, respectivamente.

Aunque se observaron valores máximos en las mediciones de Pst y Plt que superan los valores establecidos como aceptables por la norma del IEEE, el promedio de estos valores durante el periodo de la medición e incluyendo los eventos de picos y huecos de tensión no fue superior al 0.089 y 0.1042 para el Pst y Plt, respectivamente.

Factor de potencia

De acuerdo a lo mencionado en el código de red, el consumidor en mediana y alta tensión >1 kV y >35 kV (medidos en el punto común de conexión entre la compañía suministradora de la energía y el usuario), respectivamente; se obliga a mantener un FP igual o mayor a 0.95 en atraso con medición cinco-minutal [10], es decir, el centro de carga (cliente) deberá cumplir con este requerimiento al menos el 95% del tiempo durante un periodo mensual, durante 10 años a partir del 09 de abril del 2019, ya que posterior al 09 de abril del 2029 el FP mínimo obligatorio será de 0.97.

Para el periodo de análisis, el valor del FP promedio total fue de 0.93, el cual incluye los eventos de picos y huecos de tensión, por lo que con este análisis y estudio no se cumple con los lineamientos del código de red.

En la Figura 6 se aprecian los datos estadísticos y el histograma de frecuencia del FP total. Se aprecia que en su mayoría fue de 0.95 o superior a este valor, lo que representaría una bonificación por alto FP, en vez de multas por bajo FP.

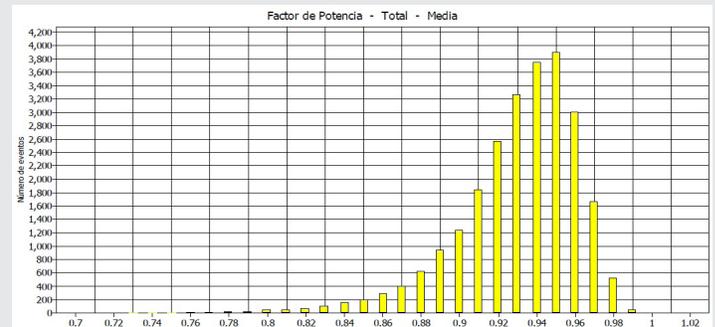


Figura 6. Histograma de frecuencia del factor de potencia. Fuente: Elaboración propia

Los casos donde hubo mediciones del factor de potencia alrededor de 0.65 son consecuencia del uso de equipos de inducción como motores de los equipos de bombeo. Esto comprueba de nuevo la necesidad del diseño de bancos de capacitores coordinados con los filtros de armónicas, para compensar el bajo valor y cumplir con el código de red.

Energías (kWh, kVAh y kVARh)

En la gráfica de la Figura 7 se muestra el acumulado de la energía total consumida durante el periodo de medición (MWh, MVAh y MVARh).

Se puede apreciar que la línea de la energía activa (W en color rojo) y la energía aparente (VA en color verde) se encuentran cerca una de la otra observándose un perfil paralelo, lo cual valida la relativa poca generación de energía reactiva (VAR en color azul) y por lo tanto, el valor del FP promedio de 0.93 que se alcanzó durante el periodo de medición, como ya se reportó anteriormente.



Figura 7. Energías (kWh, kVAh y kVARh).

Fuente: Elaboración propia.

Eventos

En total ocurrieron 42 eventos rms que tuvieron que ver con variaciones en la tensión, principalmente, como se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2. Eventos.

Evento	Valor	Fecha	Hora	Línea
Picos de tensión (V)	235.45	15/12/2022	10:48:16	L2
	136.01	14/12/2022	23:11:54	L3N
Huecos de tensión (V)	145.15	26/12/2022	15:08:19	L1
	91.88	26/12/2022	15:08:19	L2N
Picos de corriente (A)	243.8	27/12/2022	10:42:54	L1
	247.7		a	L2
	267.7		10:43:54	L3
Flicker Pst	3.585	13/12/2022	N/A	L1N
	4.738	26/12/2022	N/A	L2N
Flicker Plt	1.566	13/12/2022	N/A	L3N
	2.069	26/12/2022	N/A	L2N

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

En la tabla 3 se aprecian los resultados de las mediciones de los parámetros obtenidas respecto a lo establecido por los estándares.

Tabla 3. Comparación de resultados y valores de referencia.

Parámetro	Valor medido	Estándar	Valor de referencia
Tensión línea a línea	Mínimo: 145.15 V Máximo: 235.45 V	IEEE -1100-2005	209 V ≤ 220 V ≤ 231 V
Tensión línea a neutro	Mínimo: 136.01 V Máximo: 91.88 V	IEEE -1100-2005	120.6 ≤ 127 ≤ 133.3 V
Desbalance	23.86%	ANSI C84.1-1995	Menor a 3%
Desbalance por corriente entre líneas	93.31%	Casaravilla y Echinope	Menor a 40%
Armónicos THD_V	1.12%	IEEE -519-1992	Menor a 5%
Armónicos THD_I	68.25%	IEEE -519-1992	Menor a 10%
Flicker	Pst: 0.089	IEEE 1453-2015	Pst: 1.0
	Plt: 0.1042		Plt: 0.7
Factor de potencia	0.93	CRE	0.95

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Se realizaron las mediciones de los principales parámetros eléctricos a la subestación de la central de emergencias y se analizaron, concluyendo que durante el periodo de la medición existieron eventos de huecos de tensión, con diferentes magnitudes y tiempos de duración. Respecto a picos de tensión, estos no ocurrieron.

Aunque se presentó un mínimo de tensión de 145.15 V y un máximo de 235.45 V no causan deterioro prematuro o daño a los equipos. Si existieran en intervalos de tiempo mayores a medio o más segundos, se recomienda la instalación de sistemas ininterrumpibles de energía (UPS por sus siglas en inglés) y supresores de tensión. Los problemas de baja tensión mencionados anteriormente están fuera del rango establecido por la IEEE para eventos múltiples de baja tensión que llegan a alcanzar valores de hasta 31.0%; para el caso de picos de tensión se tienen eventos que representan una sobre tensión del 2.0% provocando sobrecalentamiento en motores, falla en el arranque, entre otros, por lo que el mal funcionamiento de estos sería la consecuencia en caso de seguir presentándose este tipo de eventos de mala calidad de la energía.

Los picos de corriente son comunes cuando se energizan los equipos de mayor consumo de energía, como los sistemas de bombeo, aire acondicionado, entre otros motores; y dado que el edificio de la central de emergencia cuenta con tres turnos para atender las eventualidades de la ciudad y del puerto, no existe un patrón de consumo, pues éste varía de manera aleatoria.

Los problemas de armónicos en corriente se deben principalmente a la electrónica del control de los equipos y motores, pero para el caso de la central de emergencia, este problema fue causado por el evento de pico de corriente del día 27 de diciembre. Por tal motivo, se recomendó un monitoreo continuo para descartar el problema de armónicos y en caso de seguir presentándose se deberá diseñar un sistema de filtros para reducirlos, trabajo que se puede realizar con personal especializado en este tipo de problemas.

Para el caso de flickers de larga duración (Plt) se apreciaron mediciones que superan el valor límite 0.7, pero se consideran eventos relacionados con huecos de tensión ocurridos los días 13 y 26 de diciembre.

Para el periodo analizado se afirma, que no hay problemas de parpadeos por fluctuaciones súbitas de tensión.

Respecto al factor de potencia que fue inferior al 95% estipulado en el código de red, se recomienda, como se ha mencionado anteriormente, seguir con el monitoreo para validar este valor y de ser necesario instalar un banco de capacitores para mejorar el factor de potencia a 0.95.

De los eventos comentados anteriormente, es evidente el registro de sag o huecos de tensión, cuyo valor de corta duración (superior a 8 milisegundos) es perjudicial si es inferior a partir del 10% del valor rms nominal de 127 V, (114.3 V), y en muchos de estos eventos el valor de los huecos de tensión es inferior al límite que estipula la IEEE 1159-2009. Así mismo, el tiempo de estos es superior a los 8 milisegundos (0.5 ciclos) por lo tanto, estos sag o huecos sí son perjudiciales para el sistema eléctrico analizado de la subestación de la central de emergencia.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por la Beca Nacional otorgada a la estudiante Mariel Morales Martínez de la maestría en Ingeniería Aplicada-PNPC de la Universidad Veracruzana.

BIBLIOGRAFÍA

[1] M. Holguín y D. Gómez Coello, “Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana”, 2010.

[2] K. M. Michaels, “Sensible approaches to diagnosing power quality problems”, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 33, núm. 4, pp. 1124–1130, 1997.

[3] Q. Palate y B. Fabián, “Evaluación de la calidad de energía eléctrica del edificio matriz del municipio de Ambato”, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), 2022.

[4] M. Hernández y J. Roberto, “Estudio de calidad de energía y eficiencia energética en el edificio del Ministerio de Relaciones Exteriores, zona 10, Guatemala”, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020.

[5] M. R. Alva Benítez y U. Muñoz Zúñiga, “Estudio de la calidad de la energía al sistema de alumbrado del edificio 2 de la ESIME Zacatenco”, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, 2017.

[6] “IEEE recommended practice for powering and grounding electronic equipment”, IEEE, Piscataway, NJ, USA, may 2008.

[7] G. Casaravilla y V. Echinope, “Desbalances : estudio de alternativas para su estimación”, 2005.

[8] “IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems”, IEEE, Piscataway, NJ, USA, abr. 2008.

[9] “IEEE recommended practice for the analysis of fluctuating installations on power systems”, IEEE, Piscataway, NJ, USA, oct. 2015.

[10] C. R. de Energía, “Guía sobre los requerimientos técnicos del Código de Red aplicables

a Centros de Carga”, *gob.mx*. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cre/documentos/guia-sobre-los-requerimientos-tecnicos-del-codigo-de-red-aplicables-a-centros-de-carga>. [Consultado: 10-feb-2023].