ESTUDIO DE CALIDAD DE LA ENERGIA, IDENTIFICACIÓN DE PELIGRO, EVALUACIÓN DE RIESGO, Y CORRECCION DE FALLAS DE LA INSTALACION ELECTRICA DE UNA EMPRESA DE TELEVISION POR CABLE

ENERGY QUALITY STUDY, HAZARD IDENTIFICATION, RISK EVALUATION, AND FAILURE CORRECTION OF THE ELECRICAL INSTALLATION OF A CABLE TELEVISION COMPANY

Karlos Velásquez Moreno
Tecnológico Nacional de México / IT de Tuxtla Gutiérrez, México
karlos.vm@tuxtla.tecnm.mx

Diana Alejandra Juan Jiménez
Tecnológico Nacional de México / IT de Tuxtla Gutiérrez, México
diana.jj@tuxtla.tecnm.mx

Rubén Herrera Galicia
Tecnológico Nacional de México / IT de Tuxtla Gutiérrez, México
h_galicia24@hotmail.com

José Francisco Rodríguez Ramírez
Tecnológico Nacional de México / IT de Tuxtla Gutiérrez, México
jfrodriguezr2001@gmail.com

Juan Isael Nataren Sánchez
Tecnológico Nacional de México / IT de Tuxtla Gutiérrez, México
juanisaeln@gmail.com

Recepción: 27/marzo/2025 **Aceptación:** 19/mayo/2025

Resumen

El objetivo es hacer un estudio de la calidad de la energía, en una empresa, con la finalidad de recabar información sobre el cumplimiento de las disposiciones del código de red, y las condiciones bajo las que funciona la instalación. El interés es mejorar el uso de la energía eléctrica, para garantizar la seguridad de los usuarios y sus bienes. La metodología consiste en hacer un recorrido por la instalación para detectar la susceptibilidad de equipos eléctricos, que contengan incumplimientos

con la Norma Oficial Mexicana. Se hicieron mediciones con un analizador de calidad de energía en tres tableros. En base a los resultados se establecieron recomendaciones; instalar un correcto sistema de puesta a tierra, identificar adecuadamente el conductor puesto a tierra (neutro), e implementar un transformador seco monofásico para balanceo de cargas.
Palabras Clave: Calidad de la energía, Normatividad, Riesgo eléctrico.

Abstract

The objective is to conduct a study of energy quality in a company to gather information on compliance with the general provisions of the network code and the conditions under which the installation operates. The interest is to improve the use of electrical energy, to guarantee the safety of users and their property. The methodology involves inspecting the installation to detect the susceptibility of electrical equipment that does not comply with the Official Mexican Standard. Measurements were taken with a power quality analyzer on three panels. Based on the results, recommendations were established: install a proper grounding system, properly identify the grounded conductor (neutral), and implement a single-phase dry transformer for load balancing.
Keywords**:** *Electrical risk, Power quality, Regulations.*

1. Introducción

El estudio de la calidad de la energía implica realizar un diagnóstico de la instalación de la empresa de televisión por cable y evaluar el comportamiento del sistema eléctrico; identificando problemas potenciales, proponiendo soluciones para mantener el buen funcionamiento de los equipos, evitando daños económicos por tiempos de inactividad, evitando un alto consumo de energía, mejorando la calidad y la eficiencia energética, y previniendo el riesgo de fallos que provoquen accidentes o desastres en las personas o sus bienes.

En [Danwen, 2021] a un ferrocarril electrificado lo consideran como una carga concentrada que, debido a la no linealidad, genera armónicos en el sistema de suministro eléctrico. También, por la volatilidad de la no linealidad, se ocasionan

fluctuaciones de voltaje en el sistema de suministro eléctrico. Predecir y evaluar la calidad de energía de los usuarios de ferrocarriles electrificados, permite la implementación anticipada de medidas de control de interferencias en la calidad de la energía. Además, reduce el riesgo de indicadores anormales de calidad de la energía, en el período posterior al acceso del usuario. Las medidas de control tienen importancia, para mejorar la calidad del suministro eléctrico, optimizar el entorno empresarial y de productividad del usuario.

En [Zhangad 2023] presentan que una mala calidad de la energía causa efectos adversos en el lado del usuario y en los equipos electrónicos. Los problemas de mala calidad de la energía requieren monitoreo en tiempo real, identificación y clasificación. En [Guan, 2024] presentan que las redes de distribución se ven afectadas por cargas no lineales, lo que hace que la gestión de la calidad de la energía sea más difícil. Las cargas no lineales causan problemas de calidad de la energía graves; armónicos que ocasionan calentamiento de terminales y conductores. Y también afectan la operación económica de la red de distribución, a través de la disminución de la vida útil de los materiales y equipos. Una evaluación con instrumentos de medición precisos es un requisito para optimizar la calidad de la energía. En [Du, 2024] identifican que la interferencia electromagnética estática se ha convertido en un foco de atención, ocasionado por la creciente complejidad de las cargas eléctricas. El uso de equipos electrónicos y eléctricos, sensibles a problemas transitorios en los sistemas de energía, y dependientes de la fiabilidad del suministro eléctrico, hacen que su dependencia de la calidad de la energía sea cada vez mayor. En [Namdev, 2023] presentan que dar atención a los problemas de calidad de la energía eléctrica, en distribución, son de importancia para los consumidores y para los proveedores. Mitigar los problemas de calidad de la energía, implica beneficios; mayor eficiencia, reducción de costos, suministro de energía ininterrumpido y necesidades de mantenimiento minimizadas. En [Bosé, 2022] se hizo un análisis de calidad en una red de distribución y en las instalaciones de una empresa textil. El análisis de la calidad de la energía es útil para prevenir el riesgo de daño de los equipos y evitar pérdidas financieras por interrupciones del proceso. El nivel de calidad de energía requerido es el nivel que ocasione como

resultado la operación adecuada del equipo en una instalación en particular. En [Habelok, 2019] presentan un método de diseño de un procedimiento, basado en mediciones de calidad de la energía, para incrementar la eficiencia energética en edificios. Se midieron los parámetros de calidad de la energía, se compararon con las normas vigentes, y se propuso un plan para el ahorro e incremento de la eficiencia energética del edificio. En [Wang, 2024]; identifican que el problema de calidad de la energía es cada vez más grave, y se ha convertido en un área de investigación a nivel internacional. También, presentan un sistema inteligente (IA) de monitoreo y gestión de calidad de energía (voltaje, frecuencia y forma de onda). El sistema monitorea, en tiempo real, parámetros trifásicos tales como; voltaje, corriente, balance de cargas, y factor de potencia. Además, detecta condiciones anormales de operación, incrementa la eficiencia del personal de operación y mantenimiento, e incrementa la experiencia eléctrica del usuario.

El impacto del trabajo, que aquí se presenta, se refleja en el estudio de la calidad de la energía en una empresa, basado en las mediciones de un analizador de red, que permite registrar información sobre el funcionamiento de la instalación, y hacer un dictamen de cumplimiento normativo y de seguridad para los usuarios y sus bienes, que garanticen el uso eficiente de la energía.

2. Métodos

La metodología usada en el presente proyecto, se inició con una inspección del inmueble, para evaluar el estado de la instalación eléctrica y detectar no conformidades o fallas. Las irregularidades encontradas fueron corregidas para mejor desempeño del analizador. Se cuidó evaluar y asegurar el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana [NOM-001-SEDE-2012, 2019], Instalaciones Eléctricas (Utilización). Para medir las variables de la instalación eléctrica, se usó un analizador de calidad de la energía modelo 435 serie II clase A, marca FLUKE. El equipo mide; armónicos de voltaje y corriente, corriente pico, perdidas de energía, caídas de tensión, sobre tensión, e interrupciones. Estos parámetros afectan a la eficiencia y a la seguridad de la instalación eléctrica. La metodología busca evaluar, identificar y mitigar fallas, para garantizar que la instalación cumpla con las normas.

Normatividad vigente

Se analizaron los valores de las tensiones eléctricas de acometida presentadas en la [Norma Mexicana Ance, 2014] con objeto de:

- Establecer las tensiones eléctricas nominales normalizadas y sus tolerancias para la operación de sistemas eléctricos.
- Establecer una clasificación de las tensiones eléctricas normalizadas para equipos y sus tolerancias.
- Establecer una nomenclatura uniforme, en cuanto a la terminología que se usa para las tensiones eléctricas.
- Lograr un mejor conocimiento de las tensiones eléctricas que se asocian con sistemas eléctricos, a fin de lograr una operación y diseño económico;
- Coordinar las tensiones eléctricas del sistema con las del suministro y la utilización, así como sus tolerancias.
- Establecer las bases para el desarrollo y diseño de equipo, a fin de lograr una mejor armonización conforme a las necesidades de los usuarios.
- Proveer una guía, para la selección de tensiones eléctricas de nuevos sistemas eléctricos y para cambios en los existentes.

[CRE, 2016] establece los requerimientos que deben cumplir los centros de carga, que se conecten al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), en AT o MT, para garantizar; eficiencia, confiabilidad, continuidad, calidad, y sustentabilidad del Suministro Eléctrico. Los requerimientos se aplican a los centros de carga relacionados a las actividades de suministro (calificado, básico o último recurso), usuarios calificados o generación de intermediación, que estén conectados en AT o MT.

En el apartado “Manual regulatorio de requerimientos técnicos para la conexión de centros de carga”, capítulo 3, numeral 3.8 calidad de la energía, se presentan los requerimientos y se menciona que en tanto no se cuente con una NOM sobre calidad de la energía, se debe cumplir con dos criterios:

- Criterio 1. En los puntos de conexión a la red, todos los centros de carga deben asegurar estar libres de distorsiones y fluctuaciones, en la tensión de

suministro, causadas por las instalaciones del usuario, más allá de lo especificado en las tablas 3.8.A, 3.8.B y 3.8.C del manual regulatorio.

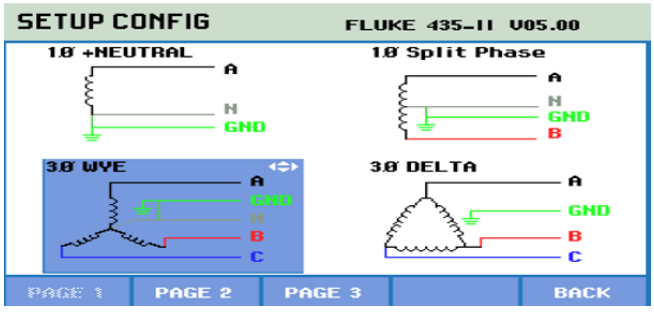
- Criterio 2. Los centros de carga especiales deben cumplir con los límites especificados de; fluctuación de tensión, distorsión armónica en corrientes, y desbalance de corriente. Los centros de carga convencionales deben cumplir con los límites especificados de desbalance de corriente únicamente.

En [CFE-L0000-45, 2016] se establecen los valores de las desviaciones máximas permisibles en el punto de acometida, para las formas de onda (tensión y corriente).

Configuración del equipo

Para configurar al analizador de redes 435 serie II clase A, FLUKE, en configuración estrella aterrizada (3F-4H), se aplican dos pasos:

- Configuración: asegurar que la configuración del transformador corresponda con la configuración del analizador (estrella aterrizada). Esto garantiza la exactitud de los resultados.
- Conexión: siguiendo las indicaciones del manual del equipo, conectar las pinzas de cocodrilo y las sondas de corriente en los puntos adecuados de la instalación eléctrica, Figura 1.



Fuente: elaboración propia

Figura 1 Diagrama de conexiones.

Parámetros monitoreados

Armónicos de voltaje y corriente: mide las distorsiones en la forma de onda causadas por cargas no lineales. Corriente pico: mide los valores de corriente

máximos. Pérdidas de energía: mide la energía perdida por calor y otras formas de ineficiencia. Voltajes: mide variaciones de tensión entre fases y neutro. El análisis de estos parámetros permite identificar problemas, para proponer soluciones que mejoren la calidad, la eficiencia energética y la seguridad de los usuarios y sus bienes, en el aprovechamiento de la instalación eléctrica.

3. Resultados

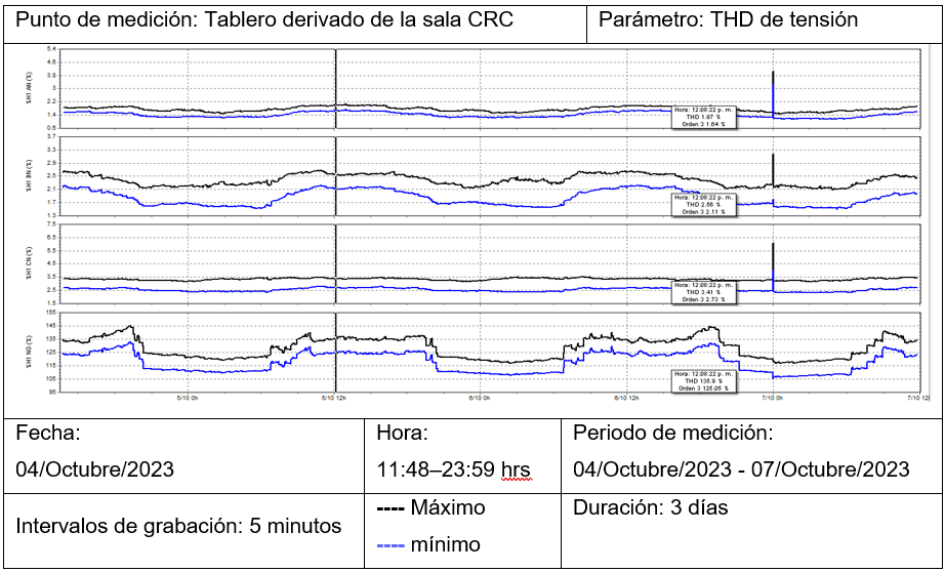
Descripción de la instalación eléctrica

Las mediciones se hicieron en el tablero derivado en la sala de CRS. La acometida del inmueble, se conectó mediante un sistema de 3F-4H, por medio de una transición subterránea con cable de potencia calibre 3/0, XLP 100% n.a. aluminio $15\ \mathrm{kV}$, en tres fases, con un hilo de puesta a tierra del sistema en cable de cobre desnudo calibre 1/0. Los conductores alimentan a un transformador tipo poste trifásico de $112.5\ kVA$; con relación de transformación de $13{,}200 - 220/127\ V$ operando en el Tap 3; para la alimentación en baja tensión se observan alimentadores en paralelo con cable de cobre tipo THW-LS calibre 3/0 para fases y neutro. Se observa en este punto la ausencia del conductor de puesta a tierra de equipos, lo cual es un incumplimiento normativo. Los alimentadores de baja tensión se conectan a un interruptor principal de caja moldeada, 3 polos $400\ \mathrm{A}$ marca SQCUARE D, que se encuentra alojado en un tablero tipo I LINE, identificado como tablero general. Para las mediciones se seleccionó el tablero derivado de la sala CRC, debido a que alimenta cargas monofásicas, difíciles de balancear, lo que ocasiona disturbios en el sistema. Variables monitoreadas; voltaje, armónicos de voltaje, corriente pico, armónicos de corriente, y pérdidas de energía.

Armónicos de tensión

En la Figura 2 se presenta el histograma de armónicos de voltaje. La medición se llevó a cabo durante un periodo de $70\ horas$, con intervalos de $5\ minutos$ para cada registro. Los valores de la Distorsión Harmónica Total (THD) están presentados en la Tabla 1; mínima, media, máxima, y el percentil 95. El límite máximo de Distorsión Armónica Total de Tensión DATT es de 8%, para una tensión

menor a $1\ kV$, establecido por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), según la especificación [CFE-L0000-45, 2016]. De acuerdo con esta especificación, la distorsión armónica total registrada durante el monitoreo está debajo del límite permitido por la CFE, lo que implica que el sistema eléctrico cumple con la especificación en cuanto a distorsión armónica de tensión.



Fuente: elaboración propia

Figura 2 Evolución temporal; armónicos de tensión.

Tabla 1 Distorsión Armónica Total (THD) de voltaje.

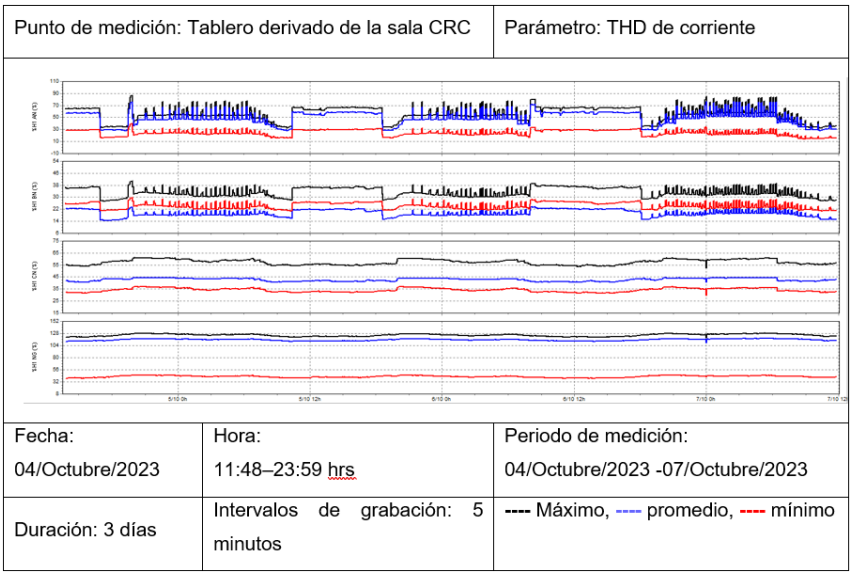
Registro de medición THD de voltaje				
Fase	**Mínima**	**Media**	**Máxima**	**Percentil 95**
A	1.46%	1.75624%	4.06%	1.97
B	2.09%	2.38156%	3.17%	2.63
C	3.15%	3.33665%	6.08%	3.46
Neutro	119.16%	124.339%	128.64%	127.7

Fuente: elaboración propia

Armónicos de corriente

Se debe mitigar a los armónicos de corriente en una instalación, porque son una corriente inútil que circula resultando en perdida de energía y calentamiento de cables. Los armónicos de corriente carecen de una finalidad útil; están presentes y representan, en categorías de energía, simplemente pérdidas (reducción de la eficiencia energética). La impedancia relativa y el voltaje pico son factores que

influyen en la cantidad de armónicos generados. El contenido de armónicos de corriente se presenta en la Figura 3 y en la Tabla 2.



Fuente: elaboración propia

Figura 3 Evolución temporal; armónicos de corriente.

Tabla 2 Distorsión Armónica Total (THD) de corriente.

Fase	Mínima	Media: 49.05%	Máxima	Percentil 95
A	32.04%	56.4319%	86.38%	75.07
B	27.29%	33.3502%	40.67%	37.43
C	52.65%	57.3744%	61.16%	65.55
Neutro	119.16%	124.339%	128.64%	127.7

Fuente: elaboración propia

En la especificación [CFE-L0000-45, 2016] se proporcionan las directrices sobre la calidad de la energía, y detallan los límites de los componentes armónicos. También, establecen los límites máximos permitidos para el contenido armónico de la corriente, dependiendo de la impedancia relativa del sistema y el voltaje pico.

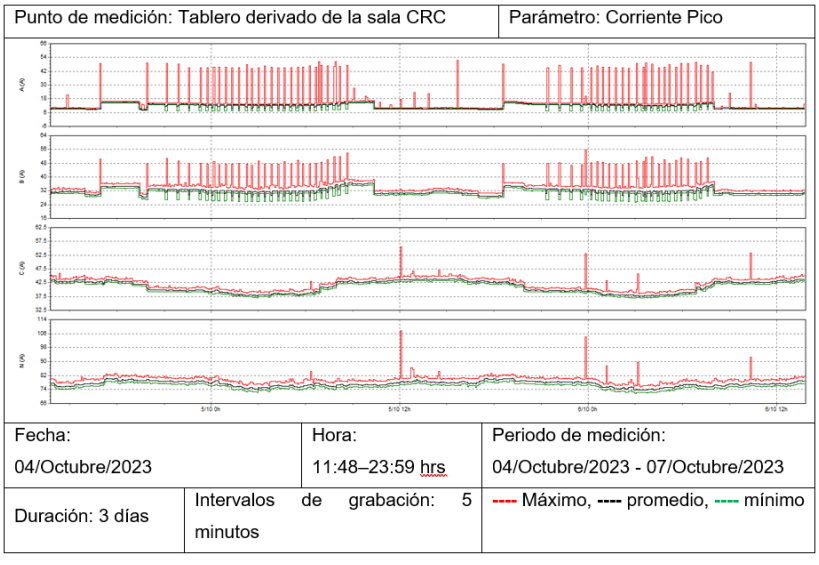
En la especificación [CFE-L0000-45, 2016] presentan los niveles de distorsión armónica máxima permitida en corriente para baja, media y alta tensión hasta $69\ kV$. Para identificar a la distorsión armónica máxima permitida se requiere calcular la impedancia relativa de la instalación, dividiendo la corriente de corto circuito (Icc) entre la corriente de línea (IL), tal como se muestra en Ecuación 1.

$$Impedancia\,relativa = \frac{Icc}{IL} \quad (1)$$

Posteriormente, el valor de la impedancia relativa calculado debe relacionarse con el límite de distorsión armónica permitido por la especificación. Para este sistema, se tiene una $Icc = 7.87x10^3\ kA$ y una $IL = 1.511\ A$, por lo tanto, se obtuvo una $Impedancia\,relativa = 5208.47$. En [CFE-L0000-45, 2016] establecen que si la impedancia relativa de la instalación es mayor a mil, entonces, la distorsión armónica total permitida es de 20%. La Distorsión Armónica Total (THD-Media) medida en el sistema es de 49.052%, lo cual excede el límite máximo permitido (20%). El sistema tiene alta resistencia (5208.47) a las corrientes armónicas, pero la THD registrada está por encima del porcentaje permitido.

Corriente pico

En la Figura 4 se observan múltiples picos de corriente en las fases A y B. Los picos son momentos de alta demanda, que causan fluctuaciones significativas en la corriente. El registro de medición de corriente pico, presenta un desbalance de 45.19%, ya que de acuerdo con los datos mostrados en la Tabla 3 se tuvo una corriente promedio de $28.1143\ A$ y una desviación de $12.705\ A$.



Fuente: elaboración propia

Figura 4 Corriente pico; fases: A, B, C y Neutro.

Tabla 3 Registro de medición de corriente pico.

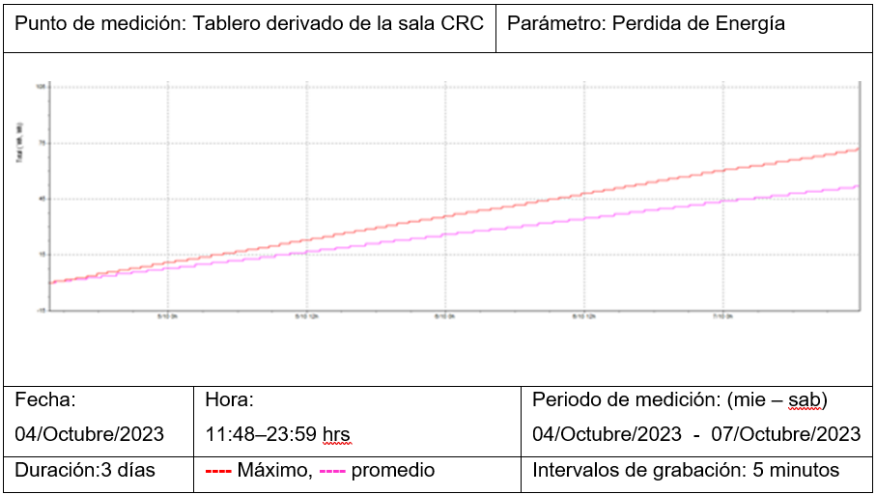
Fase	Mínima	Media: $(21.1143\ A)$	Máxima	Percentil 95
A	$8.4\ A$	$11.7458\ A$	$15.6\ A$	15
B	$25\ A$	$31.7788\ A$	$36.8\ A$	35
C	$33.2\ A$	$40.8193\ A$	$44.2\ A$	43.6
Neutro	$64.6\ A$	$79.101\ A$	$81\ A$	79.8

Fuente: elaboración propia

El desbalance de 45.19% encontrado, está por encima del límite permitido de 40%, presentado en [IEC 61000-2-2, 2002], lo que significa un desequilibrio en el suministro eléctrico. Este desequilibrio es resultado de: desbalance de cargas, fallas en los equipos y conexiones defectuosas. Los picos en el conductor neutral significan problemas de distorsión armónica y cargas desbalanceadas que afectan al neutro. Un desbalance elevado lleva a problemas significativos en la operación de equipos eléctricos.

Perdidas de energía

Las mediciones de las pérdidas de energía (Figura 5) se hicieron en el tablero derivado de la sala CRC, y como una consecuencia, se considera que están relacionadas con la sala de control o el centro de datos. Estas pérdidas de energía incluyen; pérdidas por efecto Joule en los conductores, pérdidas en transformadores, y pérdidas por ineficiencias en los equipos.



Fuente: elaboración propia

Figura 5 Pérdidas de energía.

Medición de pérdidas

El análisis de pérdidas es útil para identificar oportunidades de mejora y hacer ajustes que resulten en un uso más eficiente de la energía y una reducción de costos operativos. En la Tabla 4 se presenta el registro de medición de pérdidas. El sistema tiene momentos de bajas pérdidas energéticas (valores mínimos de $0\ Wh$, pero la presencia de valores máximos y un percentil alto, sugieren que las pérdidas energéticas no están siendo controladas de manera eficiente, durante todo el período de operación.

Tabla 4 Registro de medición de pérdidas de energía.

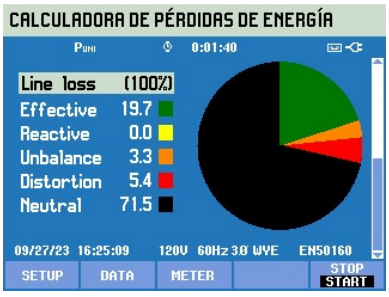
Perdida de energía	Mínima	Media	Máxima	Percentil 95
Neutro	$0\ Wh$	$26.1831\ Wh$	$52\ Wh$	49
Total	$0\ Wh$	$36.2319\ Wh$	$72\ Wh$	68

Fuente: elaboración propia

Calculadora de pérdidas

Los tipos de energía pérdida están en la Figura 6:

- Efectiva (19.7%): Este porcentaje sugiere que, del total de la energía perdida, 19.7% se pierde en los equipos.
- Reactiva (0.0%): La potencia reactiva es inútil y solo aumenta las pérdidas y los costos, por lo tanto, 0% de potencia reactiva es un parámetro a favor del sistema.



Fuente: elaboración propia

Figura 6 Calculadora de pérdidas de energía.

- Desbalance (3.3%): Las cargas están distribuidas de manera desigual entre las fases. Esto causa ineficiencias y sobrecalentamiento en el sistema.

- Distorsión (5.4%): Los armónicos causan sobrecalentamiento de los transformadores y motores e interferencias en los sistemas de comunicación.
- Neutral (71.5%): Este valor indica que la mayor parte de las pérdidas se producen en el conductor neutro.

Resumen

Las pérdidas energéticas están fuera de control, prácticamente durante todo el período de operación. Por lo tanto, hay oportunidades para mejorar la eficiencia energética del sistema; mediante ajustes en la operación, mantenimiento de equipos, y la implementación de tecnologías que reduzcan las pérdidas de energía.

Eventos registrados; Transitorios, DIP, y Swell

En el periodo de monitoreo (Tabla 5), en el tablero derivado de la sala CRC, se registraron 19 eventos de 4 tipos (DIP, Swell, Transitorio e Interrupción):

- Evento 17 (Tabla 5): Es un evento compuesto de tres perturbaciones eléctricas, que ocurrieron dentro del sistema eléctrico: un DIP, un Transitorio, y un Swell. Cada uno tiene implicaciones diferentes en la seguridad y operación. DIP (Caída de Tensión): Ocurrió el 10 de julio de 2023 a las $00:01:46:498$, con una tensión que bajó a $13\,V$. Este valor representa una caída severa de tensión, que causa que los equipos se apaguen inesperadamente, lo que implica interrupciones operativas y posibles daños a los equipos. Transitorio (Sobretensión Transitoria): Ocurrió entre el DIP y el Swell, a las $00:01:46:531$, $33\,ms$ (2 ciclos), con una tensión por encima de la nominal mayor a $60\,V$. Los transitorios son picos de voltaje de corta duración que causan daños en los equipos electrónicos; alteran datos, causan interrupciones en los sistemas de control y comunicación. Swell (Aumento de Tensión). El Swell se manifestó durante $44\,ms$ (3 ciclos) después del Transitorio, el mismo día a las $00:01:46:542$, con una tensión de $136.8\,V$. Este aumento de tensión es peligroso para los equipos eléctricos, ya que están diseñados para soportar voltaje nominal, lo que ocasiona sobrecalentamientos y fallos en los equipos.

Tabla 5 Registro de perturbaciones del sistema; AN, BN, CN.

No.	Evento	Fecha-Hora (Duración)	Valores de la medición		
			AN	BN	CN
1	Swell	$10/04/23 - 19:34\ (49.178\ ms)$	$135.8\ V$	-	-
2	Transitorio	$10/05/23 - 07:56\ (39.160\ ms)$	$> 60\ V$	-	-
3	Swell	$10/05/23 - 08:36\ (55.080\ ms)$	$132.2\ V$	-	-
4	Swell	$10/05/23 - 19:31\ (47.804\ ms)$	$134.5\ V$	-	-
5	DIP	$10/05/23 - 23:48\ (43.097\ ms)$	-	$92.8\ V$	-
	Swell	$10/05/23 - 23:48\ (43.158\ ms)$	$134.8\ V$	-	-
6	Swell	$10/06/23 - 03:10\ (32.128\ ms)$	-	-	$135.6\ V$
7	Transitorio	$10/06/23 - 07:54\ (56{,}175\ ms)$	$> 60\ V$	-	-
8	DIP	$10/06/23 - 18:43\ (46.631\ ms)$	-	-	$96.1\ V$
9	DIP	$10/06/23 - 18:56\ (08.930\ ms)$	$95.1\ V$	-	-
	Swell	$10/06/23 - 18:56\ (09.147\ ms)$	$132.0\ V$	-	-
10	Swell	$10/06/23 - 19:03\ (28.376\ ms)$	$132.1\ V$	-	-
11	Swell	$10/06/23 - 19:08\ (43.892\ ms)$	$132.2\ V$	-	-
12	Swell	$10/06/23 - 19:26\ (24.978\ ms)$	$133.2\ V$	-	-
13	Swell	$10/06/23 - 20:04\ (09.499\ ms)$	$133.4\ V$	-	-
14	Swell	$10/06/23 - 20:17\ (23.548\ ms)$	$134.5\ V$	-	-
15	DIP	$10/06/23 - 23:57\ (07.875\ ms)$	-	-	$107.6\ V$
16	DIP	$10/06/23 - 23:59\ (01.157\ ms)$	-	-	$0.0\ V$
	Transitorio	$10/06:23 - 23:59\ (01.177\ ms)$	-	$> 60\ V$	-
	Interrupción	$10/06/23 - 23:59\ (01.354\ ms)$	$0.0\ V$	-	-
	Swell	$10/06/23 - 23:59\ (22.442\ ms)$	-	$133.2\ V$	-
	Swell	$10/06/23 - 23:59\ (22.551\ ms)$	-	$135.8\ V$	-
17	DIP	$10/07/23 - 00:01\ (46.498\ ms)$	-	-	$13\ V$
	Transitorio	$10/07/23 - 00:01\ (46.531\ ms)$	-	-	$> 60\ V$
	Swell	$10/07/23 - 00:01\ (46.542\ ms)$	-	$136.8\ V$	-
18	Swell	$10/07/23 - 00:34\ (58.741\ ms)$	$135.1\ V$	-	-
19	Swell	$10/07/23 - 09:53\ (05.064\ ms)$	$132.2\ V$	-	-

Fuente: elaboración propia

- Seguridad: los problemas de seguridad relacionados con los eventos de DIP y Swell en un sistema eléctrico tienen implicaciones; sobrecargas, fallas, y daños:
  - ✓ Peligros: Un Swell genera peligros de; sobrecalentamiento e incendios.
  - ✓ Riesgo: El riesgo es evidente, especialmente si los equipos no están diseñados para manejar variaciones en el voltaje, lo cual se manifiesta a través de descargas de contacto directo o indirecto con el personal que está en contacto con la instalación.
  - ✓ Interrupción de operaciones críticas: Un DIP causa que el equipo se apague o funcione mal, lo que a su vez genera riesgos para la seguridad de los trabajadores y de las personas que dependen de los servicios.

- Peligro para el personal: El sistema eléctrico se ve comprometido por fluctuaciones de voltaje, lo cual genera la existencia de un mayor riesgo de electrocución o lesiones al personal que opera o mantiene los equipos afectados.
- Falla en los sistemas de protección: Los sistemas de protección, como fusibles y disyuntores, bajo condiciones de voltaje anormales, ocasionan perdida de seguridad, lo que se traduce en peligro de fallas graves del sistema eléctrico, como sobre calentamiento de terminales y conductores, propiciando altas temperaturas que derivan en incendios.
- Interferencia en sistemas de seguridad: Los equipos, como alarmas, sistemas de control y comunicación, fallan presentando mal funcionamiento durante un DIP o Swell, comprometiendo a la seguridad de las instalaciones y las personas.

4. Discusión

Las perturbaciones eléctricas que ocurrieron (DIP, Transitorio, Swell) afectan a la eficiencia y la seguridad. La caída de tensión a $13\,V$, transitorio mayor a $60\,V$, aumento a $136.8\,V$, requieren atención. Las fluctuaciones de voltaje; causan daños a los equipos, ponen en riesgo la seguridad del personal y afectan a la integridad de los datos. Un sistema de puesta a tierra desempeña la función de protección y seguridad de la instalación eléctrica, debido a que es un circuito de baja impedancia que permite drenar los efectos de fenómenos transitorios. Un sistema eléctrico con un diseño seguro permite la disminución de fallas relacionadas con interrupciones, eventos transitorios y variaciones en los parámetros fundamentales. Por lo tanto; la base de la protección, seguridad y calidad de la energía son los sistemas de puesta a tierra.

5. Conclusiones

Tras analizar los resultados del monitoreo del inmueble, las inspecciones físicas y visuales, se determinó que la calidad de la energía es deficiente. El contenido de armónicos de corriente en la instalación eléctrica supera los límites establecidos.

Las pérdidas a través del conductor puesto a tierra (neutro) son considerables. Estas anomalías significan un uso ineficiente de la energía, debido a la distorsión y el desbalance, que se traduce en pérdidas económicas.

Recomendaciones específicas

- Instalar un correcto sistema de puesta a tierra.
- Identificar el conductor puesto a tierra (neutro) y respetar el código de colores según la [NOM-001-SEDE-2012, 2019], Instalaciones Eléctricas (Utilización), con la finalidad de mantener la correcta configuración entre conductores de fase, neutro y puesta a tierra.
- En el tablero regulado, implementar un transformador seco monofásico de tres hilos para equilibrar las cargas monofásicas que se conecten desde un tablero trifásico. El transformador seco facilita el balanceo de las cargas, funciona como un filtro para armónicos, y mejora la calidad de la energía eléctrica.

Recomendaciones generales

Se presentan nueve medidas, preventivas – correctivas, que ayudan a; reducir las pérdidas de energía, incrementar el rendimiento del sistema eléctrico, y mejorar la sostenibilidad:

- Mantenimiento Regular; asegurar que los equipos y componentes eléctricos estén en buen estado.
- Mantenimiento preventivo; prevenir pérdidas por conexiones flojas, conductores corroídos, o equipos defectuosos.
- Optimización de Cargas; redistribuir y balancear las cargas eléctricas entre fases, para evitar sobrecargas en circuitos y picos innecesarios en el consumo. Operar los equipos en condiciones de carga ligera aumenta la eficiencia.
- Actualización de Equipos; reemplazar equipos antiguos con versiones modernas y de mayor eficiencia energética. Los motores y transformadores de alta eficiencia reducen significativamente las pérdidas.

- Uso de Filtros de Armónicos; instalar filtros que limiten a los armónicos en el sistema eléctrico. Evitar que los armónicos causen sobrecalentamiento y pérdidas de energía en transformadores y motores.
- Gestión de la Demanda; implementar sistemas de gestión de la demanda y reducir el consumo de energía en horas pico.
- Optimización de la Tensión; ajustar la tensión de suministro a los niveles óptimos, para reducir las pérdidas en los conductores y equipos.
- Monitoreo en tiempo real; usar sistemas de monitoreo, para detectar fallos o riesgos eléctricos, identificar pérdidas de energía y patrones de uso. Los analizadores de red proporcionan datos valiosos, para hacer ajustes informados.
- Educación y Entrenamiento; capacitar al personal en prácticas de eficiencia energética y protocolos eléctricos, fomentar una mentalidad de cero accidentes y reportes de condiciones inseguras, concienciar sobre el impacto de sus acciones en el consumo de energía. Estas estrategias aportan beneficios a los usuarios y sus bienes.

6. Bibliografía y Referencias

[1] Bosé, S., Khubalkar., S., Análisis de calidad de energía de la industria textil - Hallazgos y recomendaciones, IEEE, Ravet, India, 2022.

[2] CFE-L0000-45, Diario oficial, Mexico D.F:, 2016.

[3] CRE, Código de Red, Diario Oficial, Mexico D.F, 2016.

[4] Danwen, Y., Guanglei, L., Weixu, W., Qingyu, W. Power quality pre-evaluation method considering the impact of electrified railway, 2021 6th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), Chongqing, China, April, 2021.

[5] Du, W., Huang, C., Zhu, Y., Wang, L. Advancements in Power Quality Analysis for Electrical Distribution Networks, 2024 9th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE), Shanghai, China, April 2024.

[6] Guan, J., Jia, H., Zhao, Y., Wei, C., Xu, X., Yang, Z. Research on Power Quality Assessment Method of New Distribution System Considering

Uncertainty, 2024 7th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering (CEEPE), Yangzhou, China, April, 2024.

[7] Habelok, K., Bodzek, K., Stepien, M. Power Quality Measurements in Commercial Buildings as a Base for Energy Efficiency Improvement, 2019 Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ) & 2019 Symposium on Electrical Engineering and Mechatronics (SEEM), Kärdla, Estonia, June 2019.

[8] IEC 6100-2-2, International Electrotechnical Commission, 2002.

[9] Namdev,P., Singh, R. Advances in Power Quality Enhancement: A Comprehensive Review of Custom Power Devices and Mitigation Strategies, 2023 3rd International Conference on Energy, Power and Electrical Engineering (EPEE), Wuhan, China, September 2023.

[10] Norma Mexicana Ance, Mexico D.F., Asociacion de normalizacion y certificacion, A.C. 2014.

[11] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización), SENER, 19 Noviembre, 2019.

[12] Wang, D., Guo, X., Zhang, B., Liu, S., Li, X., Jia, Z. Power quality monitoring and management system based on intelligent fusion terminal, 2023 4th International Conference on Smart Grid and Energy Engineering (SGEE), Zhengzhou, China, November 2023.

[13] Zhang, H., Wu. X., Wang, Q.,You,Y., Ding,W., Dong, K., Zhao,J. Disturbance Identification of Power Quality Based on Markov Transition Field and Deep Residual Network, School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing, China, Dali, China, July 2023.