

Estimación de eficiencia energética mediante análisis de calidad de la energía en un Site

Pablo Sánchez, Fernando Jurado y David Granados
Depto. De Ingeniería Electromecánica, Maestría en Ingeniería Eléctrica
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato
Irapuato Gto, México
fejurado@itesi.edu.mx

Abstract— The present work shows the comparative analysis and study of the input power signal for a communications site vs the output signal of the voltage conditioning equipment (uninterruptible power supply) in the energy supply terminals of the final equipment. Some equipment located in the site has been experimented breakdowns without apparent cause, and the costs derived from the exit of operation of some servers located on the site has been expensive. The electrical configuration of the installation has been designed to provide high reliability. An exhaustive review of each part of the system has been carried out to identify and solve the problem that affected the sensitive equipment.

Keyword— *power quality, electric supply, sag, swell, harmonic.*

Resumen— La presente investigación muestra el análisis comparativo del estudio y análisis de calidad de energía en relación con las señales de alimentación de entrada a un site de comunicaciones vs la señal de salida de los equipos de acondicionamiento de señal mediante una unidad de potencia ininterrumpible para los equipos finales. En la instalación, algunos de los equipos que se encuentran conectados han sufrido averías sin causa aparente y los costos derivados de la salida de operación de algunos de los servidores ubicados en el site han sido elevados. La configuración eléctrica fue diseñada para proveer de alta confiabilidad operativa al site, por lo que se realizó una revisión exhaustiva de cada elemento del sistema para la identificación y solución del problema.

Palabras claves— *Calidad, Energía, suministro eléctrico, depresión de voltaje, sobrevoltaje, armónicos.*

I. INTRODUCCIÓN

Existen dos términos en cuyo cumplimiento radica parte importante del buen funcionamiento de cualquier sistema de suministro de energía: calidad y confiabilidad. Un sistema de energía es confiable si los usuarios pueden abastecer de energía a sus equipos las 24 horas del día los 365 días del año sin sufrir interrupciones. El término de calidad de la energía a menudo se relaciona con mantener una señal de voltaje sinusoidal a la frecuencia de la red (50 o 60 Hz) en los puntos de conexión de equipos y aparatos [1].

Actualmente, la constante automatización de procesos, la dependencia de los sistemas de información digitales, sistema de almacenamiento y acceso de datos en la nube, etc., ha repercutido en una transformación de los sistemas de suministro de energía dedicados a tales aplicaciones. El uso de equipos que precisan de componentes electrónicos para su funcionamiento, tales como microcontroladores, tarjetas electrónicas y procesadores; requieren de características de suministro de energía que cumpla con ciertos límites en sus valores de magnitud, frecuencia, forma de onda, etc. para poder operar de una manera satisfactoria y evitar daños en su propia estructura física, lo cual deriva con frecuencia en altos costos económicos por concepto de fallo de equipos, pérdida de información, paro de procesos industriales y administrativos, cuya magnitud de pérdidas económicas se encuentra directamente relacionado con el tiempo que el equipo o sistema se mantenga fuera de operación.

Como caso particular, en esta investigación se presenta el diagnóstico de la calidad de la energía en un site general de una institución educativa, en la cual se encuentran ubicados servidores para el almacenamiento de datos de usuarios, sistema administrativo, sistema financiero y sistema de comunicaciones generales; en el cual se reportan fallas en unidades de almacenamiento, tarjetas

electrónicas, tarjetas ópticas, etc. sin causa aparente, razón por la cual se han registrado pérdidas económicas sustanciales por la salida de operación de sistemas, pérdida de datos y daño total de componentes de alto valor.

Con el objetivo de encontrar la causa-raíz del problema en el sistema de suministro eléctrico del site, se realizó un diagnóstico de calidad de la señal del alimentador principal del servicio antes de los acondicionadores de energía (UPS) así como en la salida de estos últimos hacia las cargas electrónicas y un análisis de la condición del estado de la red de puesta a tierra (PAT), se hace una presentación general de la configuración del sistema y los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en condiciones nominales de operación, con especial interés en los valores de la distorsión armónica total DAT o THD en voltaje (THDv), depresiones de voltaje y sobretensiones.

La presente investigación plantea una revisión específica de la problemática encontrada; donde se presenta un panorama general de los resultados de un diagnóstico de CE en una instalación que puede ser considerada como carga sensible.

II. DESCRIPCION DEL SISTEMA

A continuación, se describen las características del sistema en el cual se realizó el análisis de la calidad de la energía. En la Figura 1 se puede apreciar el diagrama general del presente estudio.

A. Descripción general del sistema

El sistema se encuentra alimentado por una red de distribución aérea de la compañía eléctrica a un voltaje de 13.8 kV para llegar por medio de una transición subterránea a una subestación cuyo transformador principal es de 350 kVA de potencia nominal, conexión estrella – estrella sólidamente aterrizado. La conexión es mediante un tablero general de distribución del cual se deriva un alimentador dedicado para la alimentación del site, llevando tres cables de fase, un conductor para neutro y un conductor desnudo para la puesta a tierra del circuito; este último cable se lleva directo desde la barra de tierras general ubicada en el cuarto de distribución de servicio. El alimentador del site se encuentra respaldado por un generador de emergencia mediante motor diesel, a fin de mantener operando el sistema ante una interrupción de energía de la compañía suministradora. La selección de la fuente de alimentación, red eléctrica pública – generador de emergencia, está a cargo de un sistema de transferencia automático de estado sólido, el cual entrega la energía en terminales de un transformador de aislamiento trifásico tipo seco, de 50 kVA de potencia nominal, relación de transformación 1:1 con conexión delta – estrella aterrizada; el secundario del transformador de aislamiento se conecta a las terminales de una unidad de potencia ininterrumpible (UPS) de 30 kVA de capacidad.

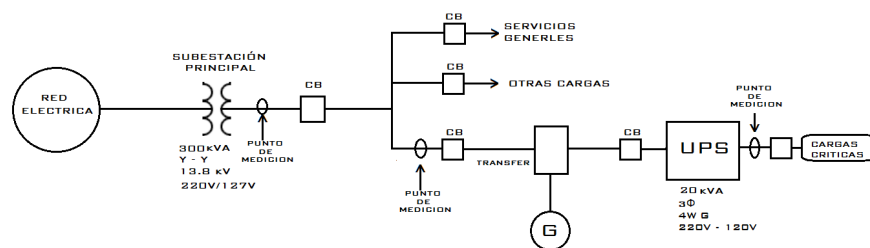


Fig. 1. Diagrama general del sistema de estudio.

B. Características del sistema de potencia ininterrumpible

Características de entrada:

- Potencia Nominal: 30 kVA; 24 kW.
- Voltaje de entrada nominal: 208 V, 3 fases, 3 hilos.
- Rango de voltaje de entrada: + 10%, -15% @ 100% de carga.
- Frecuencia de entrada y rango: 60 Hz \pm 5%.
- Factor de potencia de entrada: 0.98 mínimo en retraso @ 100% de carga; 0.95 en retraso @ 50% de carga.
- Corriente de entrada reflejada: 3% THD máximo @ 100% de carga; 6% máximo @ 50% de carga.

Características de salida:

- Voltaje de salida nominal: 208 V, 3 fases, 4 hilos.
- Regulación de la tensión dinámica nominal: \pm 1% para cargas desequilibradas.
- Voltaje de salida ajustable manualmente: \pm 5%.
- Frecuencia de salida (inversor síncrono): 60 Hz.
- Frecuencia de salida de funcionamiento libre (en batería o asíncrono): 60 Hz \pm 0.01%.
- Distorsión armónica de tensión:
 - Máximo 2% THD @ 100% de carga lineal.
 - 4% de THD máximo @ 100% de carga no lineal.
 - Rango de factor de potencia de carga de 0.7 a 1.0 en retraso dentro de la clasificación de kW del UPS.

La Figura 2 muestra el diagrama unifilar de los componentes de la UPS.

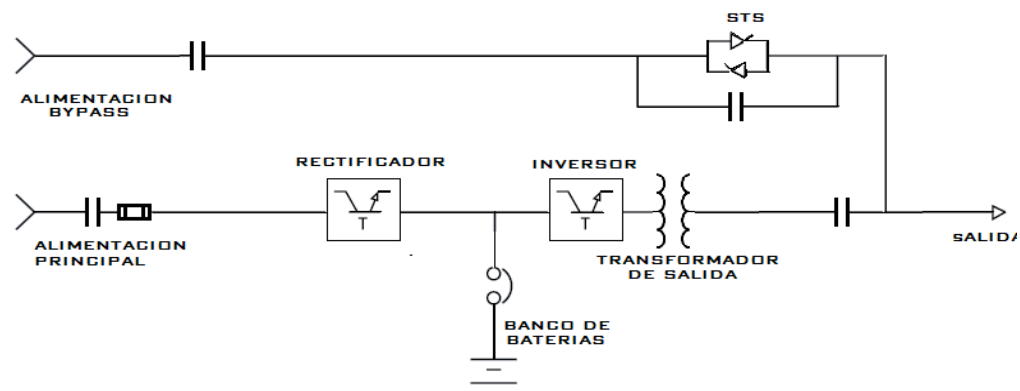


Fig. 2. Diagrama unifilar de la unidad UPS.

C. Descripción general del sistema de puesta a tierra del site

El espacio físico que ocupa el centro de datos se encuentra ubicado a una distancia de aproximadamente 20 metros del tablero de distribución general de la instalación, el cual a su vez se encuentra a 10 metros de distancia del transformador principal tipo pedestal que alimenta el inmueble, estas distancias sumadas son las mismas que recorre el cable de puesta a tierra desde el punto de acoplamiento común en el transformador, hasta la barra de tierras dentro del site.

El site se encuentra aterrizado a través de un sistema de puesta a tierra del tipo malla de referencia de señal, debido a que, si solo se utilizara un conductor resultaría impráctico, puesto que este conductor tendría un valor mayor de impedancia en medida de las frecuencias manejadas en un centro de datos; tal como se indica en la norma IEEE STD 1100-2005 [2].

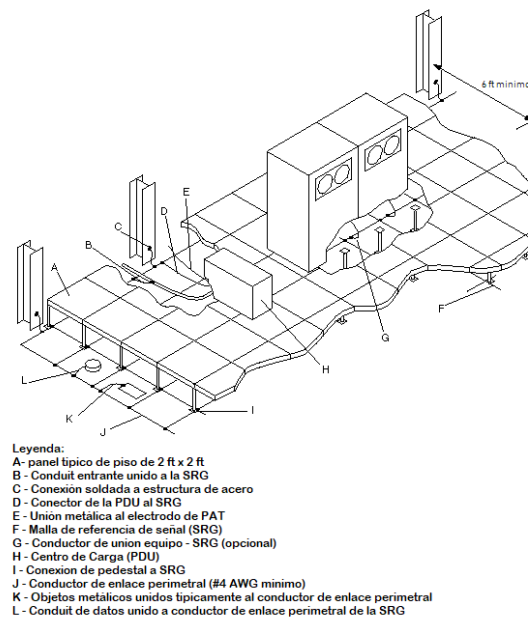


Fig. 3. Instalación típica para puesta a tierra de centros de datos con malla de referencia de señal.

El sistema de puesta a tierra recomendado por el IEEE STD 1100-2005, consiste entonces de una malla de cobre desnudo de calibre no. 2 AWG o uno mayor, instalado debajo del piso del centro de datos, a fin de formar una malla con cuadros de 2 ft x 2 ft (0.61m x 0.61m). Se recomienda que el sistema de puesta a tierra se encuentre instalado sobre el piso permanente del centro de datos y posteriormente colocar un piso falso, Figura 3.

III. VALORES DE REFERENCIA, CALIDAD DE LA ENERGÍA

El termino calidad de la energía (CE) se refiere a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan a la tensión y a la corriente en un momento y lugar determinado dentro de un sistema eléctrico [3]. Estos fenómenos o perturbaciones eléctricas son anomalías en las señales de tensión o corriente que presentan variaciones de magnitud con respecto a su valor nominal durante un intervalo de tiempo. El estándar internacional IEEE 1159-2009 categoriza estos fenómenos de acuerdo con los umbrales de tiempo que presentan, tal como se presenta en la Tabla 1:

Tabla I. Categorías y características de fenómenos electromagnéticos según el IEEE STD 1159 – 2009

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1.0 Momentáneas			
1.1.1 Interrupción		0.5 ciclos - 3 s.	< 0.1 pu.
1.1.2 Depresiones de voltaje		30 ciclos - 3 s.	0.1 -0.9 pu.
1.1.3 Incrementos de voltaje		30 ciclos - 3 s.	1.1 - 1.4 pu.
1.2 Temporal			
1.2.1 Interrupción		3 s. - 1 min.	< 0.1 pu.
1.2.2 Depresiones de voltaje		3 s. - 1 min.	0.1 -0.9 pu.
1.2.3 Incrementos de voltaje		3 s. - 1 min.	1.1 - 1.2 pu.
2.0 Variaciones de larga duración			
2.1 Interrupción sostenida		> 1 min	0.0 pu.
2.2 Bajo voltaje		> 1 min	0.8 -0.9 pu.
2.3 Sobrevoltaje		> 1 min	1.1 - 1.2 pu.
3.0 Desbalance en voltaje		Estado Estable	0.5 - 2%
4.0 Distorsión de Forma de Onda			
4.1 Contenido armónico	0 -100th H	Estado Estable	0 - 20%
5.0 Fluctuaciones de Voltaje	< 25 Hz	Intermitente	0.1 - 7%
6.0 Variaciones en la Frecuencia		<10 s.	

Adicionalmente, se cuenta con los valores de referencia de THD establecidos en la normativa internacional: IEEE STD 519-2014 [4] “Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System”; así como por la especificación nacional: CFE L000-45 2005: Desviaciones Permisibles en las formas de Onda de Tensión y Corriente en el Suministro y Consumo de Energía Eléctrica [5], mostrados en la Tabla 2 y la Tabla 3 respectivamente.

Tabla II. Tabla extraída de la especificación CFE L000-45 2005.

Límites máximos de distorsión armónica total en tensión y de CAIMT en el punto de acometida		
Tensión kV	Componente armónico individual máximo de tensión (CAIMT) %	Distorsión armónica total de tensión (DATT)%
Menor que 1	6	8
de 1 a 35	5	6.5
Mayor de 35	2	3

Tabla III. Clasificación y límites de distorsión de voltaje, IEEE STD 519-2014.

	Aplicaciones Especiales*	Sistemas en General	Sistemas Dedicados**
Profundidad de Muesca	10%	20%	50%
Distorsión Armónica Total (THD Voltaje)	3%	5%	10%
Área de Muesca (AN)***	16400	22800	36500

NOTA - los valores para AN diferentes a 480 V deberán multiplicarse por V/480

*Aplicaciones especiales incluyen hospitales y aeropuertos.

** Un sistema dedicado se usa exclusivamente para convertidores.

***En Volt por microsegundo a voltaje y corriente nominal.

En cuestión de los valores de la resistencia de puesta a tierra requeridos para un correcto funcionamiento y protección de personas, instalaciones eléctricas y dispositivos electrónicos, según lo marcado por la Norma Oficial Mexicana NOM-022-STPS-2008, Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciónes de seguridad. Se deben cumplir con los siguientes requisitos [6]:

- Estar comprendidos entre 0 y 25 ohm, para la resistencia en sistemas de pararrayos;
- Tener un valor no mayor a 10 ohm, para la resistencia de la red de puesta a tierra.
- Que exista continuidad eléctrica en los puntos de conexión a tierra del equipo que pueda generar o almacenar electricidad estática.

La perfecta conexión de la puesta a tierra debería tener cero resistencias, pero esto es imposible de obtener e impráctico de realizar por cuestiones de mantenimiento y la respuesta dinámica del sistema. Valores de resistencia de puesta a tierra de menos de 1 Ohm se pueden obtener, sin embargo, tales valores tan bajos suelen no ser necesarios.

IV. RESULTADO DEL MONITOREO DE CALIDAD DE LA ENERGÍA

La Figura 1 muestra los puntos de medición realizados a fin de detectar los posibles problemas de CE en el sistema de alimentación eléctrica del centro de datos en cuestión, utilizando para tal efecto un analizador de calidad de la energía comercial, modelo Fluke 435-II, y siendo los puntos de medición los siguientes:

- Terminales de salida del sistema de potencia ininterrumpible.
- Alimentador principal del centro de datos.
- Secundario del transformador de la subestación.

El monitoreo de las diferentes variables eléctricas se llevó a cabo durante una semana continua en cada punto de medición, durante la operación normal de la instalación eléctrica. Una vez terminado el tiempo de monitoreo, se realizó el análisis de los parámetros y magnitudes registrados, obteniendo los siguientes resultados:

A. Voltaje.

La señal de voltaje es simétrica para las tres fases y el perfil del voltaje de neutro a tierra, Figura 4. Para el voltaje de fase, se obtuvo un valor máximo de 120.86 V y un valor mínimo de 119.34, por lo que se cumple el valor de regulación de la placa de datos de la UPS. El valor de voltaje de neutro a tierra tuvo un evento de 1.51 V como máximo, y un valor mínimo de 0.93 V; la recomendación de los fabricantes de equipo electrónico sensible sugiere un valor de 1 V entre neutro y tierra. De la gráfica de las Figuras 4 y 5, se aprecia que el centro de datos se encuentra libre de depresiones de voltaje y sobrevoltajes por la protección proporcionada por el UPS, contrario a las señales de voltaje del alimentado principal, donde se aprecia un sobrevoltaje permanente en la instalación (135V), así como algunas pérdidas de alimentación de la red eléctrica (línea verde).

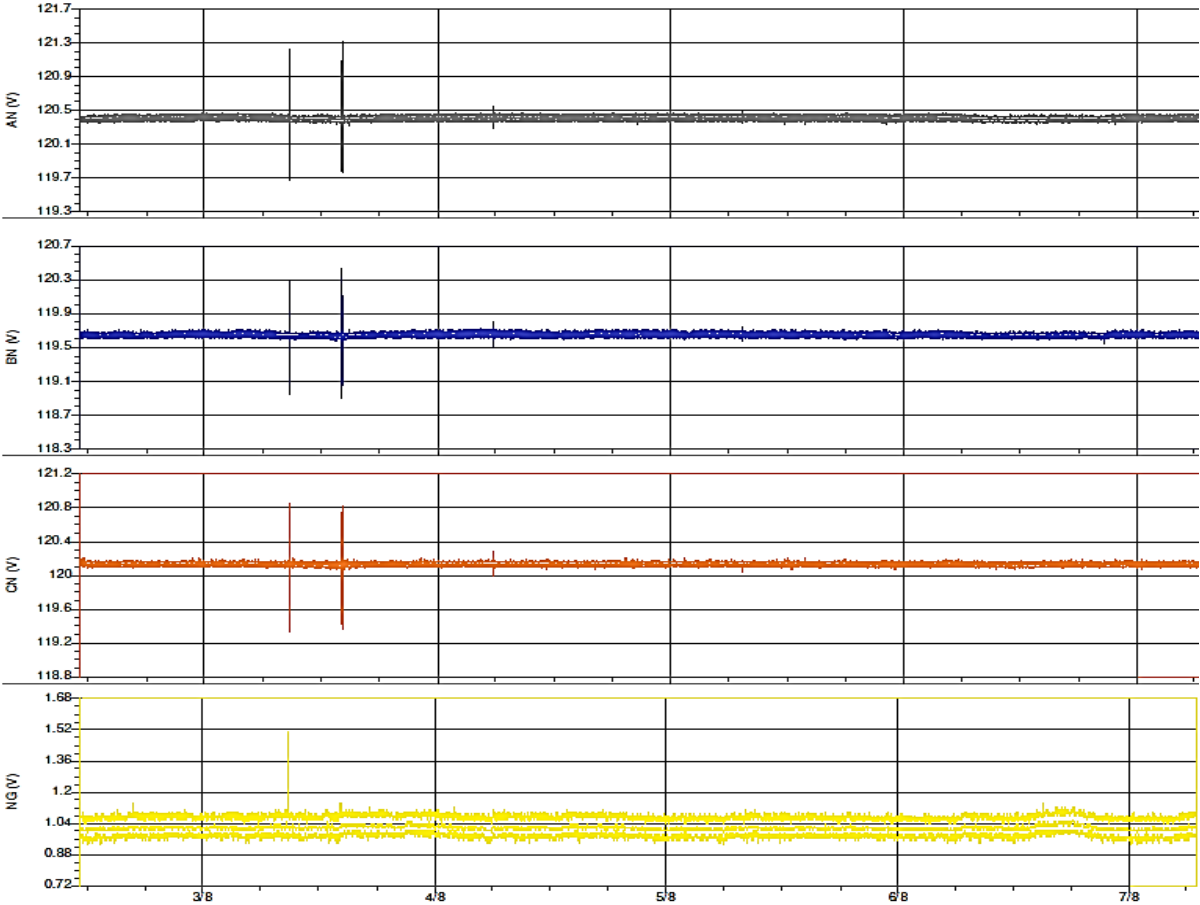


Fig. 4. Muestra de perfil de voltaje: salida de la UPS.

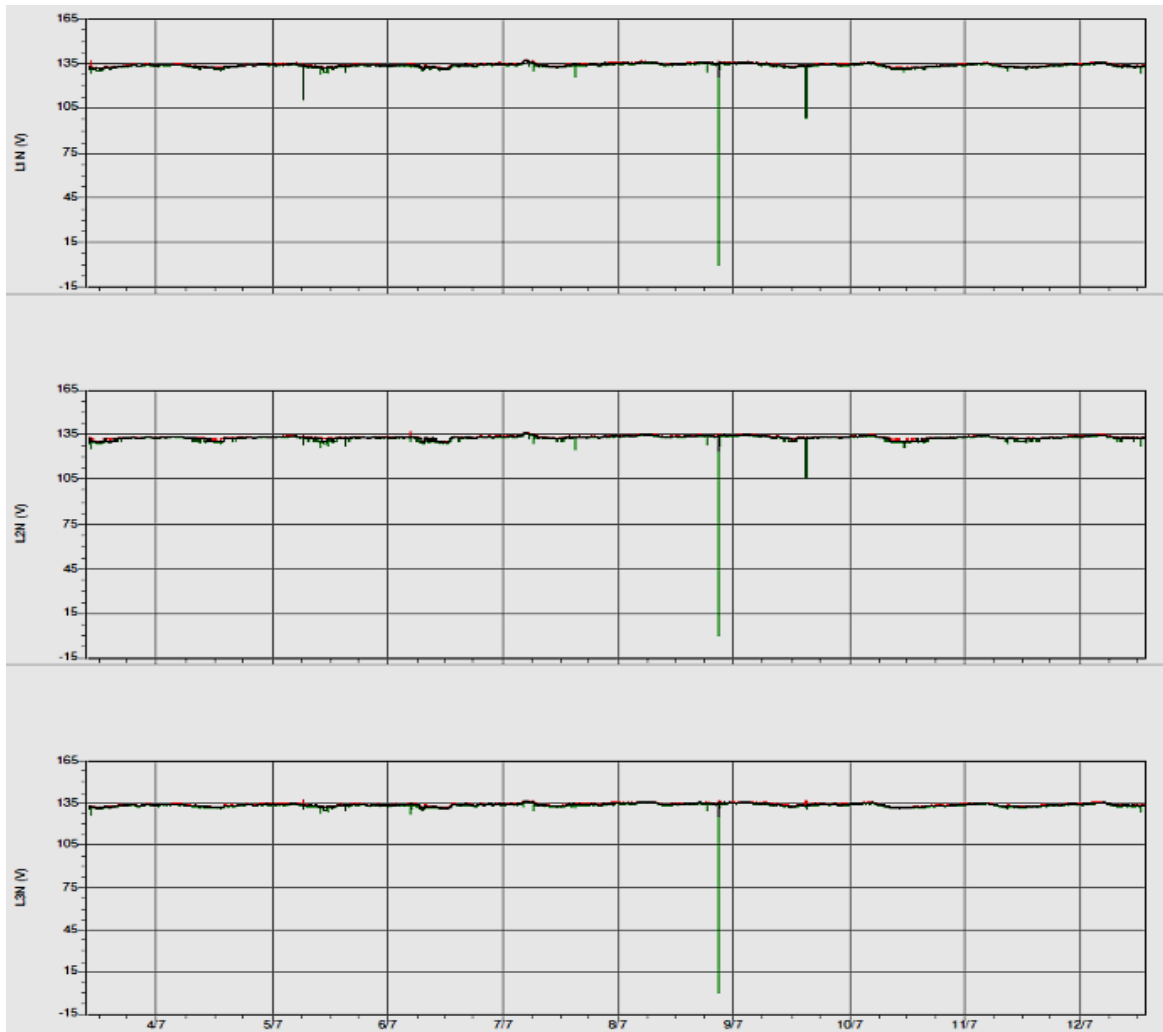


Fig. 5. Muestra de perfil de voltaje: alimentador principal.

B. Corriente

Se presenta una demanda de corriente prácticamente constante, con un promedio de 34 A. por fase. Dentro del perfil de corriente, destacan los valores medidos en el conductor neutro, en el cual se presenta un evento con un valor máximo de 11.2 A. donde uno de estos valores máximos en el neutro coincide con los valores máximos medidos en los perfiles de voltaje, Figura 6. Del perfil de corrientes en las terminales de salida del UPS y los perfiles de voltaje, se aprecia que la regulación de tensión por parte del dispositivo cumple con sus especificaciones de fábrica.

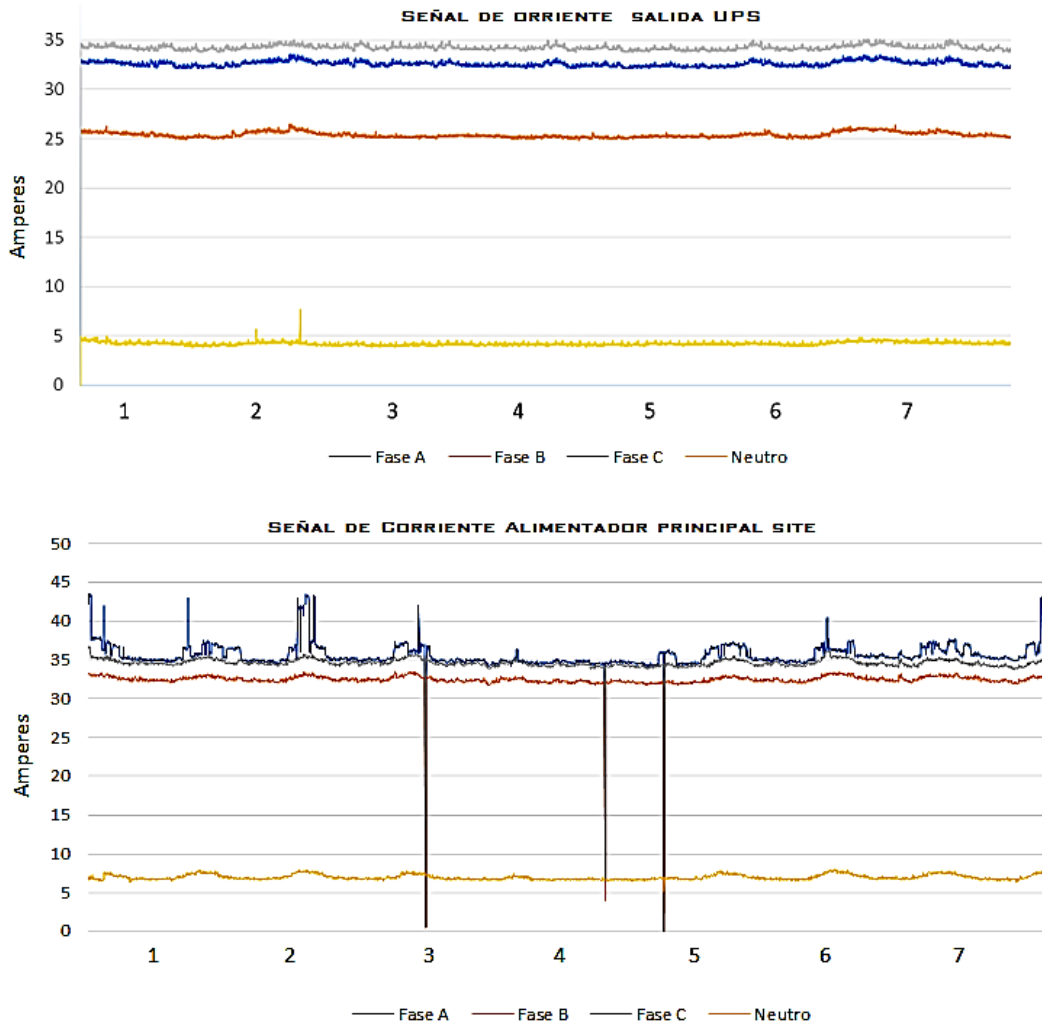


Fig. 6. De arriba hacia abajo: perfil de corriente de salida de la UPS; perfil de corriente alimentador principal.

C. Factor de eficiencia

Uno de los factores más importantes que influye en la eficiencia del UPS es el nivel de carga en el cual trabaja. La mayoría de los UPS presentan mejor nivel de eficiencia cuando trabajan entre el 50 y 100% de su capacidad. Para el caso particular, la unidad tuvo una demanda máxima de 11.67 kVA, lo que corresponde al 38% de su capacidad nominal. El factor de eficiencia del dispositivo fue medido, encontrando que opera con una eficiencia del 90 al 92% la mayor parte del tiempo, sin embargo, se puede apreciar en la Figura 7 que durante el evento donde existió mayor circulación de corriente por el neutro, la unidad opero a un 81% de eficiencia, se muestra además una medición de las pérdidas en Watts del dispositivo electrónico.

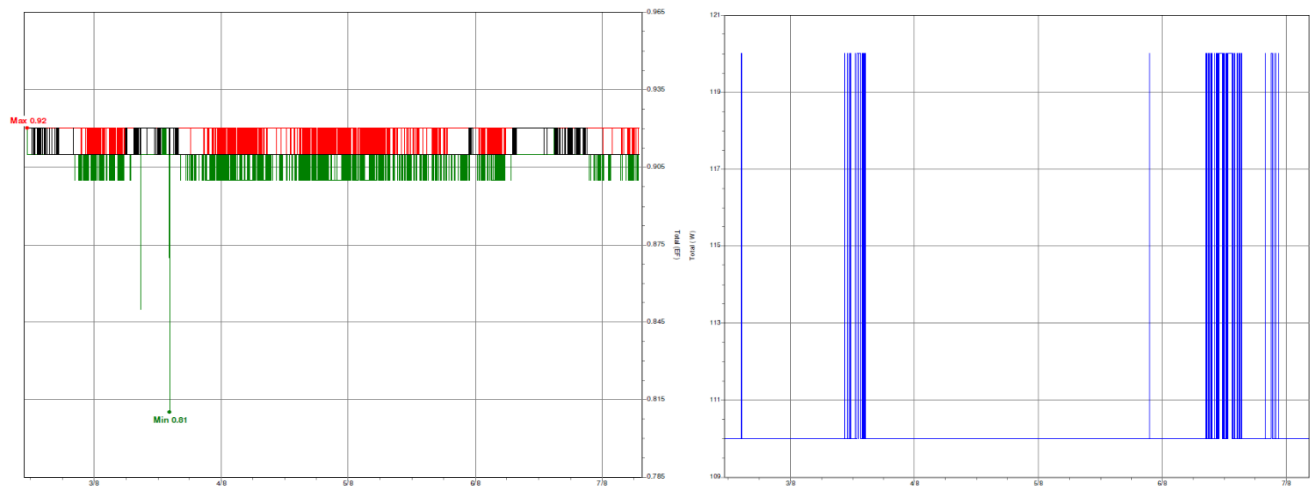


Fig. 7. Factor de eficiencia y pérdidas de la unidad de potencia ininterrumpible.

D. Contenido armónico de voltaje

Uno de los parámetros más importantes para la evaluación de la CE es el monitoreo de contenido armónico en la señal de tensión de un servicio eléctrico [7]. Se realizaron monitoreos del contenido armónico de voltaje en tres distintos puntos de la instalación. Se presenta en la Figura 8 un comparativo del valor de THDv en cada parte del sistema eléctrico donde se realizaron las mediciones, las cuales muestran el valor de THDv por fase; A) terminales de salida del UPS, B) alimentador principal del site antes del transformador de aislamiento, C) terminales del transformador principal. En todos los casos, el valor más estricto del 3% de THDv dictado por la IEEE STD 519-2014 para instalaciones especiales no es superado. La medición en B) marca un valor máximo medido de 7% de THDv, sin embargo, este valor no corresponde al estado estable, ya que fue causado durante la pérdida de alimentación en 3 eventos distintos, mismos que se pueden apreciar en la Figura 6.

De los histogramas de la Figura 8, se hace evidente que existe un mayor contenido armónico en las terminales de salida del UPS, debido a que prácticamente el 100% de la carga que alimenta son dispositivos no lineales, sin embargo, se mantienen valores por debajo del 3%. La contaminación armónica que los dispositivos aguas arriba en el circuito pueden resentir es efectivamente atenuada por el transformador de aislamiento ubicado antes de la UPS y se ve reflejado en los valores de THDv de la medición. Este transformador apantallado tiene la función además de filtrar la señal de entrada a la UPS de ruido al proveer un punto de aterrizamiento cercano a los dispositivos electrónicos a proteger, permitiendo que sean drenados por tierra las corrientes de fuga de los equipos conmutados existentes en el centro de datos y aumentando la efectividad de la malla de referencia de señal existente dentro del site.

Agua arriba en el circuito, en el secundario del transformador principal de la subestación, se tienen valores de distorsión armónica de voltaje de mayor magnitud que en el punto de medición central, pero más bajos, aunque los valores en terminales de salida de la UPS. Algo que cabe resaltar es el valor alto de THDv en la señal de voltaje entre el conductor neutro y el sistema de puesta a tierra, lo cual es un valor esperado debido a la gran cantidad de cargas electrónicas monofásicas existentes en la instalación. El valor de la distorsión armónica total de voltaje en el conductor neutro dentro del site es alto en parte, por el tipo de carga no lineal, además de algunas fallas detectadas en el diseño de la malla de referencia

de señal y altos valores de resistencia de puesta a tierra en los electrodos utilizados para tal fin. Otro punto que abona al alto valor de THD_v en el conductor neutro es el tipo de transformador principal, el cual es conexión estrella-estrella y presenta alta resistencia de puesta a tierra; este transformador permite el paso directo de armónicas impares con orden múltiplo de tres a través de su conexión a tierra, así como ruido eléctrico y sobretensiones de origen atmosférico.

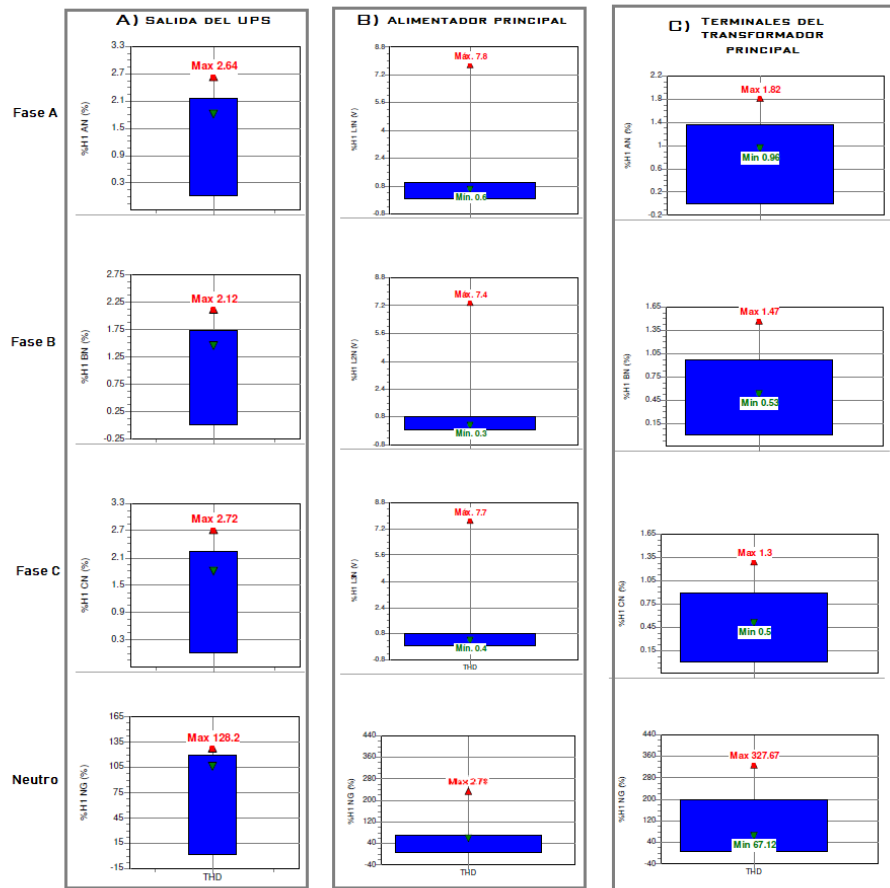


Fig. 8. Comparativa de los porcentajes de THD_v por fase en los distintos puntos de medición arrojados por el equipo de medición. El valor en color rojo representa el valor instantáneo máximo registrado, el valor en color verde representa el valor mínimo instantáneo registrado.

E. Contenido armónico de corriente

Otro de los parámetros más importantes para la evaluación de la CE es el monitoreo de contenido armónico en la señal de corriente (THDi). Se realizaron monitoreos del contenido armónico de la señal de corriente en tres distintos puntos de la instalación. Se presenta en la Figura 9 un comparativo del valor de THDi en cada parte del sistema eléctrico donde se realizaron las mediciones, las cuales muestran el porcentaje de THDi por fase; A) terminales de salida del UPS, B) alimentador principal del site antes del transformador de aislamiento, C) terminales del transformador principal. Para la evaluación de que tan grave puede llegar a ser el contenido armónico en corriente, se deben de tomar en

cuenta tanto el valor de los niveles de tensión del sistema, el valor de la corriente corto circuito en el punto de alimentación principal, la corriente máxima de carga y el valor de la distorsión total de la demanda. En todos los casos, el valor más estricto del 5.0 de distorsión total de la demanda (TDD) para la relación de la corriente de costo circuito del sistema sobre la corriente de carga (I_{sc}/I_L) dictado por la IEEE STD 519-2014 para instalaciones con voltajes de 120 V hasta 60 kV no es superado en el sistema analizado, como se muestra en la Figura 9.

De los histogramas de la Figura 10, se hace evidente que existe un mayor contenido armónico de corriente en las terminales del transformador principal, debido a la aportación de corrientes no sinusoidales de la totalidad del sistema.

Para el caso particular, los niveles de distorsión armónica de corriente no significan un problema, dado que los valores en estado estable se encuentran con magnitudes pequeñas, apareciendo máximos ante eventos de conexión y desconexión del servicio eléctrico de la red.

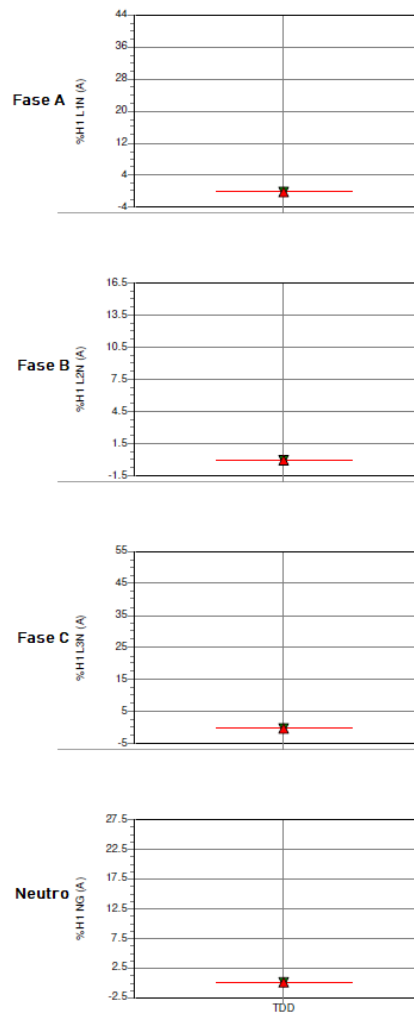


Fig. 9. Valor de distorsión total de la demanda (TDD) para las terminales del transformador principal.

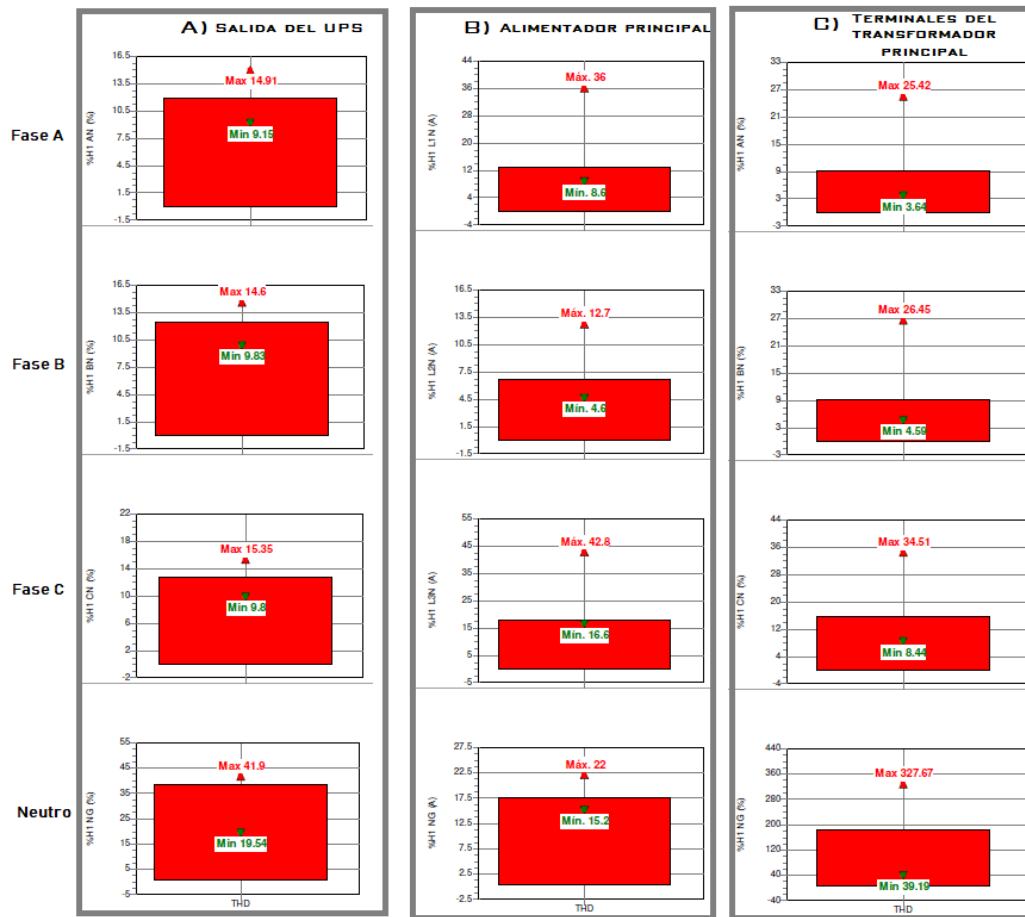


Fig. 10. Comparativa de los porcentajes de THDi por fase en los distintos puntos de medición arrojados por el equipo de medición. El valor en color rojo representa el valor instantáneo máximo registrado, el valor en color verde representa el valor mínimo instantáneo registrado.

V. PROBLEMÁTICA Y PROPUESTA DE MEJORA

Al realizar las mediciones de CE en diferentes puntos de la instalación eléctrica y ejecutar el análisis de los datos obtenidos para compararlos con los valores de referencia de normativa nacional e internacional, se descartaron los siguientes fenómenos para la instalación eléctrica del site de comunicaciones:

- Mal funcionamiento del equipo acondicionador de energía (UPS); voltajes desbalanceados, mala regulación de voltaje, alto contenido armónico, etc.
- Fallas en el equipo de transferencia de alimentación red pública -generador diésel.
- Conexiones indebidas de cargas no críticas en el alimentador dedicado exclusivo para el site de comunicaciones.
- Mal funcionamiento o daño en el transformador de aislamiento.

- Variaciones de frecuencia.

Desechadas las posibles opciones de falla anteriores, se realizó una revisión detallada de la instalación del sistema de puesta a tierra desde el punto de unión principal en el tablero general de distribución hasta llegar a la malla de referencia de señal del site de comunicaciones. Como primera acción, se realizó la medición de resistencia de puesta a tierra del sistema diseñado para tal fin, encontrando valores totalmente fuera de las recomendaciones normativas, Figura 11. Se encontraron de igual manera algunos pozos de visita en condiciones de deterioro y falta de conductores de puesta a tierra de equipo de comunicaciones (antenas). Figura 12.



Fig. 11. Valores de resistencia de puesta a tierra del sistema fuera de norma.

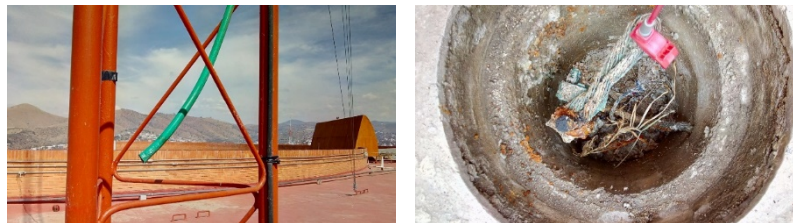


Fig. 12. Sistema exterior de puesta a tierra en condiciones precarias.

En el interior del recinto que alberga los sistemas de cómputo y almacenamiento de datos, se encontraron conexiones indebidas de los conductores de puesta a tierra aislados y desnudos, así como una deficiente colocación de barras de tierra, intercambio de conductores neutros por conductores de puesta a tierra, etc. Figura 13.

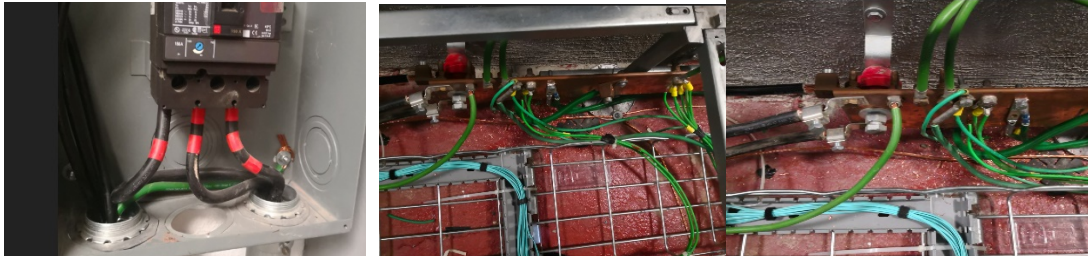


Fig. 13. Múltiples conexiones indebidas en el sistema de puesta a tierra y malla de referencia de señal.

Con base en las evidencias encontradas, el problema de daño en equipo electrónico dentro del site de comunicaciones y centro de datos se debe directamente a un sistema de puesta a tierra y un aterrizamiento del equipo sensible inadecuado. El sistema encontrado presenta la formación de múltiples lazos de tierra, provocando ruido, interferencia en los sistemas de comunicación y posibles descargas eléctricas a equipos más sensibles.

El inmueble donde se ubica el equipo electrónico se encuentra en una zona con un nivel cerámico alto, aunado a un terreno con una alta resistividad, por lo que cualquier descarga atmosférica cercana o sobre el edificio provocara voltajes reflejados altos en la instalación y en conjunto a los múltiples lazos de tierra, los valores de voltaje inducidos por tierra provocan fallas y daños de los sistemas y equipos electrónicos.

Con la finalidad de evitar que los problemas del sistema de puesta a tierra, las malas prácticas de ingeniería y operación de la instalación, se recomendó la revisión exhaustiva del sistema de puesta a tierra, evitar uniones indebidas entre los cableados de tierra física desnuda y tierra física aislada, así como evitar y descartar aquellos conductores de puesta a tierra usados como cable neutro; además de realzar el mantenimiento y rediseño del sistema y malla de puesta a tierra general del sistema eléctrico.

VI. CONCLUSIONES

Los sistemas de comunicación y tratamiento de datos actuales demandan valores de referencia de calidad de la energía cada vez más estrictos, que presenten tolerancia hacia los disturbios provenientes de su fuente de alimentación, pero a la vez, generen pocos disturbios a la red eléctrica.

Las cargas eléctricas críticas y sensibles requieren de una instalación especial y circuitos dedicados exclusivos para suministrarles energía eléctrica, contar con sistemas de protección contra sobretensiones y transitorios (varistores), medios de filtrado y aislamiento galvánico para el control de ruido eléctrico (transformadores de aislamiento), sistemas de respaldo de energía (sistemas de potencia ininterrumpible, generadores de emergencia, etc.) y equipos especiales para la regulación del voltaje (reguladores, UPS), sistemas de puesta a tierra diseñados especialmente para cada aplicación; los cuales proveen de mayor confiabilidad en el funcionamiento de tales cargas. El sistema analizado en este trabajo consta de estos elementos, a excepción de un sistema de puesta a tierra óptimo; lo cual está influyendo negativamente en el desempeño de la instalación eléctrica.

A pesar de existir deficiencias en la red de puesta a tierra del site de comunicaciones, la configuración del circuito de alimentación provee de valores de voltaje, contenido armónico, regulación

de voltaje, protección ante falla de suministro de la red, protección contra depresiones de voltaje y sobretensiones, tal como se presenta en las gráficas de este trabajo.

Se destaca la atenuación de contenido armónico debida al transformador de aislamiento ubicado entre el transformador de la subestación principal y el equipo de acondicionamiento de energía (UPS), pues aunado a lo anterior, sirve como filtro ante ruido eléctrico, aislamiento galvánico entre el servicio general y el servicio dedicado y como punto de conexión a tierra para la referencia de voltaje.

La corrección y acondicionamiento de la red de puesta a tierra del sistema en general será esperada a fin de realizar un nuevo análisis y evaluar el mejoramiento de la calidad de la energía de la instalación eléctrica del site de comunicaciones.

VII. REFERENCIAS

- [1] A. Ghosh y G. Ledwich, «Power quality enhancement using custom power devices,» de Power quality enhancement using custom power devices, Springer Science & Business Media, 2012, p. 13.
- [2] IEEE, Recommended practice for powering and grounding electronic equipment, IEEE Standard 1100-2005., IEEE, 2005.
- [3] IEEE, «IEEE Std 1159. Recommended Practices on Monitoring Electric Power Quality,» IEEE, 1995.
- [4] IEEE, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. IEEE Std 519-1992, 2014.
- [5] CFE, Desviaciones Permisibles en las Formas de Onda de Tension y Corriente en el Suministro del Consumo de Energía Eléctrica. Especificacion L0000-45., 2005.
- [6] STPS, NOM-022-STPS 2008, Electricidad estática en los centros de trabajo Condiciones de seguridad, 2008.
- [7] N. Hingorani, «Introducing Custom Power,» IEEE Spectrum, vol. 32, n° 6, pp. 41-48, 1995.
- [8] IEC, «Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems,» 1994.
- [9] IEEE, Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions. IEEE Std 1459 2010, IEEE, 2010.