

CASO DE ESTUDIO:

Armónicas en redes eléctricas de media tensión

Escrito por Ing. Sebastián Acuña Obando y Ing. Dayana Espinoza Angulo, 2025-06-30.

SINOPSIS

Las armónicas son componentes de frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental (50/60 Hz) que provocan la distorsión de las formas de onda de voltaje o corriente. Generalmente se originan por cargas no lineales. Su presencia deteriora la calidad de la energía, lo que puede generar sobrecalentamientos, pérdidas adicionales en los sistemas eléctricos y fallos en el funcionamiento de equipos sensibles [1].

ARMÓNICAS EN REDES ELÉCTRICAS DE MEDIA TENSIÓN

El análisis de armónicos en redes de distribución ha tomado un papel importante gracias a los avances en la electrónica de potencia, el aumento en la aplicación de capacitores industriales para optimizar la infraestructura y la creciente instalación de dispositivos o cargas no lineales [2]. Además, el auge en los Recursos Energéticos Distribuidos (RED) en las redes de baja tensión tienen un impacto en las redes de distribución de media tensión, debido a la inyección de corriente armónica [3].

En Costa Rica existe una legislación que norma la existencia de armónicas. Para tensiones armónicas, el 95% de cada una no debe sobrepasar el 3% de la tensión nominal promediado cada 10 minutos, en el caso del TDA deben estar por debajo del 5% [4] cuando la relación de corriente de corto circuito a corriente de carga sea menor a 20. El TDA o THD es un indicador que mide la distorsión en una señal eléctrica debido a la presencia de armónicas. Puede aplicarse tanto a la tensión como a la corriente, para calcularlo se utiliza la Ecuación (1):

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

Interpretación:

- Un THD bajo (<5%) indica buena calidad de energía.
- Un THD alto (>5%) puede afectar equipos sensibles, provocar pérdidas y calentar componentes.

También se debe considerar que durante las perturbaciones como los sags, especialmente en redes urbanas con alta proporción de cargas no lineales y líneas subterráneas, pueden generarse fenómenos armónicos que degradan aún más la calidad del suministro eléctrico [5].

CASO REAL

En este estudio se realizará un análisis temporal de tres subestaciones diferentes, seleccionando dos circuitos por cada una, evaluando el comportamiento del contenido armónico total (THD) tanto en corriente como en la tensión, con el fin de identificar niveles de distorsión y posibles

afectaciones en el sistema eléctrico, los datos corresponden a mediciones realizadas en la salida de subestación entre el 7 y 12 de junio del 2025.

En la Figura 1 y 2 muestra los circuitos aéreos A y B.

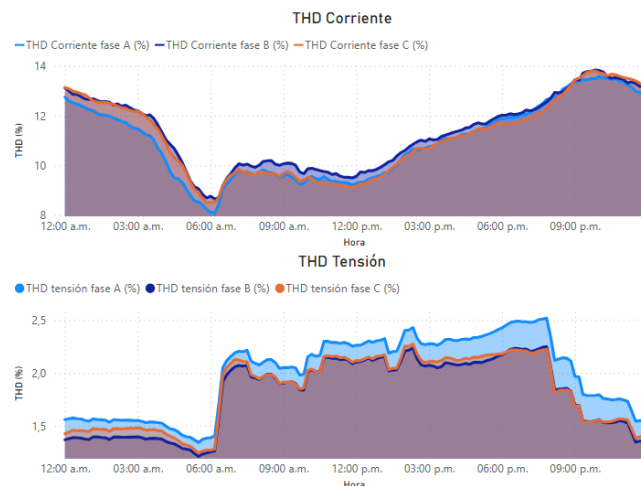


Figura 1: Circuito aéreo A

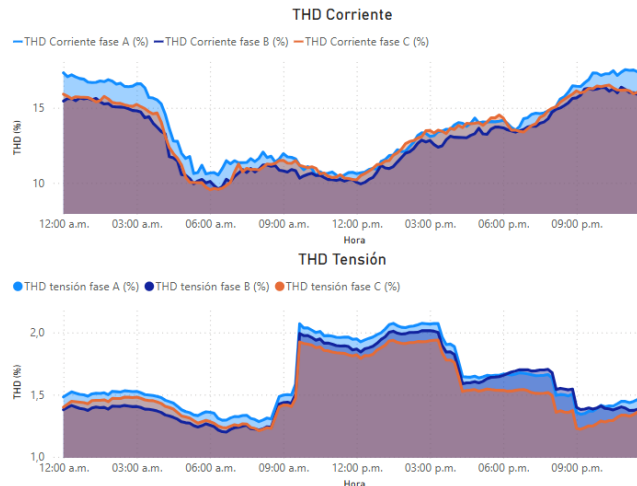


Figura 2: Circuito aéreo B

Se observa que ambos circuitos tienen un perfil de THD en corriente elevado ($>12\%$), indicativo de la presencia significativa de cargas no lineales. El circuito A tiene un descenso más acentuado en la madrugada. En cambio, en el circuito B, la fase A muestra más dispersión, lo que sugiere mayor asimetría en las cargas. En tensión, los niveles se mantienen dentro de estándares aceptables por debajo del 2.5%, aunque el circuito A muestra una mayor duración del pico de distorsión, el circuito A presenta un aumento más temprano y sostenido, mientras que el circuito B muestra una meseta más corta, con una caída marcada por la tarde.

Se procede con los circuitos subterráneos C y D, cuyo comportamiento se observa en las Figuras 3 y 4.

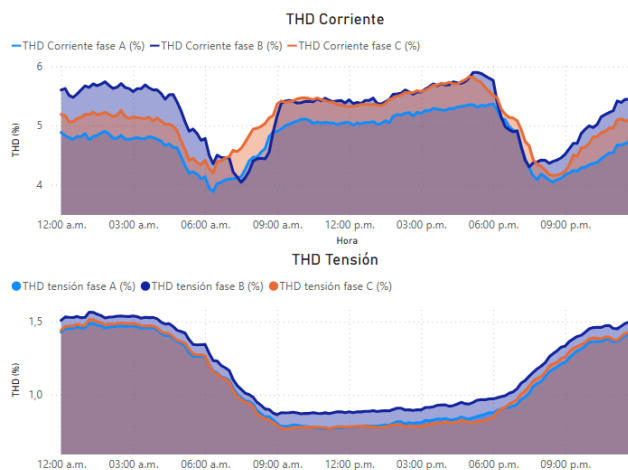


Figura 3: Circuito subterráneo C

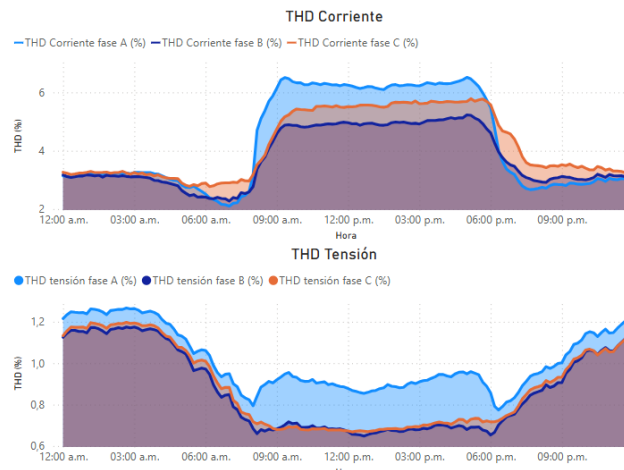


Figura 4: Circuito subterráneo D

El THD corriente del circuito C tiene un comportamiento más uniforme entre fases y presenta menores variaciones a lo largo del día. En cambio, el circuito D muestra una carga altamente no lineal concentrada en el día laboral, con una clara distorsión más alta en fase A, lo que podría estar indicando desequilibrio en la carga o equipos monofásicos dominantes. En tensión ambos circuitos se mantienen dentro de los límites aceptables (<5%). El circuito C muestra una mayor variación, posiblemente por sensibilidad a cambios de carga. El circuito D, aunque más afectado en corriente, mantiene mejor control del THD en tensión, lo que puede deberse a un sistema de regulación más robusto, menor resonancia, o que simplemente no es la fuente de las armónicas.

En las Figuras 5 y 6 se visualiza el comportamiento de los circuitos subterráneos 2A y F.

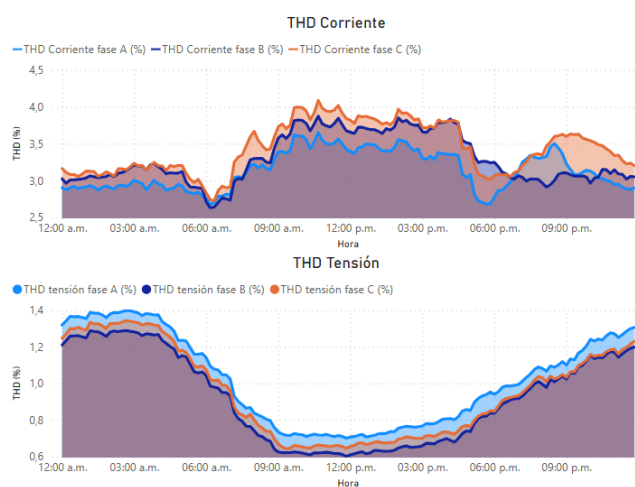


Figura 5: Circuito subterráneo 2A

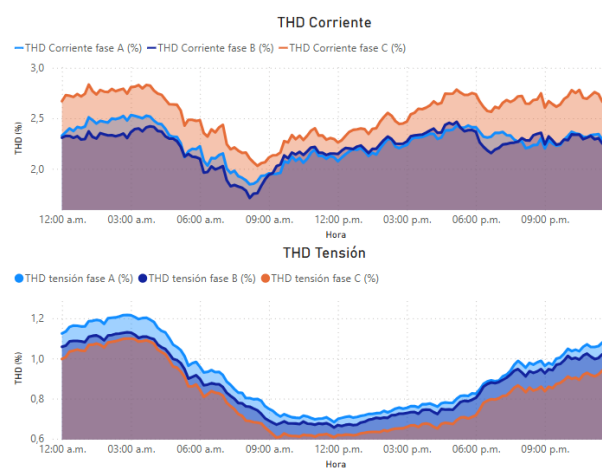


Figura 6: Circuito subterráneo F

El nivel de THD en corriente del circuito 2A muestra una mayor concentración de cargas no lineales o cargas que inyectan mayores niveles de corrientes armónicas en comparación con el circuito F. Los niveles de THD de tensión son muy similares en ambos circuitos, manteniéndose en un rango bajo (aproximadamente entre 0.6% y 1.4%), dentro de límites saludables y comparten un patrón de comportamiento armónico a lo largo del día, se puede determinar que sus ciclos de operación son similares en ambos circuitos, probablemente correlacionados con la actividad humana y el consumo energético estándar.

CONCLUSIÓN

Se evidencia que los circuitos aéreos muestran niveles críticos de distorsión en corriente, lo cual puede comprometer la eficiencia, seguridad y vida útil de los equipos si no se implementan medidas correctivas. Por otro lado, los circuitos subterráneos (ubicados en el centro de San José) presentan un mejor desempeño en cuanto a calidad de energía, con menores niveles de THD, especialmente en tensión. Se recomienda priorizar acciones correctivas y estudios de armónicas en los circuitos aéreos, mientras que en los subterráneos debe mantenerse un monitoreo activo.

REFERENCIAS

- [1] K. A. A. Purnama, I. G. N. A. Susila, and M. A. H. Haroen, "A study of harmonic impacts on high voltage, medium voltage and low voltage networks in PT. PLN distribution system," in 2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Lombok, Indonesia, Jul. 2016, doi: 10.1109/ISITIA.2016.7828672
- [2] D. D. Sabin, "Analysis of Harmonic Measurement Data," Electrotek Concepts, Inc., Knoxville, Chicago, USA, 1995
- [3] X. Chang, R. Mao, M. Zhang, and S. Li, "An Analysis Method of the Influence of Distributed PV Location on Voltage and Harmonic Distribution of the Distribution Network," in 2020 10th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES), 2020, pp. 1-5.
- [4] ARESEP, «Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión (AR-NT-SUCAL),» San José, Costa Rica, 2015.
- [5] P. Heine, M. Lehtonen, and E. Lakervi, "Voltage sag analysis taken into account in distribution network design," in Proc. IEEE Porto PowerTech, Porto, Portugal, Sep. 2001, vol. III, Paper PSP-222, 6 pp.