

CASO DE ESTUDIO:

DETECTIVE DE POLUCIÓN DE ARMÓNICAS, CASO ESPECÍFICO

Escrito por Ing. Daniel Jiménez Villalobos, Ing. Leonela Zúñiga Jiménez, 2025-06-29.

SINOPSIS

Las armónicas en un sistema son un fenómeno eléctrico que puede distorsionar la forma de onda de corriente y tensión generando pérdidas, sobrecalentamientos y daños en los equipos electrónicos de las instalaciones. El detective de polución de armónicas es una herramienta utilizada para detectar y encontrar al responsable de la presencia de contenido armónico en un sistema a partir de medición de parámetros eléctricos en puntos clave de la red y la correlación entre voltaje de distorsión armónica y corriente demandada por la carga hace una comprobación adicional de los resultados.

DETECTIVE DE POLUCIÓN DE ARMÓNICAS

Es posible determinar si en una superficie de una red eléctrica se reciben armónicos de una carga aguas abajo o del lado de la fuente o sea aguas arriba de la superficie mediante la herramienta del detective de polución de armónicas. Esta técnica consiste en determinar el instante de máxima demanda diaria y en ese momento observar las potencias armónicas hasta la número 20 [1] para observar la dirección de las potencias. De acuerdo con [10] si las potencias son negativas se considera que provienen de la carga caso contrario si las potencias son positivas se dice que los armónicos no provienen de la carga si no de otro lugar de la red.

Para encontrar el momento de máxima demanda se utiliza la Ecuación 1 en cada medición de 10 minutos realizada por el equipo durante cada día y se determina el valor más alto.

$$I_{Max_Dem} = \frac{I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}}{3}$$

Ecuación 1

Para tener una doble verificación y así determinar con mayor eficacia, cual carga tiene mayor impacto contaminando la superficie eléctrica se realiza la correlación que tiene la corriente RMS por línea con respecto a la distorsión armónica de tensión por cada día.

Para comparar esto, se realiza las gráficas del THDV y las de corriente por día durante el periodo de medición, se colocan una encima de otra y se observa el comportamiento de ambas gráficas. Si se observa un comportamiento semejante entre ambas gráficas, se puede concluir que esa carga sí está influyendo significativamente en la distorsión total armónica de tensión, si lo anterior no sucede se concluye que no hay influencia por parte de la carga.

CASO REAL

En un circuito determinado de una compañía eléctrica se presenta un incremento de más de 5% en la distorsión armónica total de la onda de voltaje (THDV), se realizan mediciones en el punto de entrega a 5 abonados A, B, C, D, E y se utiliza el método Active Power Direction (APD) para determinar quién es responsable de polucionar la red.

Los resultados del APD evidencian lo siguiente.

Encontrando el momento de máxima demanda diario, utilizando la Ecuación 1, se determinó que, durante los 7 días de medición, las cargas que presentaron una potencia armónica negativa de mayor magnitud fueron las A, D y E. Como 3 cargas están contaminando la red, se sugiere una segunda comprobación para determinar cuál de esas cargas tiene un mayor impacto. En la Figura 1 se puede observar el espectro armónico de la carga A en el momento de máxima demanda el día 1 de esa medición, observándose que tiene una entrega considerable de armónicos en la de orden 3 en las líneas 1 y 3. Así mismo en la Figura 2 se muestra el comportamiento de la armónica 3 en el tiempo para no tener únicamente un análisis basado en un único intervalo, así sea el de más importancia.

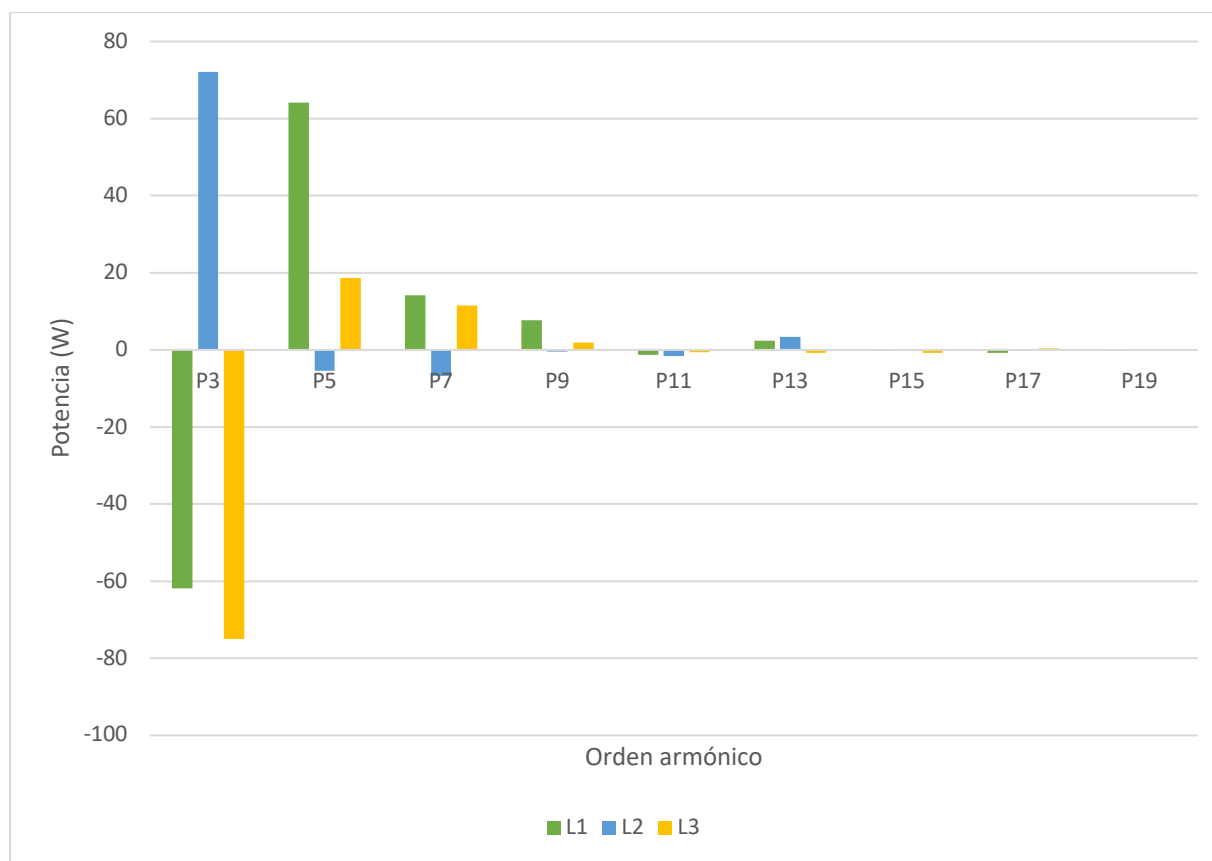


Figura 1. Potencias armónicas en momento de máxima demanda día 1 carga A.

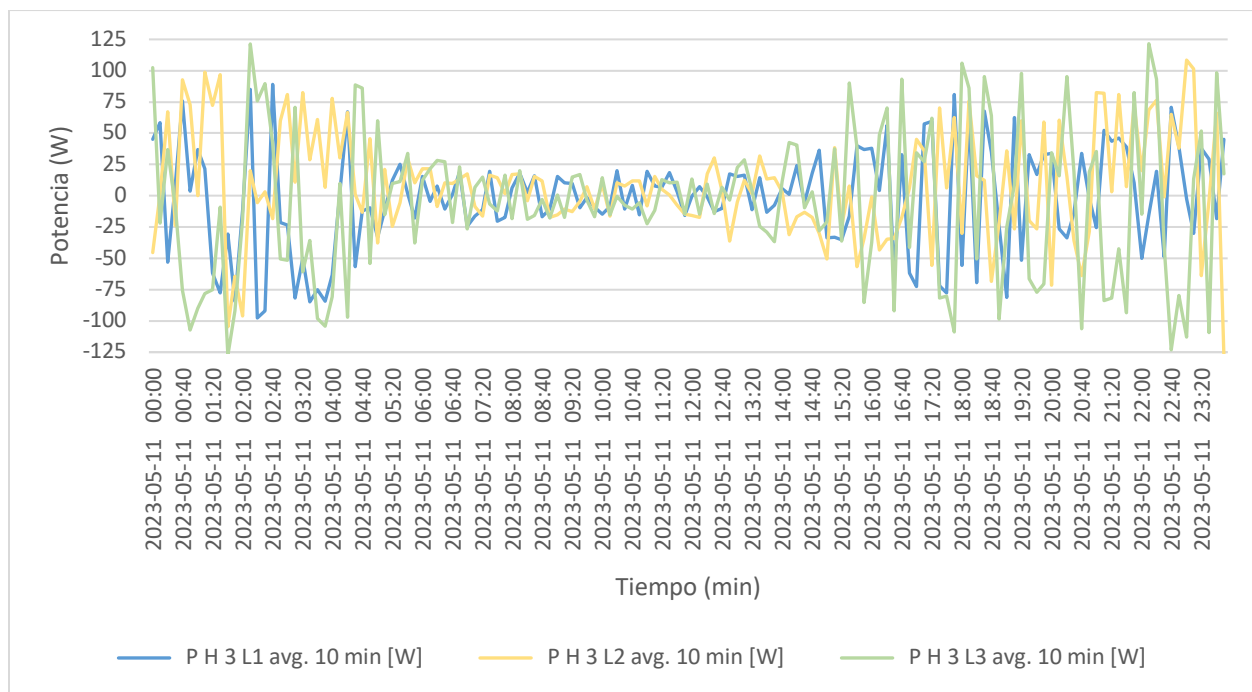


Figura 2. Potencia armónica de tercer orden día 1 carga A.

La Figura 2 evidencia la existencia de una carga no continua la cual aporta gran contenido armónico en la superficie de medición (potencia negativa) en su ciclo de funcionamiento y además se muestra que al entrar en su ciclo de reposo la superficie igualmente se ve afectada por potencia armónica positiva, lo que sugiere firmemente que existe una carga vecina polucionando la red.

Una vez evidenciado cuales cargas están aportando contenido armónico a la red se procede a ver la correlación de la corriente I_{RMS} con el THDV de cada día de estas cargas para identificar el impacto de cada carga en la distorsión armónica de voltaje y su incumplimiento al artículo 12 de la normativa técnica AR-NT-SUCAL.

En la Figura 3 se observa que la carga A tiene una correlación de la corriente con el comportamiento del THDV en cada fase en el día 1 y se observa la superación del 5% permitido. Aun así, si lo relacionamos con la Figura 1, la línea 2 está recibiendo armónicos en vez de producirlos. Esto es uno de los indicadores de que esta carga no es la única que está impactando la red en contenido armónico pero la correlación nos indica que sí es una de las que está teniendo más impacto en el aumento del THDV. Por otro lado, en la Figura 4 correspondiente a la carga D se ejemplifica el caso en el que la corriente I_{RMS} no correlaciona con el comportamiento del THDV.

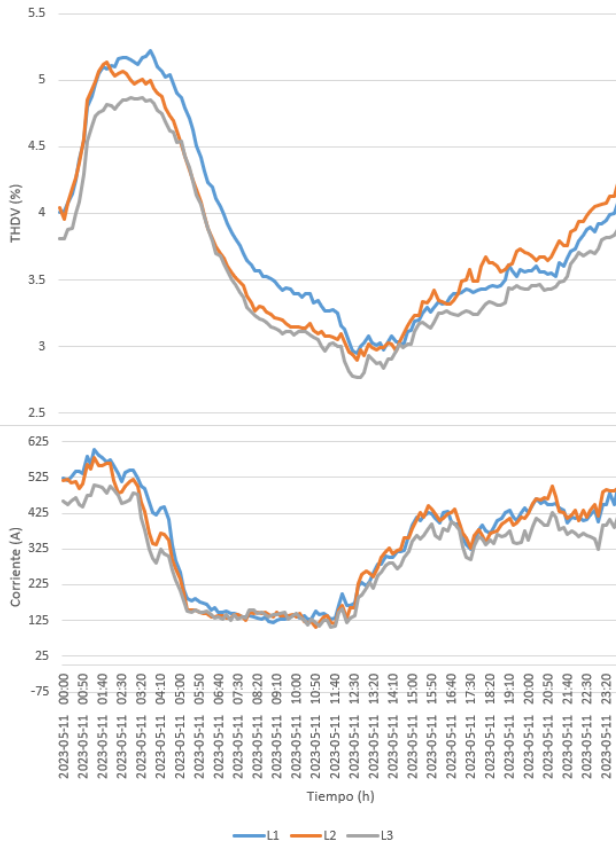


Figura 3. Correlación existente en carga A.

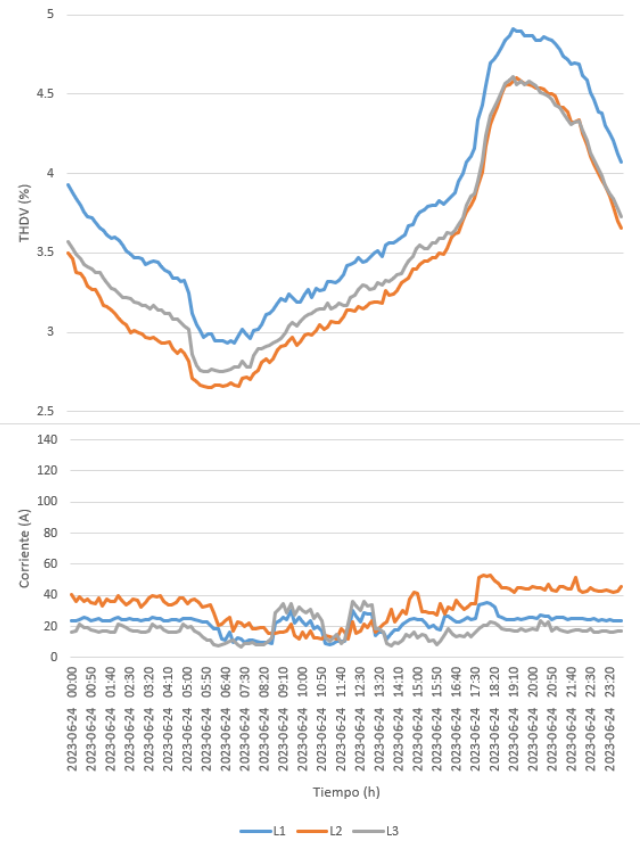


Figura 4. Ausencia de correlación en carga D.

A manera de resumen, el comportamiento de todas las cargas se incluyó la Tabla 1. donde la columna APD es la incidencia de potencias negativas y existen tres opciones: potencias armónicas altas, medias o bajas.

La columna de correlación también presenta tres opciones, correlación alta, moderada y baja.

Tabla 1. Resumen de detective de polución armónica de las cargas.

Carga	APD	Correlación	Detalles
A	Altas	Alta	Posible carga culpable
B	Bajas	Baja	Sin correlación
C	Bajas	Baja	Sin correlación
D	Altas	Baja	Presenta potencias negativas, pero no presenta correlación
E	Alta (L3)	Moderada	Presenta potencias negativas en L3, pero THDV excede el umbral en L1 y L2

CONCLUSIÓN

A partir del APD se obtiene que las cargas A, D y E presentan una cantidad importante de contenido armónico en dirección hacia la red de alimentación de la distribuidora. Se confirma también la importancia de verificar la correlación entre la corriente I_{RMS} y la distorsión armónica de tensión, ya que al aplicar este método se logra demostrar que las cargas que tienen correlación con el THDV son A y E.

Finalmente, la carga E se descarta debido que la línea que presenta contenido armónico negativo no es la línea dónde se supera el umbral de 5% de THDV, por lo que, de estas cargas estudiadas, se atribuye a la carga A como la responsable de la polución de la red.

Otra consideración importante es que se puede observar la existencia de otra carga no medida que aporta polución en la red en las armónicas 3, 5, 11 y 13 y también distorsiona la onda de tensión.

Se recomienda colocar los analizadores de calidad de energía sincronizados con respecto al tiempo para realizar una mejor comparación y un mejor análisis de los datos obtenidos. De igual forma se recomienda realizar en análisis de correlación por día para una mejor visualización de la dinámica de las gráficas.

REFERENCIAS

1. Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, *Norma técnica: Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión (AR-NT-SUCAL-2015)*, actualizada a febrero de 2016. [En línea]. Disponible en: <https://aresep.go.cr/wp-content/uploads/2015/08/NormatecnicasupervisiondelacalidaddelsuministroelectricoenbajaymediatensionAR-NT-SUCAL-2015actualizadaafebrero2016.pdf>
2. Y. Zhang, Y. Liu, Y. Zhang y Y. Liu, "A phase-free harmonic source identification method combined with waveform correlation," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 2210–2219, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2962485.
3. M. Farhoodnea, A. Mohamed, H. Shareef y H. Zayandehroodi, "An analysis into the effect of voltage harmonics on the performance of a three-phase induction motor," *IEEE Transactions on Industrial Applications*, vol. 50, no. 1, pp. 134–143, Jan.-Feb. 2014. doi: 10.1109/TIA.2013.2262071.
4. M. A. Mahmud, M. J. Hossain y H. R. Pota, "Nonlinear control for a three-phase grid-connected photovoltaic system," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 786–797, Jul. 2015. doi: 10.1109/TSTE.2015.2400412.
5. M. A. Mahmud, M. J. Hossain y H. R. Pota, "Voltage regulation and reactive power sharing in microgrids: A robust control approach," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 8, no. 1, pp. 418–427, Jan. 2017. doi: 10.1109/TSG.2016.2580900.

6. M. A. Kashem y M. Negnevitsky, "Harmonic source detection in power systems: A new approach," en *2007 Australasian Universities Power Engineering Conference*, Perth, WA, Australia, 2007, pp. 1–6. doi: 10.1109/AUPEC.2007.4548092.
7. A. Eberle GmbH & Co. KG, *Determinación angular de los armónicos de tensión y corriente en la práctica PQ*, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.a-eberle.de/es/informes-de-aplicacion/determinacion-angular-de-los-armonicos-de-tension-y-corriente-en-la-practica-pq/>
8. J. C. Rosas-Caro, J. M. Ramírez y J. A. González, "Assessments for the impact of harmonic current distortion of non linear load in power system harmonics," en *2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America*, Bogotá, Colombia, 2008, pp. 1–6. doi: 10.1109/TDC-LA.2008.4641724.
9. IEEE Standards Coordinating Committee 22, *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*, IEEE Std 519-2014, Jun. 2014. doi: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.
10. T. Tanaka and H. Akagi, "A new method of harmonic power detection based on the instantaneous active power in three-phase circuits," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, no. 4, pp. 1737–1745, Oct. 1995, doi: 10.1109/61.473386.