

CASO DE ESTUDIO:
DETECTIVE DE POLUCIÓN DE ARMÓNICAS

Escrito por Ing. Luis Alejandro Gólcher Barguil, 2024-08-07.

SINOPSIS

Cuando se observan distorsiones armónicas considerables en un punto de una red eléctrica, es útil encontrar las fuentes de las distorsiones. La identificación correcta de las ubicaciones de las fuentes armónicas es esencial para diseñar medios efectivos de mitigación armónica y para determinar la responsabilidad de las partes involucradas.

INTRODUCCIÓN

Las redes eléctricas alimentan hoy en día cargas no lineales, que inyectan armónicas en el sistema, provocando voltajes y corrientes no sinusoidales. Los impactos más relevantes son el aumento de las pérdidas y la disminución de la vida útil de los equipos del sistema eléctrico. Las normas actuales sobre la limitación de la contaminación armónica no proveen ninguna herramienta para detectar la fuente emisora. En la norma IEEE 519 se establece una limitación para la distorsión armónica total de voltaje y corriente medida en el punto de conexión común (PCC). En las normas IEC 61000-3-2, 3-4 y 3-6 se limitan individualmente las armónicas de corriente, y las restricciones para la forma de onda; y la distorsión de voltaje en el PCC se determina en la norma EN 50160. Las normas IEC 61000-4-7 y 61000-4-30 se definen métodos para medir la distorsión armónica. Sin embargo, en todas estas normas no se propone ningún método o índice para la detección de fuentes armónicas.

MÉTODOS PARA LA DETECCIÓN DE POLUCIÓN ARMÓNICA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA Y EL CLIENTE

Los métodos para la asignación de la responsabilidad armónica entre la empresa eléctrica y el usuario se clasifican en dos grupos: métodos de punto único y métodos múltiples puntos. El método de múltiples puntos se implementa mediante mediciones sincrónicas realizadas en diferentes secciones de la red. La detección de la fuente armónica basada en estrategias de medición de múltiples puntos es más confiable que la basada en medición de punto único; sin embargo, tienen costos más altos y también requiere sincronización precisa en el tiempo.

La Tabla 1 resume los métodos disponibles actualmente.

Tabla 1. Métodos para la Detección de la Fuente de Polución Armónica

Método	Información Requerida	Objetivo
Active Power Direction (APD)	Voltaje y Corriente en el PCC	Detectar la fuente de polución armónica
Supply-Load Quality Index (SLQ)		
Harmonic Global Index (HG)		
Nonactive Powers (NP)		

Conformity Current (CC)	Voltaje y Corriente en el PCC	Compartir la responsabilidad armónica entre la empresa eléctrica y el usuario
Linearity Current (LC)		
Superposition and Projection (SP)		
Critical Impedance (CI)	Circuito equivalente Norton del lado de la empresa eléctrica y del usuario	Detectar la fuente de polución armónica
	Circuito equivalente Thévenin del lado de la empresa eléctrica y del usuario	
Global Power Quality (GPQ)	Mediciones multi-punto sincrónicas de voltaje y corriente	

Estos métodos se clasifican en tres grandes áreas:

- APD, SLQ y HG se basan en la dirección del flujo de la potencia armónica activa.
- SP y CI se basan en el análisis de circuito con el modelo requerido de la empresa eléctrica y el usuario.
- CC y LC miden la cantidad de distorsión armónica del usuario de acuerdo con la descomposición de la corriente medida.
- NP se basa en la comparación de tres definiciones diferentes de potencia reactiva para la detección de la fuente armónica. Este método solamente requiere medidores convencionales de demanda.
- GPQ combina los índices HG, SLQ y los THD-V y THD-I para las mediciones multipunto.

MÉTODO PREFERIDO DEL AUTOR

El método de Dirección de Potencia Activa (APD) es el preferido del autor. Se basa en el signo de la potencia activa armónica. Define el lado del usuario como la fuente armónica dominante si la potencia activa armónica respectiva tiene un signo negativo; de lo contrario, el lado de la fuente es el dominante para las órdenes armónicas consideradas. Este método funciona mejor si la carga no-lineal está preferiblemente balanceada.

Se puede complementar los resultados del método APD correlacionando el THD-V de la carga del usuario con la corriente de RMS de la carga. Por ejemplo, en la Figura 1 se muestra una correlación positiva ya que el THD-V tiende a seguir el perfil de la corriente de carga.

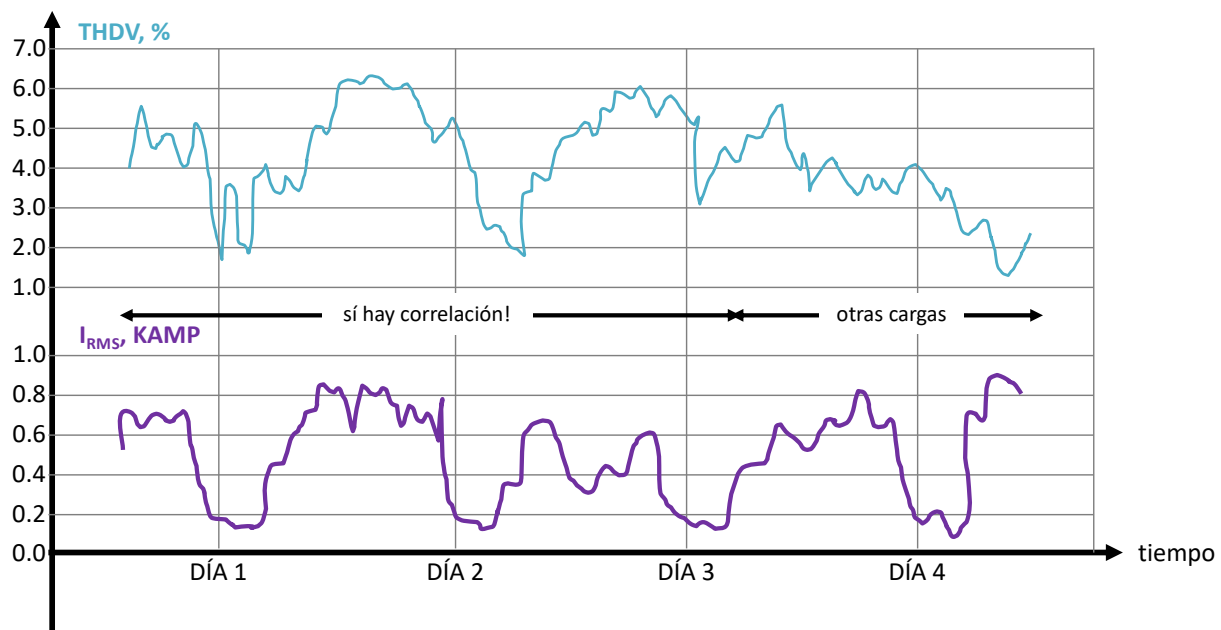


Figura 1. Correlación positiva de THD-V con la corriente de carga.

Por el contrario, en la Figura 2 se muestra que no existe correlación entre los perfiles de THD-V y de la corriente de carga.

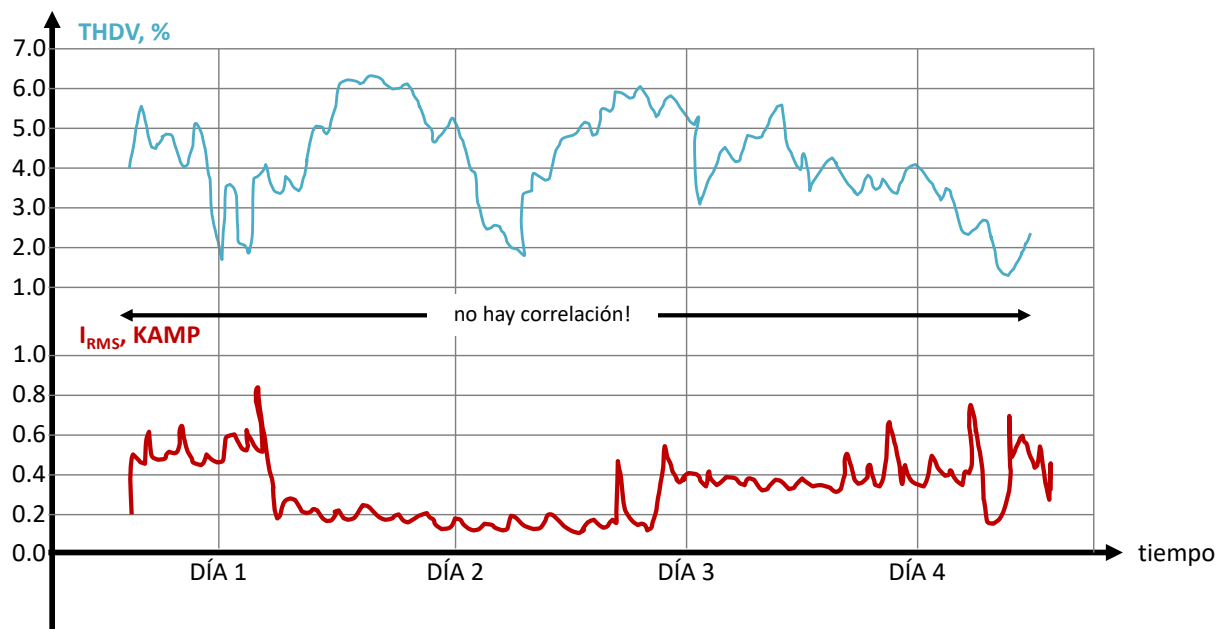


Figura 1. Correlación negativa de THD-V con la corriente de carga.

APD se puede complementar también con la métrica de Calidad de Carga de Suministro (SLQ) y con el Indicador Global de Armónicas (HG).

SLQ expresa la cantidad de producción de armónicos de la carga de la siguiente manera:

$$SLQ = \frac{P}{P_1} \quad (1)$$

donde P y P_1 son las potencias reales total y fundamental, respectivamente. Se definen como:

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} P_n = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{V_n I_n}{2} \cos(\varphi_n - \theta_n) \quad (2)$$

$$P_1 = \frac{V_1 I_1}{2} \cos(\varphi_1 - \theta_1) \quad (3)$$

donde V_n e I_n son las magnitudes de las armónicas y $\varphi_n - \theta_n$ es la diferencia del ángulo entre voltaje y corriente. En SLQ, la carga es la fuente dominante de la distorsión armónica cuando el valor de SLQ es menor que la unidad; de lo contrario, el lado del suministro es la fuente dominante de la distorsión armónica.

El indicador Global de Armónicas (HG) se define como:

$$HG = \frac{\sqrt{\sum_{n \in l} I_n^2}}{\sqrt{\sum_{m \in s} I_m^2}} \quad (4)$$

donde l son las armónicas cuya potencia real es negativa, y s son las armónicas restantes. Si HG es distinto de cero, entonces es indicativo que la carga provoca distorsión armónica.

CASO REAL

La medición inició el 5 de mayo del 2023 a las 06:30:40 PM y terminó el 7 de junio del 2023 a las 2:50:00 PM. Se realizó un registro cada 10 min. La corriente de cortocircuito en el PCC es 6 kAmps RMS, y la máxima corriente promedio de línea, la máxima demanda, es 967 Amps RMS, la cual ocurrió el 1ero de junio del 2023 a las 09:30:00 PM.

En el intervalo de máxima demanda, el número de potencias armónicas negativas, $P_n < 0$, es de 73. Como no todas las potencias promedio P_n son positivas, entonces la carga es la culpable de la polución en el intervalo de máxima demanda. Así, el método de Dirección de Potencia Activa (APD) indica que el lado de la carga es la culpable de contaminar el PCC. La Figura 3 muestra las potencias armónicas promedio de la fase L1.

Aplicando la norma IEEE-519-2022 durante todo el periodo de medición, no se hallan incumplimientos en las magnitudes de las armónicas. Adicionalmente el TDD cumple con la norma IEEE-519 2022 en el intervalo de máxima demanda ya que $TDD_{L1} = 0.48\%$, el $TDD_{L2} = 0.49\%$ y el $TDD_{L3} = 1.50\%$, los cuales son menores al límite máximo del 5%. La Figura 3 muestra el perfil de las potencias armónicas promedio de fase en el intervalo de máxima demanda.

Desde la óptica APD, la carga es la culpable de polucionar significativamente el PCC.

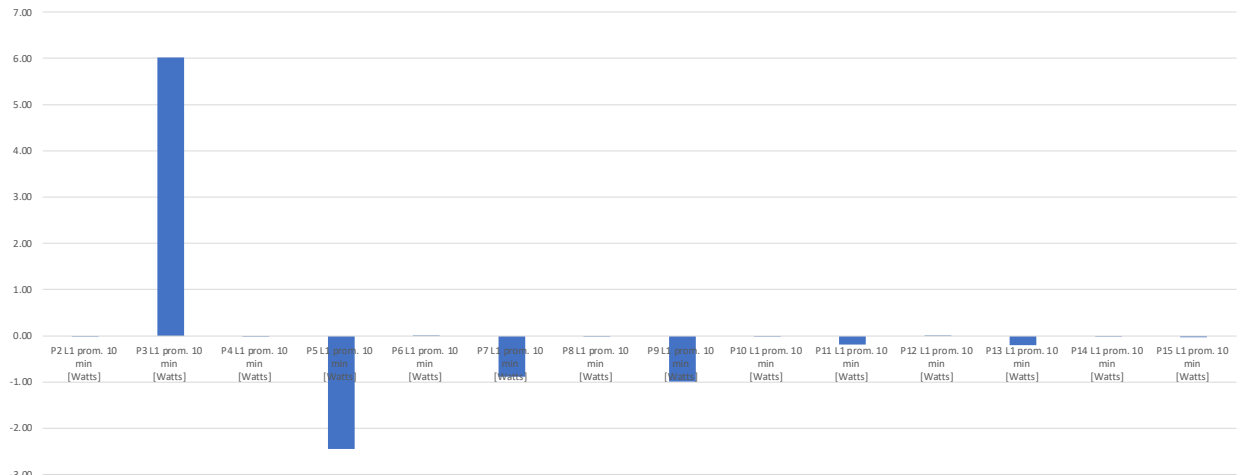


Figura 3. Potencias Armónicas de L1 en el intervalo de máxima demanda

Se complementó el análisis, con los indicadores SLQ y HG para dirimir su utilidad en aseverar la conclusión obtenida. En el intervalo de máxima demanda, el indicador SLQ es de L1: 0.9999; L2: 0.9989; y L3: 1.0015. Esto significa que la carga es culpable de la polución en las líneas L1 y L2, pero en la línea L3 es la fuente. El resultado coincide con el método APD únicamente con las líneas L1 y L2.

Según el indicador HG para cada línea: L1 = 19.40, L2 = 20.38 y L3 = 101.83. Así, la carga es la que provoca la distorsión armónica, pues el HG es distinto de cero en las tres líneas.

En general, los tres métodos coinciden en que la carga es la que provoca la distorsión armónica.

Visualmente también se percibe una correlación positiva entre el THDV y I_{RMS} en las tres líneas. Cuando aumenta la corriente I_{RMS} también aumenta el THDV; mismo comportamiento al disminuir I_{RMS}. Por lo que se concluye, que la carga es la culpable de polucionar la superficie S. Ver Figura 4.

En general, se observó que los cuatro métodos coincidieron. Excepto por el método del indicador SLQ en la línea L3.

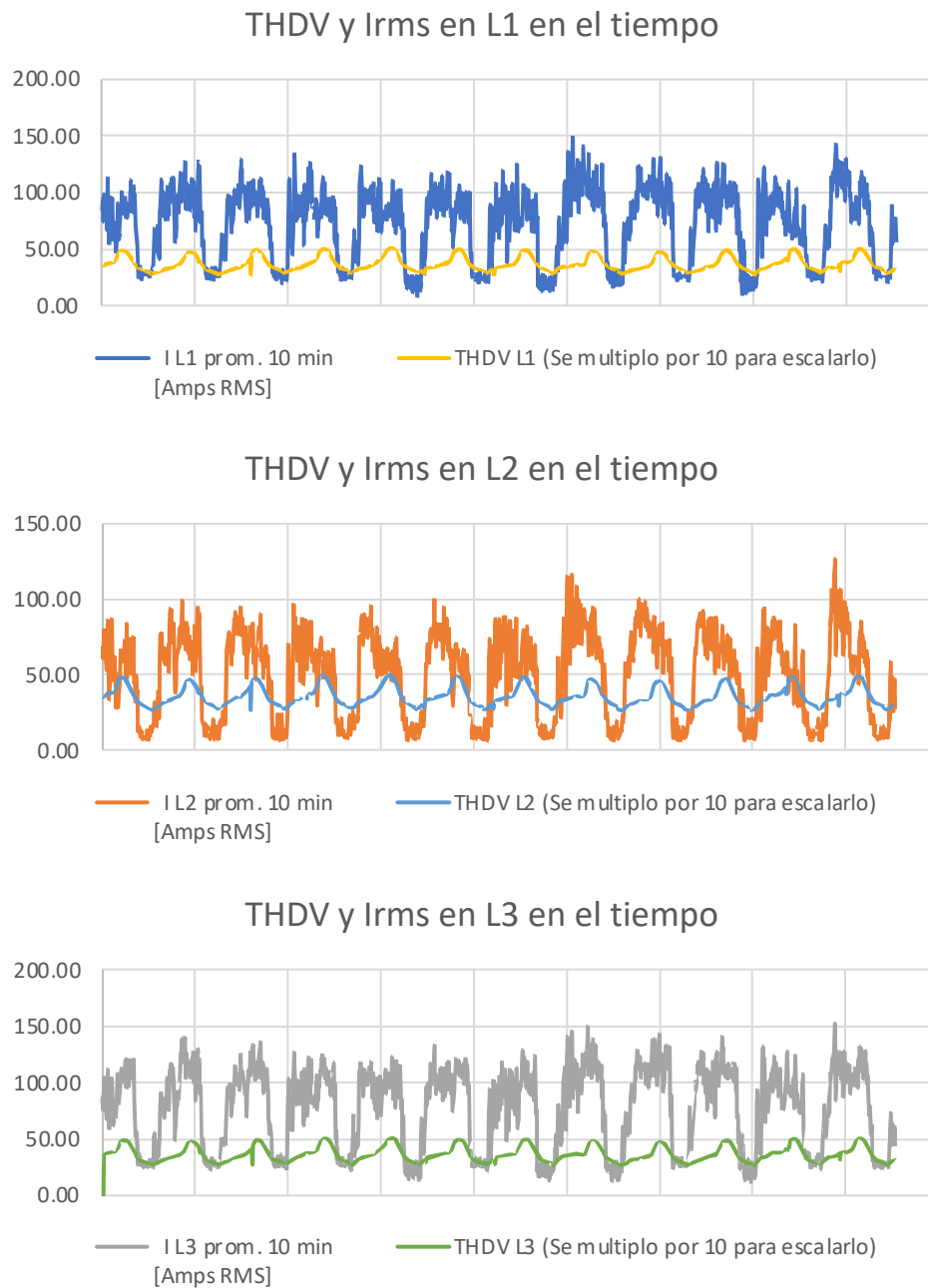


Figura 4. Correlación positiva entre THD-V y I_{RMS} de línea.

CONCLUSIÓN

Utilizando el método APD, complementado con las métricas SLQ y HG, así como con una correlación visual, casos críticos de identificación de la fuente de polución en el PCC se se pueden identificar correctamente.