

Investigación:

Algoritmos para evaluar cumplimiento de armónicas con IEE-519-2022

Escrito por Sofia Barrantes Mena, 2025-06-13.

SINOPSIS

El cumplimiento de los límites de distorsión armónica establecidos por la norma IEEE 519-2022 es esencial para garantizar una operación segura y eficiente de los sistemas eléctricos. Sin embargo, determinar si un **PCC** cumple con los requisitos establecidos puede resultar complejo. Esta ficha técnica presenta algoritmos alternativos para realizar una evaluación preliminar rápida que identifique cuándo un sistema presenta distorsión aceptable y cuándo es necesario proceder con una evaluación completa. Así, se ofrece una solución práctica a la aplicación operativa limitada en entornos reales de esta norma.

NORMA IEEE-519-2022

La norma IEEE-519-2022 impone límites tanto para la distorsión armónica de corriente como de voltaje, reconociendo que el control de armónicos es una responsabilidad compartida entre los usuarios finales y los proveedores del servicio eléctrico.

Los límites de distorsión de voltaje en la superficie de medición se presentan en la Tabla 1. Para los límites de distorsión de corriente, la Tabla 2 aplica a sistemas entre 120 V y 69 kV.

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%) $h \leq 50$	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161$ kV	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 ^a

Tabla 1. Límites de distorsión de voltaje, Std 2022.

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order ^b						
I_{sc}/I_L	$2 \leq h < 11^a$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tabla 2. Límites de distorsión en corriente para redes de 120V a 69kV, Std 2022.

Para evaluar el cumplimiento, es esencial comprender conceptos definidos en la norma:

Punto de Acoplamiento Común (PCC): Punto de la red pública más cercano a la instalación, donde otras cargas podrían estar conectadas, aguas arriba de la instalación bajo análisis (Std 2022).

Corriente de carga de máxima demanda (I_L): Promedio mensual de las corrientes RMS correspondientes a la máxima demanda de potencia aparente durante los últimos 12 meses (o los disponibles) en el PCC (Std 2022).

Relación de cortocircuito (SCR): Es la razón entre la corriente de cortocircuito disponible en el PCC (I_{sc}) y la corriente de carga de máxima demanda (I_L). Usado para clasificar la rigidez de la red y ajustar los límites permisibles de distorsión.

Distorsión total de demanda (TDD): Es el cociente entre el valor RMS de los armónicos de corriente (hasta $h=50$) y la corriente I_L , expresado en porcentaje.

Distorsión armónica total (THD): Cociente entre el valor RMS de los armónicos (hasta $h=50$) y la componente fundamental, expresado como porcentaje. Este indicador puede aplicarse tanto al voltaje (THD-V) como a la corriente (THD-I).

Sin embargo, la implementación práctica de IEEE 519-2022 en campo suele presentar dificultades. La necesidad de contar con mediciones históricas y el hecho de que los análisis formales implican el procesamiento de grandes volúmenes de datos y cálculos detallados, ralentiza la toma de decisiones y la detección temprana de problemas de calidad de energía.

Muchos profesionales del sector han desarrollado reglas empíricas de evaluación rápida (para un mínimo de una semana de medición de variables eléctricas), que permiten una evaluación inicial para decidir si una instalación cumple con la norma, o si requiere una evaluación completa.

Algoritmo 1:

Esta regla se basa en mediciones de corta duración (Very short time harmonic measurements, 3 segundos) y establece condiciones para declarar cumplimiento inmediato de la tensión en el PCC:

```
IF Max_3s_THDV < 5%  
    THEN Voltaje cumple norma  
  
ELSE IF Max_3s_THDV < 8% AND Max_3s_Armonico_Individual_V < 7.5%  
    THEN Voltaje cumple norma  
  
ELSE IF THDV > 12% SOLO EN eventos_duracion < 10 min  
    AND suma_duracion_eventos_THDV > 12% <= 50 min  
    AND Max_Armonico_Individual_V > 7.5% SOLO POR <= 10 min  
    AND Armonicos_Individuales_V > 5% NO_SUPERAN 50 min en total  
    THEN Voltaje cumple norma  
ELSE  
    Realizar análisis completo conforme a IEEE 519-2022
```

Algoritmo 2:

Utilizado como referencia por parte de consultores y fabricantes como Eaton y Quality Energy:

```
IF Max_THDV < 8% // Limite ajustable acorde a Tabla 1  
    AND Armónicos_Individuales_Voltaje ( $50 \geq h \geq 2$ )  $\leq 3\%$   
    AND TDD  $\leq 8\%$  // sujeto a validación por relación  $I_{sc}/I_L$ , Tabla 2  
THEN  
    PCC cumple con criterio preliminar para norma IEEE-519-2022
```

ELSE

Realizar análisis completo conforme a IEEE 519-2022

Estas reglas permiten una evaluación que no reemplaza al análisis completo, pero que ayuda a filtrar situaciones en las que no hay evidencia de incumplimiento, optimizando tiempo y recursos.

CASO REAL: Análisis de cumplimiento de norma IEEE 519-2022 en subestación de media a baja tensión

Para este caso práctico, se dispone de un mes completo de mediciones de variables eléctricas, tomadas entre el 1 de mayo y el 1 de junio de 2025, con una frecuencia de muestreo de 10 minutos por intervalo, en la subestación principal de una instalación industrial, ubicada en el lado de baja tensión.

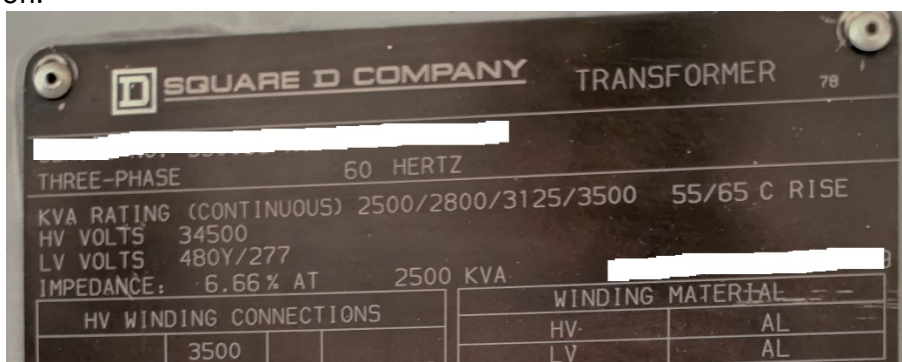


Figura 1. Placa del Transformador Principal, caso real.

La placa del transformador principal puede consultarse en la Figura 1. Además, se tiene un SCR = 50, y corriente $I_L = 1120$ A, calculada como la corriente RMS promedio durante el intervalo de mayor demanda del mes.

1. Primer criterio: Verificación de THD-V

Según la Tabla 1, para este PCC el THD-V no debe superar el 8%. Al revisar las mediciones de THD-V en las tres fases, se detectaron solo 2 intervalos en los que se excedió el límite. Estos se observan en la Figura 2. El porcentaje de intervalos incumpliendo el límite fue de 0.51%, dado que es menor al 1%, el PCC cumple preliminarmente con el criterio de distorsión de voltaje.

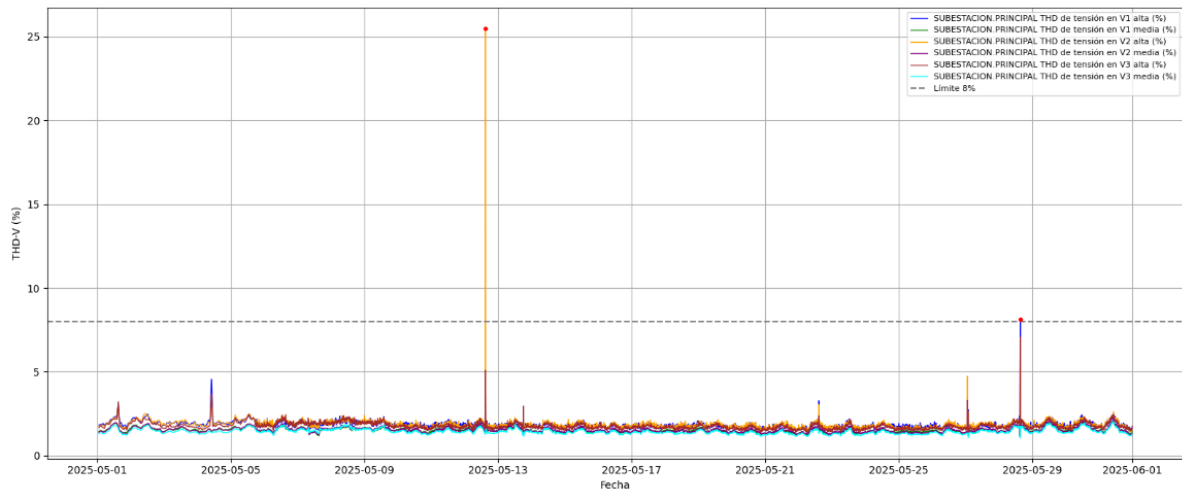


Figura 2. THD-V a lo largo del periodo de medición.

2. Segundo criterio: Armónicos individuales de Voltaje

Luego se verifica que los armónicos individuales de voltaje no superen el 3% de la fundamental. Las graficas del porcentaje de cada armónico individual por fase se observan en la figura 3.

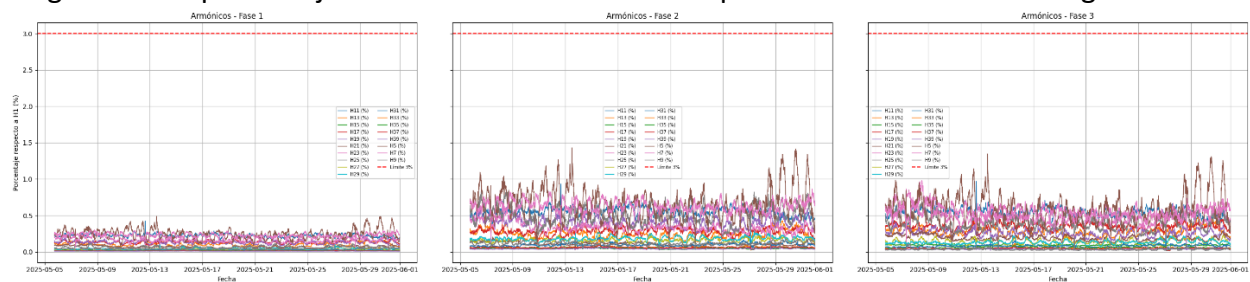


Figura 3. Porcentaje de armónicos individuales de voltaje respecto a la fundamental, durante periodo de medición para fases 1, 2 y 3

Ningún intervalo de medición excede el límite, por lo que el PCC cumple con este criterio.

3. Tercer criterio: Verificación de distorsión total de demanda, TDD

El límite de TDD para el PCC en análisis es de 8%. Sus resultados durante el período de medición son visibles en la grafica de la figura 4.

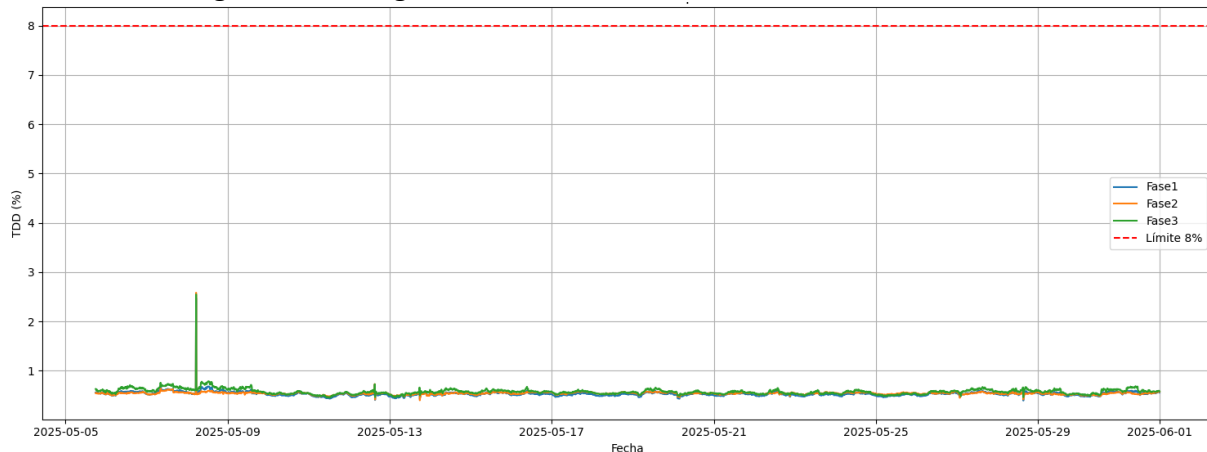


Figura 4. Porcentaje distorsión total de demanda, TDD, durante periodo de medición para fases 1, 2 y 3

Nuevamente, ningún intervalo de medición excede el límite, por lo que el PCC cumple con este criterio también.

Finalmente, **podemos concluir que este PCC cumple preliminarmente con la norma IEEE 519-2022, y no hay señales que indiquen la necesidad de un análisis completo y exhaustivo.**

CONCLUSIÓN

Sino hay distorsión de voltaje y el TDD están bajo límites, entonces se puede decir que el PCC analizado cumple con la IEEE-519-2022. Hacer análisis preliminares como los presentados en esta ficha técnica pueden ahorrar tiempo y recursos y asegurar el cumplimiento con esta norma tan importante.