

Guía práctica para el análisis de armónicas en una planta industrial ubicada en Costa Rica

Escrito por Ing. Bryan Ruiz García, noviembre 2025.

Sinopsis

En las plantas industriales modernas de Costa Rica, el incremento del uso de equipos electrónicos de potencia y variadores de frecuencia ha generado una creciente preocupación por los efectos de las armónicas en los sistemas eléctricos. Estas distorsiones de la forma de onda de corriente o tensión pueden causar sobrecalentamiento de transformadores, disparos indeseados de dispositivos de protección y pérdidas de eficiencia en los procesos industriales. En este documento se pretende brindar una guía práctica para el análisis de armónicas en entornos industriales, considerando su diagnóstico, medición y mitigación, conforme a la normativa internacional IEEE 519, normativa nacional AR-NT-SUCAL y las buenas prácticas de ingeniería eléctrica.

1. Introducción

Los armónicos son componentes sinusoidales de corriente o tensión cuya frecuencia es múltiplo entero de la frecuencia fundamental del sistema eléctrico (60 Hz en el caso de Costa Rica). En sistemas industriales, estas distorsiones se originan principalmente por cargas no lineales como variadores de frecuencia (VFD), rectificadores, hornos de inducción, UPS y fuentes conmutadas (Abundis Couoh, 2016).

La presencia de armónicos afecta la calidad de la energía eléctrica, aumentando las pérdidas en conductores y equipos eléctricos, generando sobrecalentamientos y reduciendo la vida útil de los componentes. En Costa Rica, la importancia del análisis armónico se ha incrementado debido al aumento de la automatización industrial y a la sensibilidad de los equipos electrónicos de control.

El propósito de esta nota técnica es ofrecer una guía práctica que oriente al personal técnico en el diagnóstico, medición y mitigación de armónicas, utilizando instrumentos de calidad eléctrica y aplicando criterios técnicos basados tanto en normas nacionales como en normas internacionales.

2. Fundamentos teóricos y causas

Las armónicas se originan cuando la corriente que demanda una carga no es proporcional a la tensión aplicada, provocando una distorsión de la onda senoidal (CIRCUTOR, s.f.). La principal causa es la naturaleza de las cargas no lineales conectadas a la red eléctrica. Según

Dariel Arcila (s.f.), las fuentes típicas incluyen los variadores de velocidad, convertidores electrónicos, iluminación LED y equipos de computación industrial.

El contenido armónico total (THD, *Total Harmonic Distortion*) es el parámetro clave para cuantificar el nivel de distorsión. Se define como:

$$THD_x = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} X_h^2}}{X_1}, \text{ donde } X \text{ corresponde al voltaje o corriente según corresponda}$$

En la norma IEEE Std 519-2014 se recomienda que el THD en tensión no exceda el 5% en sistemas de distribución y que el THD en corriente se mantenga dentro de los límites según la capacidad de cortocircuito del sistema.

Entre los efectos principales se incluyen:

- Incremento de pérdidas por efecto Joule y sobrecalentamiento de transformadores (Salazar Gómez, s.f.).
- Disparo errático de protecciones y fallas en controladores electrónicos (TECSA, 2020).
- Resonancia entre la impedancia del sistema y los bancos de capacitores (Montoya Céspedes, 2016).
- Interferencia en sistemas de comunicación y errores en medición eléctrica (A-EBERLE, s.f.).

3. Procedimiento de análisis y medición

Es importante que el análisis de armónicas siga una metodología estructurada que asegure resultados confiables y repetibles. Según FLUKE (s.f.), se menciona aplicar los siguientes pasos:

1. **Revisión de cargas no lineales:** Identificar todos los equipos electrónicos y su potencia nominal. Para un estudio de armónicos este paso es clave porque reduce tiempos en el estudio, ya que en plantas industriales grandes no es factible invertir tiempo en analizar una zona cuya presencia de cargas no lineales es nula.
2. **Medición con analizador de calidad de energía:** Realizar registros de parámetros relacionados a los armónicos como el THD, desbalance y espectro del orden de armónicos (tanto para corriente como tensión) en puntos críticos (tablero general, alimentadores principales y cargas representativas).
3. **Cálculo del THD y comparación con IEEE 519:** Evaluar si los niveles registrados superan los límites establecidos. En algunos casos el analizador cuenta con un programa que facilita este paso.
4. **Análisis de resonancias:** En presencia de bancos de capacitores, determinar la frecuencia de resonancia del sistema eléctrico. Esto aplica para cualquier banco de capacitores presente en la planta y así como las combinaciones posibles del banco, ya que en muchos casos pueden haber banco de capacitores cuyas etapas trabajan de forma automática según el comportamiento de la demanda.

5. **Determinación de ordenes armónicos dominantes:** En las plantas industriales normalmente los más comunes son el 5.º, 7.º, 11.º y 13.º. Al analizar los espectros de armónicos se podrá identificar el orden de armónico que más están influyendo en el la red y simultáneamente se identificará las cargas que causan dichos amónicos.
6. **Evaluación de efectos térmicos:** Verificar temperaturas de transformadores y cables con cámara termográfica. Un análisis termográfico es clave para identificar puntos calientes en equipos eléctricos para así determinar si hay un funcionamiento anormal.

En Costa Rica, es recomendable que las mediciones de calidad de energía se realicen con analizadores certificados y que se registren durante al menos 7 días para considerar variaciones de carga típicas del proceso industrial. En la norma "Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión" (AR-NT-SUCAL) se establece el procedimiento general para el estudio de calidad de energía, así como los parámetros de análisis (tiempo de estudio, muestreo, límites permitidos, entre otros).

4. Técnicas de mitigación

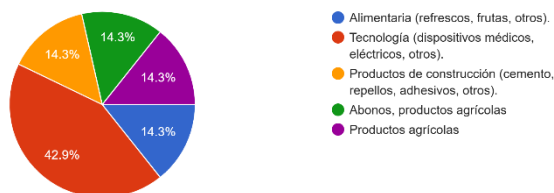
Una vez identificadas las fuentes y niveles de armónicas, se deben aplicar estrategias de mitigación. Entre las más utilizadas se encuentran:

- **Filtros pasivos sintonizados o de banda ancha:** Adecuados para cargas con frecuencia armónica constante. Son efectivos y de bajo costo (Montoya Céspedes, 2016).
- **Filtros activos:** Recomendados en sistemas con variación de carga o múltiples fuentes no lineales (Pinyol, s.f.).
- **Reactores de línea en VFD:** Reducen la distorsión de corriente hasta en un 30% (FLUKE, s.f.).
- **Diseño de transformadores con impedancia alta:** Limita la propagación de armónicas hacia la red.
- **Segmentación de cargas:** Separar circuitos de cargas lineales y no lineales para evitar contaminación cruzada (CIRCUTOR, s.f.).

5. Estudio de caso

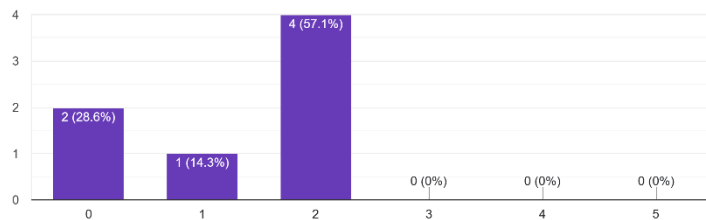
Como parte de esta nota técnica se realizó una encuesta a diferentes plantas industriales del país, en las que se indagó sobre varios temas de calidad de energía. A continuación, se presentan los resultados más sobresalientes de dicha encuesta:

Tipo de industria que asiste:
7 respuestas



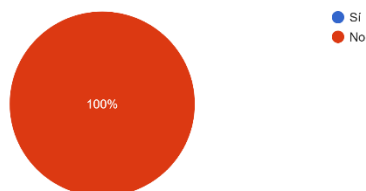
¿Tiene algún conocimiento sobre el tema de armónicos en la red eléctrica?

7 respuestas



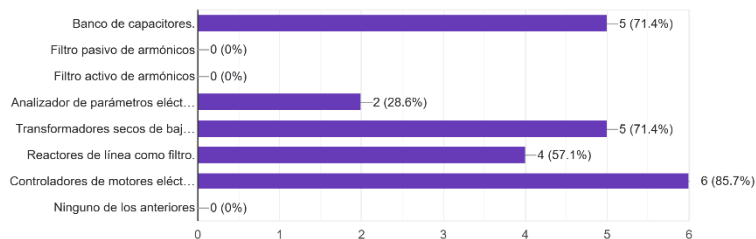
¿Conoce de algún método que se utilice para mitigar la presencia de armónicos?

7 respuestas



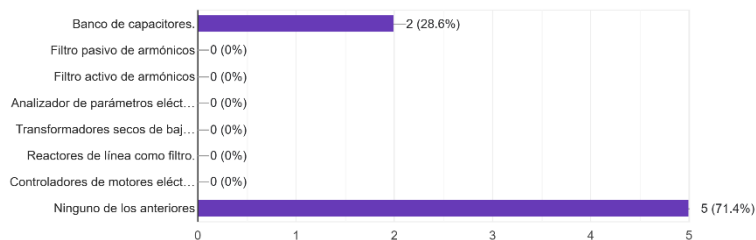
De los siguientes equipos, ¿cuáles de ellos tienen instalados en la planta?

7 respuestas



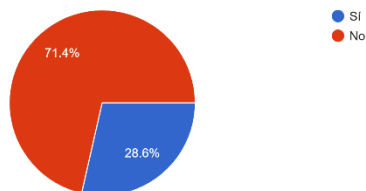
De los siguientes equipos, ¿con cuáles ha tenido problemas de funcionamiento?

7 respuestas



¿Cuentan con un plan de mantenimiento para alguno (s) de los equipos eléctricos de la lista anterior?

7 respuestas



Para las empresas que aplican plan de mantenimiento a sus equipos eléctricos se encontró que en tuvieron problemas relacionados con los equipos eléctricos, particularmente con los bancos de capacitores, en el que se destacó:

- Explosión de alguno de los capacitores por efecto de resonancia. En este caso la empresa realizó un completo estudio de calidad de energía con el que comprobó la causa y aplicó tanto medidas correctivas como preventivas.
- Salida de alguna de las etapas durante funcionamiento. En este caso la empresa no realizó un estudio de calidad de energía, pero al contar con medidores de eléctricos avanzados pudieron visualizar que la presencia de armónicos era considerable, lo cual está ligado como causa de disparo de protecciones como interruptores (dispositivos usados comúnmente como medio de desconexión en las etapas de banco de capacitores).

6. Conclusiones

El análisis de armónicas es una herramienta esencial para garantizar la confiabilidad y eficiencia de los sistemas eléctricos industriales. En plantas industriales, donde el uso de variadores y electrónica de potencia es cada vez mayor, se requiere establecer programas de monitoreo continuo y mantenimiento predictivo que incluyan la medición de calidad de energía.

Aplicar metodologías de diagnóstico y mitigación adecuadas no solo mejora la calidad de la energía, sino que también prolonga la vida útil de los equipos eléctricos, reduce costos de mantenimiento, previene paros de producción indeseables y asegura el cumplimiento de las normas tanto nacionales como internacionales.

En la práctica, es conveniente aplicar una combinación de filtros pasivos y reactores de línea debido a su relación costo-beneficio y facilidad de mantenimiento. Sin embargo, con el avance tecnológico se podría implementar filtros activos con un amplio funcionamiento y capacidad tanto en mitigación de armónicos como factor de potencia (en un mismo equipo se cuenta con un sistema para mitigar factor de potencia y armónicos).

Los resultados de la pequeña encuesta demuestran un conocimiento escaso en temas de calidad de energía para las plantas industriales en Costa Rica, lo que representa una gran oportunidad laboral para profesionales en la ingeniería eléctrica.

Referencias bibliográficas

- Abundis Couoh, Arturo. (2016). Causas y efectos de armónicos en sistemas eléctricos de potencia. Tesis título de ingeniería UNAM. Tomado de [tesis.pdf](#)
- A-EBERLE. (s.f). Causas de las perturbaciones/armónicos en la red eléctrica. Conocimiento. Tomado de [Los Armónicos | A. Eberle](#)
- CIRCUTOR. (s.f). Técnicas de compensación y filtrado de perturbaciones armónicas. Notebook. Tomado de [Armónicos eléctricos - CIRCUTOR](#)
- Dariel Arcila, José. (s.f). Armónicos en sistemas eléctricos. Ingeniería Especializadas IEB. Tomado de [Armónicos.PDF](#)
- FLUKE. (s.f). Siete pasos para mitigar los problemas de armónicos de variadores de frecuencia (VFD). Calidad eléctrica. Tomado de [Siete pasos para mitigar los problemas de armónicos de variadores de frecuencia \(VFD\) | Fluke](#)
- Montoya Céspedes, David. (2016). Mitigación del nivel de armónicos en un sistema eléctrico industrial mediante un filtro de armónico pasivo. Trabajo de grado. Tomado de [Mitigación del nivel de armónicos en un sistema eléctrico industrial mediante un filtro de armónico pasivo.pdf](#)
- Pinyol, Ramón. (s.f). Armónicos: causas, efectos y minimización. SALICRU. Tomado de [jn004a00_whitepaper-armonics_.pdf](#)
- Salazar Gómez, Jaime. (s.f). Los armónicos y su mitigación en redes eléctricas industriales. Mundo Eléctrico Edición 100. Tomado de [Armonicos.pdf](#)
- TECSA. (2020). ¿Cuáles son las causas y efectos de los armónicos en un sistema eléctrico? Blog. Tomado de [¿Cuáles son las causas y efectos de los armónicos en un sistema eléctrico?](#)