



Doi: <https://doi.org/10.70577/asce.v5i1.603>

Recibido: 2025-12-23

Aceptado: 2026-01-08

Publicado: 2026-01-14

Análisis de armónicos en equipos de aireación en una industria camaronera

Harmonic analysis in aeration equipment in a shrimp farming industry

Autores

Mauricio Bladimir Caisa Dias¹

<https://orcid.org/0009-0000-7455-8558>

bladicaisadiaz2017@gmail.com

Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Latacunga – Ecuador

Jaime Rolando Macas Sánchez²

<https://orcid.org/0009-0008-7975-3860>

jrolando24sm@gmail.com

Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Latacunga – Ecuador

Fernando Javier Silva Cevallos³

<https://orcid.org/0009-0002-5070-9731>

fjsilvac@istx.edu.ec

Instituto Superior Universitario Cotopaxi

Latacunga – Ecuador

Cómo citar

Caisa Dias, M. B., Macas Sánchez, J. R., & Silva Cevallos, F. J. (2026). Análisis de armónicos en equipos de aireación en una industria camaronera. *ASCE MAGAZINE*, 5(1), 484 – 501.



Resumen

En la creciente incorporación de diversos equipos eléctricos de potencia durante los procesos industriales, así como variadores de frecuencia de sistemas automatizados, mejorando de manera eficiente operativamente del mismo modo se incrementó armónicos que perjudican la calidad de suministro eléctrico. En la industria camaronera en el Ecuador los sistemas de aireación dependen de los motores eléctricos convertidores de frecuencia, constituyendo cargas no lineales que dan introducción a la distorsión armónica de corrientes de voltaje, ocasionando sobrecalentamiento de transformadores y conductores, representando fallas prematuras de los motores generando pérdidas energéticas e impactando económicamente. Además de la interrupción del suministro electrónico compromete directamente a la salud de los organismos acuáticos y rentabilidad del cultivo. Frente a la limitada investigación aplicada el estudio se orienta a evaluar el comportamiento armónico del sistema eléctrico de los equipos de aireación mediante mediciones en el campo, análisis espectral y en la aplicación de normativas nacionales e internacionales como ARCERNN 002/20 y la IEEE 519-2014. Por lo que la presente investigación busca identificar las fuentes y efectos armónicos, comprueba el cumplimiento de la normativa y analiza el riesgo de resonancia agrupada a bancos de capacitadores y si es el caso requiere plantear medidas de mitigación como filtros pasivos o activos. De este modo el estudio contribuye a mejorar el sistema eléctrico, optimizando la eficiencia energética, reduciendo costos operativos y fortaleciendo la sostenibilidad de la producción camaronera del país.

Palabras claves: Análisis, Armónicos, Eficiencia, Riesgo, Sostenibilidad.



Abstract

The growing incorporation of various electrical power equipment during industrial processes, as well as frequency converters in automated systems, has improved operational efficiency but also increased harmonics that impair the quality of the power supply. In Ecuador's shrimp industry, aeration systems depend on frequency converter electric motors, which are non-linear loads that introduce harmonic distortion of voltage currents, causing transformers and conductors to overheat, leading to premature motor failure, generating energy losses, and having an economic impact. In addition to interrupting the electronic supply, it directly compromises the health of aquatic organisms and crop profitability. Given the limited applied research, the study aims to evaluate the harmonic behavior of the electrical system of aeration equipment through field measurements, spectral analysis, and the application of national and international standards such as ARCERNN 002/20 and IEEE 519-2014. Therefore, this research seeks to identify harmonic sources and effects, verify compliance with regulations, and analyze the risk of resonance grouped with capacitor banks and, if necessary, propose mitigation measures such as passive or active filters. In this way, the study contributes to improving the electrical system, optimizing energy efficiency, reducing operating costs, and strengthening the sustainability of shrimp production in the country.

Keywords: Analysis, Harmonics, Efficiency, Risk, Sustainability.



Introducción

Actualmente los procesos que realizan las industrias incorporan dispositivos y equipos electrónicos de potencia tales como variadores de frecuencia, controladores programables y sistemas automatizados, los mismos que además de aumentar la eficiencia operativa también generan perturbaciones en la calidad del suministro eléctrico, como los armónicos. Estos armónicos pertenecen a las componentes de una frecuencia superior a la fundamental, y cuya presencia no solo altera la forma de onda sinusoidal ideal de la tensión y de la corriente, sino también el funcionamiento de los equipos y la eficiencia energética de los sistemas eléctricos (Morán & Rodríguez, 2020).

Hay empresas que se especializan en la producción intensiva del camarón, para lograr mantener los niveles adecuados de oxígeno en los estanques utilizan sistemas de aireación eléctrica. Estos sistemas funcionan a través de motores eléctricos, los cuales son controlados por convertidores de frecuencia. Estas cargas de tipo no lineales introducen armónicos al sistema eléctrico, que, si no son controlados y reducidos, pueden ocasionar efectos negativos tales como el sobrecalentamiento de transformadores, disparos de las protecciones, reducción de la vida útil de la maquinaria y el aumento de las pérdidas eléctricas, por ende, daños ocasionales o permanentes de equipos y pérdidas económicas. (Castillo & Buitrago, 2019). El análisis de la presencia de los armónicos se vuelve fundamental no solo para mejorar la calidad de energía eléctrica, sino para aumentar la confiabilidad del sistema eléctrico, reducir costos y cumplir con los rangos establecidos por normas nacionales e internacionales como la IEEE Sts 519 – 2014 (IEEE., 2014).

La presencia de armónicos de corriente y de voltaje causan daños importantes, donde la continuidad del servicio eléctrico es indispensable para asegurar la productividad. Una falla de energía causada por distorsión armónica podría afectar directamente en la salud de los organismos acuáticos y, por lo tanto, la rentabilidad del negocio. A pesar de su importancia, hay una evidente falta de investigación aplicada en la industria de camarones en Ecuador que se centre en examinar la calidad de la energía creando una brecha técnica para la toma de decisiones preventivas de la industria.

La presente investigación ofrece una contribución teórica al definir las principales fuentes y las consecuencias de los armónicos en equipos de aireación en un entorno de acuicultura industrial.

De esta manera, la investigación aborda un problema inmediato, mientras simultáneamente avanza en la aplicación del conocimiento en el campo de la eficiencia energética industrial. Los armónicos eléctricos se pueden interpretar como los componentes que forman parte de una señal de corriente o de voltaje. Estos componentes se caracterizan por presentar que son múltiplos enteros de la onda de frecuencia fundamental del sistema eléctrico. Esto significa, que los armónicos constituyen frecuencias adicionales que se aumentan a la frecuencia fundamental, causando una alteración de la onda sinusoidal original y causando daños al rendimiento en la estabilidad de los sistemas eléctricos. La presencia de cargas no lineales en un sistema eléctrico puede provocar componentes adicionales evidentes en las formas de onda de corriente y voltaje. En sistemas eléctricos ideales, la forma de onda sinusoidal de corriente y de voltaje se presentan como ondas perfectas y puras. Sin embargo, la realidad es otra, la adición de cargas no lineales causa la distorsión de las formas de onda, generando armónicos que causan daños en el sistema (Gonzalez & Ambuludi, 2024).

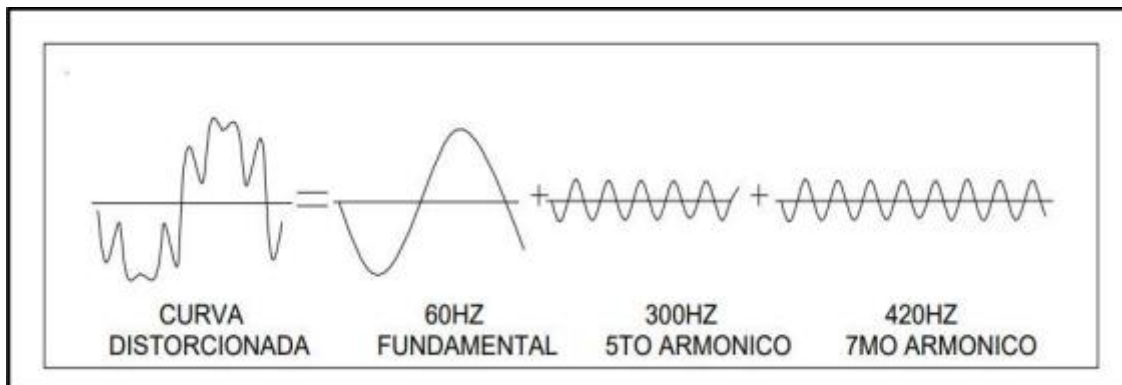


Figura 0-1 Armónicos eléctricos y sus efectos.

Fuente. (Gonzalez & Ambuludi, 2024)

En particular, en el caso de Ecuador, la calidad de la energía eléctrica suministrada es verificada por la agencia de regulación y control de electricidad y recursos renovables con sus siglas ARCERNNR, que es la entidad del Estado cuyo propósito es regular y controlar el cumplimiento de la calidad de energía eléctrica entregada a los usuarios finales, en el marco legal de la regulación 003/2023, que fija el referente de calidad de servicio de las operaciones de distribución y comercialización de energía eléctrica (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023). La regulación establece que el sistema se encuentra dimensionado para operar a una frecuencia nominal de 50 o 60Hz, con un voltaje y corriente de onda sinusoidal (Litz, 2001). En determinadas condiciones y por diversas razones,

la red puede presentar energía a otras frecuencias distintas a 50 o 60 Hertz según sea el caso, a este fenómeno se lo llama armónicos, que es frecuente llamar distorsiones periódicas de la forma de onda de voltaje y/o corriente de un estado estable dando así lugar a una onda distorsionada como la que se observa en la siguiente imagen (Barrera & Valenzuela, 2020).

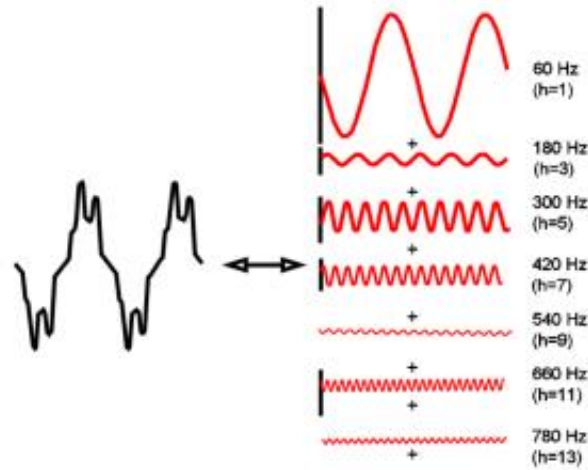


Figura 0-2 Frecuencia y Subfrecuencias

Fuente. (Barrera & Valenzuela, 2020)

Naturaleza y clasificación de los armónicos eléctricos

Los armónicos son los componentes de frecuencia múltiple de la onda fundamental sumándose a su onda senoidal principal, distorsionando la forma de onda. Por ejemplo, en sistemas de 60 Hz, los armónicos pueden surgir a 120 Hz, 180 Hz, 240 Hz, etc. Esta distorsión impacta tanto la forma de la onda de voltaje como la de corriente (Arrillaga & Watson, 2003).

Se divide en:

- Armónicos simétricos: múltiplos impares de la frecuencia fundamental.
- Armónicos pares: múltiplos pares, menos habituales y generalmente son indicativos de desequilibrios o fallos.
- Armónicos de secuencia positiva, negativa y cero, dependiendo de su comportamiento con relación a la rotación de fases (Guerrero, 2021).

El efecto de los armónicos se agrava si existe resonancia de la inductancia del sistema y los bancos de condensadores de corrección del factor de potencia, lo que incluso puede incrementar las corrientes armónicas a valores peligrosos (González, 2020).



Material y Métodos

El enfoque de la presente Investigación es cuantitativo, esta se fundamenta en la recolección de datos numéricos, los mismos que se obtienen a través de instrumentos de medición eléctrica, como por ejemplo un analizador de carga. El estudio que se va a realizar tiene como finalidad identificar, medir, analizar y comparar los niveles de distorsión armónica en condiciones reales de operación, lo que permite evaluar el impacto de los armónicos sobre la calidad de suministro de energía eléctrica. Mediante el tratamiento estadístico y técnico de los datos, para así poder formular conclusiones comprobables.

El presente trabajo de investigación se cataloga como una investigación de tipo descriptiva y explicativa. Es descriptiva ya que se basa en describir y detallar el comportamiento de los armónicos en los motores de aireación, además es explicativa ya que busca examinar las causas y las consecuencias de los armónicos que presentan dichos motores. Es importante identificar que componentes añaden armónicos en el sistema eléctrico, como variadores de frecuencia, transformadores, banco de capacitores, etc.

Por otro lado, en base al diseño de investigación, se trata de un estudio de caso, debido a que se enfoca en una situación particular y tiene un diseño no experimental, debido a que se observa el fenómeno y se lo mide en un ambiente natural.

El método de investigación que se selecciona es de tipo hipotético – deductivo, el mismo que consiste en la formulación de una hipótesis técnica que está basada en fundamentos teóricos técnicos y antecedentes normativos. Finalmente, se realizan mediciones de armónicos y su respectivo análisis para verificar el cumplimiento de dicha hipótesis, para así deducir las conclusiones y así proponer soluciones específicas.

Para recolectar la información necesaria para llevar a cabo la investigación se utiliza las siguientes técnicas:

- **Medición directa en campo:** Para realizar estas medidas se debe utilizar un analizador de calidad de energía trifásico, que puede registrar valores de THD, armónicos individuales de voltaje y de corriente, el factor de potencia, voltaje, corriente y frecuencia.



- **Análisis documental:** Se realizó una revisión de manuales técnicos de los motores instalados, planos eléctricos unifilares y registros histórico de mediciones, para así comprender las características de las instalaciones eléctricas.
- **Normativa técnica:** Se utilizaron como referencia las normas técnicas IEEE Std 519 – 2014 y la resolución ARCERNN 002/20, las mismas que establecen los rangos permisibles de la distorsión armónica y los armónicos en los sistemas eléctricos industriales.

La población de estudio que se define corresponde a los sistemas eléctricos de aireación, específicamente en las piscinas 82 y 83, donde se ubican los motores trifásicos. La muestra está formada por todos los motores, conductores, protecciones y equipos asociados a las líneas de suministro eléctrico de estas piscinas.

La presencia de armónicos de corriente y de voltaje que existe en los motores de aireación de las piscinas 82 y 83, supera los rangos permisibles por la norma IEEE Std 519 – 2014 y la ARCERNN 002/20, causando impactos negativos en la calidad de suministro eléctrico y en el funcionamiento de los equipos.

Para garantizar la replicabilidad del presente trabajo de investigación, se realizará una documentación teórica detallada de todos los procedimientos: selección de los puntos de medición, la duración y las condiciones de operación durante la toma de datos, así como los parámetros analizados.

Se va a proceder a realizar mediciones a los aireadores eléctricos para determinar la cantidad de armónicos que generan, primero se realizará la medición usando la red pública y después usando la red aislada con generador a fin de determinar cómo afecta cada motor a la red en un período de 10 minutos.

Las condiciones para las mediciones fueron medir con red pública y después medir los mismos aireadores, pero esta vez conectados a un generador local.

Caso 1.- Medición de armónicos con 4 aireadores de 3 Hp conectados a la red pública.

Se establecen las condiciones iniciales previo a la energización:



Se procede a conectar los 4 aireadores y se observa lo siguiente:

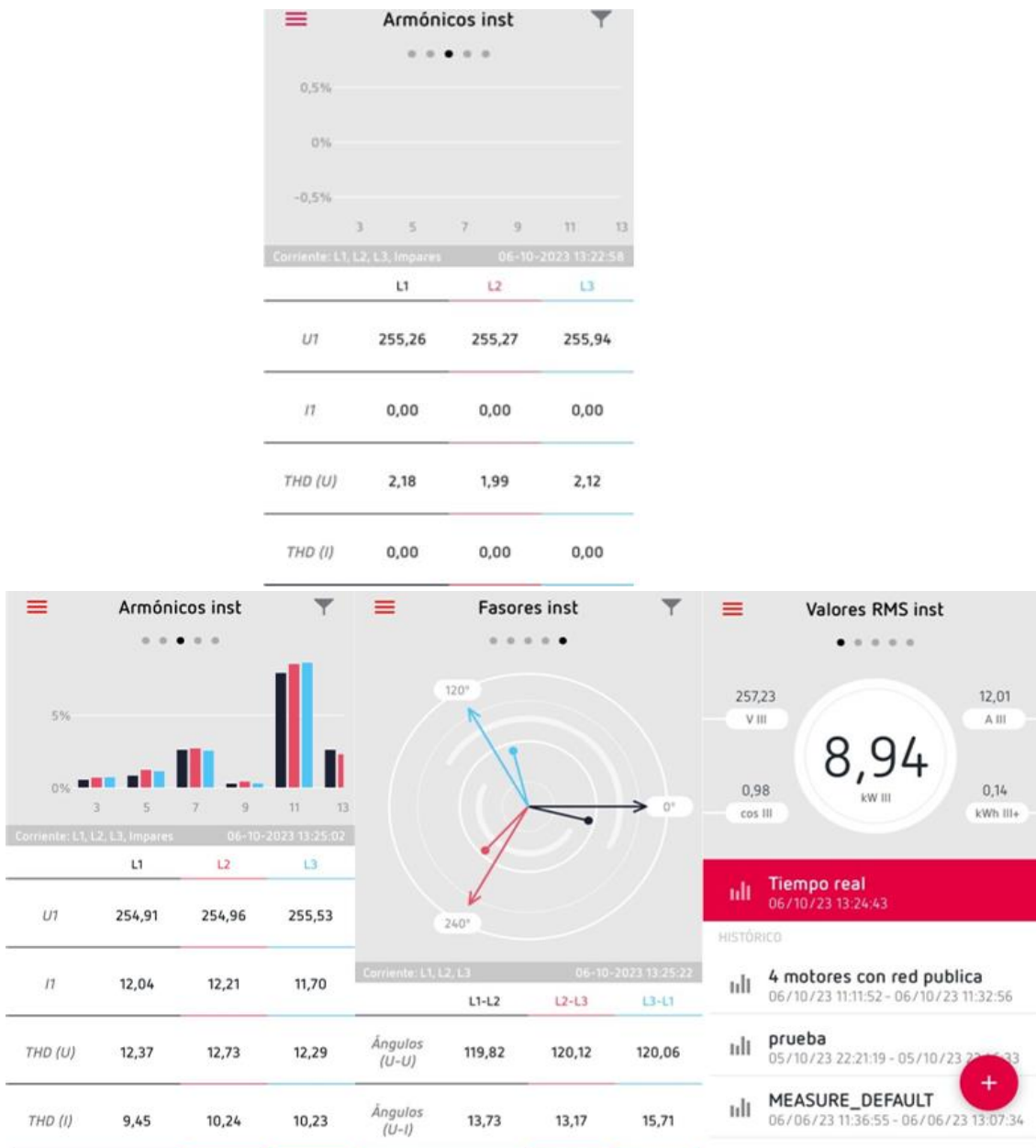


La cantidad de armónicos de corriente THDI es de 18.83% en promedio, la norma IEEE 519-2014 indica que dicho valor debe ser menor al 5%.

Los 4 motores de 3 HP debería consumir una potencia de 8.94 KW, pero el medidor de potencia indica que se está consumiendo 9.03kW lo que al parecer indica que los motores están trabajando al 100%.

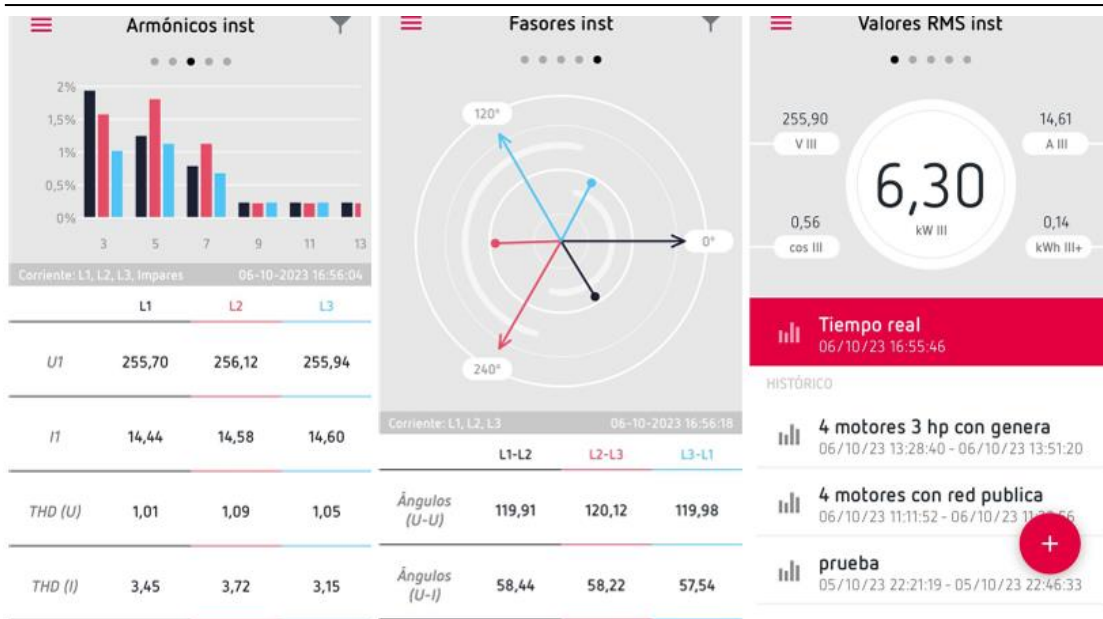
Caso 2.- Medición de armónicos con 4 aireadores de 3 Hp conectados al generador.

Se establecen las condiciones iniciales previas a la energización.



La cantidad de armónicos de corriente THDi es de 9.97% en promedio, la norma IEEE 519-2014 indica que dicho valor debe ser menor al 5%. Los 4 motores de 3 HP debería consumir una potencia de 8.94 kW y el medidor de potencia indica que se está consumiendo 8.94kW lo que al parecer indica que los motores están trabajando al 100%

Caso 3.- Medición de armónicos con 6 aireadores de 2 Hp conectados al generador. Se midió los armónicos con los aireadores de la marca Beracua que usan motores weg, teniendo los siguientes resultados:



La cantidad de armónicos de corriente THDI es de 3.44% en promedio, la norma IEEE 519-2014 indica que dicho valor debe ser menor al 5%. Los 6 motores de 2 HP deberían consumir una potencia de 8.94 kW y el medidor de potencia indica que se está consumiendo 6.3 kW lo que al parecer indica que los motores están trabajando al 70%.

Resultados

En este apartado se presenta los resultados obtenidos a partir de las mediciones de la distorsión armónica en los sistemas de aireación, concretamente en las piscinas donde operan los aireadores trifásicos de 3 HP y de 2 HP. El propósito fue realizar una comparación del comportamiento armónico de los equipos para determinar las perturbaciones existentes para verificar si las perturbaciones detectadas provienen de la fuente de alimentación o de las cargas conectadas.

Las mediciones se realizaron en los siguientes tres escenarios diferentes:

1. Cuatro motores de 3 HP (marca consumida) conectados en la red pública.
2. Cuatro motores de 3 HP (marca consumida) conectados al generador.
3. Seis motores de 2 HP (marca BERACUA con motores WEG) conectados a generador.

Resultados por Escenario de Medición

Caso 1: Aireadores de 3 HP conectados a la red pública.

Durante esta prueba, se usaron cuatro aireadores de 3 HP en la red pública.

Caso 2: Aireadores de 3 HP conectados al generador

Al realizar la medición con los aireadores conectados a un generador eléctrico, que se utiliza en caso de existir cortes de energía imprevistos, este generador presentó un valor de potencia de 8,94 kW, que coincide con el valor teórico. El THDI de corriente disminuyó a un 9,97%, lo que señala un valor menor de distorsión que con la red pública, sin embargo, está por encima del umbral normativo.

Este resultado indica que la carga, es decir, los motores, siguen constituyendo una fuente de armónicos importante, aunque la red pública también contribuye al problema.

Caso 3: Aireadores de 2 HP conectados al generador

En este caso, seis aireadores de 2 HP fueron conectados a la generación local. El consumo total registrado fue de 6,3 kW, es inferior al valor teórico de 8,94 kW, lo que señala que los motores operaban al 70% de la carga.

El valor del THD de corriente fue de 3,44%, cumpliendo con los límites establecidos por las normativas internacionales. Se concluye que los motores de marca WEG no generan distorsión armónica significativa y son compatibles con la calidad de energía que se requiere.

Comparación de Resultados

La siguiente tabla resume los valores obtenidos en cada escenario y permite comparar los efectos de la fuente de alimentación y el tipo de motor sobre la distorsión armónica.

Marca de Motor	Conexión	THDI (%)	Potencia (kW)	Norma IEEE/ARCERNN
Consumida (3 HP)	Red pública	18.83%	9.03	Excede límite (5%)
Consumida (3 HP)	Generador local	9.97%	8.94	Excede límite (5%)
WEG (2 HP)	Generador local	3.44%	6.30	Cumple norma



Discusión

En este capítulo se analizan e interpretan los resultados obtenidos en las mediciones de distorsión armónica en los sistemas de aireación de las piscinas 82 y 83. La discusión se centra en la comparación de los diferentes escenarios de medición y su impacto en la calidad de la energía eléctrica, así como las implicaciones para la operación de los motores de aireación en la industria camaronera.

Análisis de Resultados

Escenario 1: Aireadores de 3 HP conectados a la red pública

Los resultados obtenidos en este primer escenario muestran un THDI de 18.83%, significativamente por encima del límite normativo del 5%. Este hallazgo indica que los motores están generando una distorsión armónica considerable, lo que puede ser atribuido al uso de variadores de frecuencia. La potencia activa medida de 9.03 kW, que supera la potencia teórica esperada de 8.94 kW, sugiere que los motores pueden estar funcionando a plena carga o incluso sobrecargados, lo que podría resultar en un aumento de las pérdidas energéticas y un desgaste prematuro del equipo.

Escenario 2: Aireadores de 3 HP conectados al generador

En este caso, el THDI se redujo a 9.97%, lo que representa una mejora en la calidad de la energía en comparación con la conexión a la red pública. Sin embargo, este valor sigue excediendo el límite permitido, lo que sugiere que, aunque el generador puede mitigar algunos de los efectos de la distorsión armónica, la carga sigue siendo una fuente importante de armónicos. La coincidencia de la potencia medida (8.94 kW) con la potencia teórica refuerza la idea de que el generador está adecuadamente dimensionado para la carga, pero aun así es vital abordar la reducción de armónicos para evitar problemas operativos a largo plazo.

Escenario 3: Aireadores de 2 HP conectados al generador

Este escenario mostró resultados alentadores, con un THDI de 3.44%, que se encuentra dentro de los límites aceptables. La potencia activa de 6.3 kW, que es inferior al valor teórico de 8.94 kW, indica que los motores operan a un 70% de su capacidad. Este hallazgo sugiere que los motores WEG son más eficientes y generan menos distorsión armónica, demostrando ser una opción viable para la industria acuícola. La menor distorsión armónica en este escenario podría



asociarse a una mejor ingeniería del motor y controles más efectivos en comparación con los motores de la marca Consumida.

Efectos de los altos niveles de THDI en los equipos de aireación

Los altos niveles de Distorsión Armónica Total de Corriente (THDI) pueden tener un impacto significativo en los equipos de aireación utilizados en la industria camaronera. A continuación, se describen algunos de los efectos más relevantes que estos niveles pueden ocasionar:

Sobrecalentamiento de Equipos

Cuando los niveles de THDI son altos, los motores y otros componentes eléctricos tienden a sobrecalentarse. Esto se debe a que la distorsión de la corriente provoca un aumento en la resistencia, lo que resulta en un mayor consumo de energía y, por ende, más calor. Este sobrecalentamiento puede dañar el aislamiento de los motores, acortando su vida útil y afectando su rendimiento.

Fallas Prematuras

La presencia de armónicos puede causar que los motores y otros dispositivos eléctricos experimenten fallas inesperadas. Esto puede incluir disparos de protecciones eléctricas, que son mecanismos diseñados para evitar daños, pero que, en este caso, pueden activarse de manera errónea debido a las distorsiones en la corriente.

Reducción de la Capacidad de Carga

Los motores que operan bajo condiciones de alta distorsión armónica pueden verse obligados a trabajar más allá de su capacidad óptima. Esto no solo aumenta el riesgo de daños, sino que también puede resultar en una disminución de la eficiencia general del sistema.

Aumento de Pérdidas Energéticas

Los armónicos generan corrientes no deseadas que aumentan las pérdidas en los conductores y transformadores. Esto significa que se desperdicia más energía, lo que se traduce en mayores costos operativos para la industria.



Interferencias en el Funcionamiento

La distorsión de la forma de onda de la corriente puede afectar el rendimiento de los controles de velocidad y otros sistemas automatizados. Esto puede llevar a un funcionamiento ineficiente, impactando directamente la producción y la calidad del producto final.

Impacto en la Productividad

Las paradas inesperadas causadas por problemas relacionados con la distorsión armónica pueden afectar gravemente la continuidad del servicio, lo que puede tener un efecto directo en la salud de los organismos acuáticos y, por ende, en la rentabilidad del negocio.

Conclusiones

A partir del análisis del comportamiento armónico en los motores de aireación instalados en las piscinas 82 y 83., y considerando los objetivos planteados en la investigación, se establecen las siguientes conclusiones:

Los índices de distorsión armónica observados en las piscinas 82 y 83 en los motores de 3 HP conectados al suministro eléctrico se encuentran por encima de los límites según las normas IEEE Std 519-2014 y ARCERNN 002/20.

En breves rasgos un motor de la marca WEG muestra un THDI de 3.44%, cumpliendo con las normas establecidas, todo se debe al modelo de fabricación a la tecnología implementados en dicho dispositivo y al trabajo específico que va a desempeñar dentro de la planta camaronera sin tener alguna modificación alguna, así va a garantizar la producción y la calidad del producto.

La disminución del THDI al operar con generador (de 18.83% a 9.97%) sugiere que la red pública introduce perturbaciones adicionales; no obstante, los valores permanecen por encima de los límites regulatorios, lo que implica que los motores y sus variadores siguen siendo la fuente principal de distorsión armónica la existencia de



armónicos conlleva riesgos operativos, financieros y productivos los altos niveles de distorsión armónica pueden ocasionar el sobrecalentamiento de motores y transformadores, activaciones erróneas de dispositivos de protección, reducción de la longevidad de los equipos y pérdidas energéticas adicionales y en el ámbito de la industria del camarón, estos impactos amenazan de manera directa la continuidad del suministro eléctrico, lo cual podría poner en riesgo los niveles de oxígeno en los estanques y afectar la producción y rentabilidad.

La hipótesis planteada se valida en su totalidad los valores obtenidos confirman que los armónicos en los motores de aeración exceden los límites permitidos por las regulaciones vigentes y ocasionan efectos negativos en la calidad del suministro eléctrico y en el funcionamiento global del sistema también se identifican condiciones que podrían facilitar la resonancia si se llegaran a utilizar bancos de capacitores sin un diseño de filtrado apropiado.

Recomendaciones

En función de los resultados obtenidos y considerando las posibles mejoras técnicas para el sistema eléctrico de aireación, se plantean las siguientes recomendaciones:

Implementar sistemas de mitigación de armónicos (filtros pasivos o activos) en la industria camaronera para que tenga una aeración eficiente en las piscinas 82 y 83 que fue como ejemplo de la investigación.

Para reducir los niveles de THDI y cumplir con los límites normativos, se recomienda instalar filtros pasivos sintonizados para los armónicos predominantes o filtros activos capaces de corregir múltiples frecuencias.

Se aconseja la instalación de capacitores con reactancias (filtros de rechazo) para prevenir la amplificación de las corrientes armónicas y establecer un sistema de monitoreo constante de la calidad de energía también colocar registradores permanentes que estén ubicados en lugares clave del sistema facilitando



la identificación de incremento de THDI, el reconocimiento de fallas anticipadas permitirá organizar el mantenimiento preventivo y correctivo de forma más efectiva.

Revisar los programas de mantenimiento teniendo en cuenta el impacto de los armónicos, Es recomendable añadir inspecciones termográficas regulares, evaluar el aislamiento, comprobar la condición de los inversores de frecuencia y realizar mediciones frecuentes de corriente y voltaje armónico. Esto ayudará a minimizar fallos inesperados y a prolongar el tiempo de funcionamiento de los equipos.

Este estudio se centró en las piscinas 82 y 83; sin embargo, la empresa cuenta con múltiples unidades operativas. La replicación del análisis permitiría generar un diagnóstico integral del sistema eléctrico y diseñar una estrategia global de mitigación armónica.

Considerar las limitaciones del presente estudio para investigaciones futuras.

El análisis se realizó bajo condiciones operativas específicas y con un número limitado de motores. Futuras investigaciones pueden incluir:

- Análisis detallado por componente electrónico,
- Simulaciones con software especializado (etap, digsilent),
- Evaluación de diferentes tecnologías de variadores,
- Mediciones prolongadas de 24–72 horas con cargas variables.

Referencia Bibliográfica

Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2023).

Regulación ARCERNR-003/2023. <http://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/>

Arrillaga, J., & Watson, N. R. (2003). *Power System Harmonics*. Wiley.

Barrera, C., & Valenzuela, A. (2020). Harmonic Simulation Methods in Power. *ITECKNE*, 17(2). <https://doi.org/10.15332/iteckne.v17i2.2466>



- Castillo, J. A., & Buitrago, J. C. (2019). *Calidad de la energía eléctrica: teoría y práctica*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Gonzalez, C., & Ambuludi, F. (2024). *ESTUDIO DEL CONTENIDO DE ARMÓNICOS EN LA FÁBRICA CHAIDE Y CHAIDE S.A. PLANTA GUAYAQUIL PARA PROPONER SOLUCIONES DE MEJORA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.
- González, H. (2020). *Perturbaciones en sistemas eléctricos de potencia: análisis y mitigación*. Alfaomega Grupo Editor.
- Guerrero, M. (2021). Análisis de calidad de energía en redes con cargas no lineales. *Revista Técnica de Energía y Sistemas Eléctricos*, 39(2), 45-48.
- IEEE. (2014). *IEEE Std 519-2014: IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Litz, L. A. (2001). *Estudio Y Aplicación De La Norma IEEE 519 - 1992 En La Medición, Análisis Y Eliminación De Armónicos En Sistemas Industriales. Caso: - Campus Valle Del Lili*.
- Morán, G., & Rodríguez, H. (2020). Análisis de distorsiones armónicas en redes eléctricas industriales. *Revista Ingenium*, 24(2), 35–47.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.