CALIDAD DE ENERGIA ELÉCTRICA

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ATLÁNTICO C.R.A.

ISES
SOLUCIONES ESPECIALIZADAS

CONTENIDO

Lista abreviaturas 3
1. Introducción 4
1.1. Objetivo 4
1.2. Objetivos específicos 4
2. Variables eléctricas 5
2.1. Potencia activa. 5
2.2. Corriente. 8
2.3. Tensión. 12
Armónicos 19
2. Conclusiones 22

Lista abreviaturas

A	Amperaje
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
THD I	Armónicos de corriente
THD V	Armónicos de voltaje
V	Voltaje

1. Introducción

La calidad de energía eléctrica es un factor determinante para el desempeño eficiente, seguro y confiable de los sistemas eléctricos e industriales. En el contexto colombiano, el RETIE establece las normas técnicas que deben cumplir las instalaciones eléctricas para garantizar tanto la seguridad como el cumplimiento de estándares de calidad. Este informe se enmarca dentro de una auditoría energética integral, cuyo propósito es diagnosticar el estado actual de los sistemas eléctricos, identificar desviaciones en los parámetros de calidad de energía y proponer soluciones técnicas que promuevan la eficiencia energética y la sostenibilidad operativa.

El análisis abarca aspectos críticos como la distorsión armónica, desequilibrios de tensión, fluctuaciones de voltaje y otros fenómenos que pueden afectar la integridad de los equipos y la estabilidad del suministro eléctrico. Las mediciones y recomendaciones incluidas en este documento tienen como objetivo contribuir al cumplimiento normativo, optimizar el consumo energético y garantizar un desempeño adecuado de los sistemas eléctricos auditados.

1.1. Objetivo

Evaluar la calidad de energía eléctrica en las instalaciones auditadas, identificando desviaciones normativas y proponiendo medidas correctivas que optimicen la eficiencia energética y la seguridad eléctrica, en cumplimiento con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).

1.2. Objetivos específicos

- Medir y analizar los parámetros eléctricos fundamentales (tensión, corriente, frecuencia, armónicos, entre otros) en la frontera comercial con el comercializador de energía eléctrica.
- Verificar el cumplimiento de los niveles de calidad de energía establecidos en el RETIE y otros estándares internacionales aplicables.
- Identificar problemas asociados a distorsión armónica, desequilibrios de tensión, fluctuaciones de voltaje o interrupciones.
- Evaluar el impacto de las condiciones de calidad de energía en el desempeño de los equipos y la eficiencia energética de las instalaciones.

- Proponer recomendaciones técnicas para corregir anomalías detectadas, reduciendo costos operativos y garantizando la continuidad del servicio eléctrico.

2. Variables eléctricas

La información recopilada a través de mediciones detalladas permite cuantificar el uso de energía, analizar patrones de consumo y determinar la eficiencia de los equipos. La precisión de estos datos es crucial para desarrollar estrategias efectivas de ahorro energético, justificar inversiones en tecnologías más eficientes y establecer metas realistas para reducir el consumo de energía.

A continuación, se detallan los puntos de las mediciones ejecutadas durante la auditoria y la franja horaria en que se realizó cada una:

Franja Medición		
Equipo / Proceso	**Inicio**	**Fin**
Finca Repelón	05/12/2024 08:31:00 a.m.	05/12/2024 11:02:00 a.m.
Sede 2	09/12/2024 11:40:00 a.m.	16/12/2024 08:55:00 a.m.
Sede Principal	09/12/2024 09:48:05 a.m.	16/12/2024 08:44:00 a.m.

Tabla 1. Lapso de mediciones realizadas en campo.

Las variables medidas en el marco de la auditoria energética son la potencia, corriente, voltaje, factor de potencia y armónicos.

2.1. Potencia activa.

La medición de la potencia activa es esencial en estudios de calidad de energía, no solo para evaluar la eficiencia y rendimiento de los equipos, sino también para identificar patrones de consumo donde se optimiza la eficiencia operativa y la toma de decisiones informadas sobre la gestión de la energía. La potencia activa no solo indica la cantidad de energía utilizada, sino que también permite analizar cómo y cuándo se consume.

Tablero General – Sede Principal

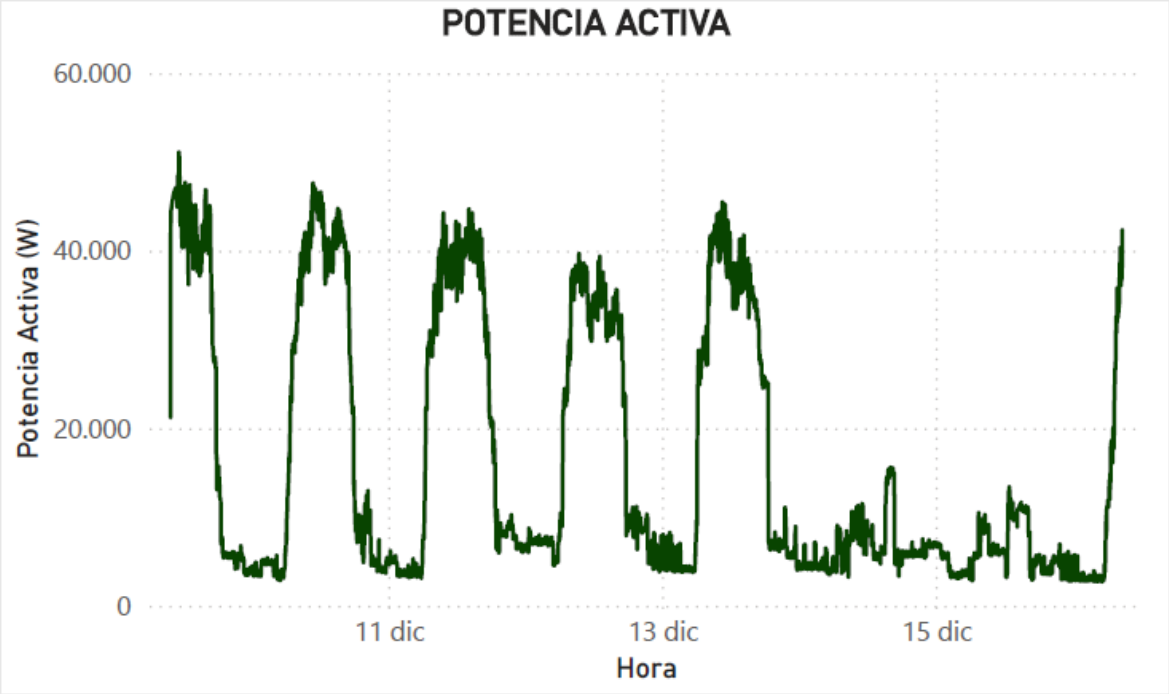


*Figura 1. Registro de potencia activa – **Sede Principal**.*

Los consumos de energía en los horarios nocturnos son intermitentes haciendo que el uso oscile entre 3 kW y 7 kW, mientras que, durante la jornada diurna, la potencia activa oscila entre los 35 kW y 45 kW, con promedio de 40 kW.

Tablero General – Sede 2

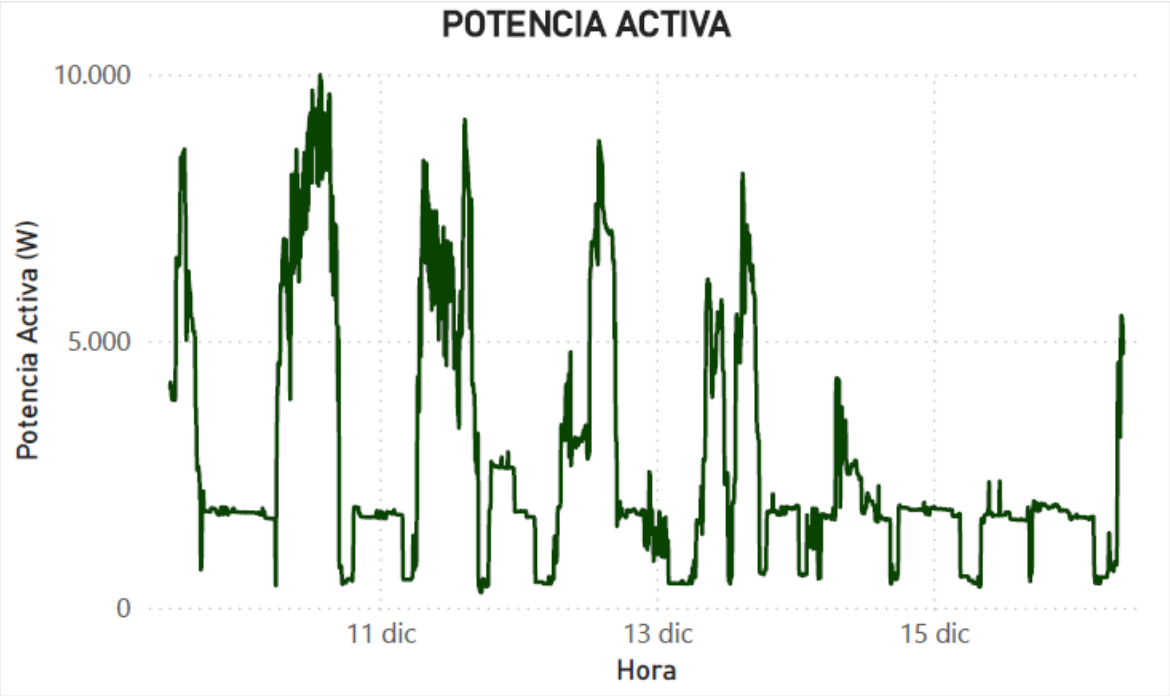


*Figura 2. Registro de potencia activa – **Sede 2**.*

Para la Sede 2, durante la jornada nocturna se posee un consumo de potencia activa promedio de 1,7 kW y durante la jornada diurna, el consumo de potencia activa oscila entre 5 kW y 8 kW.

Tablero General – Finca Repelón

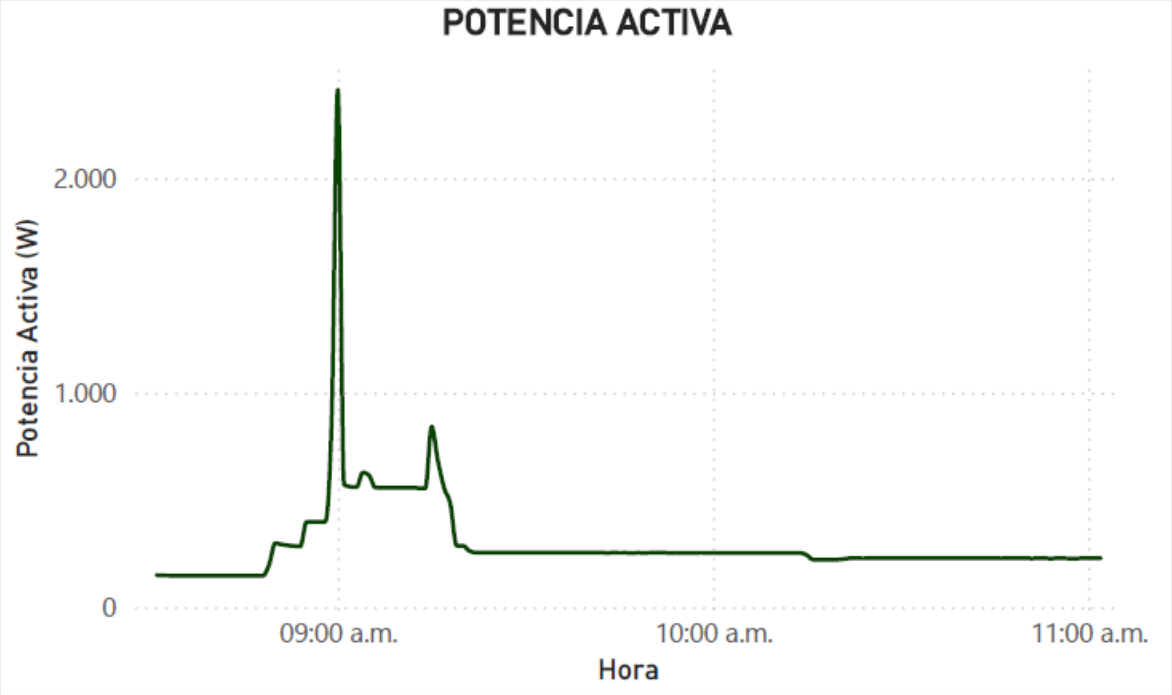


*Figura 3. Registro de potencia activa – **Finca Repelón**.*

El registro más alto de potencia activa se registra en el momento en que se enciende la estufa eléctrica por su funcionamiento con resistencias eléctricas. También, se puede apreciar que el consumo de potencia activa ocasionado por las lámparas que permanecen encendidas por falla es sus sistemas de funcionamiento automático, el cual es de 148 W.

2.2. Corriente.

El análisis de la corriente nos ayuda a comprender y abordar eficazmente la eficiencia y estabilidad del suministro eléctrico. La corriente eléctrica proporciona información detallada sobre el comportamiento de la carga y la salud general del sistema. Al medir y analizar la corriente, se pueden identificar posibles problemas, como armónicos, fluctuaciones o desequilibrios, que podrían afectar negativamente la calidad de la energía y el rendimiento de los equipos. Además, la capacidad de monitorear la corriente permite prever situaciones de sobrecarga, prevenir daños en los equipos y mejorar la seguridad operativa. Comprender los patrones de corriente también es esencial para implementar estrategias efectivas de gestión de la carga, optimizar la distribución de la energía y cumplir con normativas que regulan la calidad del suministro eléctrico.

A partir de lo anterior, se tabulan los desbalances de corrientes mínimos, promedios y máximos en cada uno de las mediciones ejecutadas. Para la sede principal, el desbalance promedio es de 31,48%, en la finca Repelón es de 30,53%, mientras que en la sede 2, el desbalance promedio es de 19,63%. El RETIE establece que el desbalance de cargas entre fases en un sistema de distribución de energía no debe exceder límites del 10% para así garantizar la seguridad y eficiencia del sistema eléctrica y evitar pérdidas excesivas de energía, calentamiento de conductores y equipos. Se recomienda realizar un balance de cargas en cada una de las sedes de la CRA.

Desbalance Corriente (%)			
Equipo / Proceso	**Mín.**	**Prom.**	**Máx.**
Finca Repelón	11,33 %	30,53 %	94,96 %
Sede 2	0,97 %	19,63 %	92,67 %
Sede Principal	0,30 %	31,48 %	102,13 %

Tabla 2. Desbalances de corriente de mediciones en campo.

Sede Principal

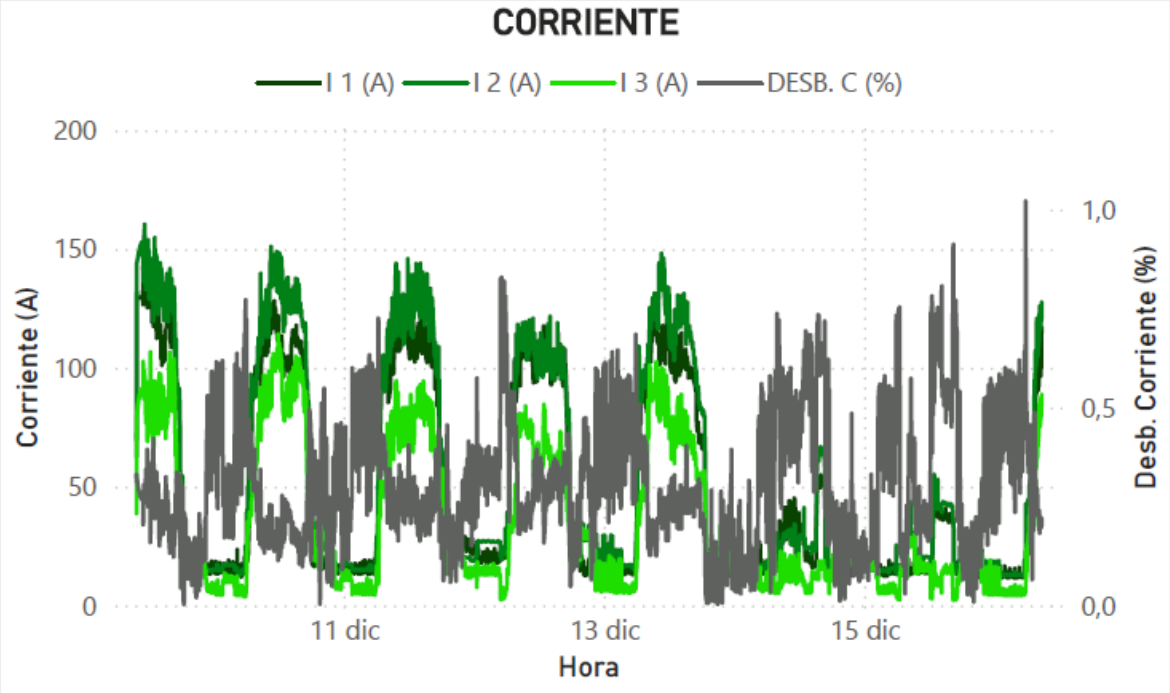


*Figura 4. Registro de corriente – **Sede Principal**.*

Sede 2

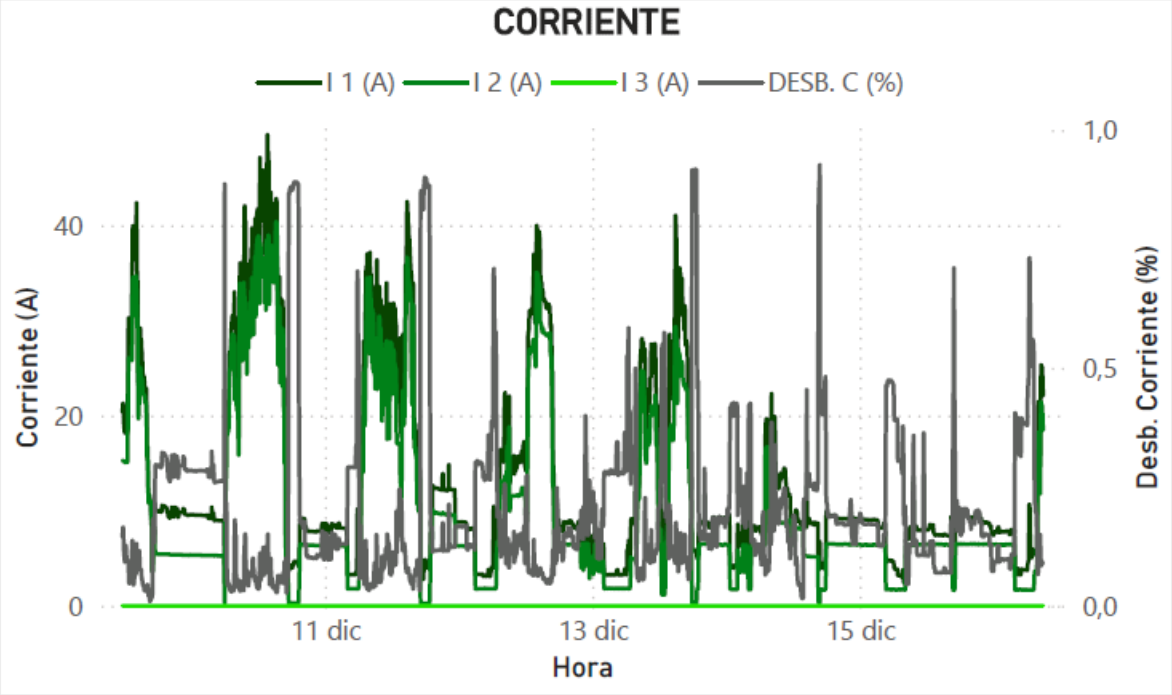


*Figura 5. Registro de corriente – **Sede 2**.*

Finca Repelón

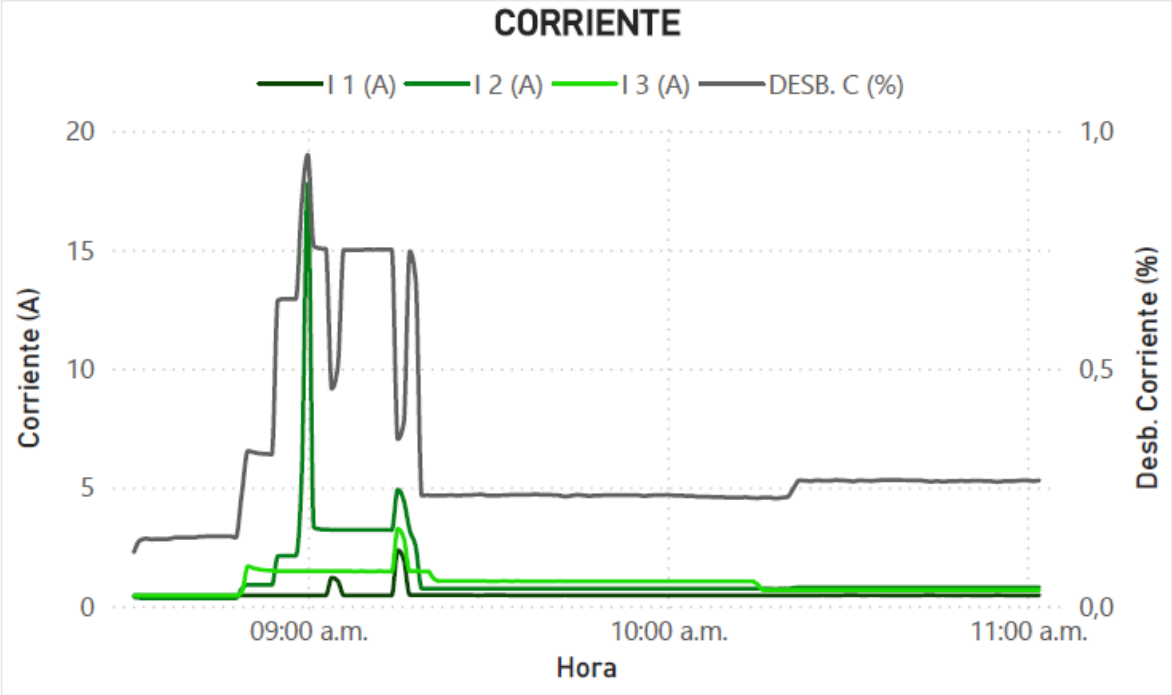


*Figura 6. Registro de corriente – **Finca Repelón**.*

Teniendo en cuenta que el sistema de climatización son el principal uso de energía, resaltamos que el desbalance de corriente entre fases genera derrateo en la eficiencia en sus compresores y acorta la vida útil de este y de otros componentes de estos sistemas.

Sobrecarga del compresor: un desequilibrio significativo en las corrientes puede resultar en una distribución desigual de la carga entre las fases del compresor, causado por falta de lubricación, estado de rodamientos, devanado del motor, estado del aislamiento conexiones. Esto puede llevar a una sobrecarga en una o más fases, lo que a su vez provoca un aumento en la temperatura del motor del compresor.

Desgaste prematuro: la sobrecarga causada por el desequilibrio de corriente puede acelerar el desgaste de los componentes internos del compresor, como los rodamientos y las bobinas del motor. Esto puede reducir la vida útil del compresor y aumentar la frecuencia de mantenimiento y reparación.

Reducción de la eficiencia energética: la operación desequilibrada puede disminuir la eficiencia del compresor, ya que el desequilibrio provoca pérdidas adicionales de energía en forma de calor. Esto no solo aumenta los costos operativos, sino que también puede afectar la capacidad de enfriamiento o calefacción del sistema.

Aumento del consumo de energía: el desequilibrio de corriente puede contribuir a un factor de potencia más bajo, lo que resulta en un mayor consumo de energía reactiva. Esto puede dar lugar a penalizaciones por parte de las compañías eléctricas y costos adicionales para el usuario.

Vibraciones y ruido: la operación desequilibrada del compresor puede generar vibraciones y ruido adicionales. Estas vibraciones pueden afectar no solo al compresor mismo, sino también a otros componentes del sistema y a la estructura circundante.

Pérdida de capacidad de enfriamiento o calefacción: un desequilibrio prolongado puede afectar negativamente la capacidad del compresor para proporcionar la cantidad adecuada de refrigeración o calefacción. Esto puede resultar en un rendimiento deficiente de los sistemas de refrigeración.

2.3. Tensión.

La tensión eléctrica es un indicador crítico de la calidad de la energía y su variación puede tener impactos significativos en el rendimiento de los equipos. Al medir y analizar la tensión, se pueden identificar fluctuaciones, picos o caídas, que podrían afectar la operación normal de los dispositivos eléctricos. Además, el análisis de la tensión permite detectar posibles problemas en la red eléctrica, como variaciones y desbalances de voltaje, que pueden comprometer la eficiencia y durabilidad de los equipos. Comprender la calidad de la tensión es crucial para prevenir daños en los dispositivos sensibles, garantizar un funcionamiento óptimo de los equipos de la tienda y cumplir con estándares de seguridad y regulaciones que rigen la calidad del suministro eléctrico.

A continuación, se tabulan los valores mínimos, máximos y promedio de los voltajes L-L en cada una de las mediciones ejecutadas.

Voltaje (V)			
Equipo / Proceso	Mín.	Prom.	Máx.
Finca Repelón	125,04	126,10	126,59
Sede 2	115,36	120,90	123,55
Sede Principal	126,36	129,57	133,00

Tabla 3. Voltajes de mediciones en campo.

Del mismo modo, se tabulan los valores mínimos, máximos y promedios en las variaciones y desbalances de en las diferentes mediciones ejecutadas. Se puede resaltar que la variación de voltaje alcanza un máximo de 3,48%, 1,6% y 0,84% en sede principal, sede 2 y finca Repelón, respectivamente. En tanto, el desbalance de voltaje promedio en la sede principal es de 0,15%, 1,35% en sede 2 y 0,27% en Finca Repelón. Todos los parámetros se encuentran dentro de los limites recomendados para la operación de equipos y sistemas eléctricos.

Desbalance Voltaje (%)			
Equipo / Proceso	Mín.	Prom.	Máx.
Finca Repelón	0,10 %	0,27 %	0,71 %
Sede 2	0,21 %	1,35 %	8,40 %
Sede Principal	0,01 %	0,15 %	20,34 %

Tabla 4. Desbalances de voltaje de mediciones en campo.

Variación Voltaje (%)			
Equipo / Proceso	Mín.	Prom.	Máx.
Finca Repelón	0,00 %	0,05 %	0,84 %
Sede 2	0,00 %	0,29 %	1,60 %
Sede Principal	0,00 %	0,12 %	3,48 %

Tabla 5. Variaciones de voltaje de mediciones en campo.

A continuación, se presenta los gráficos de comportamiento de tensión L-L entre las fases que componen cada uno de los tableros y/o equipos analizados.

Sede Principal

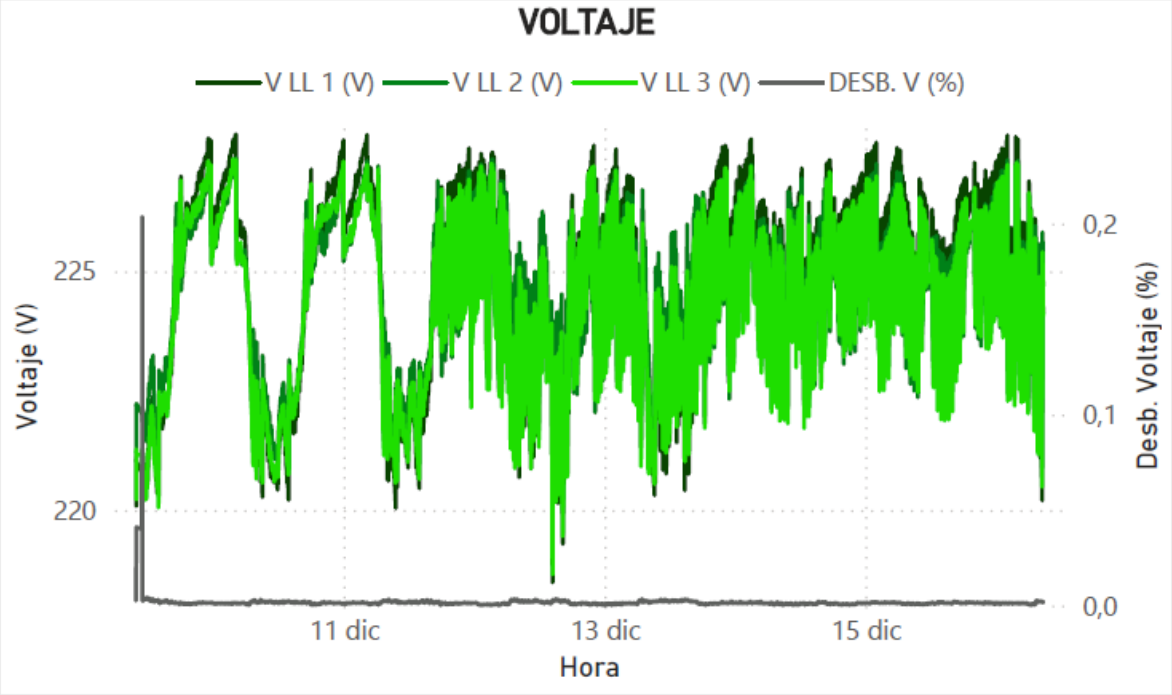


*Figura 7. Registro de voltajes – **Sede Principal**.*

La Sede Principal registra una tensión elevada en un 12% respecto a la tensión nominal de115 Vac, lo que repercute en la durabilidad de los equipos ya que vienen estipulado de fabrica con una tensión mínima y máxima de uso para garantizar su optimo funcionamiento.

Sede 2

Los valores de tensión en Sede 2, registra un máximo de 123 Vac, que con referencia al nominal de 115 Vac, representa una desviación del 6% al promedio normal.

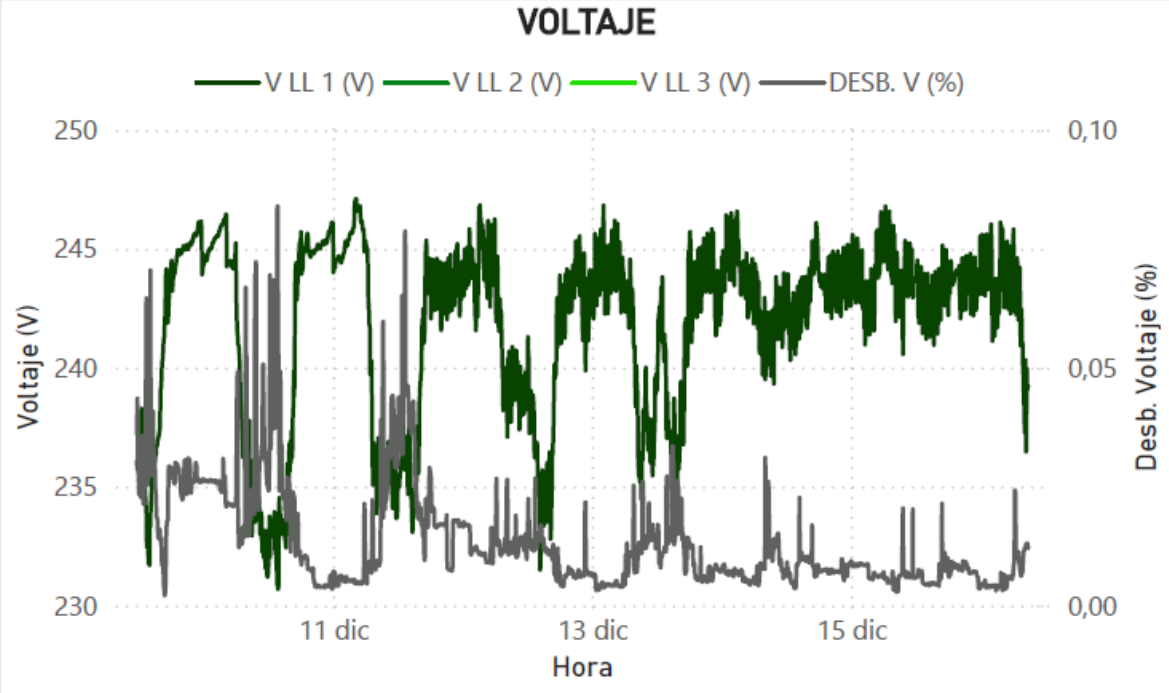


*Figura 8. Registro de voltajes – **Sede 2**.*

Finca Repelón

Por la ubicación de la Finca Repelón, los distanciamientos de distribución la tensión en ocasiones por suministro del operador de red es ligeramente elevados con el fin de garantizar la distribución, aun así, y por las mismas recomendaciones, el promedio de tensión en la finca es de 126 VAC lo que puede llevar al desgaste de los equipos.

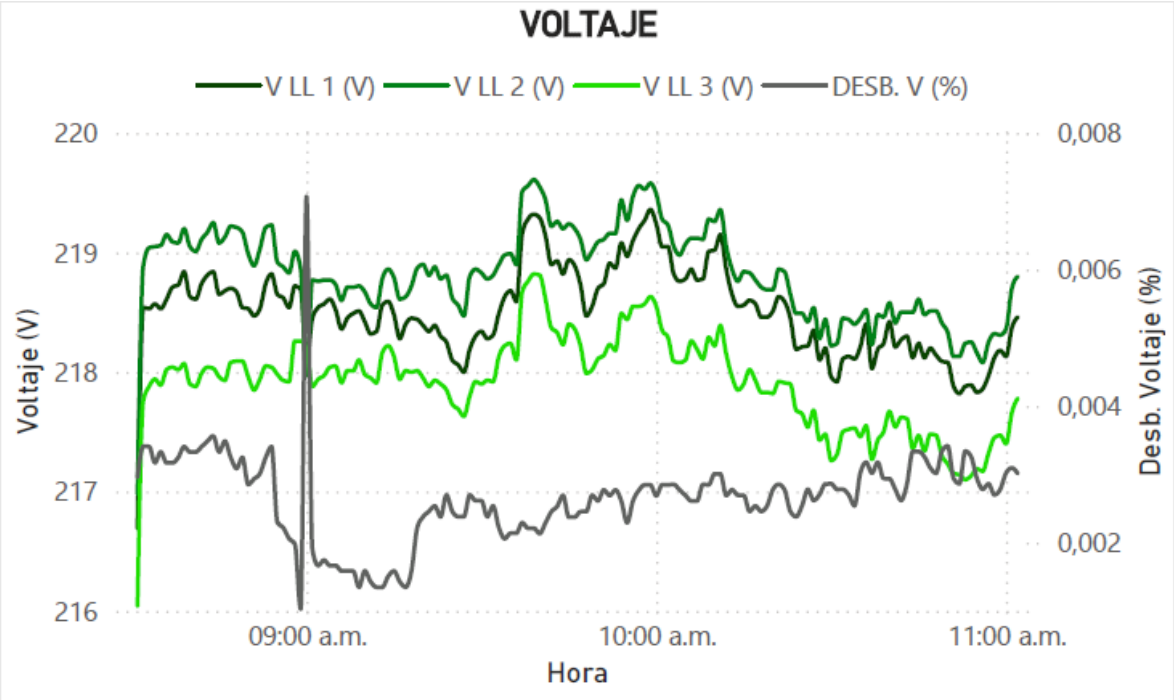


*Figura 9. Registro de voltajes – **Finca Repelón**.*

2.4. Factor de potencia

El factor de potencia es un parámetro clave en los sistemas eléctricos, y su importancia está destacada en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) por varias razones relacionadas con la eficiencia, seguridad y cumplimiento normativo en las instalaciones eléctricas.

- **Eficiencia energética**: Un buen factor de potencia minimiza pérdidas en conductores y equipos, mejorando el uso de la energía.
- **Optimización del sistema**: Evita sobrecargas en transformadores y líneas, aumentando la capacidad útil de la instalación.
- **Reducción de costos**: Previene penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva, promoviendo ahorro económico.
- **Seguridad eléctrica:** Reduce riesgos como sobrecalentamiento y fallas en equipos, garantizando estabilidad operativa.
- **Cumplimiento normativo:** Asegura compatibilidad con la red eléctrica y evita afectar la calidad de energía de otros usuarios.

A continuación, se tabulan en la siguiente tabla los valores mínimos, promedios y máximos del factor de potencia en cada una de las mediciones ejecutadas. Así mismo, se grafica el comportamiento del factor de potencia en cada una de ellas.

Factor de Potencia			
Equipo / Proceso	**Mín.**	**Prom.**	**Máx.**
Sede 2	0,74	0,96	1,00
Sede Principal	0,78	0,96	1,00
Finca Repelón	0,80	0,95	1,00

Tabla 6. Factor de potencia de mediciones en campo.

Sede Principal

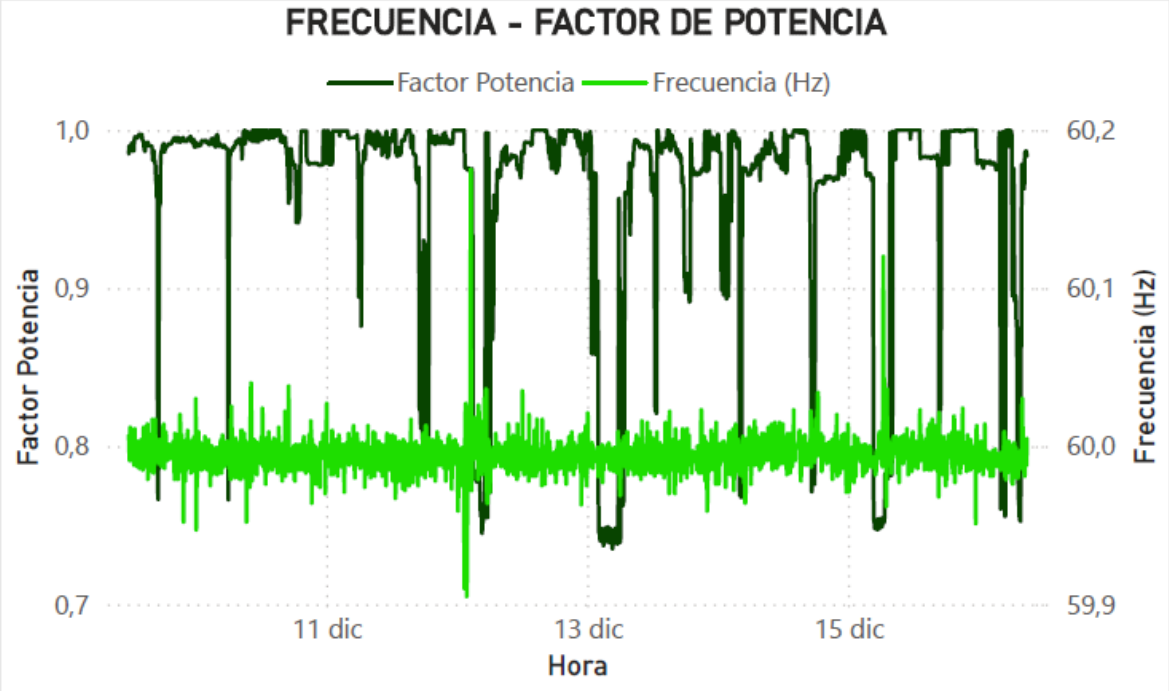


*Figura 10. Registro de voltajes – **Sede Principal**.*

Sede 2

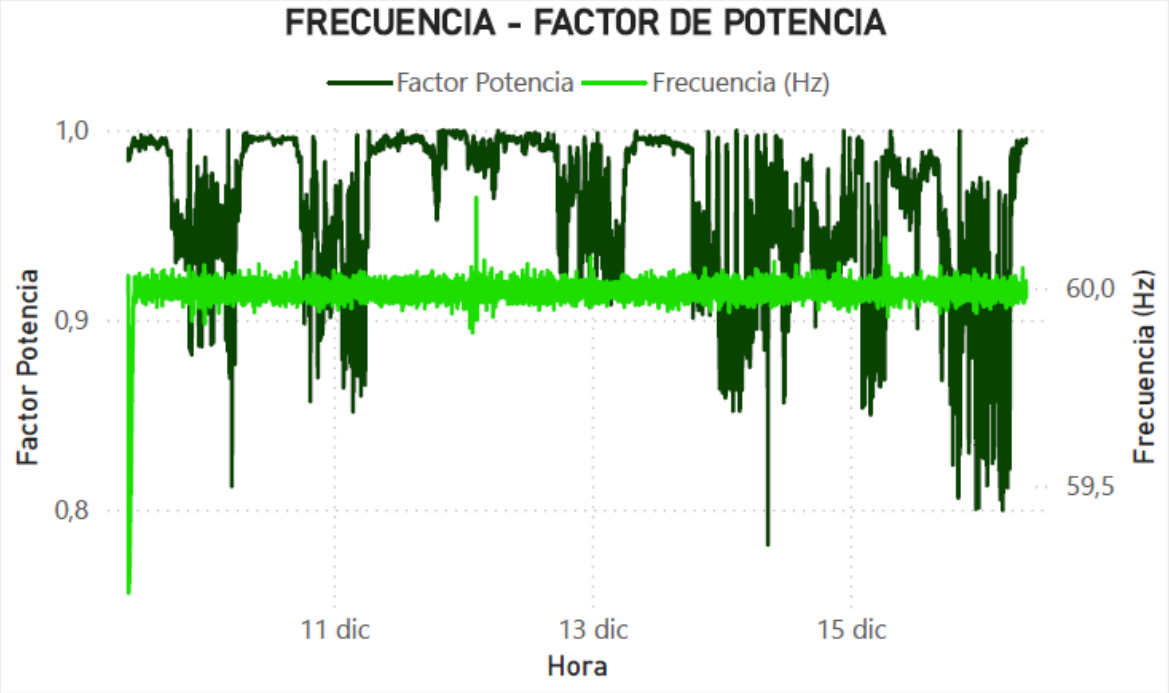


*Figura 11. Registro de voltajes – **Sede 2**.*

Finca Repelón

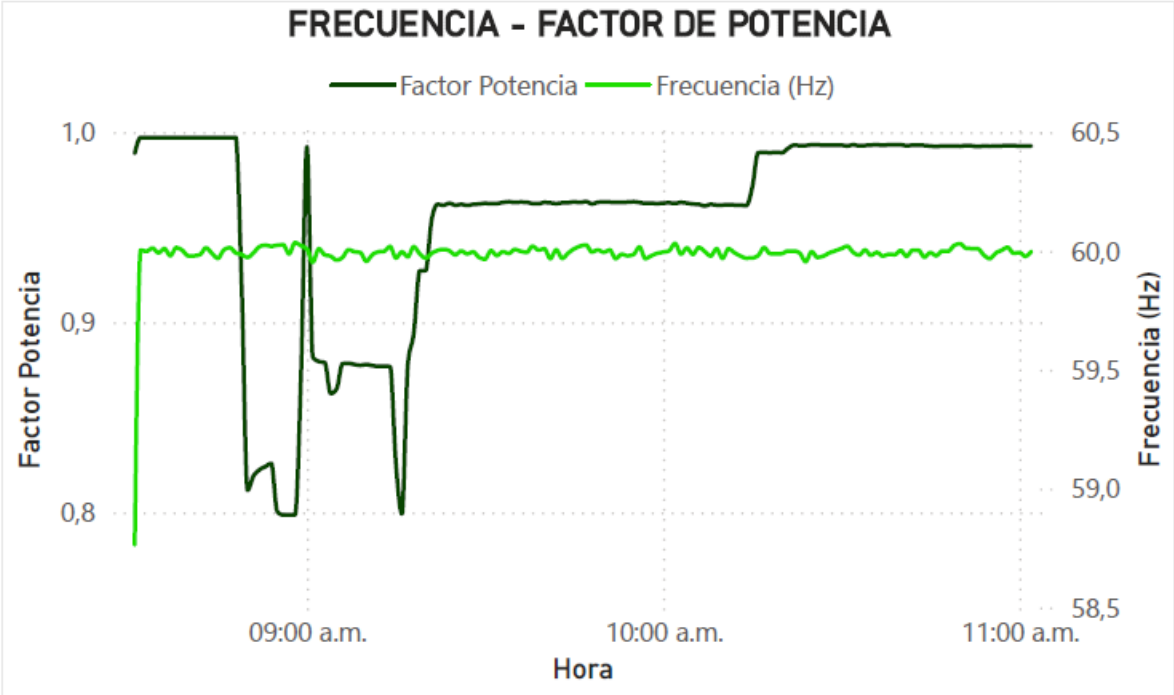


*Figura 12. Registro de voltajes – **Finca Repelón**.*

2.5. Armónicos

La corriente THD es un porcentaje del valor eficaz de corrientes armónicas de rangos superiores a 1 en relación con el valor eficaz de la corriente fundamental (primer orden). La unidad de control calcula la distorsión de la corriente armónica total THD hasta el decimoquinto armónico:

$$THD(I) = 100 \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{15} Inrms^2}}{I1rms}$$

La distorsión armónica total THD(I) permite evaluar la distorsión de la onda de corriente con un solo número. En la tabla siguiente se muestran los valores límite de THD(I).

Valor de THD(I)	Comentarios
THD(I) <10 %	Corrientes armónicas débiles: poco riesgo de sufrir perturbaciones.
10 % <THD(I) <50 %	Corrientes armónicas significativas: riesgo de calentamiento, sobredimensionado de las fuentes.
50 % <THD(I)	Corrientes armónicas muy importantes: riesgo casi seguro de sufrir perturbaciones, degradación y calentamientos a menos que la instalación se haya calculado y dimensionado teniendo en cuenta este tipo de restricciones.

Tabla 7. Rango de valores de referencia para THD(I).

Armónicos Corriente THD I (%)			
Equipo / Proceso	**Mín**	**Prom.**	**Máx.**
Finca Repelón	8,82	24,55	53,30
Sede Principal	6,95	16,67	54,29
Sede 2	3,33	13,50	40,43

Tabla 8. Resumen de armónicos de corriente obtenidos en las mediciones en campo.

Los armónicos de corriente son en promedio de 24,55% para la Finca en Repelón, 16,67% para la sede principal y 13,5% para la sede 2. Lo anterior significa que las corrientes armónicas son significanticas, lo que genera riesgo de calentamiento. Esto en gran medida puede estar relacionado con los altos desbalances de corrientes que se presentan en las acometidas principales.

La tensión THD es un porcentaje del valor eficaz de tensiones armónicas de rangos superiores a 1 en relación con el valor eficaz de la tensión fundamental (primer orden). La unidad de control calcula la THD en la tensión hasta el decimoquinto armónico:

$$THD(V) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{15} Vnrms^2}}{V1rms}$$

La distorsión armónica total THD(V) permite evaluar la distorsión de la onda de tensión con un solo número. En la tabla siguiente se muestran los valores límite de THD(I).

Valor de THD(V)	Comentarios
THD(V) <5 %	Distorsión insignificante de la onda de tensión: poco riesgo de perturbaciones.
5 % <THD(V) <8 %	Distorsión significativa de la onda de tensión: riesgo de calentamiento y de sufrir perturbaciones.
8 % <THD(V)	Distorsión significativa de la onda de tensión: existe un riesgo elevado de sufrir perturbaciones a menos que la instalación ya se haya calculado y dimensionado teniendo en cuenta este nivel de distorsión.

Tabla 9. Rango de valores de referencia para THD(V).

Armónicos Voltaje THD V (%)			
Equipo / Proceso	**Mín.**	**Prom.**	**Máx.**
Finca Repelón	1,06	1,17	2,20
Sede Principal	0,46	1,10	4,68
Sede 2	0,56	0,91	1,59

Tabla 10. Resumen de armónicos de voltaje obtenidos en las mediciones en campo.

Los **armónicos de tensión** en las sedes de la CRA no superan un promedio de 1,2%, por lo que, la distorsión de armónicos es insignificantes lo que genera poco riesgo de perturbaciones.

Sede Principal

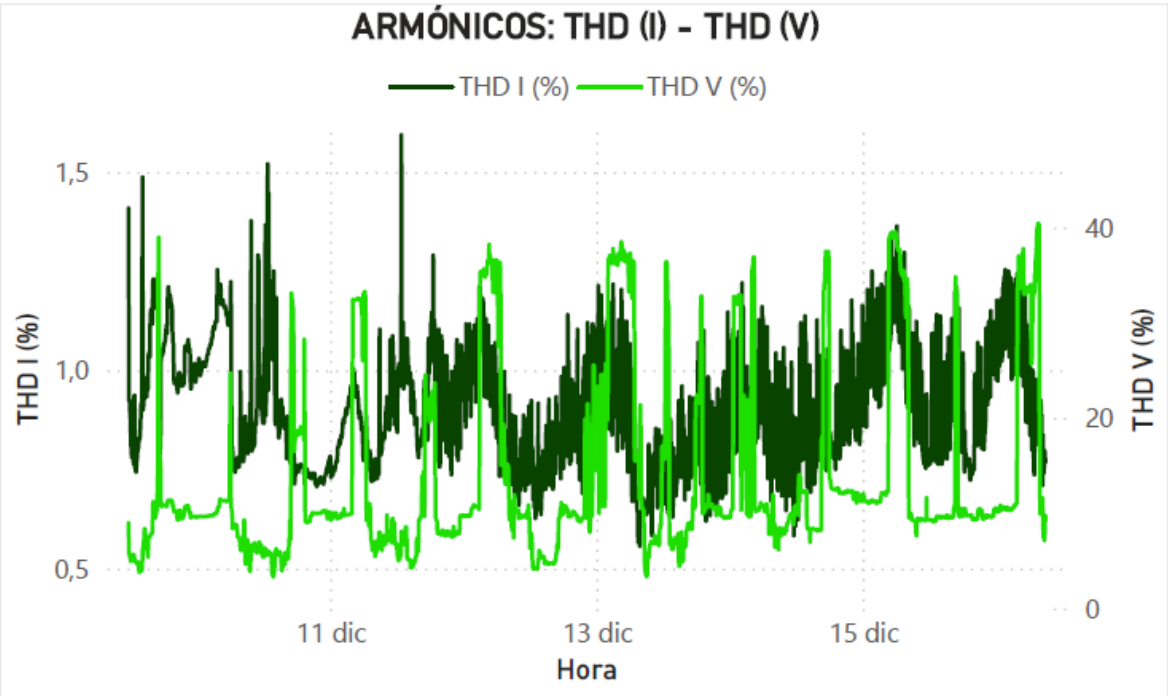


*Figura 13. Valores promedios de THD(I) y THD(V) – **Sede Principal**.*

Sede 2

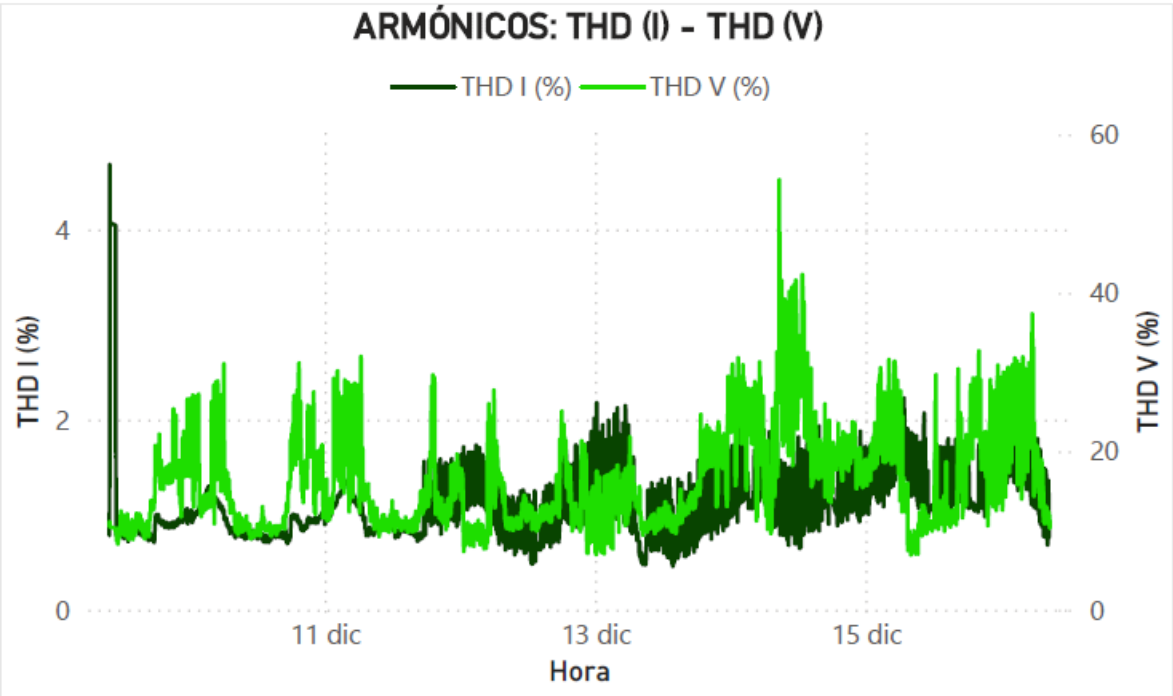


*Figura 14. Valores promedios de THD(I) y THD(V) – **Sede 2**.*

Finca Repelón

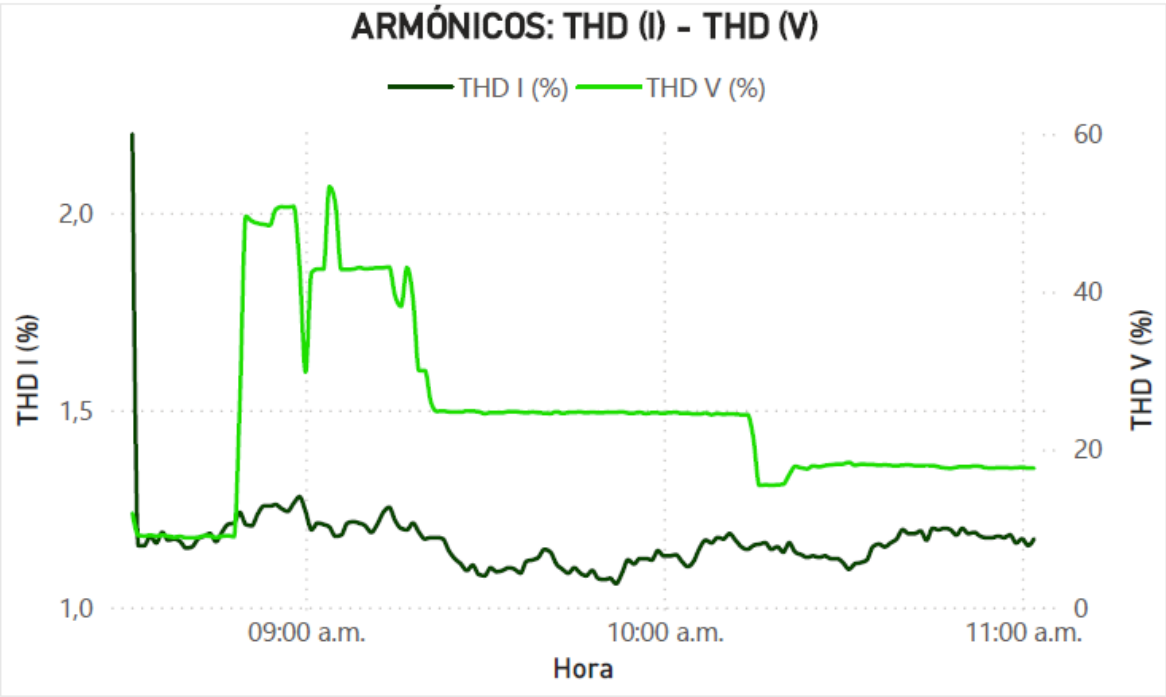


*Figura 15. Valores promedios de THD(I) y THD(V) – **Finca Repelón**.*

2. Conclusiones

- Desbalance de corriente: Las sedes auditadas presentan desbalances de corriente superiores al 10% recomendado por el RETIE, con promedios de 31,48% (Sede Principal), 30,53% (Finca Repelón) y 19,63% (Sede 2). Esto puede ocasionar sobrecargas, calentamiento y reducción en la vida útil de los equipos eléctricos.

- Armónicos de corriente: Los armónicos de corriente superan los límites normativos, con valores promedios de 24,55% en la Finca Repelón, 16,67% en la Sede Principal y 13,5% en la Sede 2, generando riesgos de calentamiento y afectación en la eficiencia de los equipos.

- Tensión: Aunque las tensiones se mantienen dentro de límites aceptables, se observaron valores elevados de hasta un 12% por encima de la tensión nominal, afectando potencialmente la durabilidad de los equipos.

- Armónicos de tensión: La distorsión armónica de voltaje (THD-V) es baja (promedio de 1,2%), indicando un riesgo mínimo de perturbaciones por este parámetro.