

**Análisis de calidad de producto técnico según la norma ARCERNR 002/20 en la red de bajo voltaje aplicado a una instalación hotelera en la ciudad de Manta**

*Power Quality analysis according to ARCERNR 002/20 standard in the low voltage network of a hospitality installation in Manta*

Dmitri Arpad Dychlis-Andrade<sup>1</sup>, Milton Enrique Moreano-Alvarado<sup>2</sup>

**DOI:** <https://doi.org/10.61236/ciya.v8i2.795>

**RESUMEN:**

El propósito de este trabajo fue analizar las perturbaciones de calidad de producto técnico que se puedan presentar en instalaciones hoteleras de la ciudad de Manta, para lo cual se escogió una reconocida instalación hotelera de la ciudad para realizar un análisis de calidad producto en diferentes puntos del sistema eléctrico de bajo voltaje de esta. El lado secundario de dos de los transformadores de esta instalación fueron los puntos de medida escogidos, y en cada uno de ellos se realizaron mediciones utilizando un equipo analizador de parámetros de calidad de producto técnico debidamente calibrado. Se evaluaron los parámetros de potencia activa, voltaje y corriente para cada punto de medida, y se evaluaron acorde a lo indicado en la normativa ecuatoriana ARCERNR 002/20. Los resultados obtenidos evidenciaron la presencia de desviaciones fuera de norma en uno de los transformadores de la instalación, presentando valores de voltaje superiores al 8% permitido por la normativa. Por otro lado, también se encontraron desviaciones relacionadas a desequilibrios de voltaje, en donde en ambos puntos de medida se evidenciaron valores fuera de normativa. Finalmente, no se encontraron desviaciones significativas en el parámetro de distorsión armónica total (THD) para ambos puntos de medida.

**Palabras claves:** Calidad de energía, calidad de producto técnico.

**Recibido 25 de noviembre de 2023; revisión aceptada 2 de abril de 2024**

**ABSTRACT:**

*The purpose of this research was to analyze the technical product quality disturbances that may occur in hotel facilities in the city of Manta, for that purpose, a recognized hotel facility in the*

---

<sup>1</sup> Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador, [e1315254951@live.ulead.edu.ec](mailto:e1315254951@live.ulead.edu.ec)

<sup>2</sup> Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador, [e1315254951@live.ulead.edu.ec](mailto:e1315254951@live.ulead.edu.ec)

*city was chosen to carry out a power quality analysis at different points of its low-voltage electrical system. The secondary side of two of the transformers in this installation were the chosen measurement points, and they were made at each of them using properly calibrated technical product quality parameter analyzer equipment. The parameters of active power, voltage, and current were evaluated for each measurement point, and they were evaluated according to what is indicated in the Ecuadorian regulations ARCERNNR 002/20. The results obtained showed the presence of non-standard deviations in one of the installation's transformers, presenting voltage values higher than the 8% allowed by the regulations. On the other hand, deviations related to voltage imbalances were also found, where values outside the regulations were evident at both measurement points. Finally, no significant deviations were found in the total harmonic distortion (THD) parameter for both measurement points.*

**Keywords:** *Power Quality, Technical Product Quality*

## **1. INTRODUCCIÓN**

La inclusión de equipos con un alto grado de equipamiento electrónico y con requerimientos prominentes de potencia activa, pueden ocasionar distorsiones en las señales de tensión resultantes finales que se registren en los usuarios y por ende en los equipos de medición [1]. El uso de la electrónica, específicamente de la electrónica de potencia ha traído beneficios como la reducción de partes móviles, reducción del peligro de explosión; sin embargo, también ha traído desventajas tales como la disminución de la calidad del suministro eléctrico, especialmente la distorsión de la forma de onda por los procesos de conmutación que ocurren en estos elementos [2]. Para un correcto funcionamiento de las cargas eléctricas, se requiere principalmente mantener niveles de voltaje o corriente con su onda fundamental lo más estable y sin distorsiones posible [3], [4].

La calidad del producto técnico en términos de energía eléctrica es evaluada en nuestro país por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR) a través de la regulación ARCERNNR 002/20 [5]. Esta regulación tiene como objetivo establecer los indicadores de calidad para los servicios de distribución y comercialización de energía eléctrica en el territorio ecuatoriano, tanto para empresas eléctricas de distribución y consumidores.

Entre los parámetros que evalúa esta regulación y que serán objeto de análisis de este trabajo tenemos:

### 1.1. Nivel de voltaje

Se define con la ecuación 1:

$$\Delta V = \frac{V_K - V_N}{V_N} \cdot 100\% \quad (1)$$

Donde  $V_K$  representa el voltaje medido actualmente en el tiempo presente,  $V_N$  representa el voltaje nominal de la fuente de tensión. Para el caso de redes de bajo voltaje, el índice de desviación permitido es de  $\pm 8\%$ .

### 1.2. Desequilibrio de voltaje

Son desviaciones de voltaje en cada una de las tensiones con respecto del voltaje promedio medido [6]. Se define a través de la ecuación 2.

$$UF = \frac{V_{ns}}{V_{ps}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Donde  $V_{ns}$  representa a voltaje de secuencia negativa y  $V_{ps}$  representa al voltaje de secuencia positiva [7]. Para cualquier nivel de voltaje, el índice de desviación permitido en este parámetro es de 2%.

### 1.2. Distorsión Armónica Total (THD en inglés)

Los armónicos de voltaje, al igual que los armónicos de corriente, son provocados por equipos electrónicos conectados a la red eléctrica, que alteran las ondas fundamentales de corriente y voltaje, dañando equipos como motores eléctricos, transformadores, etc. Se define a través de la ecuación 3.

$$V_{TDH} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} V_n^2}}{V_1} \quad (3)$$

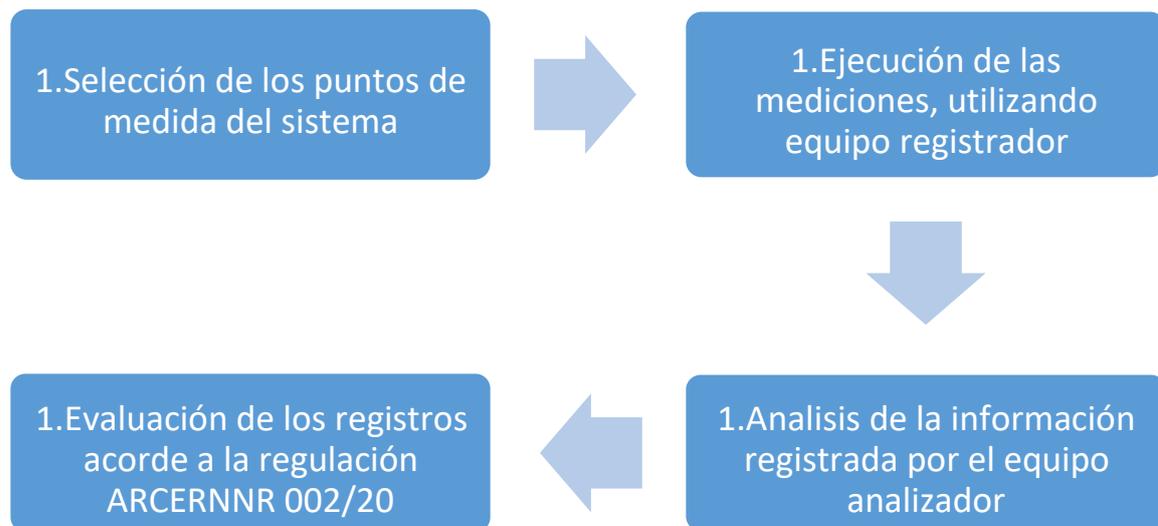
Donde  $V_n$  es el voltaje de valor eficaz de la sumatoria de voltajes de armónicos hasta su periodo determinado,  $V_1$  es voltaje eficaz de la fundamental. La ecuación 3, muestra que  $V_n$  es resultado de sumatoria de armónicos individuales desde 2 hasta el 50. Para el caso de redes de bajo voltaje, el índice de desviación permitido en este parámetro es de 2%.

Con el antecedente expuesto, se plantea como objetivo de este trabajo la evaluación de la calidad del producto técnico, tomando como referencia los límites establecidos en la regulación ARCERNR 002/20. Cada una de las mediciones planteadas se realizarán durante un periodo

de siete días, para posteriormente analizar los datos medidos y establecer el cumplimiento o no de cada uno de los parámetros planteados previamente. El cumplimiento de los parámetros se establece cuando el 95% de los registros de medida se encuentran dentro de los límites establecidos para cada uno de ellos.

## 2. METODOLOGIA

La metodología aplicada para la realización de este trabajo se detalla a en figura 1. Para cada uno de los puntos de medida y para cada parámetro de estudio se aplicó la misma metodología.



**Figura 1.** Metodología aplicada para la ejecución del estudio

Dentro de esta metodología, la selección de los puntos de medición constituye una etapa importante que permitirá evaluar los parámetros de calidad de producto en dichos puntos. De acuerdo con la normativa, para el caso de usuarios finales las medición y registro de datos se realizará en los puntos mas cercanos a los puntos de entrega. En el caso específico de la instalación hostelera de estudio, el punto de entrega es a nivel de medio voltaje, pero en vista de la dificultad de encontrar un equipo de medición a ese nivel de voltaje se decidió por realizar la medición en los bornes del secundario de dos de los transformadores que posee la instalación.

Las características de los transformadores en los cuales se llevaron a cabo las mediciones se detallan a continuación:

- Transformador 1: 400KVA de potencia nominal con relación de 13,8KV/ 0,44KV.
- Transformador 2: 500KVA de potencia nominal con relación de 13,8KV/ 0,60KV.

En la figura 2, se detalla el diagrama unifilar a nivel de transformadores en el sitio de estudio.

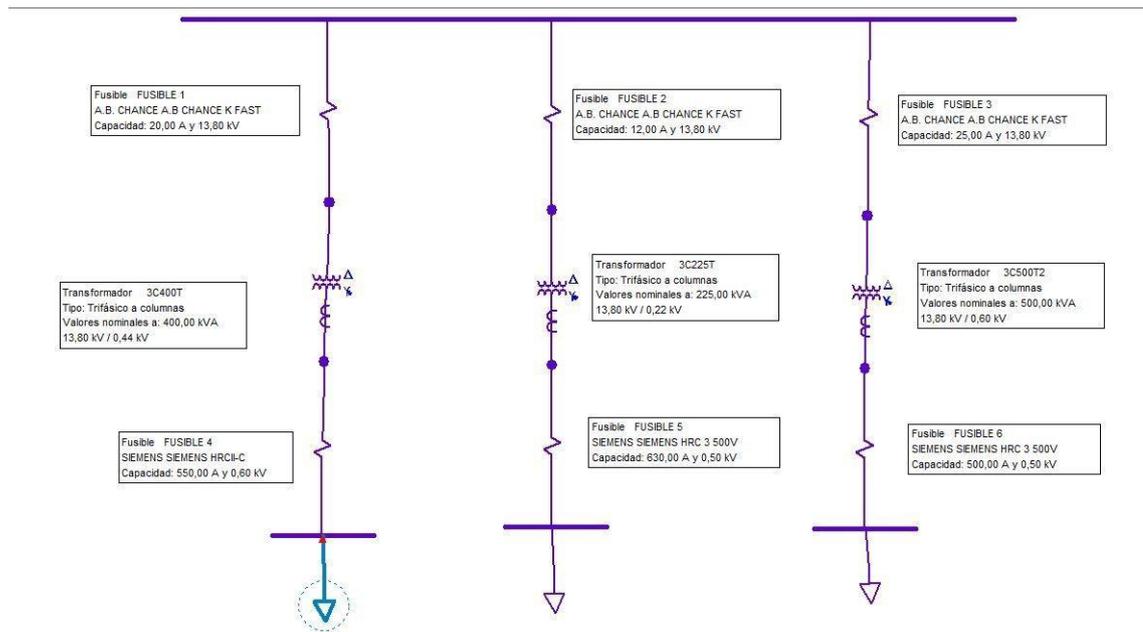


Figura 2. Diagrama unifilar del sistema eléctrico de la instalación.

### 3. ANALISIS DE RESULTADOS

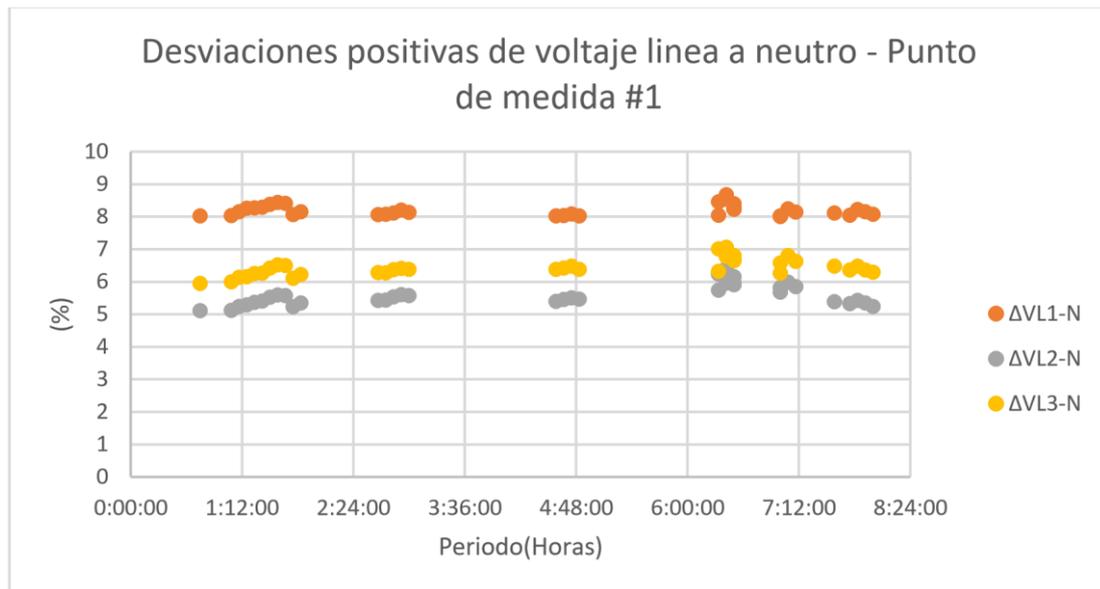
En este apartado se mostrarán los resultados encontrados en las mediciones realizadas a los dos puntos de medida descritos anteriormente. Cabe mencionar que ambos puntos de medida son del tipo trifásico – configuración en estrella en bajo voltaje. El equipo analizador requirió de tres señales de voltaje para cada una de las fases (L1, L2 y L3), una para el neutro y otra de conexión a tierra. La cantidad de señales de corriente es la misma, exceptuando la señal de la conexión a tierra.

#### 3.1. Registro de mediciones punto de medida 1: Transformador de 400KVA

A continuación, se mostrarán los resultados encontrados durante el periodo de medición de 7 días y en los parámetros indicados previamente.

##### 3.1.1. Niveles de voltaje

Los niveles de voltaje línea a neutro se muestran en magnitud porcentual, puesto que es más sencillo referenciar elevación o reducción porcentual con respecto a valores nominales de voltaje, y así evitar confusiones. Tal y como se visualiza en la figura 3, se evidencian desviaciones positivas en los valores de voltaje línea a neutro en este punto de medida, específicamente en una la fase 1 con desviaciones superiores al 8 %.



**Figura 3.** Gráfica de registro de los niveles de voltaje en el punto de medida 1 (Valores máximos de cada fase).

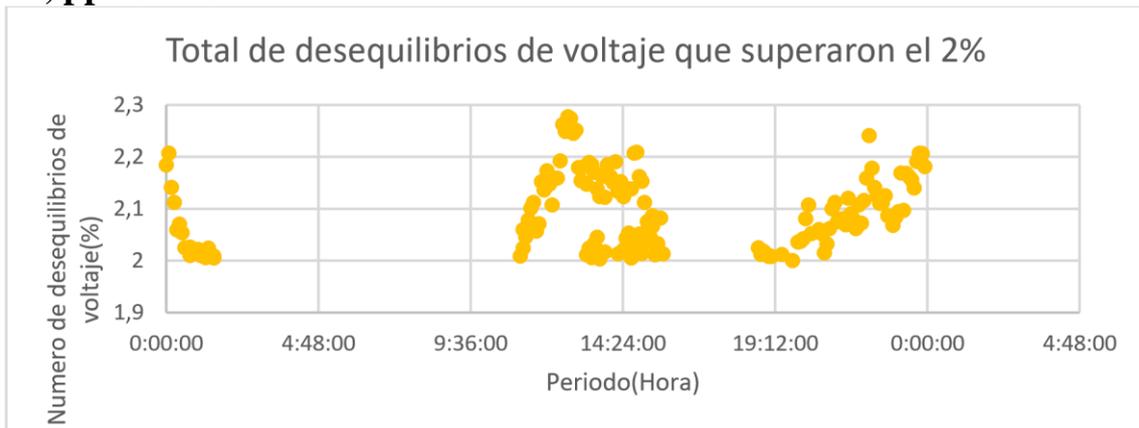
Para verificar el cumplimiento del indicador con respecto a la regulación, se procede a realizar el análisis del percentil 95 para el total del registro de este parámetro. De acuerdo con la tabla 1, el 95% de los registros de voltaje del punto de medida 1 se encuentran dentro del 8% establecido en la regulación, por lo que se considera el cumplimiento del parámetro de nivel de voltaje en este punto de medida.

**Tabla 1.** Análisis del percentil 95 de los registros de voltaje del punto de medida 1.

valores 95%			
<b>V1-N</b>	273,6296	<b>ΔV1-N</b>	7,62285
<b>V2-N</b>	266,8731	<b>ΔV2-N</b>	4,96565
<b>V3-N</b>	269,16145	<b>ΔV3-N</b>	5,86575

### 3.1.2. Desequilibrio de voltaje

Los desequilibrios de voltaje fueron de las incidencias de eventualidades que ocurrieron con más frecuencia en este punto de medida, debido principalmente a una mayor concentración de cargas conectadas unas fases con respecto a las otras. Tal y como se visualiza en la figura 4, se evidencian registros por encima del 2% permitido por regulación. Cabe recalcar, que estos desequilibrios aparecen principalmente en horarios laborables, tanto por la mañana como por la noche.



**Figura 4.** Gráfica de dispersión de desbalance de voltaje en el punto de medida 1.

Para verificar el cumplimiento del indicador con respecto a la regulación, se procede a realizar el análisis del percentil 95 para el total del registro de este parámetro. De acuerdo con la tabla 2, el 95 % de los registros de desequilibrio de voltaje del punto de medida 1 se encuentran fuera del 2% establecido en la regulación, por lo que se considera el no cumplimiento del parámetro de desequilibrio de voltaje en este punto de medida.

**Tabla 2.** Análisis del percentil 95 de los registros de desequilibrio de voltaje del punto de medida 1.

<b>Desequilibrio de tension Valor a</b>	
<b>95%</b>	<b>2,03155</b>

### 3.1.3. Distorsión Armónica Total

La evaluación preliminar realizada sobre este parámetro durante los tres periodos del día (mañana, tarde y noche) de un día típico, no arrojo ningún tipo de desviación anormal y estas se encontraban dentro del rango establecido en la regulación. De acuerdo con las figuras 4,5 y 6, el % de distorsión armónica total registrado en diferentes periodos del día fluctúa entre el 2% al 3.2%.

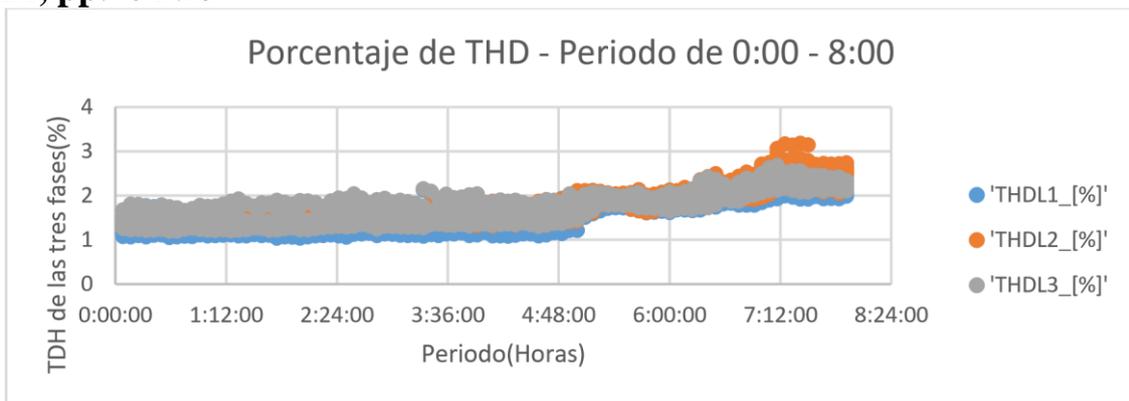


Figura 5. Distorsión Armónica de Voltaje en el periodo de 00:00 a 08:00 am – día típico.

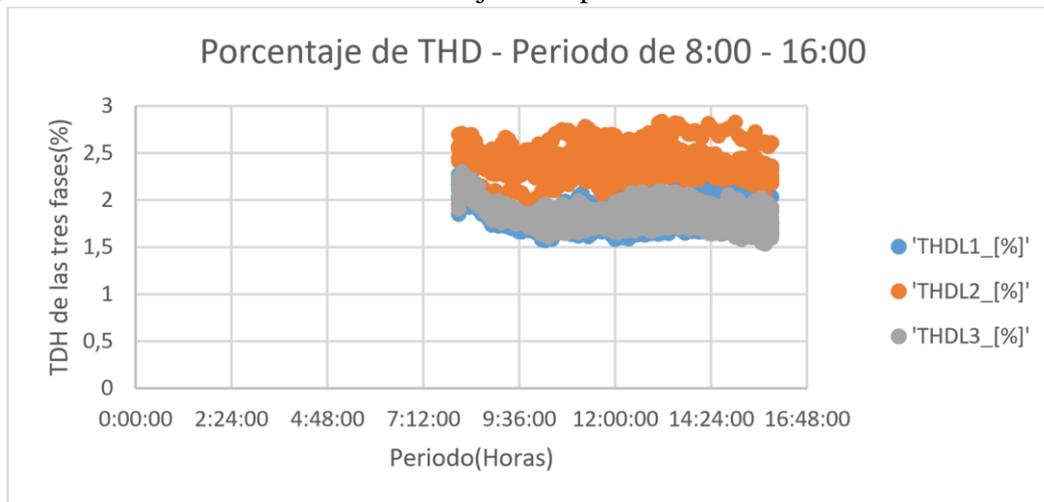


Figura 6. Distorsión Armónica de Voltaje en el periodo de 08:00 a 16:00 pm – día típico.

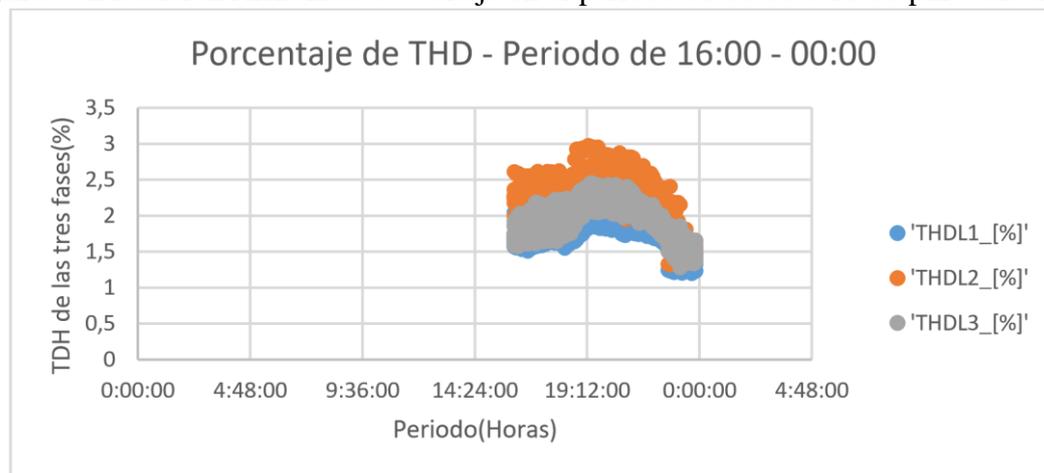


Figura 7. Distorsión Armónica de Voltaje en el periodo de 16:00 a 00:00 am – día típico.

Para verificar el cumplimiento del indicador con respecto a la regulación, se procede a realizar el análisis del percentil 95 para el total del registro de este parámetro. Se pudo evidenciar del análisis de los registros que el 95% de los registros de THD de voltaje del punto de medida 1 se

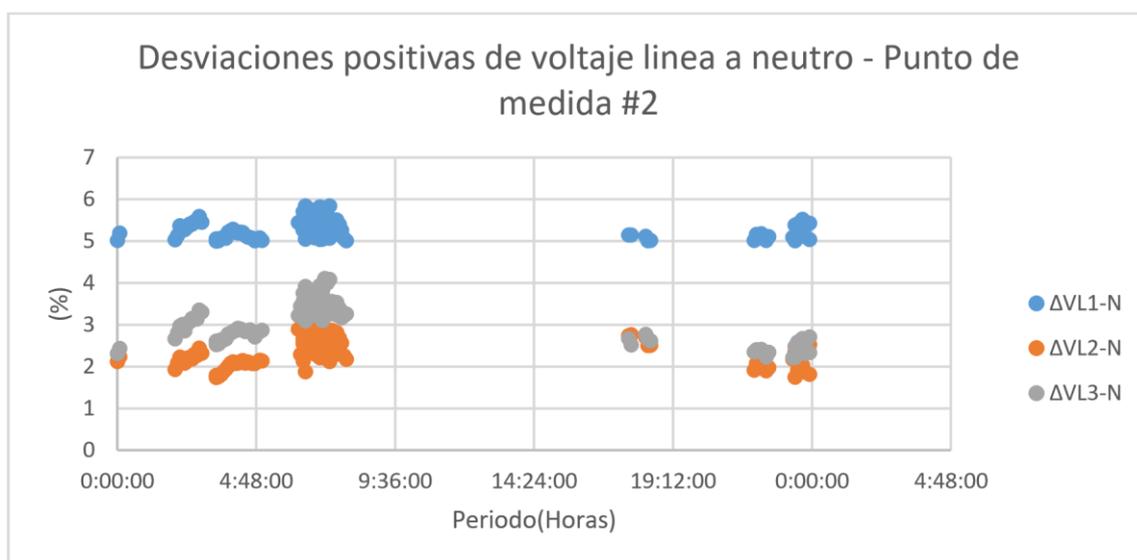
encuentran dentro del 8 % establecido en la regulación, por lo que se considera el cumplimiento del parámetro de distorsión armónica total de voltaje en este punto de medida.

### 3.1. Registro de mediciones punto de medida 2: Transformador de 500 KVA

A continuación, se mostrarán los resultados encontrados durante el periodo de medición de 7 días y en los parámetros indicados previamente.

#### 3.1.1. Niveles de voltaje

Al igual que en el análisis del punto de medida 1, los niveles de voltaje línea a neutro se muestran en magnitud porcentual, puesto que es más sencillo referenciar elevación o reducción porcentual con respecto a valores nominales de voltaje, y así evitar confusiones. Tal y como se visualiza en la figura 8, no se evidencian desviaciones significativas de este parámetro para ninguna de las fases y el total del periodo de estudio.



**Figura 8.** Gráfica de registro de los niveles de voltaje en el punto de medida 2 (Valores máximos de cada fase).

Para verificar el cumplimiento del indicador con respecto a la regulación, se procede a realizar el análisis del percentil 95 para el total del registro de este parámetro. De acuerdo con la tabla 19, el 95% de los registros de voltaje del punto de medida 2 se encuentran dentro del 8% establecido en la regulación, por lo que se considera el cumplimiento del parámetro de nivel de voltaje en este punto de medida.

Tabla 3. Análisis del percentil 95 de los registros de voltaje del punto de medida 2

valores 95%			
V1-N	364,2067	$\Delta V1-N$	5,072
V2-N	354,1517	$\Delta V2-N$	2,1717
V3-N	356,4417	$\Delta V3-N$	2,8322

### 3.2.2 Desequilibrio de voltaje

Al igual que en el análisis del punto de medida 1, los desequilibrios de voltaje también fueron evidentes en este punto de medición, llegando inclusive a incrementarse la frecuencia de su aparición a lo largo del día. Tal y como se visualiza en la figura 9, se evidencian registros por encima del 2% permitido por regulación. Cabe recalcar, que estos desequilibrios aparecen principalmente en horarios laborables, tanto por la mañana como por la noche.

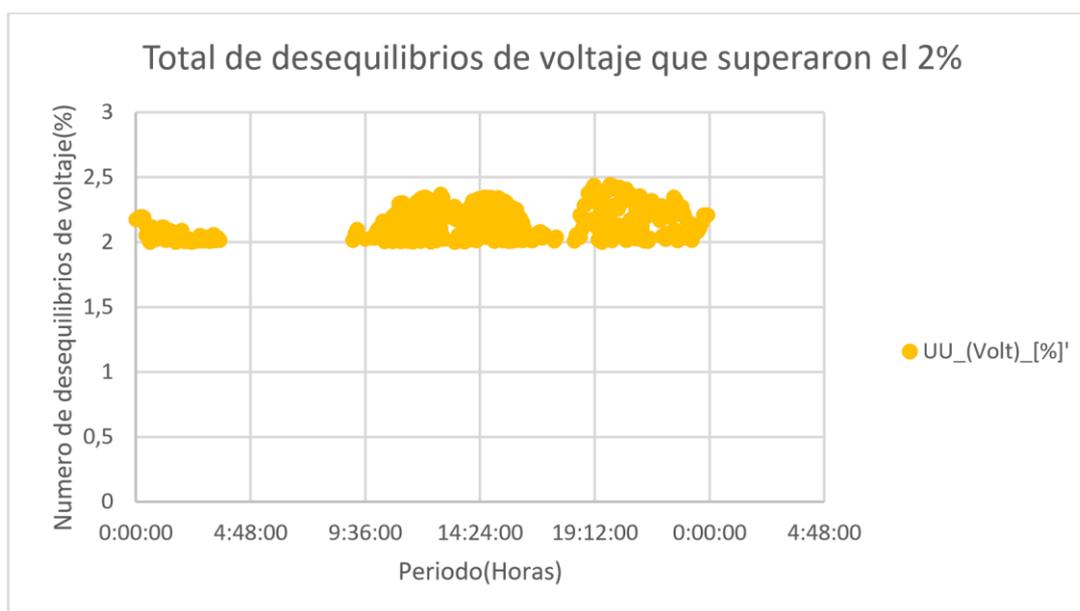


Figura 9. Gráfica de dispersión de desbalance de voltaje en el punto de medida 2.

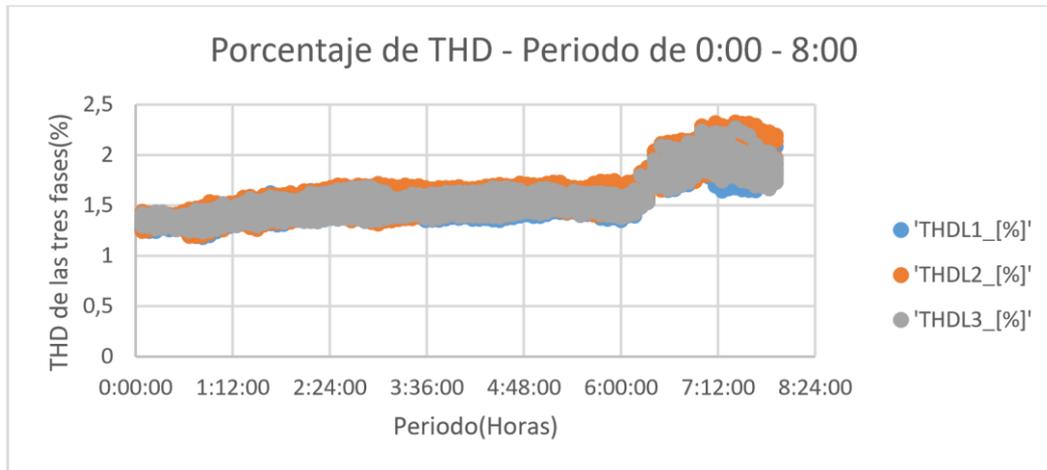
Para verificar el cumplimiento del indicador con respecto a la regulación, se procede a realizar el análisis del percentil 95 para el total del registro de este parámetro. De acuerdo con la tabla 21, el 95 % de los registros de desequilibrio de voltaje del punto de medida 1 se encuentran fuera del 2 % establecido en la regulación, por lo que se considera el no cumplimiento del parámetro de desequilibrio de voltaje en este punto de medida.

Tabla 4. Análisis del percentil 95 de los registros de desequilibrio de voltaje del punto de medida 2.

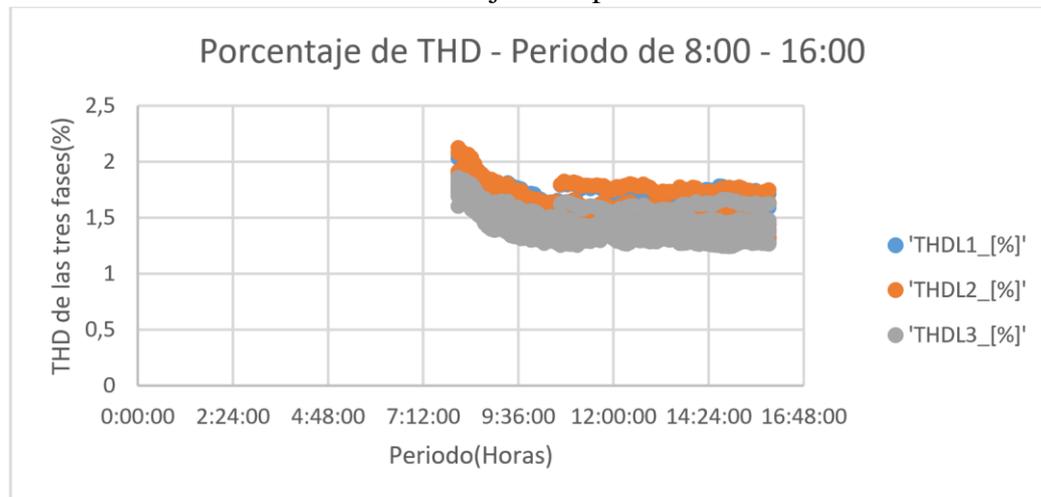
Desequilibrio de voltaje	
Valores a 95%	2,2615726

### 3.2.3 Distorsión Armónica Total

La evaluación preliminar realizada sobre este parámetro durante los tres periodos del día (mañana, tarde y noche) de un día típico, no arrojo ningún tipo de desviación anormal y estas se encontraban dentro del rango establecido en la regulación. De acuerdo con las figuras 10,11 y 12, el % de distorsión armónica total registrado en diferentes periodos del día fluctúa entre el 1.4% al 2.5%.



**Figura 10.** Distorsión Armónica de Voltaje en el periodo de 00:00 a 08:00 am – día típico



**Figura 11.** Distorsión Armónica de Voltaje en el periodo de 08:00 a 16:00 pm – día típico

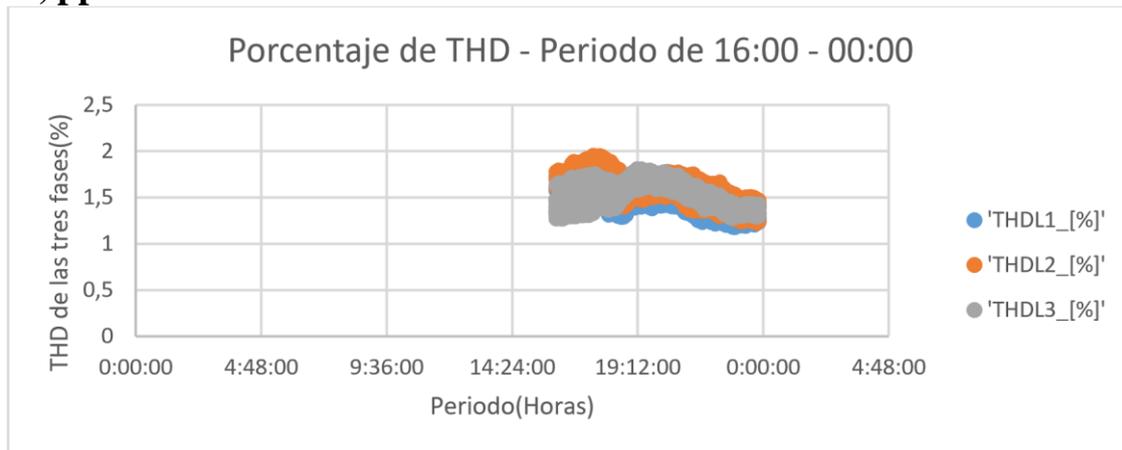


Figura 12. Distorsión Armónica de Voltaje en el periodo de 16:00 a 00:00 am – día típico

#### 4. CONCLUSIONES

- De todos los parámetros analizados, el desequilibrio de voltaje para ambos puntos de medida fue el único que registra NO CUMPLIMIENTO de los índices establecidos en la normativa ARCERNR 002/20. Las causas principales de desequilibrios de voltaje están relacionadas con un inadecuado balance de las cargas en cada una de las líneas del sistema eléctrico. En el caso particular de la instalación, el desbalance es notorio en una de las tres líneas del sistema trifásico en comparación con las dos restantes.
- En relación con el mismo parámetro anterior, se evidenció que las incidencias de desequilibrio de voltaje son mayores en el punto de medida 2 en comparación con el punto de medida 1. Es importante que se mantengan los índices de desequilibrio de ambos transformadores dentro de lo indicado en la regulación.
- A pesar de que los niveles de voltaje se encuentran dentro de los rangos permisibles por normativa, si se evidenció una desviación de alrededor de 3 puntos porcentuales entre una línea con respecto a las dos restantes, esto último como consecuencia del propio desequilibrio de voltajes mencionados en los apartados anteriores. Además del balance de carga recomendado previamente, es importante que se analice el sistema eléctrico de bajo voltaje y se realice un análisis de caída de voltaje en diferentes puntos del sistema, y así mantener lo mas bajo posible el nivel de voltaje en cualquier punto en comparación el voltaje nominal.
- La distorsión armónica total de ambos puntos de medida evidencia valores muy por debajo del 8% establecido por la regulación. Por lo general, este tipo de instalaciones no dispone de equipamiento que distorsione la onda fundamental, tales como hornos de arco, equipos con alta carga de electrónica de potencia, entre otros.

**5. BIBLIOGRAFIA**

1. S., Chattopadhyay, M., Mitra & S. Sengupta. “Electric power quality”. Springer. 1era edición. Vol. 1, pp. 14. Pune, Maharashtra, India. ISBN: 978-94-007-0634-7. 2011.
2. D. H., Cárdenas Villacrés, C. F., Chávez Córdova, N. R. “Estabilidad de Voltaje en Redes de Distribución Eléctrica Monofásicas de Medio Voltaje, Aplicando Reguladores Quick Drive Tap en Estado Estable”. *INGENIO*. Vol. 4, pp. 17 - 26. 2021. ISSN: 2697-3243, 2588-0829 . DOI: 10.29166/ingenio.v4i1.3067 .
3. Barry W., Kennedy. “Power Quality Primer”. McGraw-Hill. 1era edición. Vol. 1, pp. 4 - 6. Portland, Oregon, U.S.A., DOI: 10.1036/0071344160. 2000.
4. J., Schlabbach, D., Blume, T., Stephanblome. “Voltage Quality in Electrical Power Systems”. The Institution of Engineering and Technology(IET). 1era edición. Vol. 36, pp. 123 - 126. Londres, Reino Unido. ISBN: 0 85296 975 9. 2001.
5. Math H. J. Bollen. “UNDERSTANDING POWER QUALITY PROBLEMS Voltage Sags and Interruptions”. IEEE Press. 1era edición., pp. 7 - 9. New York, Estados Unidos. ISBN: 0-7803-4713-7. 2000.
6. Moreano-Alvarado, M. “El Uso Racional de la Energía y su relación con la Calidad de Suministro”. Artículo que forma parte del libro “Energía, Gobernanza y Sostenibilidad”. UJED Editorial, Primera edición, pp 93-114, 2015, ISBN 978-607-503-177-4.
7. Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR). “Regulación 002/20 – Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”. 2017