



PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Título:

Calidad de la energía del suministro eléctrico del Transformador 500 kVA del área de Jabonería.

Autores:

Luis José Rodríguez
Juan David Vega
Víctor Palencia Escobar
Fabian Rodríguez

Asignatura:

Análisis de calidad de la energía

UNIVERSIDAD DE LA COSTA - 2021



Programa de Ingeniería Eléctrica

Asignatura: Análisis de calidad de la energía

Autores:

Luis José Rodríguez, Juan David Vega, Víctor Palencia Escobar, Fabian Rodríguez

Título: Calidad de la energía del suministro eléctrico del Transformador 500 kVA del área de Jabonería.

PREGUNTA RETO: *¿Cuáles son las condiciones de la calidad de la energía del suministro eléctrico industrial de una empresa alimenticia y de aseo después de la instalación de nuevos equipos?*

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio de calidad de energía para la empresa (Transformador de 500 kVA – área de jabonería), es con la finalidad de conocer el comportamiento actual del sistema eléctrico y recomendar soluciones a los problemas de calidad encontrados.

Las mediciones fueron realizadas en un periodo de 24 horas, con un analizador de red marca Fluke 1735. Se analizaron los parámetros de tensión, corriente, potencia, factor de potencia, distorsión armónica en tensión y distorsión armónica en corriente, encontrándose comportamientos diferentes para las mediciones consideradas, debido principalmente al tipo de carga instalada.

El estudio muestra las conclusiones sobre las medidas tomadas, recomendando el sistema de protección más adecuado para la solución de los problemas encontrados en la carga instalada.

Las mediciones fueron tomadas siguiendo las normativas vigentes estipuladas en la IEEE-1159 del 2009, IEEE-519 del 2014, NTC-1340 del 2013 y NTC-5001 del 2008.

II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Pasos ejecutados en el desarrollo del estudio.

A continuación se describen los pasos aplicados para el análisis de calidad de la energía en el circuito objeto de estudio:

1. Obtención de los gráficos del comportamiento de los parámetros siguientes con los límites establecidos por las normas y la capacidad del transformador:
 - Tensiones de línea.
 - Variación de tensión
 - Desequilibrio de tensión
 - Corriente de línea

- Desequilibrio de corriente
 - Potencia
 - Factor de potencia
 - Armónicos de tensión y corriente.
2. Interpretación de los resultados.
 3. Identificación de problemas.
 4. Propuestas de soluciones.

2.2. Definición de calidad de la energía y problemas de calidad de la energía.

Calidad de la energía

- Amplia variedad de fenómenos electromagnéticos, que caracterizan la *tensión* y la *corriente* durante un *determinado tiempo*, en un *lugar específico* del sistema de potencia.

Problema de calidad de la energía

- Cualquier *problema de potencia* manifestado en *desviaciones* de la *tensión*, *corriente*, o *frecuencia*, que produce la *falla* o *mala operación* de los *equipos* de los consumidores.

2.3. Variaciones de tensión de corta duración

- Causadas por condiciones de fallas, energización de grandes cargas que demandan una elevada corriente de arranque, conexiones intermitentes en los conductores y el cableado, etc.
- Dependiendo de la localización y de las condiciones en el sistema, estas fallas pueden causar caídas de tensión temporales (valles), elevaciones de tensión (crestas), o pérdidas totales de tensión (interrupciones).
- Su duración es inferior a un minuto.

Valles (sag o dip)

- Reducción del valor r.m.s. de la tensión o la corriente del sistema entre 0.1 y 0.9 p.u. por una duración de 0.5 ciclo a un minuto.
- Su descripción se realiza en términos de la profundidad o magnitud y su duración.
- En los sistemas industriales son normalmente asociados a la conexión de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y la desconexión de banco de capacitores.
- La duración de los valles se subdivide en tres categorías; *Instantáneo*, *Momentáneo* y *Temporal*.

Cresta (swell)

- Se define como un incremento del valor r.m.s. de tensión o la corriente de un sistema entre 1.1 p.u. y 1.8 p.u. con una duración desde 0.5 ciclo a un minuto.
- Una forma típica de cresta es la elevación temporal de tensión en las fases no falladas durante una falla de línea a tierra.
- También pueden ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores.

Interrupción

- Ocurre cuando la fuente de tensión o la corriente de la carga disminuye a menos de 0.1 p.u. por un periodo de tiempo que no excede un minuto.
- Pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados y mal funcionamiento de los sistemas de control.
- Son medidas por su duración ya que la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10% de la tensión nominal.
- Algunas interrupciones son precedidas por un valle de tensión cuando son debidas a causas en el sistema. Este valle ocurre durante el tiempo en que se inicia la falla y la operación del dispositivo de protección.

2.4. Variaciones de tensión de larga duración

Las variaciones de larga duración se clasifican en sobre tensión, baja tensión, e interrupciones sostenidas.

La sobre tensión y la baja tensión generalmente no son el resultado de fallas en el sistema.

Estos pueden ser causados por variaciones de la carga u operaciones de conexión y desconexión. Son típicamente registradas cuando se monitorea el valor r.m.s. de la tensión contra el tiempo.

Sobretensión

- Incremento en el valor r.m.s. de la tensión superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.
- Usualmente es el resultado de desconexiones de grandes cargas o debido a conexiones de bancos de capacitores.
- Ocurre cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.

- La incorrecta selección de los taps en los transformadores puede ocasionar sobretensión en el sistema.

Baja tensión.

- Reducción en el valor r.m.s. de tensión a menos del 90% del valor nominal por una duración mayor de un minuto.
- La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores puede causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo.
- Los circuitos sobrecargados pueden producir baja tensión en los terminales de la carga.
- Taps de los transformadores incorrectos.

Sobre carga de corriente

Corriente excesiva en relación con la corriente nominal de operación.

Se presenta en los conductores y en otros componentes de un sistema de distribución.

En la mayoría de las veces, son más frecuentes entre un rango de una a seis veces el nivel de corriente nominal.

Son causadas por aumentos temporales de corriente y ocurren cuando los motores arrancan o cuando se energizan los transformadores.

Las corrientes de sobrecarga (o transitorias) son de ocurrencia normal. Debido a su corta duración cualquier aumento de temperatura es trivial y no tiene efecto dañino sobre los componentes del circuito.

Es importante que los dispositivos de protección no reaccionen a este tipo de corrientes.

Las sobrecargas continuas pueden ser causadas por motores defectuosos (tales como rodamientos del motor desgastados), equipos sobrecargados o demasiadas cargas a un solo circuito.

Estas sobrecargas son destructivas y deben ser cortadas por los dispositivos de protección antes que dañen el sistema de distribución o afecten el sistema de cargas.

Son de magnitud relativamente bajas comparadas con las corrientes de cortocircuito, las cuales, deben cortarse en milisegundos para prevenir daños al equipo.

2.5. Desequilibrio de tensión

Este fenómeno se pone de manifiesto cuando las tensiones o corrientes de línea difieren en magnitud, o no estén desfasadas 120 grados eléctricos entre sí.

El desequilibrio en un sistema trifásico se define como la relación entre la magnitud de la componente de secuencia negativa y la magnitud del componente de secuencia positiva, expresada como un porcentaje.

Esta definición puede ser aplicada para tensión o corriente.

Típicamente, el desequilibrio de tensión de un servicio trifásico es menor que 2%.

El desequilibrio de corriente puede ser considerablemente mayor, especialmente cuando hay cargas monofásicas presentes. Matemáticamente, el desequilibrio de tensión está representado por la ecuación siguiente:

La NEMA MG1 establece el funcionamiento normal del motor para un $PVU \leq 1\%$.

Si $1\% \leq PVU \leq 5\%$ sugiere que se desclasifique la potencia nominal de motor según la figura:

Causas del desequilibrio de tensión

- Fuente de suministro inestable o desequilibrada.
- Desigual distribución de las cargas, predominando las cargas monofásicas.
- Transposición incompleta de las líneas.
- Ruptura de un fusible en un banco de capacitor trifásico.
- Transformadores conectados en bancos asimétricos, en especial en delta abierta.
- Fallas monofásicas a tierra no identificadas.
- Desperfectos en los empalmes, uniones o contactos.

Efectos del desequilibrio

- Aumentan las pérdidas de energía y el costo para suministrar un kWh.
- Aumento de la demanda.
- Distorsión del factor de potencia real.
- El desequilibrio de las corrientes es superior al desequilibrio de tensión.
- Dificultades en el ajuste de las protecciones.
- Reducción de la capacidad efectiva instalada.
- Depreciación de la potencia que puede desarrollar o pérdida de vida útil.
- Aumenta el calentamiento y se reduce la eficiencia.
- Reducción del momento de arranque y el momento máximo.
- Aumenta el deslizamiento.

- Asimetría en las corrientes y aumento de los kVA necesarios para el arranque.
- Aumento del ruido y las vibraciones principalmente con 120 Hz de frecuencia.

Métodos para el cálculo de variaciones de tensión

$$\text{Variación de tensión (p. u)} = \frac{\text{Tensión medida (V)}}{\text{Tensión nominal (V)}} \quad (1)$$

Métodos para el cálculo de desequilibrio de tensión

$$PVU = \frac{\max[|V_{ab} - V_{proml}|; |V_{bc} - V_{proml}|; |V_{ca} - V_{proml}|]}{V_{proml}} \cdot 100 \quad (2)$$

Definición de armónicos: Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del sistema.

Definición de sub-armónicos: Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del sistema.

Características de los armónicos y sub-armónicos

Las fuentes comunes de corrientes armónicas en los sistemas de potencia incluyen:

- Convertidores electrónicos de potencia.
- Hornos de arco.
- Sistemas VAR estáticos.
- Inversores para generación distribuida.
- Controladores de fase ac.
- Conversores de corriente alterna.
- Convertidores de corriente alterna (rectificadores) (PWM).

Cada uno de estos dispositivos productores de armónicos puede tener características de emisión de corriente armónicas bastante *consistentes* a lo largo del tiempo o cada uno puede presentar una *característica variable* dependiendo del control del dispositivo, las características del sistema y otras variables.

Los convertidores estáticos de energía eléctrica son las mayores cargas no lineales y se utilizan en la industria para una variedad de propósitos, tales como, fuentes de alimentación electroquímicas, accionamientos de velocidad ajustable y fuentes de alimentación ininterrumpidas.

Estos dispositivos son útiles porque pueden convertir: ac a dc, dc a dc, dc a ac, y ac a ac.

Las cargas no lineales cambian la naturaleza sinusoidal de la corriente alterna, dando como resultado el flujo de corrientes armónicas en el sistema de potencia (ac) que puede causar interferencia con circuitos de comunicación y otros tipos de equipo.

Estas corrientes armónicas también conducen a mayores pérdidas y calentamiento en numerosos dispositivos electromagnéticos motores, transformadores, etc.

Cuando se utiliza la compensación de potencia reactiva con condensadores para la mejora del factor de potencia, pueden producirse condiciones resonantes que pueden dar lugar a altos niveles de tensión armónica y distorsión de corriente cuando la condición resonante se produce en un armónico asociado con cargas no lineales.

Efecto de los armónicos

Transformadores: Los armónicos de corriente provocan un incremento en las pérdidas de cobre y en las pérdidas por flujo de dispersión, mientras que los armónicos de tensión producen un incremento en las pérdidas de núcleo. El resultado de estos efectos es un aumento en el calentamiento del transformador.

Cables del sistema de potencia: El flujo de corrientes no sinusoidales, puede provocar un calentamiento adicional, debido al efecto pelicular, el cual es función de la frecuencia

Capacitores: La mayor preocupación ante la presencia de armónicos, radica en la posibilidad del surgimiento de resonancia en el sistema.

Este efecto produce un aumento considerable en los valores de tensión y corriente. La reactancia de un banco de capacitores decrece con la frecuencia, por lo tanto, el banco actúa como un sumidero ante las corrientes de armónicos de orden superior.

Este comportamiento produce sobrecalentamiento y estrés en el dieléctrico, reduciéndose la vida útil del capacitor.

Equipos electrónicos: Son susceptibles a la mala operación causada por la distorsión armónica.

Estos equipos frecuentemente son dependientes de la exactitud en el cruce por cero de la tensión u otros aspectos de la forma de onda de tensión.

La distorsión armónica produce el corrimiento del cruce por cero de la tensión o del punto en que una fase de la tensión comienza a ser mayor que otra fase.

Estos dos puntos son críticos para muchos tipos de circuitos electrónicos de control y su desplazamiento produce una mala operación.

Metrocontadores y otros instrumentos de medición: Son afectados por componentes armónicos, particularmente si existen condiciones de resonancia, que producen altos niveles de tensiones y corrientes armónicas en el circuito.

Desconectivos y relevadores: Se ven afectados por el incremento del calor y las pérdidas provocados por las corrientes armónicas, reduciendo la capacidad de conducir corriente en estado estacionario y acortando la vida útil de algunos componentes de aislamiento.

Motores: Los principales efectos de las corrientes y tensiones armónicas, están en el aumento del calentamiento y de las pérdidas, así como el incremento del ruido y las vibraciones.

Esto trae consigo la disminución de la eficiencia de la máquina, reducción del momento desarrollado, y otros efectos negativos.

- Los interarmónicos y los subarmónicos (caso particular de interarmónicos, con frecuencias menores a 60 Hz) pueden ser generados a cualquier nivel de tensión y son transferidos entre niveles, es decir, los interarmónicos generados en alta y media tensión se inyectan en baja tensión y viceversa.
- Su magnitud pocas veces excede el 0,5 del fundamental, pero pueden ocurrir niveles superiores en condiciones de resonancia.
- Sus fuentes básicas son: Dispositivos de arco, accionamientos de velocidad variable, convertidores estáticos (particularmente los de frecuencia directos e indirectos), controles de rizado, motores asincrónicos, señales portadoras (carrier).
- Los interarmónicos pueden también ser causados por oscilaciones que ocurren, por ejemplo, en sistemas con capacitores en serie o en paralelo o donde los transformadores están sujetos a saturación, así como durante los procesos de conmutación.

Métodos para el cálculo de armónicos

$$\text{THDV} = \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}{V_1^2}} \cdot 100 \quad (3)$$

$$\text{TDD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{50} I_k^2}}{I_{\text{máx}}} \quad (4)$$

$$\text{IVD} = \frac{V_k}{V_1} \cdot 100 \quad (5)$$

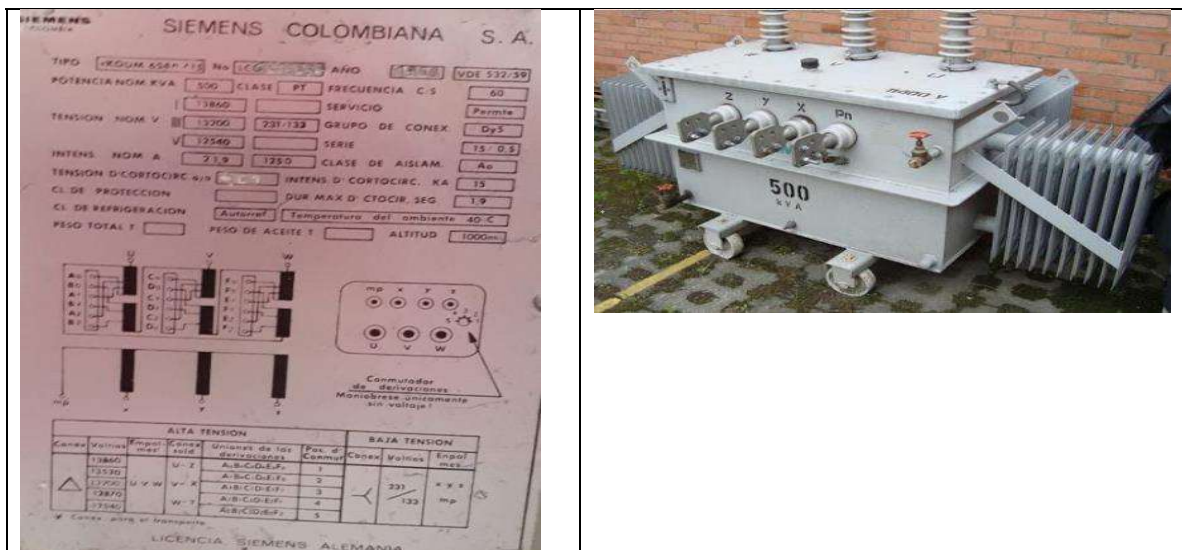
$$ICD = \frac{I_k}{I_1} \cdot 100 \quad (6)$$

$$HVF = \sqrt{\sum_{k=5}^{\infty} \frac{IVD_{pu}^2}{k}} \quad (7)$$

$$K\text{-Factor} = \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{I_k}{I_{rms}} \right)^2 \cdot k^2 \quad (8)$$

III. Resultados.

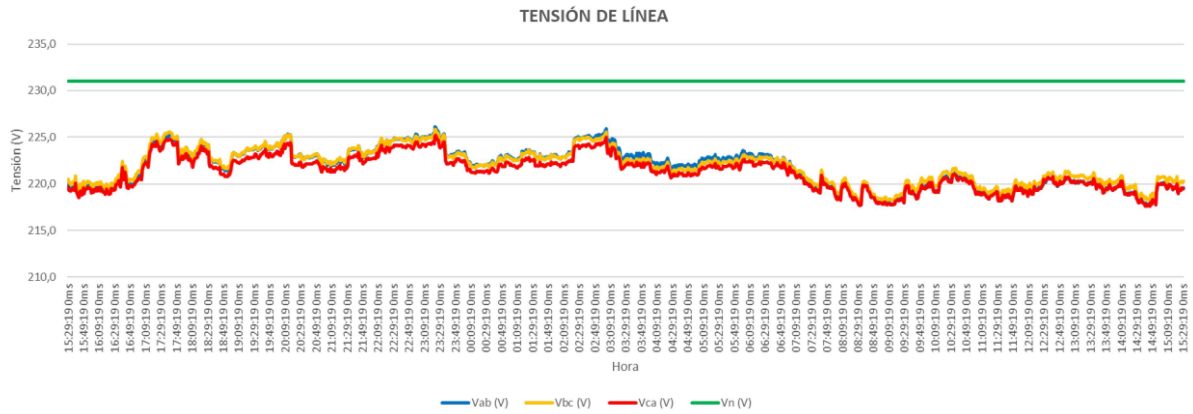
3.1. Datos del transformador:



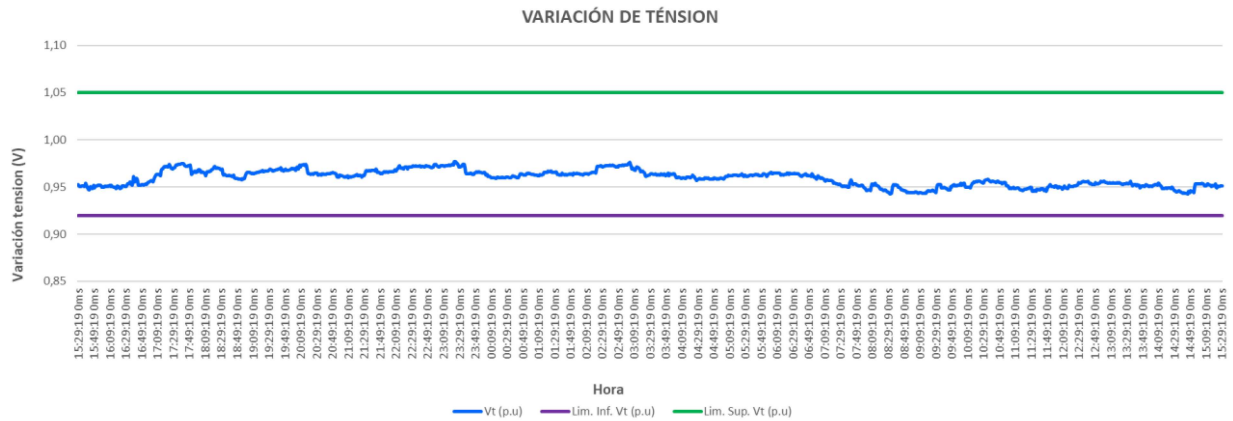
Función	Aceite - Jabonería
Marca	SIMENS
Potencia (kVA)	500
Frecuencia (Hz)	60
Tensión primaria (V)	13200
Corriente primario (A)	21.9
Tensión secundaria (V)	231/133
Corriente secundario (A)	1250

Conexión	DYn5
ICC (kA)	15

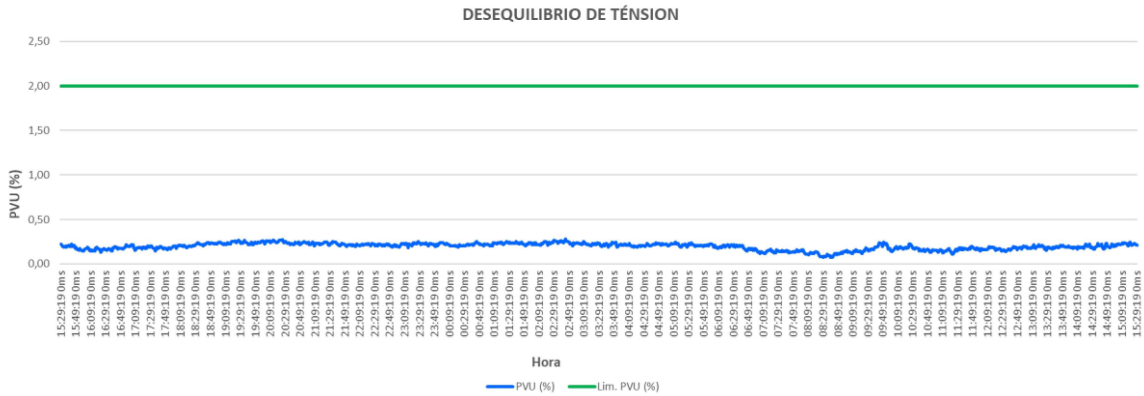
3.2. Gráficos de los parámetros analizados.



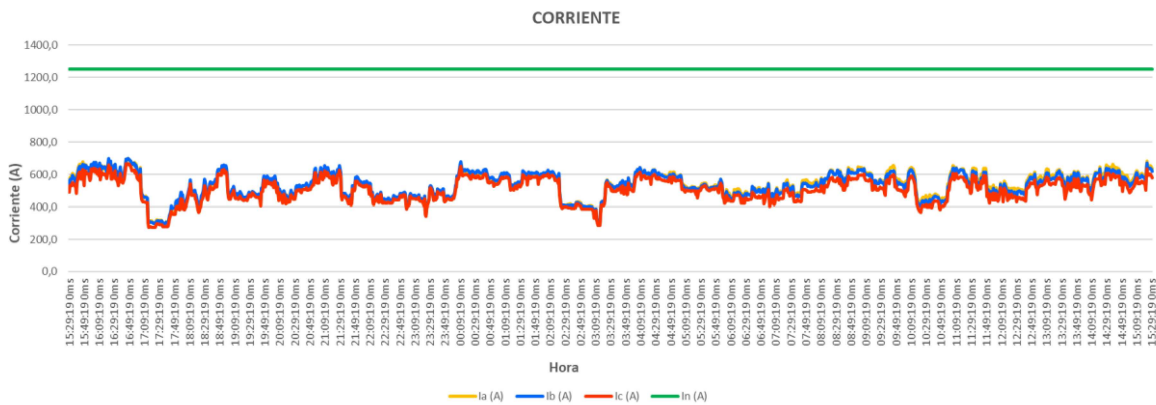
El comportamiento de la tensión promedio es de 225,7 V, valor que se encuentra 2,29% por debajo del valor nominal de 231 V. Es de tener en cuenta que los valores máximos recomendados no deben exceder el 5% de la tensión nominal.



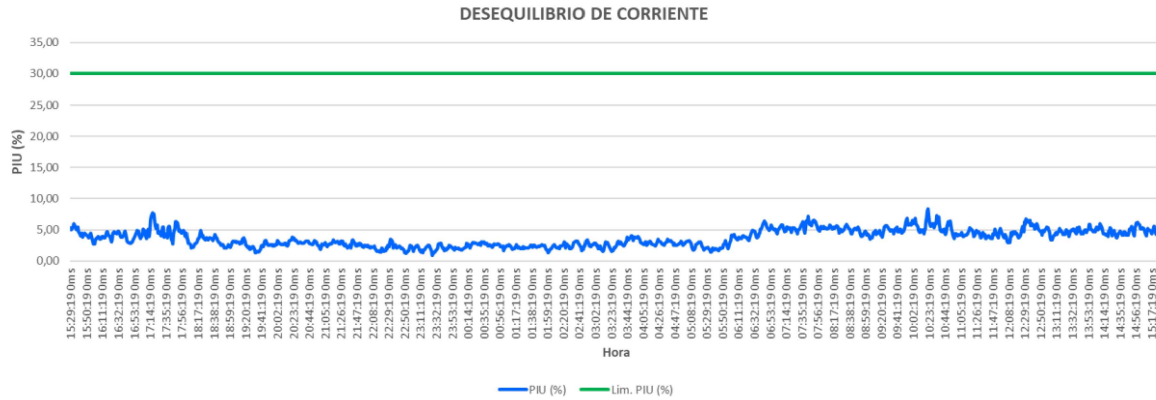
La variación de tensión esta entre los limites normales.



El valor de desequilibrio de tensión promedio durante el período normal de operación fue de 0,20 %, registrando un valor máximo de 0,28 %. En el período completo de monitoreo se registró un valor mínimo de 0,07 %. El valor máximo permitido en un desequilibrio de tensión es del 2%, lo cual indica que se encuentra en un rango normal.



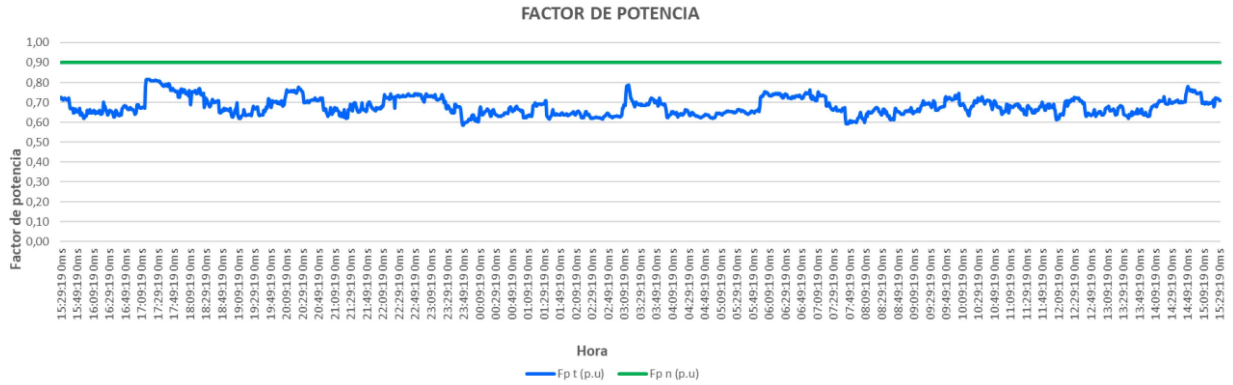
El valor de corriente promedio durante el período normal de operación fue de 524 A, registrando un valor máximo de 688 A. En el período completo de monitoreo se registró una corriente mínima de 288 A



El valor de desequilibrio de corriente promedio durante el período normal de operación fue de 3,67 %, registrando un valor máximo de 8,32 %. En el período completo de monitoreo se registró un valor mínimo de 0,88 %. El valor máximo permitido en un desequilibrio de corriente es del 30%, lo cual indica que se encuentra en un rango normal.



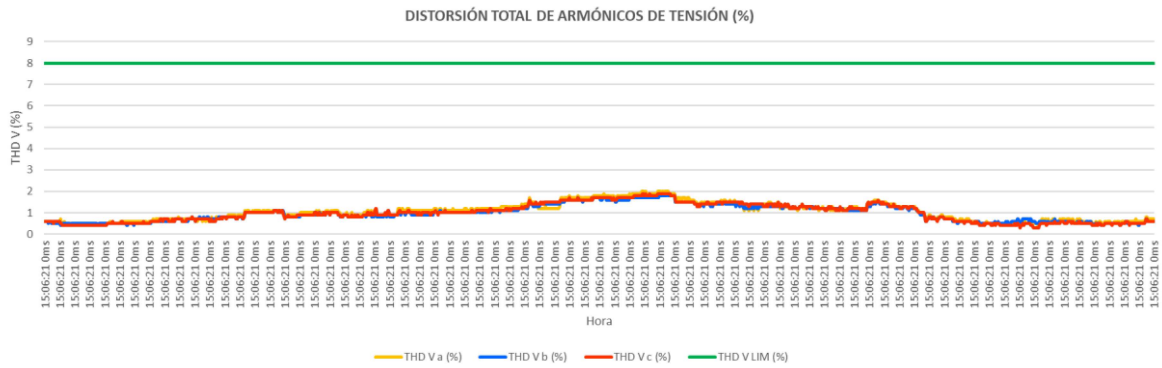
El valor de potencia aparente promedio durante el período de operación normal fue de 201 kVA, registrando un valor máximo de 262 kVA. En el ciclo completo de operación se registró una potencia aparente mínima de 112 kVA. La capacidad máxima del transformador es de 500 kVA.



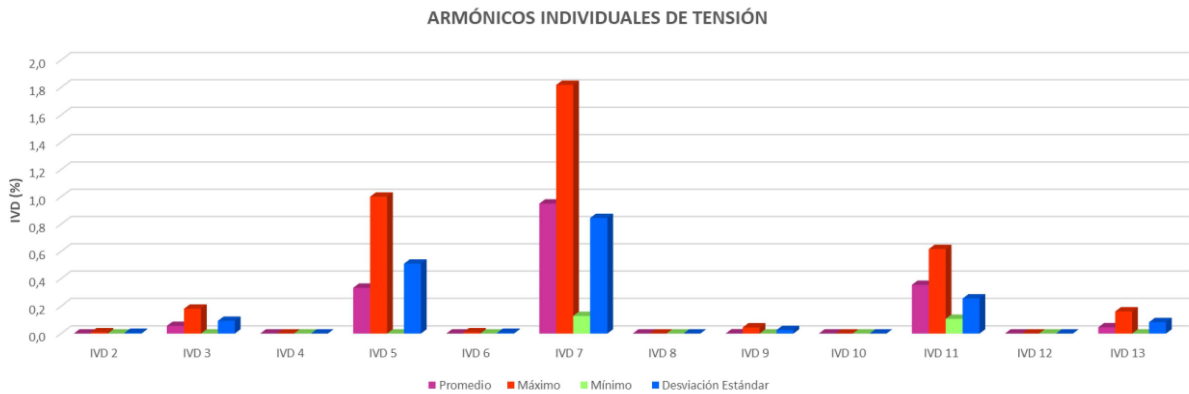
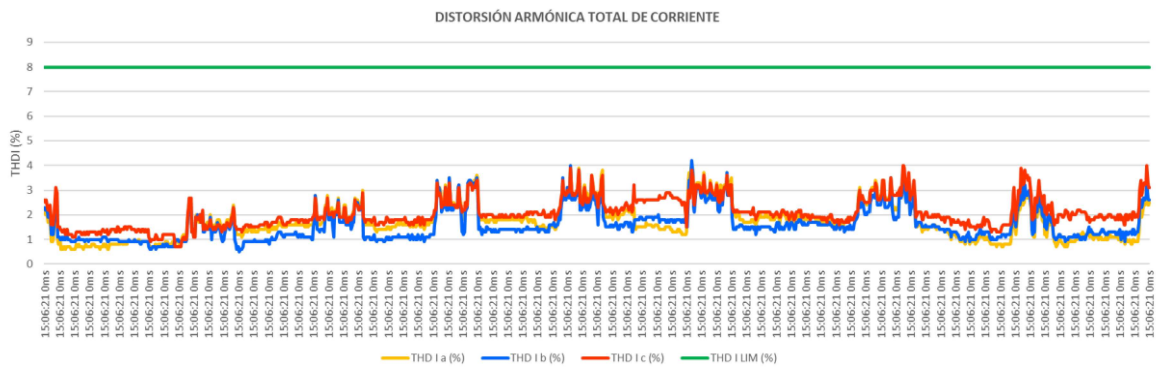
El f.p. promedio durante el período normal de operación fue de 0,68, registrando un valor máximo de 0,82. En el período completo de monitoreo se registró un f.p. mínimo de 0,58. Es de tener en cuenta que los valores ideales recomendados deben estar entre los valores 0,9 o 0,95, y, como se puede observar, el factor de potencia esta por debajo del ideal.

Parámetros	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación estándar
Variación de tensión (p.u)	1,0	0,9	1,0	0,0
Desequilibrio de tensión (%)	0,3	0,1	0,2	0,1
Desequilibrio de corriente (%)	8,3	0,9	3,7	3,8
Factor potencia total (p.u)	0,9	0,6	0,7	0,2
Potencia aparente total (kVA)	88,9	35,5	67,1	26,9
Potencia activa total (kW)	63,7	27,9	45,5	17,9
Potencia reactiva total (kVAr)	66,0	20,4	49,1	23,1
Corriente A (A)	696,7	292,8	535,3	203,3
Corriente B (A)	699,1	292,5	532,7	204,4
Corriente C (A)	668,3	275,3	505,7	197,5
Factor de carga (%)	52,4	22,4	40,2	15,1

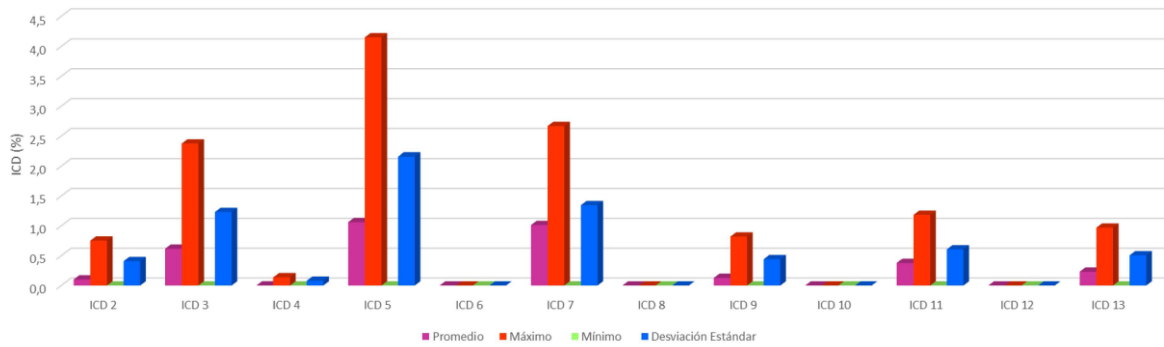
MEDICIÓN DE ARMÓNICOS



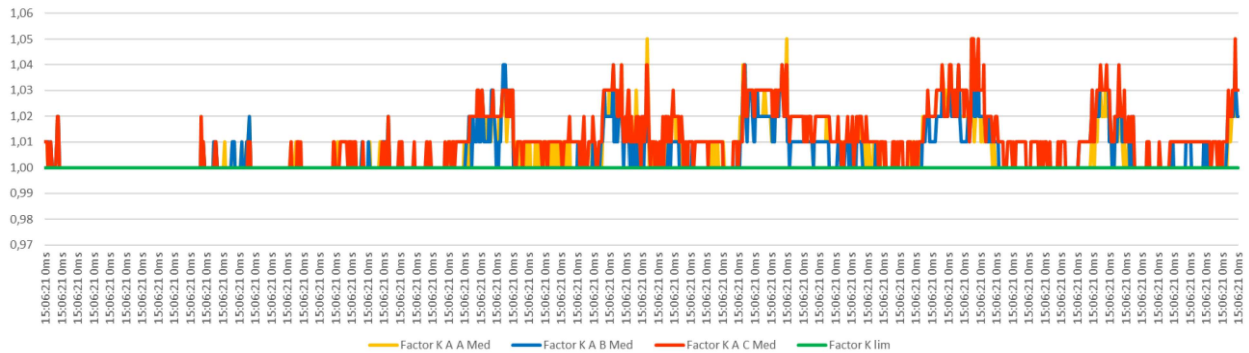
Se registró un porcentaje promedio de 1% y un valor máximo de 2%, lo cual indica que se encuentra dentro del porcentaje recomendado.



ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE



FACTOR K



Parámetros	THDV	THDI	Factor K	IVD 2	IVD 3	IVD 4	IVD 5	IVD 6	IVD 7	IVD 8	IVD 9	IVD 10	IVD 11	IVD 12	IVD 13
Promedio	1,0	1,8	1,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
Máximo	2,0	4,2	1,1	0,0	0,2	0,0	1,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,2
Mínimo	0,3	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Desviación Estándar	0,9	1,9	0,0	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1

3.3. Aspectos positivos y problemas identificados

PROPUESTA 1: REVISIÓN DE MOTORES

- Revisar el funcionamiento de motores en vacío o con poca carga.
- Evitar el funcionamiento de equipos por encima de su tensión nominal.
- Los motores deben ser operados cerca de su capacidad nominal para darse cuenta de los beneficios de un diseño de factor de alta potencia.

- Reemplazar los motores estándar ya que consumen más potencia que los motores de bajo consumo de energía.

PROPUESTA 2: BANCO DE CAPACITORES AUTOMÁTICO

VENTAJAS

- Alto factor de potencia bajo cargas fluctuantes.
- Elimina la penalización del factor de potencia.
- Menor consumo de energía al reducir las pérdidas.
- Siente y supervisa continuamente la carga.
- Enciende / apaga automáticamente los pasos relevantes de los capacitores para obtener un factor de potencia constante.
- Garantiza una interfaz de usuario sencilla.
- Variación automática, sin intervención manual, la compensación se adapta a los requisitos de carga.

DESVENTAJAS

- No sirve para compensación de los cuadros principales de distribución del VI o de las principales líneas de salida.
- Por encima del nivel del 15%, es aconsejable instalar un banco de CAPACITORES controlado automáticamente.
- Tamaño del banco de capacitores automático $Q_c > 15\%$ kVA transformador.
- Mayor costo de equipo.

PROPUESTA 3: BANCO DE CAPACITORES FIJOS

VENTAJAS

- **Se obtiene un ahorro energético y económico.**
- **Reduce la magnitud de la corriente que circula a través de los equipos eléctricos.**
- **Los equipos eléctricos tienen un menor desgaste y prolongar su vida útil.**
- **Mejora en el factor de potencia de la instalación.**
- **Mejora la tensión.**
- **Mejora el desempeño del sistema eléctrico.**

DESVENTAJAS

- **Operación ON / OFF manual.**
- **No cumple con los requisitos kVAr bajo cargas variables.**
- **Puede ser penalizado por parte de la autoridad de electricidad.**
- **El factor de potencia también varía en función de los requisitos de carga, por lo que es difícil mantener un factor de potencia constante mediante el uso de compensación fija.**
- **Puede proporcionar un factor de potencia mayor en condiciones de carga ligera, debido a esto como resultado se obtiene sobretensiones, saturación de transformadores, mal funcionamiento de grupos electrógenos Diesel, sanciones por parte de las autoridades de suministro eléctrico.**
- **Menos flexible, requiere interruptores y / o interruptores automáticos**

PROPUESTA 4: BANCO DE CAPACITORES COMBINADO

VENTAJAS: Lo más práctico para un mayor número de motores.

DESVENTAJAS: Menos flexible

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis y las mediciones presentadas con anterioridad, así como las observaciones registradas durante el estudio de calidad de energía, se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones generales. Los comentarios son en base a los criterios de los estándares de la IEEE-1159 del 2009, IEEE-519 del 2014, NTC-1340 del 2013 y NTC-5001 del 2008.

FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia mide la eficiencia de su consumo eléctrico, a la hora de convertirlo en potencia útil, como luz, calor o movimiento mecánico.

El bajo factor de potencia es causado por cargas inductivas (como transformadores, motores eléctricos e iluminación de descarga de alta intensidad), que son una parte importante de la energía consumida en los complejos industriales.

Algunos de los beneficios de mejorar su factor de potencia son los siguientes:

- Su factura de servicios públicos será menos costosa.
- La capacidad de su sistema eléctrico aumentará.

- El factor de potencia no corregido causará pérdidas de energía en su sistema de distribución.
- Puede experimentar caídas de tensión a medida que aumentan las pérdidas de potencia.
- Las caídas de tensión excesivas pueden causar sobrecalentamiento y falla prematura de los motores y otros equipos inductivos.

En base a lo anterior se recomienda mejorar el factor de potencia, teniendo en cuenta las soluciones propuestas, y así tener un manejo eficiente de la energía eléctrica.

V. **Bibliografía:**

- Dugan, R. C. (2010). Electrical power systems quality. McGraw-Hill.
- IEEE Standards Association. (2014). IEEE Std 519-2014. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. IEEE Power and Energy Society, 29.
- IEEE Standards Association. (2009). IEEE Std 1159-2009. Recommended practice for monitoring electric power quality. IEEE Power and Energy Society.
- Jaekel, B. W. (2008, August). Description and classification of electromagnetic environments-revision of IEC 61000-2-5. In 2008 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (pp. 1-4). IEEE.
- ICONTEC, N. (2004). 1340: Tensiones y frecuencia nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público.
- COLOMBIANO, C. E. Norma NTC 2050. 2002, Bogotá.
- Colombiana, N. T. (2008). Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación de punto de conexión común, || NTC, 5001-2008.
- Santos, V. S., Eras, J. J. C., Gutierrez, A. S., & Ulloa, M. J. C. (2019). Assessment of the energy efficiency estimation methods on induction motors considering real-time monitoring. Measurement, 136, 237-247.
- Silva Ortega, J. I., Cardenas Escorcía, Y. D. C., & Valencia Ochoa, G. E. (2018). Monitoring electromagnetic fields and safe operation levels in electrical power transmission lines. CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, VOL. 67, 2018
- Florez, B. H. M., Ortega, J. I. S., & Becerra, J. E. C. (2018). Fault Effect Analysis Based on Elements Loadability to Evaluate Reliability in Power Systems. IEEE Latin America Transactions, 16(10), 2649-2656.
- Sanchez, Z. G., Gonzalez Cueto Cruz, J. A., Sanchez, G. C., Herrera, H. H., & Silva Ortega, J. I. (2020). Voltage collapse point evaluation considering the load dependence in a power system stability problem. International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708), 10.

- Quispe, E. C., López, I. D., Ferreira, F. J., & Sousa Santos, V. (2018). Unbalanced voltages impact on the energy performance of induction motors. *International journal of electrical and computer engineering*, 8 (3) Junio 2018.
- Silva Ortega, J. I., Sousa Santos, V., Sarmiento Crespo, P. C., Gómez Sarduy, J. R., Felipe, V., Percy, R., & Quispe, E. C. (2019). Effects of power electronics devices on the energy quality of an administrative building. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 10 (4).
- Felipe, P. R. V., Sarduy, J. R. G., Santos, V. S., & Teyra, M. A. D. A. (2011). Análisis de los datos de medición de armónicos variables en el tiempo. *INGE CUC*, 7(1), 9-16.
- Sousa Santos, Vladimir, Juan J. Cabello Eras, Alexis Sagastume Gutiérrez, and Mario J. Cabello Ulloa. 2020. "Data to Support the Assessment of the Energy Efficiency Estimation Methods on Induction Motors Considering Real-Time Monitoring." *Data in Brief* 30: 105512. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352340920304066>.
- Felipe, P. R. V., Sarduy, J. R. G., Santos, V. S., & Teyra, M. A. D. A. (2011). Análisis de los datos de medición de armónicos variables en el tiempo. *INGE CUC*, 7(1), 9-16.
- Sousa, V., Hernández, H., Quispe, E. C., Gómez, J. R., & Viego, P. R. (2017, May). Analysis of harmonic distortion generated by PWM motor drives. In *2017 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA)* (pp. 1-6). IEEE.
- Silva-Ortega, J., Zapata-Rivera, J., Candelo-Becerra, J., Rosales-Hernández, N., Umaña-Ibáñez, S., Mejía-Taboada, M., Palacio-Bonill, A., & Torregroza Rosas, M. (2016). Transformadores de distribución que operan con aceite de origen vegetal como dieléctrico y refrigerante. *INGE CUC*, 12(2), 79-85. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.08>
- Escudero Delgado, P., & Carrión Galarza, D. (2018). Expansión de un sistema de transmisión mediante LOPF-AC. *INGE CUC*, 14(2), 116-125. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.14.2.2018.11>
- Sousa Santos, V., Hernandez Herrera, H., Quispe, E. C., Viego, P. R., & Gómez, J. R. (2017). Harmonic distortion evaluation generated by PWM motor drives in electrical industrial systems. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7 (6), pp. 3207-3216.
- Patiño Builes, A. (2015). Tendencias tecnológicas que influyen en el aumento de la productividad empresarial. *INGE CUC*, 11(2), 84-96. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.11.2.2015.09>
- García-Guarín, P., Cantor-López, J., Cortés-Guerrero, C., Guzmán-Pardo, M., & Rivera, S. (2019). Implementación del algoritmo VNS-DEEPSO para el despacho de energía en redes distribuidas inteligentes. *INGE CUC*, 15(1), 142-154. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.13>
- F. Hoyos, J. Candelo y J. Silva. "Performance evaluation of a DC-AC inverter controlled with ZAD-FPIC" *INGE CUC*, vol. 14, no. 1, pp. 9-18, 2017 DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.14.1.2018.01>

- di Mauro, G., Ferreyra, R., Suárez, J., & Jurado, A. (2015). Sobretensiones por Ferroresonancia en un Sistema de Distribución Eléctrica Rural: Reporte de Caso y Simulación. INGE CUC, 11(1), 34-47. Recuperado a partir de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/378>
- Andrade Montoya, P., Morejón Bastidas, J., & Inga Ortega, E. (2016). Cobertura máxima de redes de sensores inalámbricos para un sistema de gestión de energía en hogares inteligentes. INGE CUC, 12(2), 68-78. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.07>
- Marriaga-Márquez, I. A., Gómez-Sandoval, K. Y., Grimaldo-Guerrero, J. W., & Nuñez-Álvarez, J. R. (2020, May). Identification of critical variables in conventional transformers in distribution networks. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 844, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- García Sanchez, Z., Gonzalez Cueto Cruz, J. A., Crespo Sanchez, G., Hernández Herrera, H., & Silva Ortega, J. I. (2020). Voltage collapse point evaluation considering the load dependence in a power system stability problem.
- Silva Ortega, J. I., Sousa Santos, V., Sarmiento Crespo, P. C., Gómez Sarduy, J. R., Viego Felipe, P. R., & Quispe, E. C. (2019). Effects of power electronics devices on the energy quality of an administrative building.
- Santos, V. S. (2014). Procedimiento para determinar la eficiencia de motores asincrónicos en presencia de desbalance y armónicos en la tensión. Editorial Universitaria.
- Sousa, V. (2006). Determinación de la eficiencia de motores asincrónicos en condiciones de campo y en presencia de desbalance de tensión (Tesis de Maestría, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba).