

Análisis de aislamiento en motor trifásico utilizando el Megger

Insulation analysis in a three-phase motor using the Megger

Karen Katherine Caicedo-González

karen.caicedo@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2442-365X>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

Giuseppe Paul Vinueza-Maldonado

paul.vinueza@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6472-1734>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

Ana Belén Valencia-Guisamano

ana.valencia.guisamano@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3603-220X>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

Edwin Darío Ango-Ramos

darioangojandry@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-5230-0636>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

Mayer Santiago Quiñonez-Alava

mayer.quinonez.alava@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-2262-133X>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

RESUMEN

En el presente documento se describió las pruebas tanto de resistencias de aislamiento y el análisis de funcionamiento de un motor mediante dispositivos de medición, como el megóhmetro y opcionalmente un analizador de red. En este trabajo se presentó el marco teórico la metodología, los resultados obtenidos y las conclusiones. Debido a la inclusión masiva de dispositivos electrónicos en los sistemas de distribución, los motores están expuestos a condiciones de operación diferentes a las diseñadas debido a la circulación de corrientes excesivas. El efecto de estas corrientes armónicas debe cuantificarse para determinar la capacidad del motor para soportar estas nuevas condiciones de operación.

Palabras claves: Analizador de red, resistencia de aislamiento, motor trifásico, megóhmetro.

ABSTRACT

In this document, both the insulation resistance tests and the analysis of the operation of a motor using measuring devices, such as the megohmmeter and optionally a network analyzer, were described. In this work the theoretical framework, the methodology, the results obtained and the conclusions were presented. Due to the massive inclusion of electronic devices in distribution systems, motors are exposed to operating conditions other than those designed due to the circulation of excessive currents. The effect of these harmonic currents must be quantified to determine the motor's ability to withstand these new operating conditions.

Keywords: Network analyzer, insulation resistance, three-phase motor, megohmmeter.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el desarrollo de la sociedad está íntimamente relacionado con la demanda de energía. Debido a la industria, el comercio y diversas actividades económicas y cotidianas. Las personas son altamente dependientes del consumo de electricidad para el funcionamiento de los equipos y dispositivos eléctricos y electrónicos. Por esta razón, la producción, transmisión y distribución de esta energía es muy importante para la sociedad moderna. Ya desde el siglo XVIII, la electricidad ha sido una parte vital del desarrollo humano en los sectores económicos e industriales, y se han desarrollado estrategias para transportar la electricidad lejos de sus sitios de generación, donde las pérdidas por el efecto Joule se vuelven críticas. Esto dio origen a la construcción de un motor, estos son motores en los que el bobinado inductor colocado en el estátor, está formado por tres bobinados independientes desplazados 120° eléctricos entre sí y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna. el consumo de la energía eléctrica tiende a aumentar con el tiempo. Ello trae consigo problemas

que repercuten en los motores, con lo cual alteran las condiciones de funcionamiento del mismo pudiendo llegar a presentar averías en estos equipos y en casos graves colapso del mismo producto de los diferentes fenómenos que pudieran suscitarse inherentemente a sus aspectos físicos y en el sistema eléctrico al cual da el servicio.

A partir de la década de 1920 la estabilidad de los sistemas eléctricos de potencia (SEP) fue reconocida como un importante problema para su funcionamiento seguro [1]. Los sistemas de transmisión de energía eléctrica comprenden un enlace fundamental en el sector productivo y social de un país. Uno de los principales componentes de estos sistemas son los motores se utilizan en aplicaciones que tienen una sola tensión, mientras que los motores trifásicos se utilizan en aplicaciones que tienen una tensión trifásica. La falla de un motor puede conllevar el colapso parcial o total de un sistema eléctrico [2].

Es así, que los motores se han vuelto parte indispensable en los sistemas eléctricos; además, sin estos equipos el desarrollo en las industrias fuera muy poco debido a las constantes caídas de tensión presentadas en los sistemas eléctricos. Por otro lado, el sistema eléctrico debe asegurar en todo el momento el correcto balance entre generación y consumo dado que un eventual desbalance puede ocasionar el colapso del sistema y por lo tanto la interrupción del suministro eléctrico [3].

El mercado eléctrico es uno de los más variables ya que casi a diario el costo de la electricidad fluctúa, abriendo todo un campo de investigación con el fin de lograr predecir qué comportamiento tendrá el mercado, a corto, mediano o largo plazo, según se necesite [4].

La industria necesita más electricidad a medida que crece la población. Además, constantemente surgen nuevas tecnologías y, a su vez, los actores del mercado enfrentan nuevos desafíos con muchos problemas inherentes al progreso y desarrollo cotidianos. Sin embargo, el desarrollo de estos equipos con tecnologías extremadamente económicas trajo problemas al sistema eléctrico, ya que se basan en elementos no lineales en su construcción. Las cargas no lineales contaminan con corrientes distorsionadas a la fuente a la que están conectadas y, una vez conectadas a la red, pueden cambiar la forma de onda de tensión en el punto de acoplamiento común donde se conectan varias cargas de diferentes consumidores [5].

Las cargas no lineales que producen corrientes no sinusoidales que, además de la componente fundamental, tienen otras componentes que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, denominadas armónicos. Al igual que otros equipos eléctricos, la eficiencia de los motores puede verse afectada por problemas de calidad de la energía. En los motores uno de los problemas a los que son propensos son las corrientes no sinusoidales que fluyen a través de los devanados debido a los armónicos de corriente que se producen cuando se conectan cargas no lineales. Con lo cual, aumenta las pérdidas, resultando en un aumento en la temperatura de operación de la carga de aislamiento y una disminución en la vida y potencia del motor; por lo tanto, durante su funcionamiento son factores de riesgo a considerar. Entre las opciones más atractivas para solucionar este inconveniente, se encuentra el uso de pruebas de diagnóstico y sistemas de monitoreo en línea, con el fin de averiguar el estado del motor en operación, y aún más, cuando están ubicados en lugares remotos o puntos neurálgicos de la red eléctrica [2].

En este trabajo se realizará la prueba de diagnóstico al motor eléctricos de potencia (SEP) fue reconocida como un 3N 8017 2 mediante el uso de un megger con la finalidad de importante problema para su funcionamiento seguro [1]. Los averiguar su estado de funcionamiento durante su operación. sistemas de transmisión de energía eléctrica comprenden un durante su operación.

Desarrollo

Tipos de fallas

Si el motor no se pone en funcionamiento inmediatamente después de su llegada, es importante protegerlo contra factores externos. Al igual que la humedad, alta temperatura e impurezas para evitar daños en el aislamiento. Antes de poner el motor en funcionamiento después de un largo período de almacenamiento, debe medir la resistencia de aislamiento del devanado. Si el motor se mantiene en un lugar con alta humedad, es necesaria una inspección periódica [6].

Los fallos más frecuentes en motores eléctricos que se pueden presentar tanto en equipos trifásicos y monofásicos de inducción son las siguientes:

- Fusibles quemados.
- Chumaceras o cojines desgastados.
- Interrupción de alguna fase.
- Sobrecargas.
- Fases invertidas.
- Corto circuito.
- Conexiones internas erróneas. Descargas parciales

Estas deterioran el aislamiento del motor lo cual conlleva al fallo del mismo producto del estrés del sistema de aislamiento eléctrico ya sea este sólido, líquido o gaseoso en alta tensión. Pueden ser de tres tipos: Descargas externas: por efecto corona. Descargas superficiales: por materiales dieléctricos diferentes en contacto. Descargas internas: en el tipo del material dieléctrico.

Fallas debidas a presencia de DC

La presencia de corriente continua puede disminuir la impedancia magnetizaste, lo cual puede provocar: resonancia eléctrica interna de los bobinados, aumento del nivel de ruido, aumento de la corriente de vacío y pérdidas de vacío. B. Estadísticas de fallas de los motores Los más eficientes procesos industriales actualmente exigen mayores niveles de calidad y productividad y la operatividad de los mismos, está influenciada por el uso eficiente de los equipos, así como también de programas de mantenimiento. son por mucho la maquinaria rotatoria más utilizada en la industria. La detección de fallas a tempranas etapas es de gran importancia debido a los problemas tanto técnicos como económicos que se pueden ocasionar, siendo el problema más común en motores de este tipo la ruptura de una o varias barras del motor

Análisis de furanos y grado de polimerización

El aislamiento está formado por papel, el cual está compuesto por fibras de celulosa. Esta última es un polímero formado, a su vez, por moléculas de glucosa. La cadena promedio del polímero tiene una longitud de 1.000 a 1.200 moléculas de glucosa cuando el papel está nuevo, antes de su instalación en el motor y su secado en fábrica una vez realizado este proceso, el papel ya instalado en el motor contiene entre 800 a 1.000 moléculas de glucosa [2]. La longitud de cadena promedio de la celulosa se denomina grado de polimerización del papel. Con el tiempo, estos circuitos se rompen, por lo que la resistencia mecánica del papel disminuye, lo que puede provocar fallas en el interior del motor. Además, la molécula de

glucosa cambia durante este proceso y forma un anillo de furano, que tiende a migrar al aceite y formar diversos compuestos a altas temperaturas relacionados con fenómenos térmicos, eléctricos o mecánicos en el motor. El cambio en el contenido de furano es el parámetro más importante para determinar si existe un mal funcionamiento potencial que requiera atención.

Cargas no lineales

Las cargas no lineales provienen de equipos como computadoras, controles electrónicos, unidades de velocidad variable e iluminación de bajo consumo, como luces LED y acondicionadores de aire de alta eficiencia que consumen energía en pulsos cortos en lugar de ondas sinusoidales. Estos pulsos hacen que los armónicos de corriente retroalimenten al resto del sistema de energía, creando formas de onda no sinusoidales. Esto puede hacer que todo el sistema se sobrecaliente, funcione mal y finalmente falle.

Tipos de perturbaciones en los motores

Los sistemas eléctricos son susceptibles a las altas temperaturas, vibraciones, desajustes y por supuesto a instalaciones con componentes de mala calidad, así como a parámetros que no se ajusten a las normas eléctricas vigentes.

Estos parámetros están relacionados con la amplitud, frecuencia y forma de onda de los sistemas eléctricos y pueden ser afectados por diferentes tipos de perturbaciones, tales como, transitorios electromagnéticos, variaciones de voltaje de corta y larga duración, desbalance de voltaje, distorsión de la forma de la señal, fluctuaciones de voltaje y variaciones de frecuencia. En gran parte estas perturbaciones pueden detectarse mediante medición y evaluación en los sistemas eléctricos, identificando, altas corrientes en algunos conductores eléctricos, bajo factor de potencia y armónicos de corriente y voltaje [10].

Las cargas no lineales, las conmutaciones, las maniobras de cambio de carga o las propias averías de los equipos pueden ocasionar una mala calidad en el sistema eléctrico [11]. A continuación, se presentará los fenómenos a los que están expuestos los transformadores de potencia.

Principales tipos de Perturbaciones Eléctricas

- Picos (Spike) y Muecas (Notch) ...
- Microcortes (Dropout) ...
- Sobretensiones: transitorias (Surges) / Larga duración. ...
- Subtensiones: transitorias (Sags) / Larga duración. ...
- Subtensiones gradual y prolongada (Brownout) ...
- Fallo de suministro (Blackout) ...
- Armónicos de corriente y/o tensión.

Armónicos

Generalmente, el voltaje y la corriente en el circuito de potencia no son ondas sinusoidales puras. El voltaje de línea casi siempre tiene una forma de onda satisfactoria, pero la corriente a veces puede parecer muy distorsionada. La deformación

puede ser causada por saturación magnética en el núcleo, acción de conmutación de tiristores o cualquier otra carga no lineal. La onda distorsionada consta de una componente fundamental y uno o más armónicos.

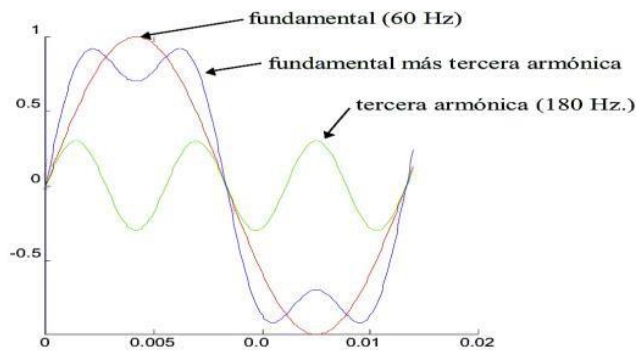


Figura 1. Frecuencia fundamental más el tercer armónico.

Las formas de onda periódicas no sinusoidales se pueden representar mediante series de Fourier. Cada término de la serie de Fourier se denomina componente armónico de la forma de onda distorsionada. La frecuencia de los armónicos es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. Los armónicos pares e impares de una función no sinusoidal corresponden a sus números pares (por ejemplo, 2, 4, 6, 8...) e impares (por ejemplo, 3, 5, 7, 9...) de las series de Fourier. Los armónicos de orden 1 y 0 se asignan respectivamente a la frecuencia fundamental y al componente de CC de la forma de onda [14].

Las mediciones de armónicos son la medición de corrientes y voltajes armónicos en equipos industriales o en sus puntos de conexión a los proveedores de energía. Los informes de medición de armónicos brindan información detallada sobre la distorsión armónica de corriente y la distorsión armónica de voltaje en el lugar de medición. Si se realiza en el punto de conmutación principal o común (PCC) del equipo, el informe de medición de armónicos también puede comparar la distorsión del equipo con IEEE 519 u otros estándares similares.

El software del sistema de potencia (por ejemplo, ETAP, EasyPower, SKM) se usa para predecir o modelar el impacto potencial en el sistema si se realiza un cambio específico, ya sea agregando una carga no lineal o un banco de capacitores o cambiando una fuente característica. Este análisis se puede realizar durante la fase de planificación de un nuevo sistema o al evaluar los cambios en un sistema existente o en desarrollo.

Tipos de materiales dieléctricos

Existen tres materiales dieléctricos que se disponen en los transformadores de potencia:

a) El dieléctrico líquido

Por lo general se utiliza aceite dieléctrico, el cual debe estar libre de impurezas y con buenas propiedades aislantes, alta resistencia a la oxidación, viscosidad muy baja, lo que facilita su penetración en la parte activa y la transferencia del calor.

b) El dieléctrico gaseoso

Se pueden usar el aire, el nitrógeno y el SF₆, estos gases tienen una elevada resistencia y las pérdidas dieléctricas son bajas; se caracterizan por ser incoloros, no tóxicos, fisiológicamente inertes, no corrosivos y no inflamables, aunque sí son altamente contaminantes [17].

c) El dieléctrico sólido

Estos materiales separan eléctricamente todos los elementos, algunos de estos materiales son; papel manila, papel presan, papel nomex, papel kraft, etc. Aunque existen varios tipos de estos materiales, por ejemplo:

a. Aislamientos delgados pretensados

Estos cartones son rieles en forma de cola de milano, rieles rectangulares que sirven para separar las bobinas, las bobinas con el núcleo, las pantallas que separan las fases y también como vías de enfriamiento.

b. Aislamientos gruesos

Materiales de una gran resistencia mecánica, encargados de darle dimensiones y apriete a las bobinas; en caso de existir algún esfuerzo dinámico, deben tener la capacidad de soportarlo.

c. Papel aislante

Brindan rigidez dieléctrica y mecánica a los conductores. Para poder detectar los cambios en las condiciones de celulosa en el papel, se realiza la prueba de medición del grado de polimerización. Este método es considerado el más exacto en cuanto a aproximarse a los valores reales del papel aislante y, por ende, de la vida del motor, ya que, dependiendo del estado del aislante, así será la longevidad de esta máquina eléctrica [17], a continuación, en la Tabla 1 se muestra el grado de polimerización del papel aislante en los motores trifásicos

Existen varios fenómenos que tienen la capacidad de hacer que el papel aislante entre en envejecimiento:

- a. Envejecimiento por oxidación, producto de la absorción de oxígeno, lo cual produce agua y CO₂.
- b. Envejecimiento por pirolisis, producto de estar expuesto a elevadas temperaturas, los cuales tienen la capacidad de generar agua, CO Y CO₂.
- c. Envejecimiento en función de la posición, tendencia de elevadas temperaturas no simétricas en la parte activa, por lo cual deteriora unas zonas más que otras del papel aislante.

Pruebas de aislamiento básicas de materiales dieléctricos

La prueba de resistencia de aislamiento (IEC 60076-1, 1989) ha sido desarrollada para determinar el aislamiento eléctrico en los devanados individuales referidos a tierra o entre ellos. El conocimiento de la resistencia de aislamiento es un valor para el conocimiento del aislamiento propio del motor o un material dieléctrico. Hoy día se utilizan diferentes métodos sofisticados para asegurar la calidad del sistema de aislamiento, tales como la medición por espectroscopía dieléctrica de baja frecuencia, la medición de corriente de polarización/ despolarización en el dominio del tiempo y el espectro de retorno de tensión de polarización. Las medidas de resistencia se basan en la ley de Ohm; cuando se aplica un voltaje de CC de valor conocido menos que la prueba dieléctrica, entonces se puede determinar la medición de la corriente circulante, por lo tanto, también determinar el valor de resistencia. La resistencia de aislamiento generalmente se mide en K Ω , M Ω , G Ω y T Ω . Las diferencias en la resistencia del aislamiento pueden deberse a varios factores, como: el diseño de las piezas internas (especialmente los aisladores), la temperatura, la sequedad y la limpieza. La resistencia de aislamiento varía según el voltaje aplicado.

Métodos de medida de la resistencia de aislamiento

a) Medida puntual o a corto plazo

Este método se aplica una tensión de prueba de corta duración (30 o 60 segundos), en este punto se obtiene la resistencia de aislamiento. Sin embargo, bajo este método la medición se ve perturbada por la temperatura y la humedad, por aquello conviene normalizar las medidas según la temperatura estándar y observar el nivel de humedad para comparar los resultados obtenidos de las mediciones anteriores; bajo este método es posible analizar las tendencias a lo largo del tiempo. El valor obtenido se puede comparar con el límite mínimo especificado en la norma en relación con el cableado o los materiales.

Métodos de medición basados en la influencia del tiempo de aplicación de la tensión de ensayo

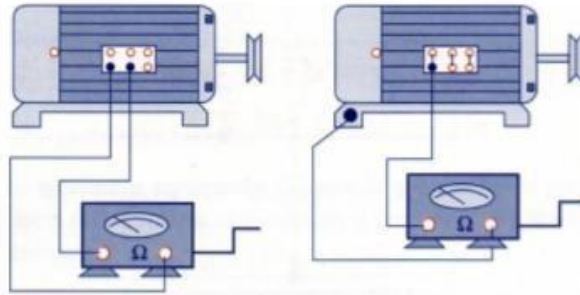


Figura 2. Esquema del circuito de medición de resistencia de aislamiento de un motor trifásico.

Estos métodos implican la lectura de valores sucesivos de resistencia de aislamiento en varios tiempos. Su ventaja es que se ven menos afectados por la temperatura, si durante la prueba no existen cambios significativos de temperatura.

Relación de absorción dieléctrica (DAR)

La prueba debe realizarse con todas las terminales cortocircuitadas. Normalmente, los medidores de resistencia de aislamiento tienen la fuente de DC integrada y los hay disponibles para 0.5, 1, 2.5, 5 y 10 kV.

La duración de la prueba puede ser de 1 minuto. Usualmente, las mediciones se toman después de 15 segundos o incluso hasta el minuto de medición. La relación entre los valores medidos después de 60 segundos (R60) y los medidos después de 15 segundos (R15) es aproximadamente de 1.3-3; este es un criterio importante de la condición de aislamiento. Siempre se deberá tomar el dato de temperatura y este valor deberá referenciarse a 20 °C.

Por otra parte, también se podemos conseguir el Índice de Polimerización (PI), el cual nos puede guiar a analizar las condiciones del aislamiento del motor, ya que este es la relación entre las medidas de aislamiento tomadas de 10 minutos y 1 minuto; para tal efecto, se tienen en cuenta los siguientes criterios de aceptación: para valores de $IP > 1$ indica que el aislamiento del motor está en buenas condiciones. Para valores de $IP < 1$ indica que la condición de aislamiento del motor no es satisfactoria.

Método basado en la influencia de la variación de tensión de ensayo (método por escalones)

Es un método mediante escalas, dividida en 5 escalones con igual voltaje máximo aplicado y una misma duración, generalmente 1 minuto, pero inferior a la tensión de prueba dieléctrica ($2 U_n + 1000 V$). El resultado de este método es completo independientemente del tipo de aislamiento y temperatura, el resultado se basa en la disminución efectiva del valor que se lee después del mismo tiempo para dos diferentes voltajes de prueba. La disminución en un 25% entre dos fases consecutivas es un signo de deterioro del aislamiento relacionados con la presencia de contaminantes. La prueba de rigidez dieléctrica o prueba de perforación mide la capacidad de un aislante de aguantar una sobretensión de duración media sin que se produzca una descarga disruptiva, y se la puede medir mediante un dielectómetro.

Mientras que la herramienta necesaria para las mediciones de resistencia de aislamiento es un medidor llamado megaóhmero.

Duración media sin que se produzca una descarga disruptiva, y se la puede medir mediante un dielectómetro. Mientras que la herramienta necesaria para las mediciones de resistencia de aislamiento es un medidor llamado megaóhmero.

2) Facturación

La facturación del SPEE corresponde a la sumatoria de los rubros de las componentes de: energía, potencia, pérdidas en motores, comercialización y penalización por bajo factor de potencia, de acuerdo a las características del consumidor regulado, y su expresión es la siguiente:

$$FSPEE = E + P + PIM + C + PBFP$$

FSPEE es la factura por servicio público de energía eléctrica – USD.

E es la facturación de energía (USD).

P es la facturación de demanda (USD).

PIM son las pérdidas en motores (USD).

C es la comercialización de la energía eléctrica (USD).

PBFP es la penalización por bajo factor de potencia (USD).

Para la facturación, la distribuidora tiene la obligación de tomar lecturas al consumidor regulado conforme la tarifa establecida en el presente Pliego Tarifario, sobre la base de mediciones directas y mensuales [20].

Metodología

Según el Artículo Metodología para Evaluar la Condición de motores Eléctricos Basada en un Índice de Salud, propone una herramienta novedosa que evalúa motores eléctricos a partir de un índice de salud, basado en una suma de puntajes ponderados. Según los resultados que se obtuvieron en los casos de estudio mostraron un buen desempeño del índice de salud al evaluar cinco motores. El valor del índice de salud calculado para cada motor coincidió con los resultados de las evaluaciones realizadas después de la ejecución de las pruebas. Esto indica que avanzar hacia el uso de un índice de salud para evaluar el motor puede mejorar el monitoreo de la condición de este equipo (Ó. Núñez Mata, G. A. Gómez- Ramírez, F. Acuña Rojas, and C. González Solís, 2023).

Por otra parte en el Artículo Comportamiento de los aislamientos sólidos de motores eléctricos en condiciones ambientales no controladas se analiza el deterioro de los aislamientos sólidos en motores bajo condiciones ambientales no controladas, en la que se comprueba, por medio de pruebas de resistencia al aislamiento e índice de polimerización, la existencia de algún tipo de deterioro en los materiales aislantes sólidos que fueron muestreados, obteniéndose una disminución de 70% de la resistencia de aislantes sólidos en relación a los valores iniciales, expuestos dentro de 24 horas; donde el problema fundamental es el deterioro de las propiedades dieléctricas y mecánicas del papel aislante y otros componentes sólidos en el tiempo (G. Jiménez-Araya and G. A. Gómez-Ramírez, 2016).

A. Determinación de la resistencia de aislamiento del motor

El objetivo de la prueba de aislamiento es determinar la cantidad de humedad e impurezas que contienen los aislamientos del motor, para realizar una prueba de resistencia de aislamiento, necesita un megóhmetro que le permita medir una cierta

cantidad de resistencia de aislamiento. El nombre proviene del hecho de que la medida resultante es $M\Omega$. Su principio de funcionamiento se basa en la ley de Ohm: $R = V/I$. La prueba se efectúa con un aparato conocido como medidor de resistencia de aislamiento o megóhmetro y comúnmente pero erróneamente llamado "MEGGER", a una tensión de 5000 V, durante 10 minutos. Para realizar esta prueba es necesario trabajar con el equipo desenraizado, para a ellos aterrizar el tanque conectándole el cable de tierra del megóhmetro, esto es para evitar energías residuales ya sea por efectos capacitivo o inductivo. Para continuar con la prueba cortocircuitaremos las bobinas de baja tensión y las bobinas de alta tensión. Para que nuestro instrumento de medición (megger), muestre los valores adecuados es necesario seleccionar el voltaje de prueba de acuerdo a la tabla que son las recomendaciones del fabricante:

Tabla 1. Referencias de voltajes de referencia y de prueba.

Voltaje Nominal de Referencia (V)	Voltaje de prueba (V)
Menos de 115	250
115	250 a 500
220	500

Los resultados que se obtuvieron haciendo las mediciones para la resistencia del aislamiento óhmico se describen en la Tabla 1, para calcular el índice de polarización y el índice de absorción se utiliza la fórmula 3 y 4.

Índice de polarización (IP)

$$IP = \frac{\text{Resistencia de aislamiento a tierra al minuto 10}}{\text{Resistencia de aislamiento a tierra al minuto 1}}$$

Índice de absorción (DAR)

$$DAR = \frac{\text{Resistencia de aislamiento a tierra al minuto 1}}{\text{Resistencia de aislamiento a tierra al segundo 30}}$$

Tabla 2. Conexiones y voltajes según la norma IEEE std 43

Prueba		AT-T	AT- BT	BT-T	N-TQ	CL-NT
Conexiones	L	AT	AT	BT	Núcleo	Clamp
	E	Tierra	BT	Tierra	TQ	NT
	G	BT	Tierra	AT	> 12000	
Voltajes	<1000	1000-2500	2501-5000	5001-12000		
IEEE std 43	500	500-1000	1000-2500	2500-5000	5000-10000	

Tabla 3. Criterios de evaluación transformador

Criterios de evaluación para transformadores: Megger		
Índice de absorción (DAR)	Índice de polarización (IP) C57.12.90-1999	Resistencia núcleo-TQ IEEE-62
DAR < 1.1 Peligroso	IP < 1 PELIGROSO	< 10 $M\Omega$ PELIGRO
1 < DAR < 1.25 Cuestionable	1 < IP < 1.1 POBRE	10-100 $M\Omega$ DETERIORO
1.4 < DAR < 1.6 Bueno	ACEPTABLE 1.25 < IP < 2 (IEC60085-01: clase A > 1.5; clase B, F, H > 2)	> 1000 $M\Omega$ NUEVO
1.6 > DAR Excelente	2 < IP < 4 BUENO	
	IP > 4 Excelente	

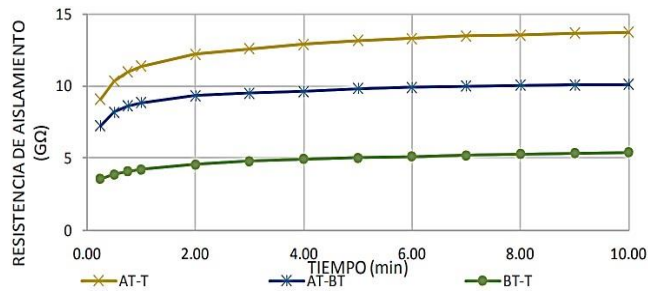


Figura 3. Resistencia de aislamiento 20°C motor.

En la Figura 3 se muestran los resultados de la resistencia de aislamiento en 20°C, estos valores están en G Ohmios; Mientras que en la Figura 4 se muestran los resultados de polarización y el índice de absorción.

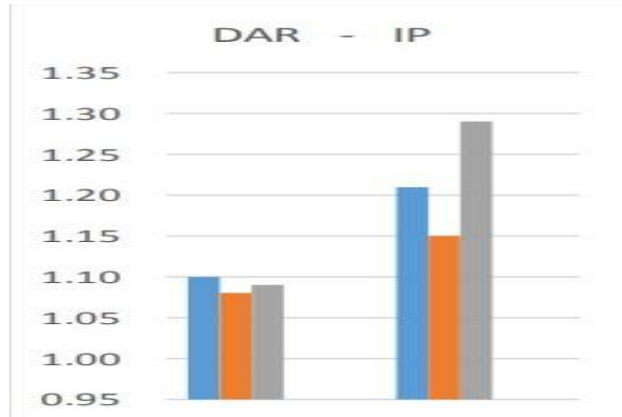


Figura 4. Resultados del índice de absorción y índice polarización.

B. Monitorización de transformador mediante el análisis de red

Mediante el analizador DRANETZ HDPQ VISA se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4. Resumen del medidor

Fase	Voltaje	Amperaje
A	117.89	0.042
B	119.88	19.79
C	119.19	0.135
D	0.0084	17.52

En la Tabla 4 podemos observar los resultados que nos dio el medidor de análisis de red; en la Figura 5 se demuestran las formas de ondas de las diferentes fases, mientras que en la Figura 10 se muestran las perturbaciones registradas de tensión del transformador.

Según la norma IEEE Std 43 establece los voltajes de pruebas con respecto a los voltajes de funcionamiento del transformador, mientras que la Tabla 4 habla sobre el criterio de evaluación del transformador.

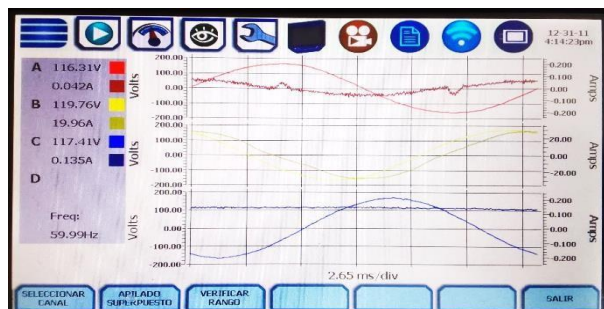


Figura 5. Resultados del análisis de red de la salida del motor.

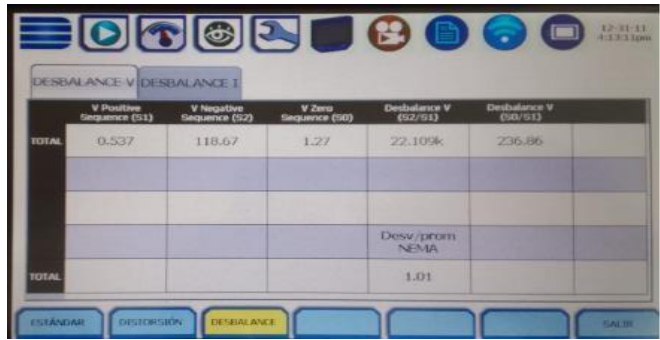


Figura 6. Desbalance total de tensión.

En la Figura 6 observamos el desbalance total de tensión, mediante la Figura 7 observamos la distorsión cada fase.



Figura 7. Distorsión de cada fase.



Figura 8. Distorsión armónica de tensión del 1 al 7 armónico.

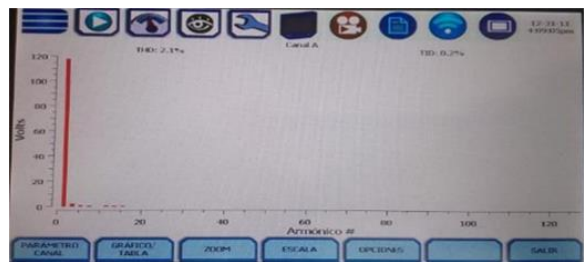


Figura 9. Distorsión total.

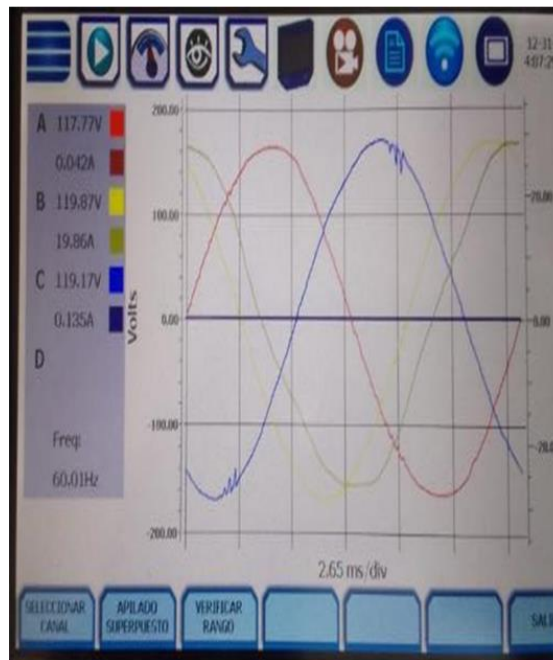


Figura 10. Distorsión por fase.

Resultados

Las pruebas de aislamiento fueron satisfactorias, por lo cual el motor se encuentra en buen estado.

La prueba de resistencia de aislamiento del motor se realizó durante 10 minutos de acuerdo con el método de absorción dieléctrica, se realizaron 3 tipos de pruebas diferentes;

1. Alta tensión vs. baja tensión y tierra.
2. Alta tensión Vs. Baja tensión.
3. Baja tensión Vs. Alta tensión y tierra.

Según los criterios de aceptación para el valor de resistencia de aislamiento obtenido los 10 minutos los valores recomendados mínimos para una tensión entre fase del motor de 15KV es de 410 M Ohm mínimo recomendado, en este caso los valores fueron de 520 M Ohm mientras que el índice de polarización se encuentra en 1.29 lo cual es aceptable y el índice de absorción se mantuvo en 1.1.

Según los resultados del equipo, la fase B se encuentra con la mayor carga con respecto a la fase A y C dando como resultados 19.79 Amperes, esto trae consigo consecuencias ya que se manifiestan distorsiones armónicas de corriente de 6.17 como consecuencias de las cargas no lineales.

El tercer armónico es el que mayor incurre siendo este de 2.14 voltios que represente el 1.8% de distorsión armónica total.

Conclusiones

Gracias a la utilización del megóhmetro podemos ver el estado del motor con la finalidad de saber si nuestro que el aislamiento del motor se encuentra en buenas condiciones ya que, si la resistencia de aislamiento es baja, entonces se puede calentar el motor y así este puede llegar a colapsar. A través del alisador de red podemos recopilar datos sobre el consumo de potencia, se puede visualizar las posibles perturbaciones que incurren en el sistema. Como se pudo analizar durante las mediciones, se detectaron distorsiones de tensión y distorsiones armónicas totales, tanto de tensión como de corriente. A

más de eso se pueden graficar las diferentes distorsiones de onda. Se concluye que las cargas del motor están desbalanceadas pues la línea B esta sobre cargada, se recomienda que se haga un balance de cargas. Y se aplique las debidas protecciones para evitar posibles distorsiones de tensión y de corriente

REFERENCIAS

- [1] G. A. Gómez-Ramírez, C. Meza, and S. MoralesHernández, "Oportunidades y desafíos para la integración de almacenamiento electroquímico en las redes eléctricas centroamericanas," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 34, pp. 70–82, 2021, doi: 10.18845/tm.v34i3.5352.
- [2] J. Jara Estupiñan, D. Giral, and F. Martínez Santa, "Implementación de algoritmos basados en máquinas de soporte vectorial (SVM) para sistemas eléctricos: revisión de tema," *Rev. Tecnura*, vol. 20, no. 48, pp. 149–170, 2016, doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a11.
- [3] M. Pérez, J. Ramos, R. C. Silvério, and D. Barrios, "Desarrollo de aplicaciones en el software Scilab para el análisis de armónicos en sistemas industriales," *Ing. Energética*, vol. 43, no. 1, pp. 24– 34, 2022, [Online]. Available: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3291706760_03.
- [4] P. F. Rojas Palacios, "Optimización del sistema de compensación reactiva para mejorar la calidad de energía eléctrica en la Unidad Minera Chungar e Islay," Universidad Continental, 2021
- [5] V. Mercado and J. B. Peña, "Modelo de gestión de mantenimiento enfocado en la eficiencia y optimización de la energía eléctrica," vol. 28, no. 1, pp. 99–105, 2016, [Online]. Available: <http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1315->
- [6] P. F. Rojas Palacios, "Optimización del sistema de compensación reactiva para mejorar la calidad de energía eléctrica en la Unidad Minera Chungar e Islay," Universidad Continental, 2021.
- [7] O. E. Torres-Brefe, Y. Silva-Cala, A. GarcíaLabrada, J. M. Veliz-Isla, and L. Padrón-Suárez, "Desconexiones frecuentes de planta de generación por protección de porcentaje diferencial," *CienciAmérica*, vol. 9, no. 4, pp. 59–66, 2020, doi: 10.33210/ca.v9i4.344.
- [8] F. J. Alcántara Benjumea, T. E. Núñez Zúñiga, E. P. Llanos, J. A. Cosar, and E. S. Aranguren Pascasio, "Implementation of a three-phase electric energy analyzer using Adaline networks and Rogowski coils with integrator circuit," *Ingeniare*, vol. 30, no. 4, pp. 659–671, 2022, doi: 10.4067/S071833052022000400659
- [9] F. J. Alcántara Benjumea, T. E. Núñez Zúñiga, E. P. Llanos, J. A. Cosar, and E. S. Aranguren Pascasio, "Implementation of a three-phase electric energy analyzer using Adaline networks and Rogowski coils with integrator circuit," *Ingeniare*, vol. 30, no. 4, pp. 659–671, 2022, doi: 10.4067/S0718-33052022000400659.
- [10] O. I. Hernández Areu, D. I. García del Sol, E. I. "Casos de estudio de diagnóstico por SFRA a *Ing. Energética*, vol. 2022, no. 2, pp. 119–128, 2022, [Online]. Available: https://www.redalyc.org/journal/3291/32917395300_6/329173953006.pdf.
- [11] O. E. Torres-Brefe, Y. Silva-Cala, A., "Desconexiones frecuentes de planta de generación por protección de porcentaje diferencial," *CienciAmérica*, vol. 9, no. 4, pp. 59–66, 2020, doi: 10.33210/ca.v9i4.344.