



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Diseño de un plan de ensayos de comprobación del
aislamiento para los motores de inducción en la empresa
Productos Congelados Selectos 3000 S.L.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería del Mantenimiento

AUTOR/A: Bulle Arias, Jose Nicolas

Tutor/a: Antonino Daviu, José Alfonso

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Universitat Politècnica de València
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño
Máster Universitario de Ingeniería del Mantenimiento
Trabajo Final de Máster



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Diseño de un plan de ensayos de comprobación del aislamiento para los motores de inducción en la empresa Productos Congelados Selectos 3000 S.L.

Autor:

José Nicolás Bullé Arias

Tutor:

José Alfonso Antonio Daviu

Valencia a los 06 días del mes de diciembre del año 2024

INDICE

CAPITULO I - Introducción	2
1. Contexto	2
2. Justificación del Diseño del Plan de Ensayos	3
3. Objetivos	3
3.1. Objetivo General	3
3.2. Objetivos Específicos.....	3
CAPITULO II – Marco Teórico.....	5
1. Máquinas Eléctricas	5
2. Motores Eléctricos	6
3. Motor Eléctrico de Inducción o Asíncrono	8
3.1. Elementos de un Motor Eléctrico de Inducción	8
4. Sistema de Aislamiento.....	12
4.1. Clasificación de Sistemas Aislantes	13
4.2. Fallos Relacionados el Aislamiento	15
4.3. Técnicas de Mantenimiento en Sistemas Aislantes de Motores de Inducción	16
CAPITULO III – Marco Metodológico	27
1. Muestra de Motores Asíncronos para Ensayos de Medidas de Sistema Aislante – (Equipos Operativos)	27
1.1. Motor CEMER 13091105956	27
1.2. Motor BUSCK 6708036028.....	28
1.3. Motor SODECA 2017022810085	28
1.4. Motor Tsubaki 172101593	29
2. Muestra de Motores Asíncronos para Ensayos de Medidas de Sistema Aislante – (Equipos Resguardados).....	29
3. Instrumento de medición para realización de los ensayos	31
4. Software para recopilación de datos.....	33
5. Normativa referente a las pruebas realizadas	36
6. Selección de técnicas de monitorizado de aislamiento en motores de prueba	36
5.1. Procedimiento de medición de Resistencia de Óhmica.....	38
6.2. Procedimiento de medición de Índice de Polarización (IP).....	39
6.3. Procedimiento de medición de índice de Absorción (DAR)	41
7. Factores que afectan las medidas de resistencia de aislamiento	42
7.1. Efectos de Humedad.....	42
7.2. Efectos de la temperatura	43
7.3. Efectos de la magnitud de voltaje de prueba	43

7.4.	Efecto de la carga existente en las mediciones de resistencia del devanado	43
8.	Plan de mantenimiento basado en parámetros de resistencia de aislamiento.....	44
8.1.	Recursos humanos	44
8.2.	Recursos materiales	45
8.3.	Equipos de seguridad.....	45
8.4.	Tecnologías y herramientas de gestión y recopilación de datos.....	46
8.5.	Ejemplo de Orden de Trabajo de Mantenimiento Predictivo	47
CAPITULO IV – Resultados		49
1.	Resultados Motores Operativos	49
1.1.	Prueba de Resistencia Óhmica entre bobinas – parámetro Delta	49
1.2.	Mediciones de resistencia de Aislamiento.....	49
1.3.	Mediciones de índice de polarización (IP) e índice de absorción dieléctrica (DAR) 52	
2.	Resultados Motores Resguardados.....	53
2.1.	Prueba de Resistencia Óhmica entre bobinas – parámetro Delta	53
2.2.	Mediciones de Resistencia de Aislamiento	54
2.3.	Mediciones de índice de polarización (IP) e índice de absorción dieléctrica (DAR). 56	
1.	Conclusiones	58
2.	Recomendaciones.....	59
ANEXOS.....		61
BIBLIOGRAFIA.....		67

RESUMEN

Título: Diseño de un plan de ensayos de comprobación del aislamiento para los motores de inducción en la empresa Productos Congelados Selectos 3000 SL.

El presente Trabajo Fin de Máster aborda el diseño e implantación de un plan de ensayos para la comprobación del estado del sistema aislante de los motores de inducción de la empresa Productos Congelados Selectos 3000 S.L. Esta empresa cuenta con múltiples motores que se hallan expuestos a condiciones de humedad generada por los diferentes procesos productivos en los que operan. Estas condiciones provocan continuos fallos en el aislamiento de los citados motores, con los consiguientes costes de reparación para la empresa y paradas no planificadas del proceso productivo. El objeto de este trabajo es proponer una batería de ensayos que permitan conocer con mayor detalle el estado del sistema aislante y que permitan anticiparse a posibles fallos imprevistos. Entre estos ensayos, se incluyen: medida de la resistencia de aislamiento a tierra, índice de polarización, absorción dieléctrica y, en caso de que se considere necesario, incluso ensayos de sobretensión. El trabajo abordará el diseño de un plan detallado que incluya acciones propuestas, periodicidad de estas, así como medios técnicos y humanos necesarios. Se acompañará el trabajo con un estudio que incluirá diversas medidas efectuadas sobre motores de la planta, de cara a comprobar la validez de las acciones propuestas.

Palabras clave: diseño, aislamiento, motores de inducción, humedad, producción, fallo, medida de resistencia de aislamiento, plan, propuesta.

CAPITULO I - Introducción

1. Contexto

Con 45 años de historia, la organización Productos Congelados Selectos 3000 S.L. ha afianzado su presencia en el mercado de la fabricación de alimentos congelados. La empresa cuenta con 3 plantas ubicadas en Picassent, Valencia y Teruel, dejando huella en el sector gracias a la tradición, innovación y vanguardia de sus productos. Dichas instalaciones representan el compromiso e innovación en sus procesos internos en cada uno de los departamentos que las conforman. La empresa cuenta con diversas líneas de producción y equipos modernos que buscan asegurar la calidad de los productos y resaltan la importancia de la eficiencia operativa.

Sin embargo, como cualquier otra compañía, no se está exento de desafíos, y en el ámbito del departamento de mantenimiento se ha visto afectado en la gestión de motores eléctricos de inducción dentro de las diferentes líneas de producción. Existen diversas causas de los recurrentes fallos presentados en estos equipos, siendo las condiciones de humedad inherentes a los procesos productivos las principales responsables. Estas condiciones afectan directamente el aislamiento de los motores, generando costes en reparaciones y paradas de línea imprevistas para la fabricación de alimentos congelados. La falta de un plan de mantenimiento para la evaluación del sistema aislante ha obligado a realizar prácticas reactivas ante las diferentes averías presentadas, sin la capacidad de anticiparse a posibles fallos imprevistos.

Bajo este contexto, el presente trabajo de aplicación ofrece el diseño y propuesta de implementación de un plan de mantenimiento basado en el análisis del sistema aislante en motores de inducción pertenecientes a la línea de producción. Este enfoque busca corregir las vulnerabilidades actuales y contribuir a la optimización de la gestión de mantenimiento en dichos equipos, asegurando la disponibilidad de estas máquinas y manteniendo el proceso productivo. Así, se busca preservar la calidad y eficiencia que han caracterizado a Productos Congelados Selectos 3000 S.L a lo largo de su historia.

El plan de mantenimiento propuesto se basa en la implementación de un programa predictivo que incluya inspecciones regulares del sistema aislante de los motores eléctricos de inducción. Esto implicaría realizar pruebas de resistencia de aislamiento, análisis de vibraciones, termografía y otros métodos de diagnóstico para detectar posibles fallas incipientes antes de que se conviertan en problemas mayores. Además, se contemplaría la instalación de sistemas de monitoreo continuo para obtener datos en tiempo real sobre el estado de los motores y tomar acciones correctivas de manera oportuna. Con este enfoque proactivo, se espera reducir significativamente los costos asociados a reparaciones no programadas y tiempos de inactividad,

garantizando así la continuidad operativa y la competitividad de Productos Congelados Selectos 3000 S.L. en el mercado de alimentos congelados.

2. Justificación del Diseño del Plan de Ensayos

La relevancia del tema se fundamenta en la necesidad de establecer una rutina de inspección de equipos críticos en las líneas de producción de la empresa, con el objetivo de reducir las paradas no programadas y los costes asociados tanto a la producción como al mantenimiento. En entornos laborales expuestos a la humedad, los equipos eléctricos son propensos a diversos fallos, subrayando la importancia de monitorear de manera constante el comportamiento de sus componentes.

A partir del análisis del histórico de fallos y los costes relacionados con reparaciones y/o reemplazos de motores de inducción debido al deterioro del aislamiento, se propone la creación de rutinas de trabajo destinadas a evaluar el estado de los aislamientos mediante mediciones y estudios pertinentes. Los beneficios que emanan de esta iniciativa son evidentes: la significativa reducción de los costes de mantenimiento y el aumento en la disponibilidad y fiabilidad de los motores.

En resumen, la implementación de una rutina de inspección proactiva no solo aborda directamente los desafíos presentes en la empresa, sino que también promete mejoras sustanciales en la eficiencia operativa y la gestión de activos. Este enfoque no solo representa un paso crucial hacia la prevención de fallos, sino que también tiene el potencial de impactar positivamente en los resultados económicos y la competitividad de la empresa en el mercado.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un plan de mantenimiento para evaluar el sistema aislante de los motores de inducción en la línea 600 de producción de Productos Congelados Selectos 3000 S.L, con el propósito de reducir paradas no programadas y costes asociados.

3.2. Objetivos Específicos

I. Realizar un análisis del contexto operacional e histórico de datos de la muestra de evaluación, para la selección de los ensayos.

II. Desarrollar rutinas de trabajo específicas para la inspección y evaluación periódica del estado de los aislamientos de los motores, considerando los entornos de trabajo bajo humedad.

III. Establecer procedimientos de medición y estudios pertinentes para evaluar la resistencia de aislamiento, identificando valores críticos que indiquen posibles problemas.

IV. Diseñar un plan de mantenimiento preventivo que incluya acciones específicas, periodicidad de las inspecciones, y recursos necesarios para llevar a cabo las rutinas de evaluación.

V. Evaluar los medios técnicos requeridos para la implementación del plan, considerando tanto recursos físicos como tecnológicos necesarios para su ejecución eficiente.

VI. Realizar una evaluación económica integral que incluya los costos asociados a la implantación del plan, considerando tanto los gastos directos como los indirectos, con el fin de determinar su viabilidad financiera y establecer un presupuesto adecuado para su ejecución.

CAPITULO II – Marco Teórico

1. Máquinas Eléctricas

La maquinaria eléctrica comprende una variedad de dispositivos que tienen la capacidad de convertir diferentes formas de energía en energía eléctrica, o viceversa, y también pueden transformar esta energía en otras formas o magnitudes. Según esta descripción, estos equipos se dividen en tres categorías principales: generadores, motores y transformadores. La maquinaria eléctrica son equipos capaces de transformar algún tipo de energía en energía eléctrica o viceversa y además pueden tener la capacidad de convertir dicha energía del mismo tipo, pero en otras presentaciones o magnitudes. Tomando en cuenta esta definición, estos equipos se clasifican en tres grupos: Generadores, motores y transformadores.

Los generadores son dispositivos que pueden convertir la energía mecánica en energía eléctrica. Esto ocurre mediante la interacción entre un campo magnético y conductores que se encuentran en reposo (el estator). Su funcionamiento se basa en la producción de una fuerza electromotriz, como lo describe la Ley de Faraday.



Figura 01: Generador eléctrico. Fuente: [9]

Los transformadores eléctricos son dispositivos electromagnéticos que tienen la capacidad de modificar el voltaje de la corriente alterna en un circuito eléctrico, aumentándolo o reduciéndolo según sea necesario. Estos equipos se construyen con bobinas de alambre enrolladas alrededor de un núcleo de hierro, que pueden estar física o magnéticamente vinculadas. Una de las bobinas, llamada bobina primaria, se conecta a la fuente de energía, mientras que la otra, llamada bobina secundaria, se conecta a la carga. La relación entre el número de vueltas en cada bobina determina cómo se transforma el voltaje de entrada en el voltaje de salida. Esta capacidad

de ajuste facilita la transmisión eficiente de energía a largas distancias y permite adaptar diferentes niveles de voltaje en los sistemas eléctricos.



Figura 02: Transformador eléctrico. Fuente: [10]

En el caso que compete el presente documento, tenemos los motores eléctricos, que son aquellos artefactos capaces de transformar energía eléctrica en energía mecánica, generando movimiento. Su funcionamiento se basa en el principio de la fuerza electromotriz, donde existe una corriente eléctrica dentro de un conductor dentro de un campo magnético que genera fuerza y produce así actividad.



Figura 03: Motor eléctrico. Fuente: [11]

2. Motores Eléctricos

El motor eléctrico es un equipo descubierto y desarrollado en el siglo XIX. Primero se revelaron diferentes fenómenos del electromagnetismo y luego en base a estos descubrimientos se fueron desarrollando diferentes equipos precursores de este modelo que conocemos hoy en día. Dentro de los pioneros para el desarrollo de este ingenioso aparato está el científico británico Michael Faraday, conocido por su exitosa publicación “Rotación electromagnética”, donde explica entre otras cosas la construcción de un dispositivo en el que un conductor eléctrico giraba en torno a un imán fijo y, en contraparte, un imán móvil que giraba en torno a un conductor fijo.

A partir de los desarrollos y evoluciones en esta investigación de Faraday, como se explica en el párrafo anterior, se fueron creando diferentes antecedentes de motores eléctricos por gran cantidad de científicos e ingenieros, por lo que llegamos al año 1866, donde el inventor alemán Werner von Siemens creó la dinamo, equipo por el cual obtuvo patente y que contribuyó enormemente al inicio formal de los motores eléctricos y, además, introduciendo el concepto de ingeniería eléctrica.

Ahora bien, el motor eléctrico termina siendo un equipo que tiene la finalidad de transformar la energía eléctrica producida en energía mecánica, todo esto gracias a los principios de electromagnetismos generados en las bobinas (recubrimiento de cobre) en el estator, haciendo accionar el rotor.

Este dispositivo se puede clasificar en dos grandes tipos, en aquellos que funcionan con corriente alterna o corriente directa y, a su vez, dentro de los motores eléctricos que trabajan con corriente alterna encontramos los monofásicos y polifásicos. En aquellos equipos que trabajan con más de una fase aparecen los motores de inducción, dichas máquinas trabajan gracias a la creación de un campo magnético giratorio en el interior del motor, la cual induce corriente en el rotor, por lo que genera un par motor que impulsa la rotación del motor como energía mecánica. Estos, de igual forma, podemos clasificarlo según el tipo de rotor que utilicen: Tipo jaula de ardilla y rotor devanado.

Por otra parte, dentro de la clasificación de los motores polifásicos tenemos aquellos denominados como síncronos, que, a diferencia de los motores de inducción, trabajan con una velocidad nominal que es igual a la frecuencia de red a la cual están conectados.

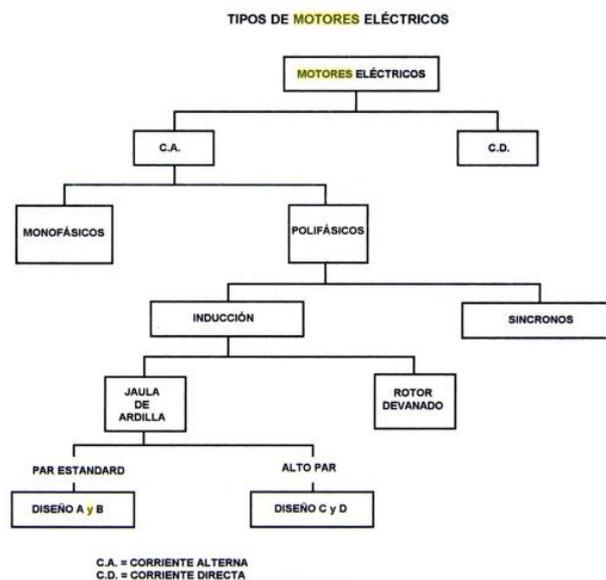


Figura 04: Clasificación de motores eléctricos. Fuente: [1]

3. Motor Eléctrico de Inducción o Asíncrono

Como centro del trabajo final de máster, están los motores eléctricos asíncronos, que son aquellos dispositivos que trabajan bajo el principio de inducción electromagnética donde su velocidad nominal nunca llegara a ser la misma que la velocidad de sincronismo. En otras palabras, la dirección del campo magnético del rotor es contrario al flujo del campo magnético del sincronismo porque según la ley de Faraday dicho flujo es continuo al inducido por corriente.

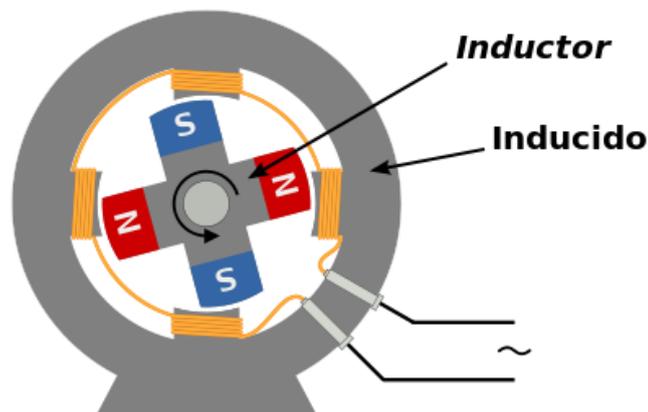


Figura 05: Esquema de principio de funcionamiento basado en inducción electromagnética en motores de Inducción por la ley de Faraday. Fuente: [12]

Estos equipos se pueden clasificar por el número de fases con la que trabajan:

- Trifásicos.
- Bifásicos.
- Monofásicos.

De igual forma, se dividen por tipo de rotor:

- Rotor devanado.
- Rotor de jaula de ardilla.

3.1. Elementos de un Motor Eléctrico de Inducción

Un motor eléctrico de inducción está constituido principalmente por los siguientes elementos:

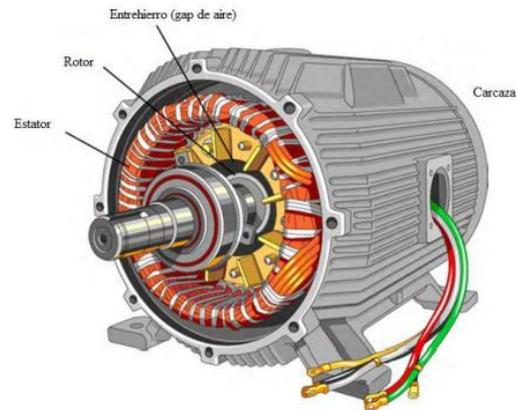


Figura 06: Elementos fundamentales de un motor de inducción. Fuente: [13]

a) Estator

La parte estacionaria del motor que envuelve al rotor y donde se genera el campo magnético giratorio cuando se alimenta con corriente alterna (CA). Está compuesto por láminas de acero al silicio troqueladas. Este campo magnético es fundamental para inducir corrientes eléctricas en el rotor, lo que provoca su movimiento y la conversión de energía eléctrica en energía mecánica. En esta sección se encuentra el bobinado, que consiste en conductores envueltos en material aislante. Es la parte fija del motor que rodea al rotor, además, el lugar en donde se genera el campo magnético giratorio al ser suministrado por corriente alterna (CA). Este componente está formado por láminas de acero al silicio troquelados. Dicho campo magnético es el responsable de la inducción de corrientes eléctricas en el rotor para su posterior movimiento que se transformara en energía mecánica. En este componente específicamente está alojado el bobinado, formado por conductores rodeados del aislamiento.

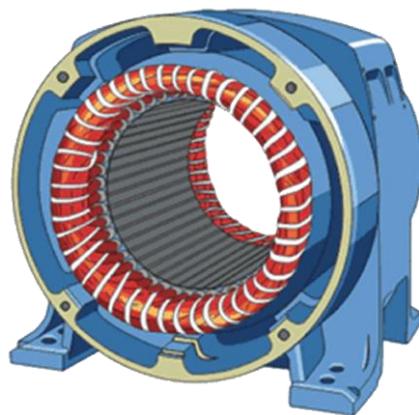


Figura 07: Estator de motor eléctrico de inducción. Fuente: [14]

b) Rotor

El rotor es la parte móvil interna del motor de inducción que funciona girando para transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Este proceso se logra al inducir corrientes eléctricas a través del campo magnético generado por el estator. Este tipo de motor también se conoce como asíncrono porque el movimiento del rotor es provocado por el campo magnético del estator, lo que genera su propio campo magnético y facilita su movimiento. Debido a estas características, las velocidades nominales y de sincronización nunca coinciden en este tipo de motor. Como se mencionó previamente, existen diferentes tipos de rotores, que se clasifican de la siguiente manera: El rotor, componente giratorio interno del motor de inducción, despliega su función durante el funcionamiento al girar de manera que convierte la energía eléctrica en energía mecánica mediante la inducción de corrientes eléctricas a partir del campo magnético generado por el estator. Este dispositivo también se conoce como asíncrono, dado que el movimiento del rotor es inducido por el campo magnético generado en el estator. Este proceso genera un campo magnético propio en el rotor, propiciando así el movimiento. Como resultado, las velocidades nominales y de sincronismo nunca coincidirán debido a las características intrínsecas de este tipo de motor. Como se explicó anteriormente, los rotores se clasifican de la siguiente manera:

- Rotor Devanado

Este tipo de rotor recibe su nombre debido a su diseño particular de devanado, que se encuentra en las ranuras. Al igual que el estator, está compuesto por láminas troqueladas montadas en el eje. Las bobinas se enrollan sobre las ranuras de manera específica, cuyo patrón depende del número de polos y fases del motor. Lleva este nombre debido al devanado especial que contiene en las ranuras, al igual que el estator, está formado por laminas troquelados montados en el eje. Las bobinas terminan siendo devanadas sobre las ranuras y su arreglo depende del número de polos y de fases.



Figura 08: Rotor devanado. Fuente: [15]

- Rotor de Jaula de Ardilla

Este tipo de rotor es conocido como "jaula de ardilla" debido a que su estructura de bobinado se asemeja a la forma de una jaula de este animal. Está compuesto por láminas de acero que son inducidas para generar corriente eléctrica, la cual a su vez produce el torque necesario para la generación de energía mecánica. Normalmente, este tipo de rotor está fabricado con aleaciones de aluminio.



Figura 09: Rotor de jaula de ardilla. Fuente: [16]

c) Carcasa

Se refiere al material que recubre los componentes internos del motor de inducción, proporcionando protección a todos los componentes esenciales para el correcto funcionamiento del equipo.

d) Entrehierro

Esto es el espacio existente entre el núcleo del estator y el rotor, lo cual le brinda linealidad al circuito magnético.

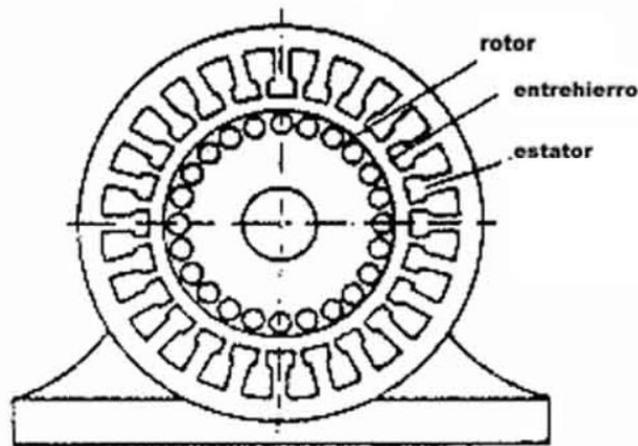


Figura 10: Ubicación de entrehierro en motor eléctrico de inducción. Fuente: [17]

e) Elementos Auxiliares

Los elementos auxiliares son todos aquellos componentes aparte de los fundamentales que permiten y/o facilitan la operatividad del motor y protege los diferentes de componentes principales, algunos ejemplos son: Arrancador, relé térmico, interruptor de emergencia, ventilador, entre otros.

4. Sistema de Aislamiento

El aislamiento de un motor eléctrico es el encargado de permitir al equipo alargar su periodo de vida útil, teniendo la capacidad de proteger los componentes internos para que estos tengan facilidad de operar en sus rendimientos térmicos y/o eléctricos óptimos. El material con el cual esta creado este recubrimiento del motor tiene como característica ser sumamente anti conductor (en términos de electricidad). Algunos de los materiales de los cuales están fabricados los sistemas aislantes: Resina epoxi, mica, papel y tela impregnados con resina, barnices aislantes, entre otros.

Bajo este concepto o definición entendemos que el sistema de aislamiento tiene como unidad de medida la resistencia (Ω), que se define como la oposición al flujo de corriente eléctrica a través de un conductor. [1]

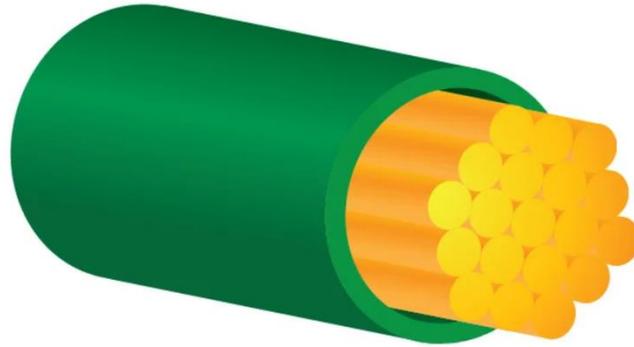


Figura 11: Recubrimiento de material aislante en conductores eléctricos. Fuente: [18]

El aislamiento en los motores eléctricos desempeña un papel fundamental en su rendimiento, seguridad y vida útil. Este revestimiento de materiales no conductores es esencial para prevenir cortocircuitos al proporcionar una barrera eléctrica entre las partes conductoras del motor. Su función principal es evitar que la corriente eléctrica circule de manera no deseada entre los conductores, lo que mejora la confiabilidad del motor y reduce el riesgo de daños. Además, el aislamiento protege al motor contra el deterioro causado por tensiones eléctricas, altas temperaturas y condiciones ambientales adversas como la humedad, lo que contribuye a prolongar su vida útil. La elección de un sistema aislante eficiente no solo contribuye a la seguridad, sino que también ofrece ventajas significativas en términos de fiabilidad y ahorro energético. Este sistema proporciona una mayor confiabilidad al reducir el riesgo de descargas eléctricas que podrían afectar a usuarios u operadores. Además, evita fugas de corriente que podrían representar un riesgo para la salud de las personas.

Un sistema aislante efectivo en los motores eléctricos tiene un impacto positivo en la eficiencia energética al reducir al mínimo las corrientes "parasitarias". Estas corrientes no deseadas pueden causar pérdidas de energía significativas, pero un buen aislamiento las previene, lo que resulta en un funcionamiento más eficiente del motor. Esto conduce a un menor consumo de energía y ahorros económicos a largo plazo. Además de mejorar la seguridad, esta práctica también fomenta un uso más sostenible y rentable de los motores eléctricos.

4.1. Clasificación de Sistemas Aislantes

Tomando como referencia 40°C, los sistemas aislantes o clases térmicas se clasifican según la temperatura a la que puedan operar. De acuerdo con la norma EN 60034-18-1:2010 los aislamientos se pueden clasificar según la temperatura máxima admitida. En general los valores máximos admitidos tienen un rango de tolerancia desde 10°C a 15°C. Tomando en cuenta lo

anteriormente descrito, se muestra una tabla con la clasificación de los sistemas aislantes y sus máximos valores permitidos.

Símbolo	Temperatura máxima admitida
A	105°C
E	120°C
B	130°C
F	155°C
H	180°C

Figura 12: Clasificación de los sistemas aislantes según su temperatura máxima admitida.

Fuente: [2]

Según la normativa NEMA, que establece los estándares de seguridad en los motores eléctricos (en este caso de estudio, también lo especifican para otros equipos), observamos en la siguiente figura los tipos de aislamiento más comunes utilizados en los diferentes estatores según su clase o temperatura máxima admitida

Tipo de aislante (Temp máx)*	Material Aislante	Impregnante o Barniz	Aplicaciones
A (105 °C)	Algodón, seda, rayón. Poliamida, acetato de celulosa	Barnices naturales y sintéticos	Recubrimiento de conductores y ranuras. Tubos flexibles
	Esmaltes de resina de poliéster		Recubrimiento de conductores
B (130 °C)	Tejidos de fibra de vidrio y amianto Mica, sola o con soporte de papel	Barnices y resinas a base de: epoxicos, melamina, poliéster reticulado.	Aislamiento de ranuras y bobinas. Separadores de delgas de colectores
	Esmaltes a base de : Poliuretano y polivinilo. Caucho etileno - propileno Cintas de fibra de vidrio y mica		Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados
F (155 °C)	Tejidos de fibra de vidrio barnizados. Papeles de mica y amianto. Compuestos a base de poliamida.	Barnices y resinas a base de: poliéster, poliuretano, epóxicas.	Recubrimiento de conductores y ranuras. Tubos flexibles. Sujeción de armaduras.
	Esmaltes y barnices a base de: Poliéster modificado, polietileno, poliuretano, poliamida. Resinas epóxicas.		Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados.
H (180 °C)	Tejidos de fibra de vidrio, amianto, mica, impregnados con silicona.	Resinas de silicona.	Recubrimientos de conductores y ranuras. Tubos flexibles.
	Fibras de vidrio y caucho silicona, Esmaltes de silicona, poliéster, poliuretano y poliéster imida.		Recubrimiento de conductores e impregnación de bobinados.

Figura 13: Tipo de aislamiento según su clase o temperatura máxima admitida. Fuente: [6]

4.2. Fallos Relacionados el Aislamiento

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema de aislamiento es esencial para guiar la corriente eléctrica por las vías adecuadas y evitar su flujo por rutas no deseadas. Sin embargo, este sistema puede verse afectado por diversas causas de degradación, lo que puede resultar en fallos, algunos de los cuales podrían ser muy graves para nuestros motores. En el contexto específico de nuestra empresa, que se dedica a la fabricación de alimentos congelados, enfrentamos desafíos adicionales debido a los altos niveles de humedad presentes.

En entornos como el de la producción de alimentos congelados, donde la humedad y otras condiciones ambientales pueden ser adversas, las líneas eléctricas y los equipos como los motores de inducción están más expuestos a posibles averías. La humedad elevada y las condiciones específicas de este entorno pueden acelerar la degradación del aislamiento, lo que podría ocasionar puntos de fallo en el sistema. Por lo tanto, es crucial abordar de manera proactiva y específica los desafíos relacionados con la humedad para prevenir y reducir los riesgos de averías en nuestros motores eléctricos. Basándonos en esto, podemos identificar cuatro tipos principales de fallos en el sistema de aislamiento.

- **Mecánicas:** Impactos, vibraciones y tensiones.
- **Eléctricas:** Descargas parciales y sobretensiones.
- **Térmicas:** Oxidación e hidrolisis.
- **Químicas y ambientales:** Gas, ácidos y radiación.

La principal repercusión de estos fallos es el deterioro o envejecimiento del material aislante, lo que podría convertirlo en un conductor en partes donde no se requiere conducción eléctrica. Esta situación puede ocasionar problemas como el sobrecalentamiento del motor, un consumo excesivo de corriente o incluso la detención completa del proceso de funcionamiento del motor de inducción. Entre las causas más habituales se incluyen:

- Altas temperaturas.
- Partículas extrañas internas.
- Altos consumos de corriente eléctrica.
- Mala calidad de la energía.
- Contexto ambiental desfavorable.

4.3. Técnicas de Mantenimiento en Sistemas Aislantes de Motores de Inducción

a) Técnicas Preventivas

La implementación de un mantenimiento preventivo efectivo es esencial para preservar la integridad y funcionalidad de los sistemas aislantes. Estas técnicas incluyen inspecciones regulares, pruebas no destructivas y análisis de aceite dieléctrico, entre otras. Al adoptar estas medidas, se busca garantizar un rendimiento óptimo, minimizando el riesgo de fallos y asegurando la operación eficiente y segura de los equipos.

Se recomienda generar un historial de mantenimiento del aislamiento para ser comprobado por el personal técnico en el momento que se presente una avería. En el caso de las revisiones es necesario (en una periodicidad establecida por el departamento correspondiente) ejecutar inspecciones visuales en búsqueda de partículas extrañas, suciedades y/o humedad.

- Comprobaciones con Motor de Inducción Encendido

En el momento en que el equipo esté en funcionamiento se pueden establecer ciertas rutinas de inspecciones para comprobar el estado del motor. Dentro de estas, se muestran las actividades de mantenimiento mas comunes:

- **Limpieza:** Se recomienda realizar una limpieza en seco de manera superficial removiendo polvo u otras suciedades.
- **Comprobación de la ventilación:** Verificar el funcionamiento normal del ventilador, localizar ruidos extraños.
- **Comprobación de la temperatura de funcionamiento:** En este punto es importante contar con un instrumento de medida de temperatura como una pistola térmica e ir tomando medidas de diferentes puntos del motor, como el acople, rodamiento, carcasa, ventilador, entre otros.
- **Observación de ruidos, roces o vibraciones:** Durante la rutina es importante detectar ruidos extraños o vibraciones anormales durante su funcionamiento, lo que puedan significar una avería.
- **Medición de tensión de alimentación e intensidad de funcionamiento:** Con la utilización de un tester, realizar las comprobaciones de tensión e intensidad de corriente de alimentación.
- **Comprobación de velocidad/par:** Se puede establecer dentro de la rutina la comprobación de la velocidad de funcionamiento con un tacómetro.

- Comprobaciones con Motor de Inducción Apagado

De igual forma, bajo una periodicidad establecida y en rigor a los tiempos establecidos de producción (en su caso), se debe realizar ciertas verificaciones con el motor apagado. A continuación, se enlistan las más comunes.

- **Limpieza de partes internas:** Se recomienda realizar una limpieza con aspirador o aire seco.
- **Comprobación de nivelación y alineamiento de carga:** Para la puesta en marcha realizar la respectiva nivelación del equipo sobre la bancada, generalmente se realiza con cuñas preparadas con anterioridad para este fin.

- **Comprobación del estado del ventilador:** Se deberá revisar las aspas, rodamientos y demás componentes que lo conforman, con el fin de ubicar roturas u otros defectos que atenten contra la integridad del sistema.
- **Comprobación de holguras y ajustes:** Ubicar si existen holguras no deseadas en uniones, como también revisar ajustes de tornillos.
- **Comprobación de caja de bornes, conexiones visibles y sujeción de las bobinas:** Abrir la caja de bornes y verificar corrección correspondiente.
- **Estado de los aislantes:** Comprobar el estado de aislamiento con el medidor de resistencia de aislamiento, tomar lectura entre bobinas y cada bobina a tierra.
- **Comprobación del engrase de los elementos mecánicos:** Realizar comprobación visual y en caso de una no conformidad se deberá colocar la grasa correspondiente.
- **Comprobación de maniobra de arranque:** Verificar ruidos extraños en el momento del encendido del equipo.

b) Técnicas Predictivas

Las técnicas predictivas se enfocan en el análisis de distintos parámetros a medir de interés relacionados al motor de inducción, con la finalidad de anticiparse a posibles averías, proporcionando gracias a una evaluación en el tiempo del estado del valor a inspeccionar. A continuación, se nombran las actividades más comunes.

- Prueba de Resistencia Óhmica

Esta prueba tiene como finalidad medir la resistencia Óhmica de los devanados del motor de inducción, intentando detectar falsos contactos y espiras en corto circuito. En este caso se suele utilizar el parámetro delta “R”, que no es más que el cociente entre la máxima desviación sobre el promedio (en Ohm) y el valor promedio (en Ohm). [4]

$$\text{Parámetro Delta R: } \frac{R_{max}-R_{min}}{R_{promedio}} * 100 \quad (1)$$

$$R_{max} = \text{Medida de Resistencia Máxima}$$

$$R_{min} = \text{Medida de Resistencia Mínima}$$

$$R_{promedio} = \text{Promedio de Medidas de Resistencia}$$

La tolerancia al desequilibrio resistivo, que mide las variaciones en la resistencia de los devanados, generalmente se establece en un máximo del 1%. En casos donde los devanados son

dispuestos de manera no uniforme, ocasionalmente se permite un margen extendido del 2%. Mantener este desequilibrio dentro de estos límites es crucial para garantizar un desempeño eléctrico eficiente y confiable en los equipos correspondientes. [4]

Se toma a consideración esta técnica como comprobación del sistema aislante ya que están relacionadas, sin embargo, como se explica en el texto referente, dicha prueba busca detectar problemas en los conductores del motor.

- Comprobación de la Resistencia de Aislamiento a Tierra

La prueba de aislamiento a tierra se realiza para verificar la integridad del sistema aislante en un motor eléctrico, con el objetivo de detectar posibles fugas entre las fases y la tierra que puedan comprometer la seguridad y el rendimiento del equipo. Durante esta prueba, se aplica una tensión continua entre la fase que se está evaluando y la tierra, con el fin de medir la resistencia del sistema aislante. Esta prueba ayuda a identificar anomalías como la presencia de contaminantes o humedad que podrían causar corrientes de derivación. Usualmente, se realiza con un tester o medidor de resistencia.

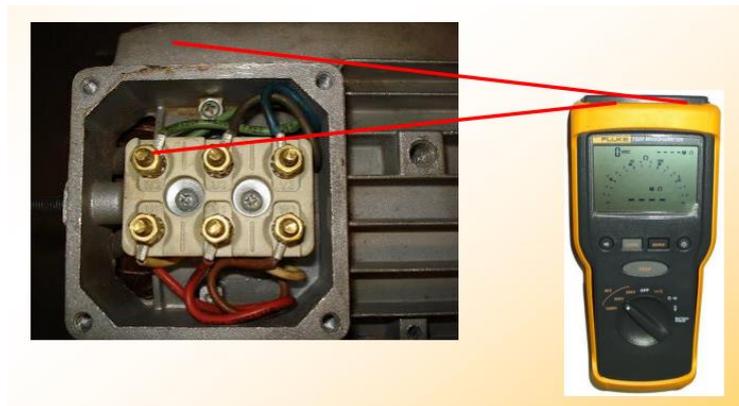


Figura 15: Prueba de aislamiento a tierra en motor eléctrico de inducción Fuente: [4]

La prueba de resistencia de aislamiento, conforme a la normativa IEEE 43-2000, requiere un cuidadoso equilibrio al seleccionar el nivel de tensión de prueba, especialmente en sistemas con bajos voltajes. Es fundamental adecuar la tensión de prueba a la nominal del devanado y a las condiciones normales del aislamiento, ya que la aplicación de un voltaje excesivo puede resultar en una sobrecarga del sistema aislante. Este escenario podría desencadenar fallas en el aislamiento y comprometer la integridad del equipo. La precaución en la elección de la tensión de prueba es, por lo tanto, esencial para garantizar una evaluación precisa del estado del aislamiento sin poner en riesgo la operatividad del sistema. [5]

La corriente total tiene tres componentes: corriente capacitiva, corriente de absorción y corriente de conducción. Usualmente la medida de resistencia del aislamiento varia proporcionalmente con el espesor del aislamiento e inversamente proporcional al área de superficie del conductor. [7]

- **Corriente capacitiva (I_C):** Hace referencia a una corriente reversible con magnitud significativa con un periodo de duración corta, la cual va disminuyendo de manera exponencial en un plazo de tiempo en conjunto a una aplicación de tensión. Dicha corriente está relacionada con la resistencia interna del equipo de medición y a la capacitancia geométrica del bobinado.
- **Corriente de absorción (I_A):** Corriente resultante de la polarización molecular y flujo de electrones que disminuye con el tiempo de aplicación de la tensión a velocidad decreciente, desde un valor inicial comparativamente alto hasta casi cero, y depende del tipo y condición del sistema de aislamiento. [7]. Es un indicativo de impurezas presentes en el material dieléctrico, siendo bastante útil a la hora de realizar un plan de inspecciones y ver la evolución de este parámetro.
- **Corriente de conducción (I_L):** La corriente de conducción o de fuga hace alusión a los flujos de intensidad no deseados que circulen por conductores no previstos en el motor (derivaciones eléctricas), la cual tienen como principales causas diferentes fallos en el sistema aislante que pueden ser causados por: pequeñas imperfecciones, grietas, humedad u otros defectos.

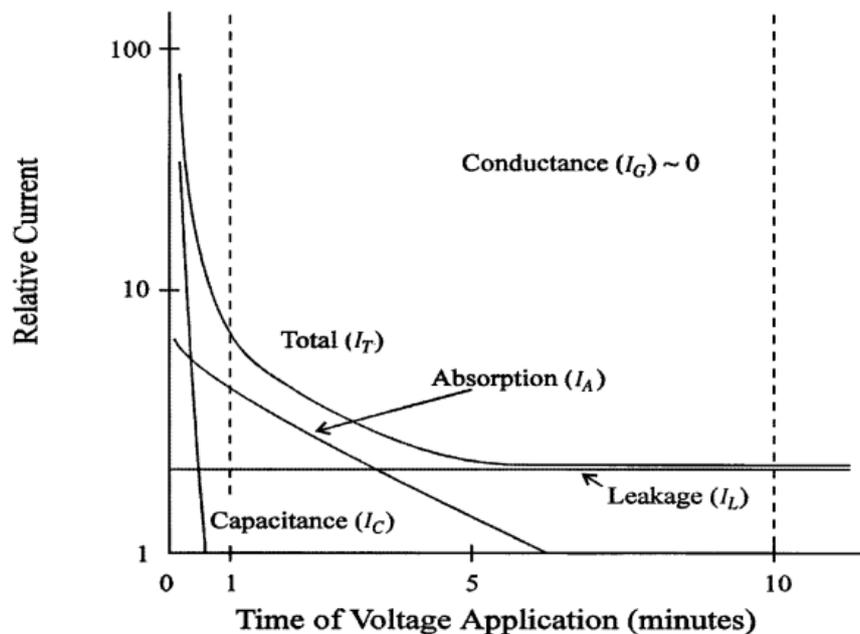


Figura 14: Tipos de corrientes para un aislamiento epoxi-mica.

Con una corriente de fuga superficial relativamente baja y sin corriente de conductancia [5]

Según la normativa IEEE 43-2000 “*IEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery*”, en la figura 14 observamos el nivel de DC de prueba en base al voltaje de trabajo del motor. Por otra parte, la figura 13 nos muestra los valores mínimos recomendados de resistencia de aislamiento a 40°C para distintos devanados.

Winding rated voltage (V)^a	Insulation resistance test direct voltage (V)
<1000	500
1000–2500	500–1000
2501–5000	1000–2500
5001–12 000	2500–5000
>12 000	5000–10 000

Figura 15: Directrices para los voltajes de CC que se aplicarán durante la prueba de resistencia de aislamiento. Fuente: [5]

Mínimo valor de resistencia (MΩ)	Tipo de motor
$\underline{IR1} \min = kV + 1$	Para la mayoría de los bobinados fabricados antes de 1970, todos los bobinados de campo y otros no descritos.
$\underline{IR1} \min = 100$	Para la mayoría de los bobinados AC fabricados después de 1970 (bobinados de pletina, no aplica a alambre redondo)
$\underline{IR1} \min = 5$	Para la mayoría de los motores AC y CC con estatores bobinados con alambre redondo y en pletina con tensiones nominales menor a 1000 V

Figura 16: Valores mínimos recomendados de resistencia de aislamiento para distintos devanados Fuente: [5]

Dentro de la normativa IEE 43-2000, observamos en la figura 15 se establecen medidas de resistencia de aislamiento a 40°C como referencia, si se requieren medidas a otras temperaturas de trabajo se debe aplicar la ecuación 2 y 3, tomando en cuenta el factor de corrección de temperatura.

$$R_C = K_T * R_T ; (M\Omega) \quad (2)$$

$$K_T = 0.5^{\frac{(40^\circ\text{C}-T)}{10}} \quad (3)$$

R_c = Resistencia al aislamiento corregida ; (M Ω)

K_t = Factor de corrección por temperatura

T = Temperatura de ejecución de la prueba ($^\circ\text{C}$)

Por otra parte, la normativa IEE 43-2000 proporciona una gráfica de conversión para el cálculo de “ K_t ”.

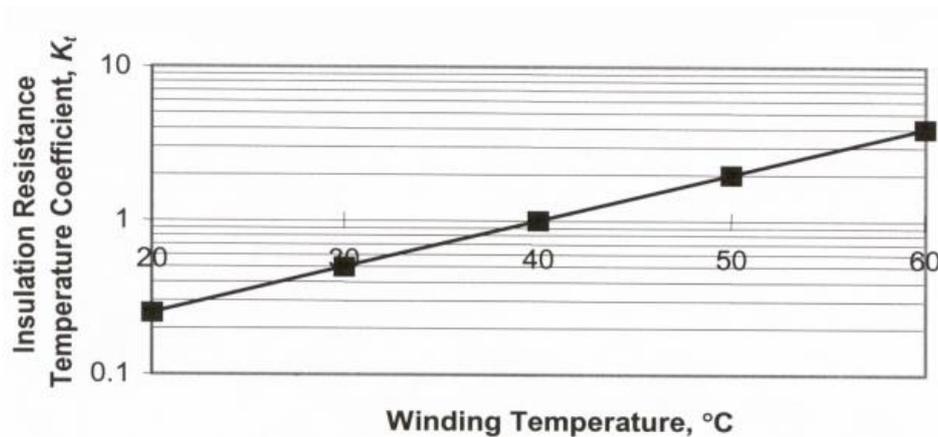


Figura 17: Coeficiente aproximado de resistencia de aislamiento, K_T , para reducir el aislamiento a la mitad por un aumento de temperatura de 10°C . Fuente: [5]

- Medición del Índice de Polarización (IP)

El índice de polarización se define como el cociente o relación entre el valor de resistencia de 10 minutos y de 1 minuto (ver ecuación 4), siendo este un valor indicativo de mal estado del aislamiento (grado de sequedad y limpieza). El parámetro medido de resistencia usualmente aumenta a medida que pasa el tiempo de realización del ensayo (ver figura 18), todo esto, al aplicarse un voltaje inicial.

$$IP = \frac{RA_{10min}}{RA_{1min}} \quad (4)$$

IP = Índice de Polarización

RA_{10min} = Resistencia de aislamiento a los 10 minutos

RA_{1min} = Resistencia de aislamiento en 1 minuto

Realmente el ensayo de índice de polarización es un indicativo de la curva características de corrientes presentes en un equipo eléctrico (ver figura 13) que indican el estado del sistema aislante. Dentro de la prueba si obtenemos un incremento continuo en el tiempo de resistencia se deduce que el aislamiento está en buen estado, en caso contrario, si resulta una medida de resistencia que permanece constante en el periodo de tiempo de la prueba se puede denotar que el aislamiento puede presentar corrientes de fuga (II) causados por humedades o partículas extrañas.

Thermal class rating	Minimum <i>PI</i>
Class A	1.5
Class B	2.0
Class F	2.0
Class H	2.0

Figura 18: Valores mínimos recomendados de índice de polarización para todas las máquinas.

Fuente: [5]

- Efectos de la Temperatura en las mediciones de Índice de Polarización

Como se ha explicado en este punto la prueba o ensayo de resistencia del aislamiento basado en el cálculo del índice de polarización puede ser alterado por el contexto operacional del motor eléctrico asíncrono, específicamente por la temperatura a la que se encuentra. Esto depende también de si el equipo está en operación o no, ya que debemos asegurar que el equipo se encuentre en la misma temperatura de la prueba anterior y así generar un histórico de mediciones fiable para analizar su comportamiento en el tiempo. En este sentido, cuando no sea posible controlar la temperatura entre una prueba y otra se debe realizar una corrección a 40°C (ver ecuación 2).

Ahora bien, tomando en cuenta el desarrollo del material de los sistemas aislantes durante los años 70 (1970 hasta 1979) donde se realizaron diferentes cambios en las máquinas eléctricas rotativas, siendo el más significativo el paso de sistemas aislantes “Termoplásticos” (aplicable a sistemas asfálticos) a “Termoestable” (sistemas basados en epoxi y poliéster), la norma IEE 42-2000 explica las correcciones del factor “Kt” para cada uno de estos. [7]

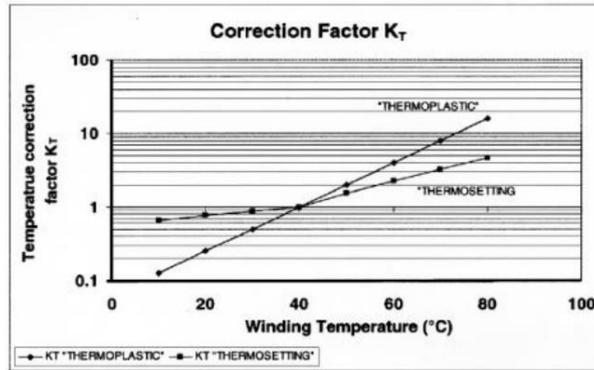


Figura 19: Factores de corrección de temperatura para sistemas de aislamiento “Termoplásticos” y “Termoestable”. Fuente: [7]

- Ecuación de corrección para sistemas de aislamiento Termoestable

Para el rango de temperaturas entre 10°C y 40°C se calcula con ecuación presentada a continuación.

$$K_T(T) = \exp \left[-1245 \left(\frac{1}{T+273} - \frac{1}{313} \right) \right] \quad (5)$$

$$T = \text{Temperatura } ^\circ\text{C}$$

K_t = Factor de corrección de temperatura para aislamientos termoestable

- Ecuación de corrección para sistemas de aislamiento Termoplástico

Para esta familia de sistemas aislantes se utilizará la ecuación 3.

$$K_T = 0.5^{\frac{(40^\circ\text{C}-T)}{10}} \quad (6)$$

K_t = Factor de corrección por temperatura

T = Temperatura de ejecución de la prueba (°C)

- Medición de la Absorción Dieléctrica (DAR)

Este ensayo es una variante del índice de polarización (IP). El proceso es el mismo, se aplica una tensión en un tiempo de ejecución de 1 minuto. Normalmente la prueba de índice de absorción dieléctrica se define como la resistencia de aislamiento a 1 minuto dividida por la resistencia de aislamiento a los 30 segundos.

$$DAR = \frac{IR_{60seg}}{IR_{30seg}}; (M\Omega) \quad (7)$$

DAR = Índice de Absorción Dieléctrica

IR_{60seg} = Resistencia de Aislamiento a los 60 segundos

IR_{30seg} = Resistencia de Aislamiento a los 30 segundos

Este cálculo es recomendable para equipos más pequeños que operen a bajas revoluciones por minuto, usualmente aplicado en motores con una potencia menor a 100 HP.

Según la guía de medición de resistencia de aislamiento realizada por Chauvin Arnaux Grau, la evaluación de los resultados de la medición del índice de absorción dieléctrica son de la siguiente manera.

Resultado de DAR (IR_{60s} / IR_{30s})	Condición del aislamiento
< 1,25	Cuestionable
<1,6	Aceptable
>1,6	Excelente

Figura 20: Estado del aislamiento respecto al DAR según Chauvin Arnaux Grau. Fuente: [7]

- Prueba de Descarga Dieléctrica (DD)

El ensayo "DD", también conocido como prueba de corrientes de absorción, implica medir la intensidad de corriente durante la descarga del dieléctrico del equipo en prueba. Debido a que durante las pruebas de sistemas aislantes se presentan los tres tipos de cargas (como se muestra en la figura 14), la corriente de absorción se ve directamente afectada por las corrientes de fugas. En resumen, esta prueba busca evaluar tanto la corriente de despolarización como la de descarga capacitiva del dieléctrico.

$$DD = \frac{I_{1min}}{T * C} \quad (8)$$

DD = Descarga Dieléctrica

I_{1min} = Corriente a 1 minuto

T = Tensión de ensayo

C = Capacidad

La ventaja de este ensayo es que permite identificar excesos de corriente de descarga producido cuando una de las capas de un aislante multicapas esta dañada o contaminada, avería que pasa desapercibido en las pruebas de índice de polarización y absorción (establecida como limitante de ellas en la norma IEE 42-2000). A continuación, se muestra una tabla que muestra los valores aceptables de DD. [8]

<i>DD</i>	<i>Calidad</i>
> 7	Mala
4 a 7	Mediocre
2 a 4	A vigilar
< 2	Buena

Figura 21: Valeres aceptados en prueba de descarga eléctrica en sistemas aislantes. Fuente: [7]

CAPITULO III – Marco Metodológico

Este estudio de naturaleza aplicada se enfoca en la empresa Productos Congelados Selectos 3000 SL, con especial atención a su sede en Picassent. El área de interés es la producción, que se divide en dos zonas principales: Manipulación y Envasado. En la zona de Manipulación, se destacan dos líneas específicas, la Línea 600 y la Línea 400. La línea 600, seleccionada debido a su criticidad y las condiciones operativas con hasta un 85% de humedad, atribuible a los procesos de freído y congelado, se ha convertido en el foco primordial de este estudio. Aquí, se han identificado y seleccionado cuatro motores asíncronos para someterlos a pruebas exhaustivas. Este enfoque detallado permitirá analizar el rendimiento y la operatividad de estos motores en un contexto crítico para la eficiencia del proceso de producción.

1. Muestra de Motores Asíncronos para Ensayos de Medidas de Sistema Aislante – (Equipos Operativos)

Establecido nuestro campo de estudio se muestra a continuación las fichas técnicas de los motores asíncronos o de inducción operativos en la industria utilizados para el estudio.

1.1. Motor CEMER 13091105956

Este motor se encuentra dentro del área de manipulación utilizado para movilizar la mezcladora de encolante. Suele trabajar 3 turnos de producción de lunes a viernes, por lo que es un equipo que se le saca mucho provecho.

<p>MOTOR ELECTRICO ASINCRONO – TRIFASICO. LINEA 600</p>	
<p>Marca</p>	<p>CEMER</p>
<p>Número de serie</p>	<p>13091105956</p>
<p>Régimen de servicio</p>	<p>S1 – 45°C</p>
<p>IP</p>	<p>55</p>
<p>Pares de polos</p>	<p>4</p>
<p>Frecuencia</p>	<p>50 Hz (Europa)</p>
<p>Voltaje en Triangulo / Estrella</p>	<p>230 / 400 V</p>
<p>Intensidad Triangulo / Estrella</p>	<p>4,59 / 2,64 A</p>
<p>Clase de aislamiento</p>	<p>F</p>
<p>Potencia</p>	<p>1.1 kW</p>

Factor de potencia ($\cos\phi$)	0,79
Revoluciones por minuto	1400 RPM

Figura 22: Ficha técnica motor eléctrico de inducción 13091105956. Fuente: [propia]

1.2. Motor BUSCK 6708036028

El presente motor está ubicado en la cinta transportadora de entrada al mezclador de encolante dentro de la línea 600. Trabaja 3 turnos de producción de lunes a viernes (generalmente), en las condiciones anteriormente explicadas en el área de manipulación.

MOTOR ELECTRICO ASINCRONO – TRIFASICO. LINEA 600	
Marca	BUSCK
Número de serie	6708036028
Régimen de servicio	S1 – 45°C
IP	55
Pares de polos	4
Frecuencia	50 Hz (Europa)
Voltaje en Triangulo / Estrella	220 – 240 V / 380 – 418 V
Intensidad Triangulo / Estrella	1,63 / 0,94 A
Clase de aislamiento	F
Potencia	0,37 kW
Factor de potencia ($\cos\phi$)	0,8
Revoluciones por minuto	2830 RPM

Figura 23: Ficha técnica motor eléctrico de inducción 6708036028. Fuente: [propia]

1.3. Motor SODECA 2017022810085

El presente motor es utilizado para propulsar un ventilador industrial. Ubicado en la línea 600 bajo el contexto de humedad extremo explicado anteriormente.

MOTOR ELECTRICO ASINCRONO – TRIFASICO. LINEA 600	
Marca	SODECA
Número de serie	2017022810085
Régimen de servicio	S1 – 45°C
IP	55

Pares de polos	4
Frecuencia	50 Hz (Europa)
Voltaje en Triangulo / Estrella	230 / 400 V
Intensidad Triangulo / Estrella	4 / 2,3 A
Clase de aislamiento	F
Potencia	1,1 kW
Factor de potencia (cosφ)	0,83
Revoluciones por minuto	2835 RPM

Figura 24: Ficha técnica motor eléctrico de inducción 2017022810085. Fuente: [propia]

1.4. Motor Tsubaki 172101593

Por último, tenemos un motor de origen japonés que está ubicado en la cinta transportadora de entrada hacia el túnel de congelación del producto, nuevamente, como todos los anteriores ubicado en la zona de manipulación.

MOTOR ELECTRICO ASINCRONO – TRIFASICO. LINEA 600	
Marca	TSUBAKI
Número de serie	172101593
Régimen de servicio	S1 – 45°C
IP	55
Pares de polos	4
Frecuencia	50 Hz (Europa)
Voltaje en Triangulo / Estrella	220 / 380 V
Intensidad Triangulo / Estrella	0,32 / 0,048 A
Clase de aislamiento	F
Potencia	0,1 kW
Factor de potencia (cosφ)	0,83
Revoluciones por minuto	1400 RPM

Figura 25: Ficha técnica motor eléctrico de inducción 172101593. Fuente [propia]

2. Muestra de Motores Asíncronos para Ensayos de Medidas de Sistema Aislante – (Equipos Resguardados)

Para realizar una comparación del estado del aislamiento de los motores de inducción en uso, se realizarán estudios en los equipos resguardados en almacén de repuestos del departamento de mantenimiento, con el fin de conocer el estado de estos. A continuación, se adjuntan las fichas técnicas de las máquinas anteriormente mencionadas.

MOTOR ELECTRICO ASINCRONO – TRIFASICO. ALMACEN	
Marca	TECHTOP MOTOR
Número de serie	0120071670666
Régimen de servicio	S1 – 45°C
IP	55
Pares de polos	4
Frecuencia	50 Hz (Europa)
Voltaje en Triangulo / Estrella	230 – 400 V
Intensidad Triangulo / Estrella	0,70 / 0,41 A
Clase de aislamiento	F
Potencia	0,12 kW
Factor de potencia (cosφ)	0,69
Revoluciones por minuto	2840 RPM

Figura 26: Ficha técnica motor eléctrico de inducción 0120071670666. Fuente [propia]

MOTOR ELECTRICO ASINCRONO – TRIFASICO. ALMACEN	
Marca	CEMER
Número de serie	No se aprecia
Régimen de servicio	S1 – 45°C
IP	55
Pares de polos	4
Frecuencia	50 Hz (Europa)
Voltaje en Triangulo / Estrella	336 – 400 V
Intensidad Triangulo / Estrella	0,74 / 0,43 A
Clase de aislamiento	F
Potencia	0,09 kW
Factor de potencia (cosφ)	0,61
Revoluciones por minuto	1320 RPM

Figura 27: Ficha técnica motor eléctrico de inducción modelo CEMER (Taller). Fuente [propia]

MOTOR ELECTRICO ASINCRONO – TRIFASICO. ALMACEN	
Marca	NORD
Número de serie	203865371-300
Régimen de servicio	S1 – 45°C
IP	66

Pares de polos	4
Frecuencia	50 Hz (Europa)
Voltaje en Triangulo / Estrella	230 – 400 V
Intensidad Triangulo / Estrella	1,21 / 0,70 A
Clase de aislamiento	F
Potencia	0,25 kW
Factor de potencia (cosφ)	0,67
Revoluciones por minuto	1725 RPM

Figura 28: Ficha técnica motor eléctrico 203865371-300. Fuente [propia]

MOTOR ELECTRICO ASINCRONO – TRIFASICO. ALMACEN	
Marca	REM
Número de serie	1911-197
Régimen de servicio	S1 – 45°C
IP	55
Pares de polos	4
Frecuencia	50 Hz (Europa)
Voltaje en Triangulo / Estrella	230 – 400 V
Intensidad Triangulo / Estrella	0,77 / 0,44 A
Clase de aislamiento	F
Potencia	0,12 kW
Factor de potencia (cosφ)	0,65
Revoluciones por minuto	1395 RPM

Figura 29: Ficha técnica motor eléctrico 1911-197. Fuente [propia]

3. Instrumento de medición para realización de los ensayos

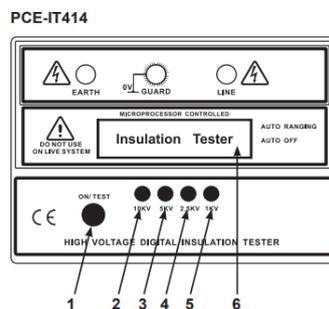
La ejecución de los ensayos se ha facilitado gracias a la disponibilidad de un megohmetro (megger) en la planta, con la capacidad de realizar diversas pruebas y comprobaciones de aislamiento en los motores de muestra. El megger, un instrumento que proporciona lecturas de resistencia del sistema aislante en ohmios o megohmios, opera aplicando una tensión al objeto bajo medición, conectado a través de pinzas al megger. Esta herramienta es esencial para evaluar la integridad del aislamiento, permitiendo mediciones precisas y eficientes en el marco de los ensayos llevados a cabo en los motores seleccionados.

El instrumento de medición a utilizar es de la marca “PCE Instruments” con el modelo PCE-IT414. Dicho equipo es un medidor de aislamiento para alta tensión hasta 10.000 V. Este equipo viene en una presentación robusta con una pantalla de 6 dígitos, el cual está diseñado para utilizarse en exteriores y condiciones adversas.



Figura 30: Megger PCE-IT414. Fuente: [19]

El dispositivo está equipado con un interruptor de encendido y apagado, así como cuatro botones que representan diferentes niveles de tensión para llevar a cabo el ensayo. Es importante destacar que la elección de la tensión de prueba depende de la tensión nominal a la que opera regularmente el motor que está siendo probado (ver figura 16). Este instrumento tiene la capacidad de aplicar tensiones en intervalos de 1000, 2500, 5000 y hasta 10.000 voltios. La versatilidad en las opciones de tensión permite adaptar la prueba a las especificaciones del motor en cuestión, asegurando una evaluación precisa y efectiva del estado de su aislamiento.



1. Tecla ON/OFF, de prueba y ON/OFF ← del ENERSAVE
2. Interruptor para prueba de 10 000 V
3. Interruptor para prueba de 5000 V
4. Interruptor para prueba de 2500 V
5. Interruptor para prueba de 1000 V
6. ENERSAVE ← pantalla LCD inteligente

Figura 31: Visualización principal de Megger PCE-IT414. Fuente: [9]

Especificaciones técnicas		
	PCE-IT413	PCE-IT414
Tensión de control DC	500 / 1.000 / 2.500 / 5.000 V	1.000 / 2.500 / 5.000 / 10.000 V
Rangos de medición	25 G Ω / 500 V 50 G Ω / 1.000 V 125 G Ω / 2.500 V 250 G Ω / 5.000 V	50 G Ω / 1.000 V 125 G Ω / 2.500 V 250 G Ω / 5.000 V 500 G Ω / 10.000 V
Precisión	$\pm 5\%$ + 2 dgt.	
Potencia de salida	Máximo 1 vatio	
Resistencia de aislamiento entre la conducción eléctrica y la carcasa	2000 M Ω / 2000V	
Tensión estática entre circuito y carcasa	7000 V AC para máximo 1 minuto	
Condiciones ambientales	-15 ... +55 °C; máx. 80% H.r.	
Alimentación	8 x pilas de 1,5 V, tipo AA	
Dimensiones	205 x 110 x 190 mm	
Peso	Aprox. 1,6 kg	
Normativa	EMV: EN 61326-1 LVD: IEC/EN 61010-1 CAT III	

Figura 32: Ficha técnica Megger PCE-IT414. Fuente [9]

Un aspecto limitante para considerar del instrumento a utilizar es su diseño específico para medir únicamente la resistencia de aislamiento, mostrando los resultados en el display. Esto implica que su funcionamiento es bastante sencillo y carece de la capacidad de calcular automáticamente otros parámetros relevantes, como el Índice de Polarización (IP) y el Índice de Absorción Dieléctrica (DAR). Estos ensayos son fundamentales para el presente trabajo, lo que convierte esta limitación en un factor crucial a tener en cuenta.

4. Software para recopilación de datos

Para recopilar y generar la base de datos de los ensayos, se ha propuesto aprovechar el sistema GMAO (Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador) existente en el departamento de mantenimiento. Este sistema, conocido como “Carl Source”, dispone de diversas interfaces para la gestión de mantenimiento en áreas como operaciones, compras, presupuestos, entre otros. La utilización de esta plataforma facilitará la organización, almacenamiento y análisis eficiente de los datos obtenidos durante los ensayos, contribuyendo así a una gestión integral y efectiva de la información relacionada con el estado de los motores y el rendimiento del aislamiento.



Figura 33: Logo de Carl Source. Fuente: [20]

En cuanto a la salvaguarda de la información de las inspecciones, resulta esencial estructurar el trabajo mediante órdenes de trabajo, estableciendo un plan de rutina que detalle las operaciones a llevar a cabo por el responsable de ejecución de los ensayos de resistencia de aislamiento. Este plan no solo facilitará la captura sistemática de datos durante las pruebas, sino que también permitirá agregar los consumos asociados, posibilitando un análisis detallado del comportamiento de dichas mediciones a lo largo del tiempo.

La implementación de este enfoque se llevará a cabo a través del GMAO “Carl Source”. Este sistema cuenta con una transacción específica de puntos de medida, proporcionando una interfaz dedicada para la introducción, seguimiento y evaluación de los resultados de las mediciones de resistencia de aislamiento. Al trabajar con órdenes de trabajo y utilizar el GMAO de manera integral, se garantiza una gestión eficaz de la información, facilitando la toma de decisiones basada en datos precisos y la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo.

Puntos de medida > Detalle de un punto de medida
DETALLE DEL PUNTO DE MEDIDA MP-00005 - TENSION EN T

Un punto de medida le permite hacer un seguimiento del valor de un equipo o un punto de estructura. > Los puntos de medida de origen y ...

General | Lecturas | Vínculos

Punto de medida: MP-00005 | Título: Tensión en T

Punto de estructura: | Rebozadora Automática Gamba Rebozada N° 2

Equipo: F038 | Organización: PICASSENT

Modelo: TENSION_T | Medida de tensión T | Contador real:

Tipo: Simple | Unidad: voltio | N° decimales: 3 | Envejecimiento medio: Ninguna

Valor mín.: 0,000 V | Valor máx.: 999.999,000 V | Período de lecturas (d): | Valor:

Tipo de coste: | Precio unitario (P.U.): | Regresión prohibida: | Período (d):

Centro de costes: | Categoría:

Límite mínimo: | Límite máximo:

Supervisión: | Última lectura: Valor: 1,000 V

Corrección: | Fecha: 26/01/2024 06:25:05

Emitir una SI: | Enviar un email:

Figura 34: Vista principal de punto de medida en el GMAO. Fuente: [propia]

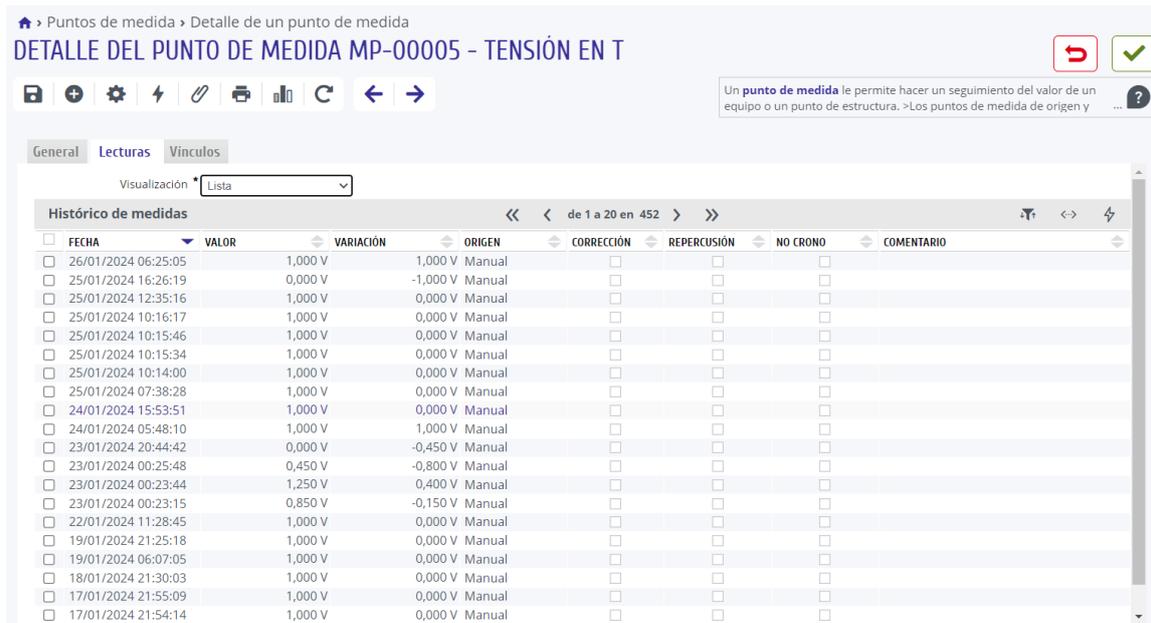


Figura 35: Visualización de históricos de mediciones de tensión tipo listado en Carl Soure.

Fuente: [propia]



Figura 36: Visualización de comportamiento en el tiempo de histórico de mediciones en Carl

Source. Fuente: [propia]

Considerando lo mencionado anteriormente, se concluye que el GMAO actualmente en uso en el departamento de mantenimiento es adecuado para llevar a cabo este trabajo de fin de máster, con el objetivo de asegurar la integridad de la información. Un aspecto notable para considerar es la posibilidad de establecer valores límite para los parámetros a evaluar. En caso de que se obtenga un valor fuera de este rango, el sistema puede generar automáticamente un aviso

de mantenimiento o enviar un correo electrónico al responsable correspondiente, lo que garantiza una gestión proactiva de los equipos y una respuesta eficiente ante posibles problemas.

5. Normativa referente a las pruebas realizadas

Los procedimientos de los ensayos a ejecutar en la muestra de motores eléctricos de inducción o asíncronos en la planta de producción de Productos Congelados Selectos 3000 SL, específicamente en el área de manipulación, tiene su basamento en la normativa “IEE Std 43-2000”. Las siglas “IEE” hacen referencia a “Institute of Electrical and Electronics Engineers”, siendo estos una organización profesional que ha desarrollado en diversas áreas de ingeniería eléctrica y electrónica.

La normativa en cuestión (IEE 43-2000) describe el procedimiento recomendado para medir la resistencia de aislamiento de la armadura de los devanados de campo en máquinas rotativas con capacidad de 1 HP, 750 W o más. Aplica hasta máquinas de inducción, de corriente continua y condensadores síncronos. En este documento se encuentra la teoría general de la resistencia de aislamiento (IR) y el índice de polarización (IP), así como factores que afectan los resultados, procedimientos de prueba, métodos de interpretación, limitaciones de la prueba y valores mínimos recomendados. [5]

6. Selección de técnicas de monitorizado de aislamiento en motores de prueba

Como referencia a diferentes estudios y más precisamente al trabajo final de máster realizado por Johana Renata Hualpa Molina, se observa mediante la figura 33, que la mayoría de las averías en máquinas eléctricas rotativas, por lo que el sistema aislante presenta mayor susceptibilidad.

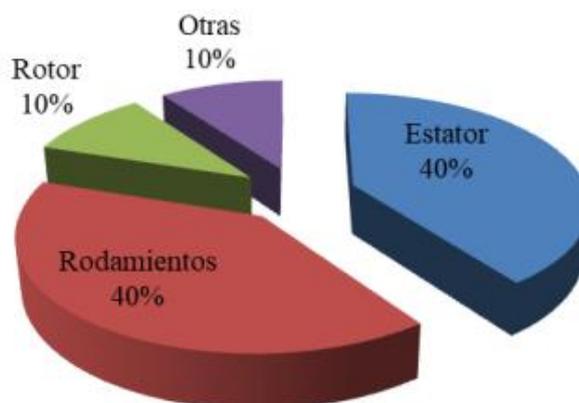


Figura 37: Clasificación de partes de maquinaria rotativas afectados por averías. Fuente: [7]

Al elegir técnicas de monitorización de sistemas aislantes, es crucial tener en cuenta una serie de aspectos que abarcan desde los objetivos específicos hasta la logística del proceso productivo. A continuación, se presenta una tabla que detalla estos aspectos, destacando las pruebas asociadas y las variables que se pueden obtener a partir de ellas. Asimismo, se considera la necesidad de evaluar si la intervención en el proceso productivo es viable o si las pruebas deben llevarse a cabo durante paradas de planta, todo ello en función del tiempo disponible.

Aspecto	Descripción
1. Objetivos de la Monitorización	Inspecciones de resistencia de aislamiento en condiciones de humedad y suciedad.
2. Requisitos del Proceso Productivo	Poco tiempo de inactividad, con procesos productivos de 3 turnos de lunes a viernes y horarios de mantenimiento de lunes a viernes.
3. Intervención en el Proceso Productivo	Muy poco tiempo disponible.
4. Técnicas de Monitorización	Resistencia óhmica, índice de polarización e índice de Absorción.
5. Variables Medibles	Contaminación y/o humedad en sistema aislante.
6. Impacto en el Rendimiento del Sistema	Aplicar tensiones adecuadas que no sobrecarguen el sistema.
7. Frecuencia de las Pruebas	Debido a la gran presencia de humedad en la sala de manipulación, procederemos a realizar las pruebas cada 15 días.
8. Recursos Necesarios	La organización cuenta con un Megger y se creará la rutina de trabajo en el GMAO, donde igualmente se recopilará la base de datos.

Figura 38: Evaluación de aspectos de escogencia de técnicas de monitorizado. Fuente:

[propia]

Las técnicas elegidas para la monitorización son no destructivas y se llevan a cabo sin afectar la operatividad del equipo. Estas técnicas, caracterizadas por su arraigo en la industria, son especialmente valiosas para abordar la problemática central en un entorno operacional de freídos y congelación. En este contexto, donde la condensación representa un desafío significativo y potencialmente perjudicial para los equipos, la elección de técnicas no destructivas adquiere una importancia estratégica para el departamento de mantenimiento.

Al considerar la tradición y efectividad de estas técnicas, se facilita la supervisión continua de la evolución del problema a lo largo del tiempo. La capacidad de llevar a cabo estas pruebas sin afectar la operatividad del equipo es crucial en entornos donde la eficiencia operativa es una prioridad constante. De esta manera, el departamento de mantenimiento puede obtener información valiosa sobre la condición de los equipos, identificar posibles desgastes o anomalías, y tomar medidas preventivas de manera proactiva.

En resumen, la elección de técnicas no destructivas, aplicables sin interrupciones en la operación y respaldadas por una sólida tradición en la industria, se alinea de manera óptima con la naturaleza operativa del entorno de freídos y congelación.



Figura 39: Medición de Resistencia de aislamiento en motor asíncrono de mezcladora de encolante. Fuente: [propia]

5.1. Procedimiento de medición de Resistencia de Óhmica

Esta actividad predictiva no hace referencia directa al aislamiento de los motores de inducción, sino a los conductores, sin embargo, si están relacionadas. Con esta tarea se busca obtener el grado de diferencia de magnitudes entre bobinas con el fin de detectar averías y/o analizarlas en el tiempo para anticiparse a ellas. Para esto, se debe seguir el siguiente procedimiento.

- Encender el equipo por 5 minutos.

Esto con el fin de mantener el equipo a una temperatura considerable para la medición. Verificar que el equipo esté conectado a una fuente de alimentación.

- Apagar el equipo y desconectar.

Luego de que el equipo trabajase en el tiempo establecido, se apagara el equipo, desconectándolo de la fuente de alimentación y removiendo la conexión en la bornera.

- Comprobar que el motor de inducción esta sin tensión.

Comprobar que el equipo no esté conectado a la fuente de alimentación.

- Conectar el cableado en el puerto de entrada del Tester y medir resistencia entre bobinas.

Conectar los cables para realizar las mediciones en los puertos del instrumento de medida y ubicarlos en las fases a medir en el motor.

- Obtener lectura de resistencia óhmica.

Aparecerá el valor en pantalla.

6.2. Procedimiento de medición de Índice de Polarización (IP)

Tomando en cuenta la variación de la medida de resistencia de aislamiento en el tiempo (debido a diferentes causas), se procedió a aplicar el ensayo de índice de polarización, un ensayo de tiempo que permite obtener una idea del estado de suciedad y/o humedad dentro del sistema aislante. Basándonos en la ecuación 4, se tomaron medidas de resistencia del aislamiento a los 10 minutos y 1 minuto y se comparan con la figura 19 (Valores mínimos recomendados de índice de polarización para todas las máquinas), tomando en cuenta que todos los sistemas aislantes de los motores de prueba son de clase F y de familia “Termoplástico”, por lo que la corrección de temperatura se aplicó a 40°C (ver ecuación 6).

- Encender el equipo por 5 minutos.

Esto con el fin de mantener el equipo a una temperatura considerable para la medición. Verificar que el equipo esté conectado a una fuente de alimentación.

- Apagar el equipo y desconectar.

Luego de que el equipo trabajase en el tiempo establecido, se apagará el equipo, desconectándolo de la fuente de alimentación y removiendo la conexión en la bornera.

- Comprobar que el motor de inducción está sin tensión.

Comprobar que el equipo no esté conectado a la fuente de alimentación.

- Conectar el cableado en el puerto de entrada del Megger y conectar las pinzas de línea y tierra.

Conectar los cables para realizar las mediciones en los puertos del instrumento de medida y ubicarlos en las fases a medir en el motor.

- Encender en el botón “ON/OFF” el instrumento de medida (ver imagen 27).

Luego de que este todo en su posición presionamos el botón de “ON/OF” para encender el equipo e iniciar la medición de resistencia de aislamiento.

- Aplicar tensión (500 V).

Se aplica una tensión de 500V para el tipo de motor.

- Tomar lectura de resistencia de aislamiento a los 10 minutos y 1 minuto.

Luego de iniciado la medición, tomar nota de las medidas de resistencia de aislamiento (IR) en el minuto 1 y en el minuto 10.

- Hacer correcciones de temperatura “Kt” a 40°C (ver ecuación 6).

Esto debido a que el entorno de trabajo de los equipos a evaluar está por debajo de los 40°C (entre 15 y 20).

- Hacer el cálculo de índice de polarización (ver ecuación 4)

Realizar calculo y resguardar información en la transacción de puntos de medida en el GMAO.

6.3. Procedimiento de medición de índice de Absorción (DAR)

Esta técnica, no especificada en la normativa IEEE 43-2000, ha sido adoptada basándonos en la información proporcionada por Chauvin Arnoux Group en su “Guía de la medición de aislamiento”. Este recurso nos ha permitido definir el procedimiento de ejecución, el cual hemos incorporado en nuestra tabla de resultados de ensayos realizados en los motores de prueba seleccionados. Aunque el principio de ejecución sigue la misma lógica que el índice de polarización, se distingue por la toma de tiempos de 1 minuto y 30 segundos, según lo establecido en la ecuación 7.

- Encender el equipo por 5 minutos.

Esto con el fin de mantener el equipo a una temperatura considerable para la medición. Verificar que el equipo esté conectado a una fuente de alimentación.

- Apagar el equipo y desconectar.

Luego de que el equipo trabajase en el tiempo establecido, se apagara el equipo, desconectándolo de la fuente de alimentación y removiendo la conexión en la bornera.

- Comprobar que el motor de inducción esta sin tensión.

Comprobar que el equipo no esté conectado a la fuente de alimentación.

- Conectar el cableado en el puerto de entrada del Megger y conectar las pinzas de línea y tierra.

Conectar los cables para realizar las mediciones en los puertos del instrumento de medida y ubicarlos en las fases a medir en el motor.

- Encender en el botón “ON/OFF” el instrumento de medida (ver imagen 27).

Luego de que este todo en su posición presionamos el botón de “ON/OF” para encender el equipo e iniciar la medición de resistencia de aislamiento.

- Aplicar tensión (500 V).

Se aplica una tensión de 500V para el tipo de motor.

- Tomar lectura de resistencia de aislamiento a los 60 segundos y 30 segundos.

Luego de iniciado la medición, tomar nota de las medidas de resistencia de aislamiento (IR) en el segundo 30 y en el minuto 1.

- Hacer correcciones de temperatura “Kt” a 40°C (ver ecuación 6).

Esto debido a que el entorno de trabajo de los equipos a evaluar está por debajo de los 40°C (entre 15 y 20).

- Hacer el cálculo de índice de absorción. (ver ecuación 4).

Realizar calculo y resguardar información en la transacción de puntos de medida en el GMAO

7. Factores que afectan las medidas de resistencia de aislamiento

Tomando el criterio de la norma IEE 43-2000 existen diferentes factores que pueden afectar a las lecturas tomadas de resistencia de aislamiento, por lo que al momento de ejecutar las pruebas es importante tomar en cuenta estos puntos para dar mayor fiabilidad a los ensayos.

7.1. Efectos de Humedad

Independientemente de la limpieza de la superficie del devanado, si la temperatura del devanado se encuentra o está por debajo del punto de rocío del aire ambiente, se puede formar una película de humedad en la superficie del aislamiento, lo que puede disminuir la resistencia del aislamiento o el índice de polarización. El efecto es más pronunciado si la superficie también está contaminada o si hay grietas en el aislamiento. Cabe destacar que los efectos de la contaminación por humedad en un devanado en buen estado no deberían impedir la obtención de lecturas aceptables. [5]

Es por esto por lo que se ha propuesto realizar las rutinas de inspecciones en los turnos de la noche cuando no hay producción, para que no se acumule tanta condensación en el ambiente

que perjudique las lecturas a tomar. Por otra parte, se encenderá el equipo por 5 minutos antes de cada prueba, con esto, se disminuirá mucho más la probabilidad que la temperatura del motor este por debajo del punto de rocío del ambiente.

7.2. Efectos de la temperatura

Como se ha explicado en puntos anteriores es importante realizar las mediciones en condiciones de temperatura estables, entendiblemente este es un aspecto difícil de cumplir (sobre todo en una planta de fabricación de productos congelados), por lo que se ejecutara las correcciones de temperatura pertinentes “Kt” y proceder con los cálculos de resistencia de aislamiento para aislamientos de la familia de “termoplásticos” (ver ecuación 2).

7.3. Efectos de la magnitud de voltaje de prueba

El voltaje de prueba erróneo puede sobrecargar el sistema aislante y generar una avería catastrófica en el motor asíncrono, por lo que la escogencia de voltaje de prueba en base a la tensión nominal de trabajo de la máquina evitara presenciar dificultades posteriores de los ensayos. (ver figura 16).

7.4. Efecto de la carga existente en las mediciones de resistencia del devanado

Las mediciones de resistencia de aislamiento pueden ser incorrectas si existen cargas residuales en el aislamiento. Por lo tanto, antes de medir la resistencia de aislamiento, los devanados deben descargarse por completo. Mida la corriente de descarga al inicio de la prueba para asegurarse de que el devanado esté completamente descargado. Una carga residual se manifestará como una deflexión inversa del medidor de resistencia de aislamiento después de realizar las conexiones, pero antes de aplicar el voltaje. Cualquier deflexión inversa debería ser insignificante.

Después de cesar la aplicación de alto voltaje directo, la conexión a tierra de los devanados es importante tanto por seguridad como por la precisión de las pruebas posteriores. El tiempo de conexión a tierra debe ser como mínimo cuatro veces el tiempo de carga. [5]

8. Plan de mantenimiento basado en parámetros de resistencia de aislamiento

A continuación, se presenta la propuesta de plan de mantenimiento predictivo basado en rutinas de inspección para conocer el estado del sistema aislante de los motores asíncronos.

8.1. Recursos humanos

La empresa Productos Congelados Selectos 3000 S.L cuenta con el departamento de mantenimiento conformado por un equipo de trabajo capaz de realizar los procedimientos pertinentes para cumplir con los ensayos de medidas de resistencia del aislamiento que se propone. A nivel administrativo se cuenta con tres ingenieros de mantenimiento, un coordinador, una responsable de compras, un supervisor, siete técnicos y dos encargados de servicios generales. A continuación, en la figura 33, se muestra el organigrama.

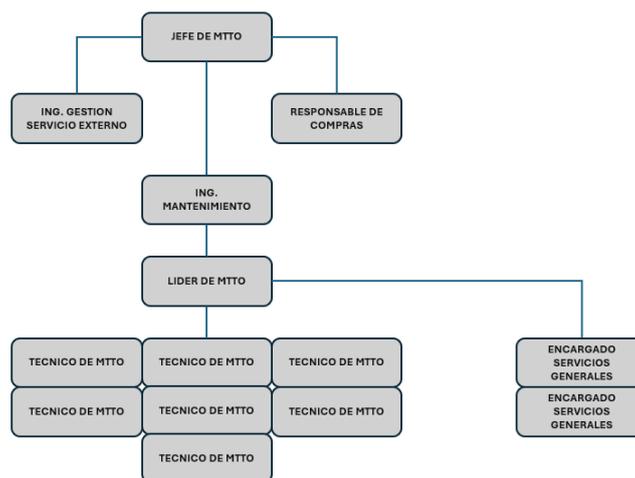


Figura 40: Organigrama del departamento de mantenimiento en Productos Congelados Selectos 3000 SL. Fuente: [propia]

En este sentido, los técnicos de mantenimiento, el líder y el ingeniero serían la columna vertebral y principales actores de la ejecución del plan de mantenimiento predictivo. La capacitación del personal en términos de realización de medidas de resistencia de aislamiento es importante, por lo que debe ser con una frecuencia establecida y, sobre todo, para aquellos nuevos integrantes que se puedan incorporar en el futuro. Las actividades asignadas quedarían de la siguiente manera:

- **Ingeniero de Mantenimiento:** Planificación y programación de rutinas de inspección, análisis de datos recopilados.
- **Líder de Mantenimiento:** Supervisar las actividades rutinarias de inspecciones y capacitar al personal.
- **Técnico de Mantenimiento:** Ejecución de las rutinas de inspecciones en los motores eléctricos de inducción bajo órdenes de trabajo.

8.2. Recursos materiales

Para la ejecución del plan de mantenimiento predictivo es necesario contar con los siguientes materiales:

- Medidor de resistencia de aislamiento – Megger PCE-IT414.



Figura 41: Megger PCE-IT414. Fuente: [19]

- Juego de destornilladores o juego de carraca.
- Cinta aislante.

8.3. Equipos de seguridad

Dentro de las ordenes de trabajo debe especificar las herramientas de seguridad para el resguardo del equipo técnico, a continuación, se enlistan las siguientes.

- Botas de seguridad.
- Guantes aislantes.
- Bata reflectante para estar dentro de planta de producción.
- Lentes de seguridad.

8.4. Tecnologías y herramientas de gestión y recopilación de datos

Este punto destaca la importancia de utilizar el sistema de gestión de mantenimiento, Carl Source, para almacenar de manera segura y accesible los datos recopilados durante las mediciones de resistencia de aislamiento. Este sistema proporcionará una plataforma centralizada para la gestión eficiente de la información. En particular, se enfocará en el análisis continuo del comportamiento a lo largo del tiempo de los índices críticos como la polarización, absorción y resistencia de aislamiento. La centralización de estos datos en Carl Source permitirá una evaluación sistemática y una toma de decisiones informada para optimizar las estrategias de mantenimiento.

Este procedimiento proporcionará una guía paso a paso para llevar a cabo una inspección exhaustiva del sistema aislante. La ruta de trabajo detallada asegurará una ejecución sistemática y completa de la rutina de inspección, abordando todos los aspectos críticos para el rendimiento y la integridad del sistema aislante.

1) Lanzamiento de ordenes de trabajo – Periodicidad 30 días.

Considerando que los motores de inducción han sido registrados en el sistema y las gamas de mantenimiento han sido establecidas, la plataforma permite la generación automática de órdenes de trabajo según su periodicidad correspondiente. Es crucial verificar que todos los demás recursos también estén debidamente registrados en el sistema para garantizar una gestión integral y eficiente del mantenimiento.

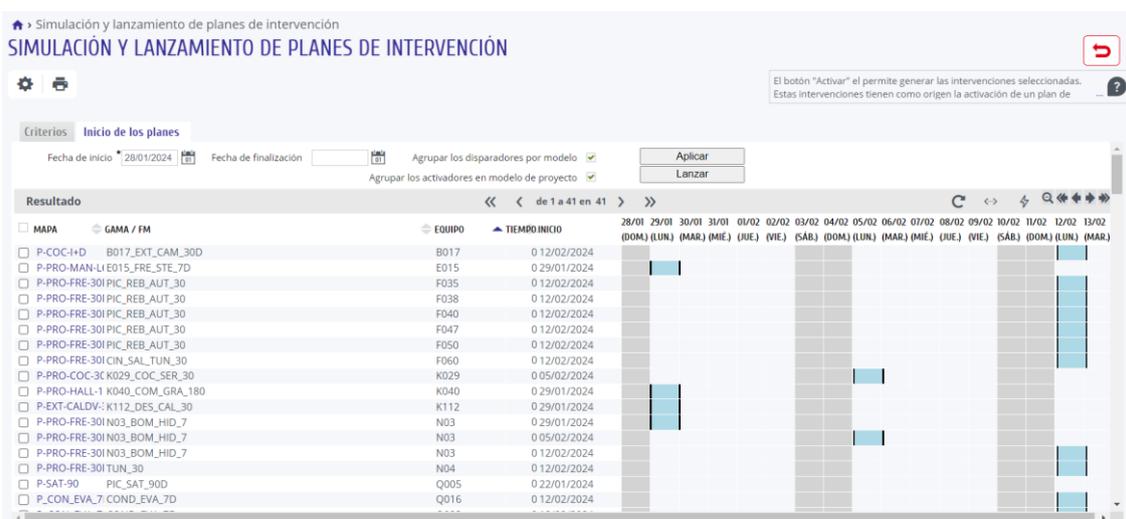


Figura 42: Visualización de simulador de lanzamiento de ordenes de trabajo de planes de mantenimiento. Fuente: [propia]

2) Planificación y programación de orden de trabajo

Esta es la interfaz de una orden de trabajo en el sistema, donde los datos de los motores de inducción se generan automáticamente. Las fechas óptimas para la planificación pueden ser ingresadas en los campos “Fecha de Inicio” y “Fecha de Finalización”. Al igual que en cualquier orden de trabajo, cada pestaña recopila información relacionada con los artículos consumidos del inventario, los equipos de seguridad utilizados, las operaciones establecidas, entre otros elementos.

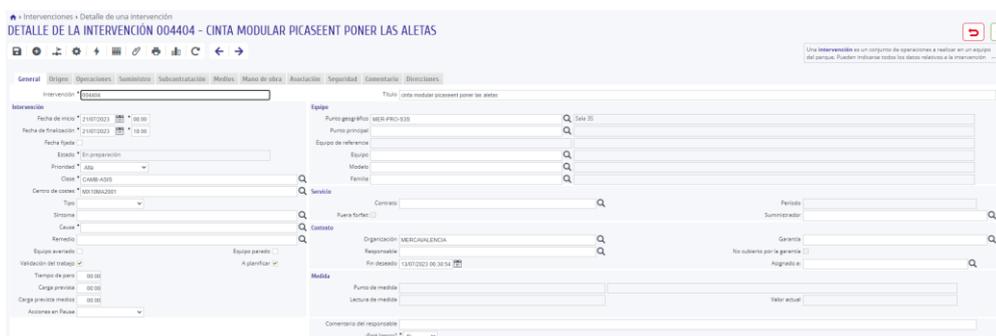


Figura 40: Vista de orden de trabajo en Carl Source. Fuente: [propia]

3) Ejecución de la rutina e ingreso de la medida tomada de resistencia de aislamiento.

En la versión móvil del Carl Source, los técnicos tienen la capacidad de ejecutar las operaciones preestablecidas y registrar las mediciones de resistencia de aislamiento directamente. Estas mediciones se almacenan posteriormente en la interfaz de puntos de medida. (Ver figura 31 y 32).

8.5. Ejemplo de Orden de Trabajo de Mantenimiento Predictivo

ORDEN DE TRABAJO – MANTENIMIENTO PREDICTIVO	
Fecha de emisión: 11/02/2024	
Planta: Picassent	Número de Orden: 0001
Equipo: Motor CEMER	Serie: 13091105956
Ubicación: Línea 600	Actividad: inspección IR – IP – DAR
Periodicidad: 30 días	Equipo encargado: Mantenimiento
Recomendaciones de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - Quitar tensión al equipo. - Utilización de guantes, botas de seguridad, lentes protectores - Bata reflectante
Artículos necesarios	
Instrumentos necesarios	- Megger o medidor de aislamiento PCE-IT414
Operaciones	
	Realizado

Encender el equipo 5 minutos			
Apagar y desconectar el equipo			
Comprobar que no hay tensión en el equipo			
Conectar el cableado en el puerto de entrada del Megger y enlazar a los puntos de medida			
Encender en el botón "ON/OFF" e iniciar la medición			
Aplicar tensión mayor a 500 V			
Tomar lectura de IR a los 30 segundos (entre bobinas y tierra)			
Tomar lectura de IR a los 60 segundos (entre bobinas y tierra)			
Tomar lectura de IR a los 10 minutos (entre bobinas y tierra)			
Cálculos			
Kt (40°C):	IP:	DAR:	
IR (U1-U2):	IR (V1-V2):	IR (W1-W2):	
IR (U1-TIERRA)	IR (V1-TIERRA):	IR (W1-TIERRA):	
No conformidades			
Nº Operación	Comentario no conformidad		
Observaciones Generales			
Realizado por:		Fecha evaluación:	
Ejecutante:	Líder:	Inicio MTTO:	Fin MTTO:

Figura 43: Orden de trabajo para inspección de mantenimiento predictivo. Fuente: [propia]

CAPITULO IV – Resultados

1. Resultados Motores Operativos

1.1. Prueba de Resistencia Óhmica entre bobinas – parámetro Delta

Se llevaron a cabo mediciones básicas entre las bobinas de los motores de muestra, utilizando como base el parámetro delta para establecer un límite máximo de desviación permitida en estas mediciones. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Motor asíncrono	Ω (U1-U2)	Ω (V1-V2)	Ω (W1-W2)	parámetro delta
CEMER	6,8	6,7	6,8	1,48%
BUSCK	7,9	7,9	7,8	1,27%
SODECA	6,7	6,6	6,6	1,51%
TSUBAKI	9,5	9,6	9,6	1,05%

Figura 44: Tabla de resultados resistencia entre bobinas. Fuente: [propia]

En este caso de estudio, consideramos los valores máximos permitidos de desviación en las medidas de resistencia en ohmios en las bobinas. Normalmente, la desviación máxima permitida es del 1% en devanados preformado (motores más grandes). Por otro lado, para motores con devanado aleatorio (caso de estudio) se admite hasta un 2%, por lo que esta prueba ha resultado favorable al obtener valores por debajo de consigna.

1.2. Mediciones de resistencia de Aislamiento

Las pruebas de medición se llevaron a cabo entre la bobina “U” y tierra. Es importante tener en cuenta que, para garantizar un estudio fiable de las mediciones, estas deben realizarse entre las bobinas y tierra. Sin embargo, en este caso particular se han realizado las mediciones de forma específica para propósitos de estudio. En las operaciones (ver figura 41), se detallan los valores de resistencia de aislamiento (IR) tanto entre las tres bobinas como entre cada una de ellas y tierra.

Motor asíncrono	R_{30seg} ($M\Omega$)	R_{30seg} ($M\Omega$) – 40°C	R_{60seg} ($M\Omega$)	R_{60seg} ($M\Omega$) – 40°C	R_{10min} ($M\Omega$)	R_{10min} ($M\Omega$) – 40°C
CEMER	87.211,15	40989,24	101.023,21	47480,91	402.200,23	189034,11
BUSCK	90.928,26	42736,28	120.688,02	56723,37	438.100,01	205907,01
SODECA	79.633,99	37427,98	100.921,99	47433,34	392.231,93	184349,01

TSUBAKI	73.877,31	37072,34	113.030,30	53124,24	299.223,20	140634,90
(MΩ) – 40°C = Correcciones a 40°C						

Figura 45: Tabla de resultados de medidas de resistencia de aislamiento entre fase 1 a tierra y correcciones de temperatura. Fuente: [propia]

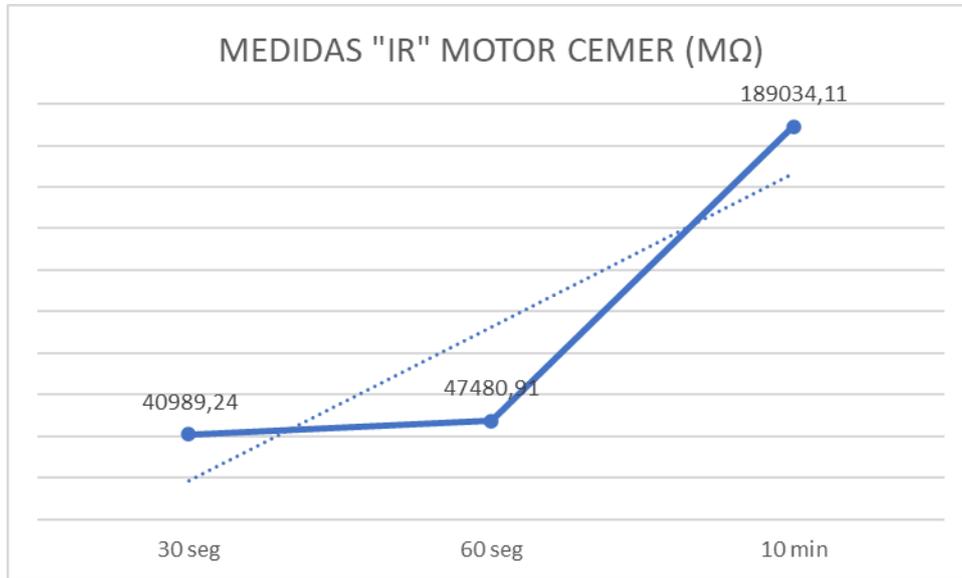


Figura 46: Gráfico de medida de resistencia de aislamiento en el tiempo del motor de marca CEMER, corregido a 40°C. Fuente: [propia]

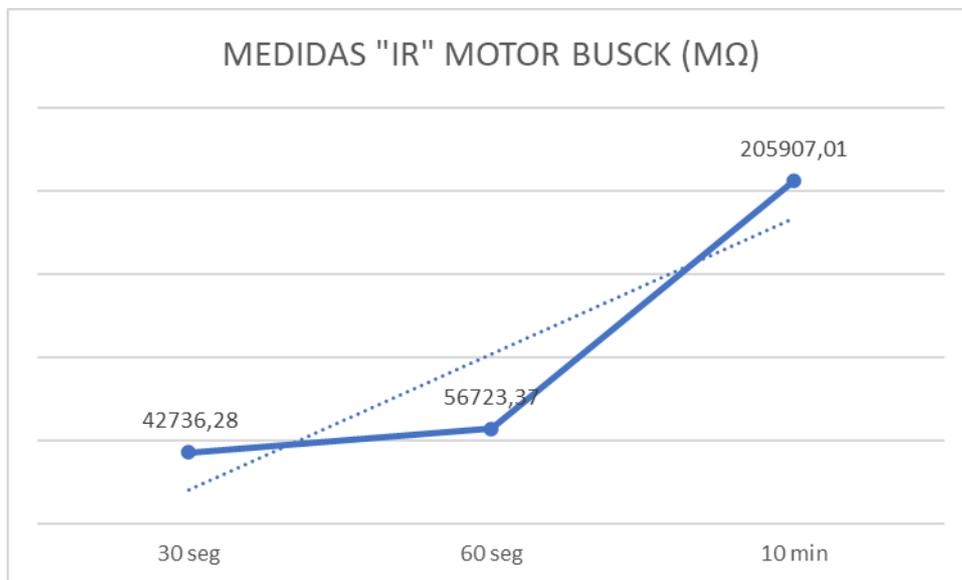


Figura 47: Gráfico de medida de resistencia de aislamiento en el tiempo del motor de marca BUSK, corregido a 40°C. Fuente: [propia]

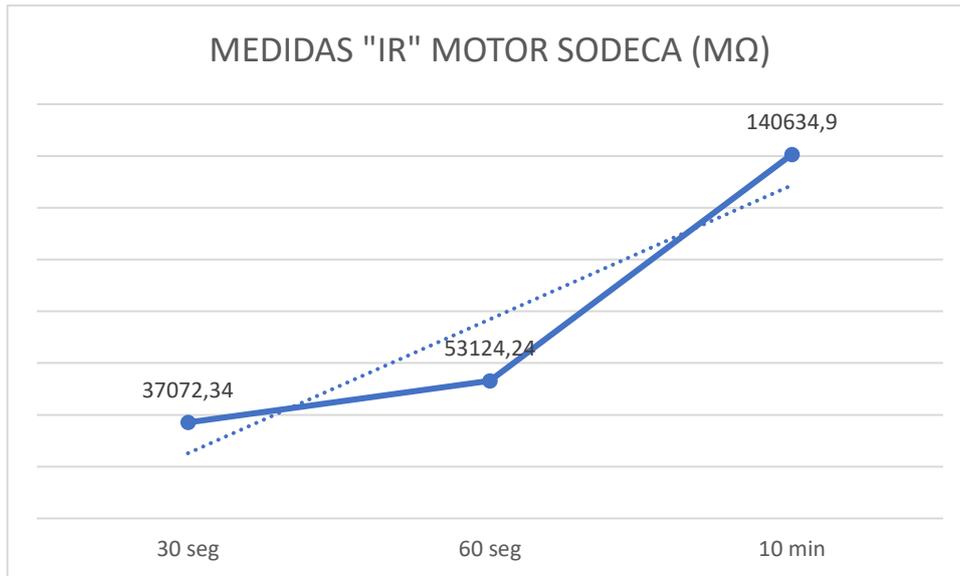


Figura 48: Gráfico de medida de resistencia de aislamiento en el tiempo del motor de marca SODECA, corregido a 40°C. Fuente: [propia]

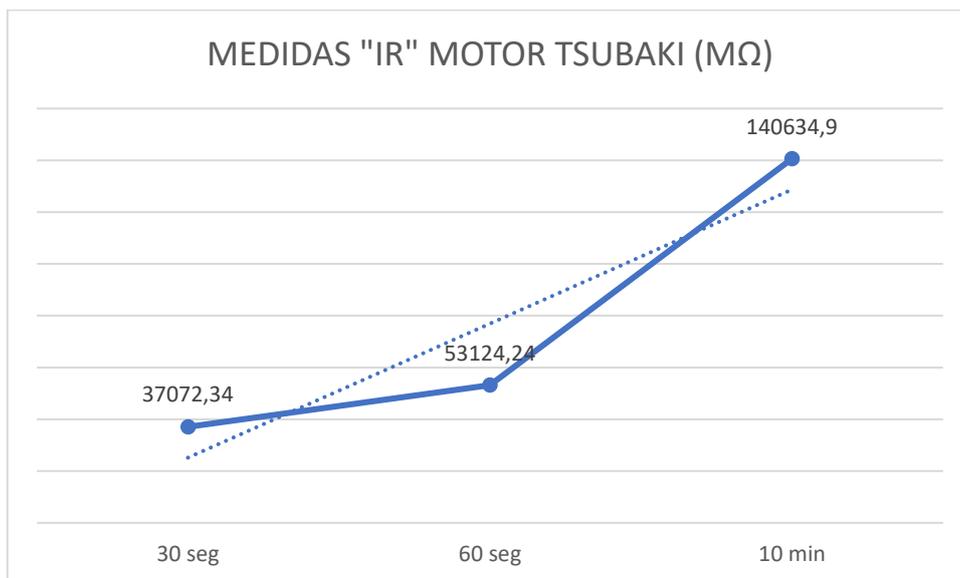


Figura 49: Gráfico de medida de resistencia de aislamiento en el tiempo del motor de marca TSUBAKI, corregido a 40°C. Foto: [propia]

Como resultado, hemos obtenido datos favorables en lo que respecta a la evaluación del aislamiento, conforme a la normativa IEE 43-2000. Se ha observado un aumento significativo en los valores de resistencia de aislamiento (en megohmios) después de realizar mediciones con el megger durante 10 minutos consecutivos. Según la figura 17, todos los motores eléctricos sometidos a la prueba han superado el umbral de **100 mega ohmios**, cumpliendo así con el valor mínimo recomendado para motores fabricados después de 1970.

1.3. Mediciones de índice de polarización (IP) e índice de absorción dieléctrica (DAR)

En este caso, se emplearon los datos de resistencia de aislamiento obtenidos en el ensayo anterior, ya que el megger de la empresa no realiza de manera automática las mediciones del índice de polarización (IP) y el índice de absorción dieléctrica (DAR). No obstante, de acuerdo con las ecuaciones 3 y 7, es posible realizar los cálculos de manera sencilla. Se sugiere llevar a cabo estas mediciones de forma escalonada y almacenar los datos, conforme se especifica en el Capítulo III, apartado 3, donde se destaca la importancia de utilizar un software adecuado de mantenimiento. En este contexto, la empresa dispone del sistema Carl Source, cumpliendo así con estas recomendaciones. En línea con la explicación anterior, los resultados obtenidos proporcionan una perspectiva clara sobre la eficiencia del aislamiento en los motores eléctricos sometidos a las pruebas (en aspectos de humedad y partículas extrañas). Estos datos constituyen una base sólida para evaluar y planificar las acciones de mantenimiento necesarias.

Motor	R_{30seg} ($M\Omega$) – 40°C	R_{60seg} ($M\Omega$) – 40°C	R_{10min} ($M\Omega$) – 40°C	IP	DAR
CEMER	40989,24	47480,91	189034,11	3,98	1,16
BUSCK	42736,28	56723,37	205907,01	3,63	1,33
SODECA	37427,98	47433,34	184349,01	3,89	1,27
TSUBAKI	37072,34	53124,24	140634,90	2,65	1,43

Figura 50: Resultados de estado del aislamiento respecto a cálculos de índice de polarización e índice de absorción dieléctrica con resistencias de aislamiento corregidas a 40°C. Fuente:

[propia]

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 19 y los cálculos realizados para el índice de polarización en los motores sometidos a ensayo, los resultados obtenidos revelan una situación altamente favorable. Es importante destacar que los índices obtenidos superan el umbral de 2, lo cual se considera extraordinariamente positivo, especialmente al considerar que estos valores están dentro del rango excelente para aislamientos de clase F, característica compartida por todos los motores evaluados en este estudio.

En lo que respecta a las mediciones del índice de absorción dieléctrica, se lograron resultados generalmente favorables, con la excepción del motor de marca CEMER, que arrojó un valor inferior a **1,25**. Este resultado, según la tabla 21, plantea interrogantes sobre la integridad del aislamiento, sugiriendo la posibilidad de deterioro debido a la presencia de humedad o partículas extrañas en su interior. En contraste, en los demás casos, se registraron valores

superiores a **1,6**, considerados como aceptables. Estos resultados son particularmente interesantes para futuras pruebas, ya que permiten analizar la evolución del aislamiento y tomar medidas preventivas para evitar posibles fallos. La ausencia de resultados por encima de **1,6** indica un desempeño en contextos desfavorables para los motores ensayados, destacando la importancia de la utilización y el mantenimiento adecuados en entornos adversos.

IP	Limite	DAR	Limite	Excelente
3,98		1,16		Aceptable
3,63		1,33		Cuestionable
3,89		1,27		
2,65		1,43		

Figura 51: Resumen de los datos obtenidos de estado del aislamiento respecto a IP y DAR.

Fuente: [propia]

2. Resultados Motores Resguardados

2.1. Prueba de Resistencia Óhmica entre bobinas – parámetro Delta

De igual forma que en el punto anterior se realizaron las medidas de resistencia óhmica entre bobinas para comparar la diferencia máxima permitida para los motores resguardados. Se obtuvieron los siguientes resultados.

Motor asíncrono	Ω (U1-U2)	Ω (V1-V2)	Ω (W1-W2)	parámetro delta
TECHTOP MOTOR	84,8	84,9	84,9	1,48%
CEMER (TALLER)	98,4	126,2	97,5	26,73%
REM	81,8	83	81,8	1,46%
NORD	20,8	20,8	20,7	0,48%

Figura 52: Resultados de estado del aislamiento respecto a cálculos de índice de polarización e índice de absorción dieléctrica con resistencias de aislamiento corregidas a 40°C (Motores de resguardo). Fuente: [propia]

De los resultados expuestos en la tabla anterior observamos unos parámetros beneficiosos en todos los motores exceptuando el modelo “Cemer” que tiene una diferencia de medidas de

resistencia óhmica de 26.73%, siendo esto un valor notoriamente mayor al 2% máximo admitido en motores con devanado aleatorio.

2.2. Mediciones de Resistencia de Aislamiento

Para este caso se realizaron medidas de resistencia de aislamiento entre cada bobina con respecto a tierra, tomando los parámetros a los 30 segundos, 60 segundos y 10 minutos para realizar los cálculos de Índice de polarización y Absorción dieléctrica. A su vez se realizó la corrección de temperatura a 40°C. A continuación, se muestran los valores.

Mediciones de W a tierra						
Motor asíncrono	R_{30seg} (MΩ)	R_{30seg} (MΩ) - 40°C	R_{60seg} (MΩ)	R_{60seg} (MΩ) - 40°C	R_{10min} (MΩ)	R_{10min} (MΩ) - 40°C
TECHTOP	614,21	110,56	727,54	130,96	1024,31	184,38
CEMER (T)	906,11	163,10	947,5	170,55	1092,20	196,59
NORD	1048,1	188,66	971,46	174,86	1307,07	235,27
REM	557,07	100,27	574,86	103,47	723,32	130,20
(MΩ) - 40°C = Correcciones a 40°C						

Figura 53: Resultados de mediciones de resistencia de aislamiento desde W a tierra. Fuente: [propia]

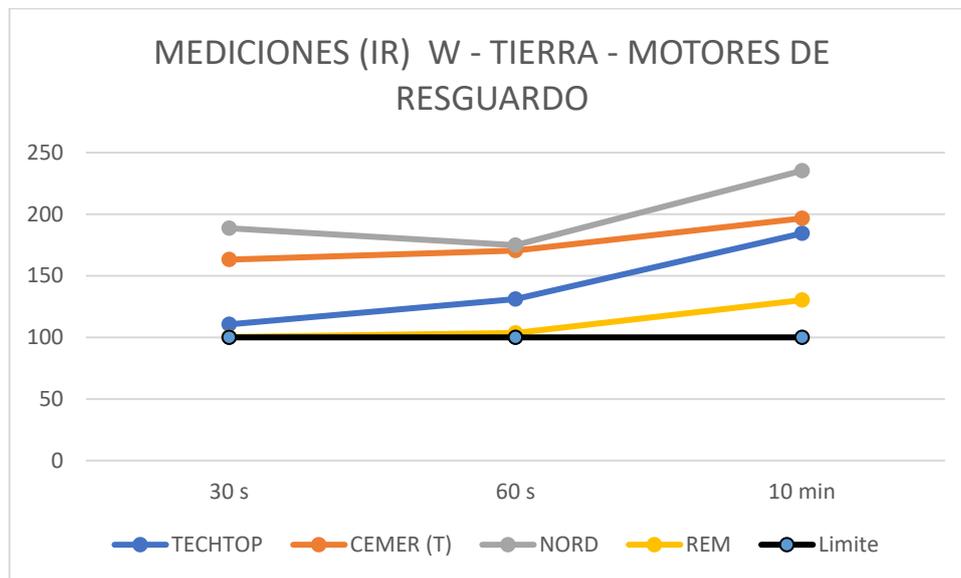


Figura 54: Mediciones Resistencia de Aislamiento desde "W" respecto a tierra. Fuente: [propia]

Según la normativa IEE 43-2000, se establece un valor mínimo recomendado para las mediciones de resistencia de aislamiento en motores de inducción. Tras evaluar los valores obtenidos y referirnos a la Figura 40, podemos concluir que todas las mediciones realizadas desde la fase "w" a tierra son aceptables. Estas mediciones superan el umbral de 100 megohmios, lo que indica un nivel satisfactorio de aislamiento en los motores.

Mediciones de V a tierra						
Motor asíncrono	R_{30seg} ($M\Omega$)	R_{30seg} ($M\Omega$) - 40°C	R_{60seg} ($M\Omega$)	R_{60seg} ($M\Omega$) - 40°C	R_{10min} ($M\Omega$)	R_{10min} ($M\Omega$) - 40°C
TECHTOP	715,70	128,83	621	111,78	703,26	126,59
CEMER (T)	857,44	154,34	868,42	156,32	933,76	168,08
NORD	920,51	165,69	978,67	176,16	1095,01	197,10
REM	547,10	98,48	588,17	105,87	638,19	114,87
($M\Omega$) - 40°C = Correcciones a 40°C						

Figura 55: Resultados de mediciones de resistencia de aislamiento desde V a tierra. Fuente: [propia]

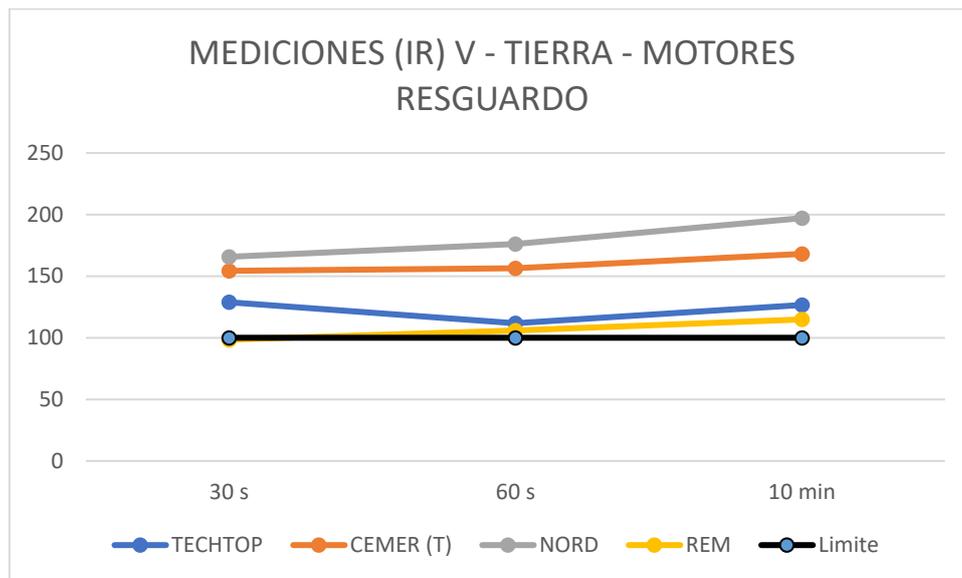


Figura 56: Mediciones Resistencia de Aislamiento desde “V” respecto a tierra. Fuente: [propia]

En las mediciones desde “V” respecto a tierra se obtuvieron resultados nuevamente favorables, exceptuando la medición a los 30 segundos del motor “REM”, sin embargo, se observa un crecimiento progresivo en el tiempo por lo que se denota la superioridad al umbral mínimo recomendado (100 ohmios). El valor erróneo está por debajo por 1,52, por lo que se puede tomar a consideración tomando en cuenta que es una medición pronta en un instante de funcionamiento corto, además, denotando el mejoramiento posterior.

Mediciones de U a tierra						
Motor asíncrono	R_{30seg} ($M\Omega$)	R_{30seg} ($M\Omega$) - 40°C	R_{60seg} ($M\Omega$)	R_{60seg} ($M\Omega$) - 40°C	R_{10min} ($M\Omega$)	R_{10min} ($M\Omega$) - 40°C
TECHTOP	658,42	118,52	594,970	107,09	666,69	120,00
CEMER (T)	889,48	160,11	941,72	169,50	1273,82	229,29
NORD	1035,3	186,35	931,92	167,75	1325,31	238,56
REM	593,90	106,90	639,83	115,17	897,99	161,64
($M\Omega$) - 40°C = Correcciones a 40°C						

Figura 57: Resultados de mediciones de resistencia de aislamiento desde U a tierra. Fuente: [propia]

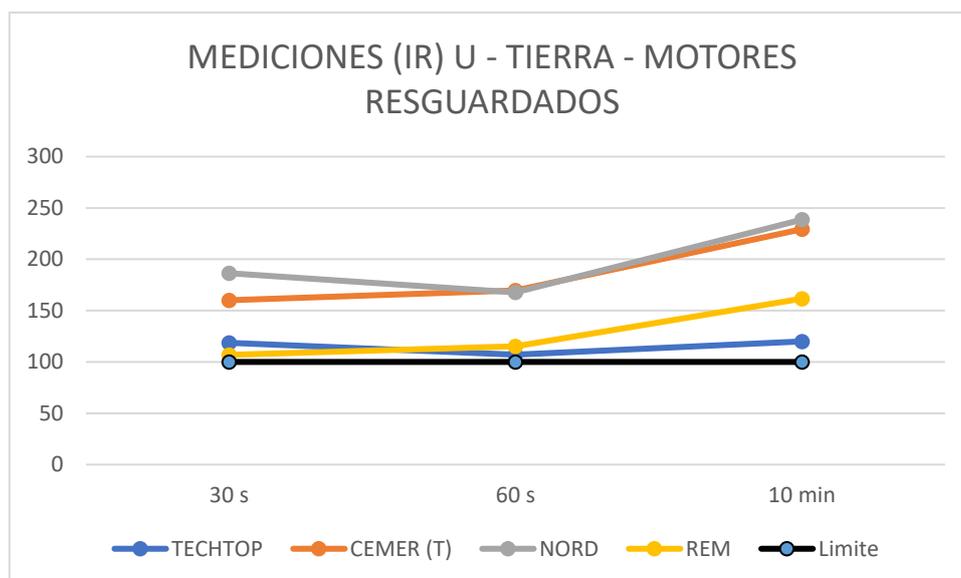


Figura 58: Mediciones Resistencia desde “U” respecto a tierra. Fuente: [propia]

Siguiendo la misma secuencia de los resultados anteriores se observan parámetros aceptables en las mediciones de la fase “U” respecto a tierra, superando todo el valor mínimo recomendado por la normativa internacional.

2.3. Mediciones de índice de polarización (IP) e índice de absorción dieléctrica (DAR).

Con las mediciones realizadas en el punto anterior, referente a la resistencia de aislamiento (IR) de cada fase respecto a tierra, se procede a evaluar los parámetros de índice de polarización y absorción dieléctrica. Esto basado en la normativa IEE 43-2000. Tomando en cuenta esto, entendemos que, según dicha normativa, los valores menores de “2” de índice de polarización se consideran aislamientos degradados por suciedad o humedad, sin embargo, para tener una mejor visualización del estado y/o comportamiento del sistema aislante, los resultados han de ser comparados con el anexo 58, que clasifica los valores por debajo del mínimo permitido. A partir de lo anteriormente explicado, se adjunta los siguientes resultados.

VALORES W - TIERRA					
Motor	R_{30seg} (MΩ) – 40°C	R_{60seg} (MΩ) – 40°C	R_{10min} (MΩ) – 40°C	IP	DAR
TECHTOP	118,52	130,96	184,38	1,41	1,18
CEMER (T)	160,11	170,55	196,59	1,15	1,05
NORD	186,35	174,86	235,27	1,35	0,93
REM	106,90	103,47	130,20	1,26	1,03

Figura 59: Calculo de índice de polarización y absorción dieléctrica con medidas de IR corregidas a 40°C. Fuente: [Propia]

VALORES V - TIERRA					
Motor	R_{30seg} (MΩ) – 40°C	R_{60seg} (MΩ) – 40°C	R_{10min} (MΩ) – 40°C	IP	DAR
TECHTOP	128,83	111,78	126,59	1.13	0.87
CEMER (T)	154,34	156,32	168,08	1.08	1.01
NORD	165,69	176,16	197,10	1.12	1.06
REM	98,48	105,87	114,87	1.06	1.08

Figura 60: Calculo de índice de polarización y absorción dieléctrica con medidas de IR corregidas a 40°C. Fuente: [Propia]

VALORES U - TIERRA					
Motor	R_{30seg} (MΩ) – 40°C	R_{60seg} (MΩ) – 40°C	R_{10min} (MΩ) – 40°C	IP	DAR
TECHTOP	128,83	107,09	120,00	1.12	0.83
CEMER (T)	154,34	169,50	229,29	1.35	1.10
NORD	165,69	167,75	238,56	1.42	1.01
REM	98,48	115,17	161,64	1.40	1.17

Figura 61: Calculo de índice de polarización y absorción dieléctrica con medidas de IR corregidas a 40°C. Fuente: [Propia]

Para los motores de resguardo en el almacén del departamento de mantenimiento, se ha observado un patrón de obtención de medidas crítico. Por lo que podemos observar en los resultados obtenidos en las pruebas ningún motor ha superado el umbral mínimo recomendado por la normativa IEE 43-2000 para el índice de polarización (PI) en sus tres fases con respecto a tierra. Visualizando el anexo 71 y comparándolo con las tablas 59, 60 y 61 vemos que los equipos tienen una calificación “cuestionable”.

En el caso de la absorción dieléctrica (DAR) se denota una tendencia a las mediciones del “PI”. Todos los valores están por debajo de “1,25” (condiciones del aislamiento cuestionables según figura 20). Esto podría significar que los motores de resguardo han absorbido humedad y/o suciedad, ya sea en su etapa operativa o durante su protección en el almacén.

CAPITULO V – Conclusiones y Recomendaciones

1. Conclusiones

- La premisa fundamental del trabajo fina de máster se centra en la implementación de los principios del mantenimiento predictivo, abordando específicamente las facetas de inspecciones periódicas de parámetros medibles. El enfoque principal de este estudio se sitúa en la evaluación de la condición de los activos a través del análisis de la resistencia de aislamiento, llevado a cabo mediante ensayos offline.
- El aislamiento de los motores de inducción permite garantizar un adecuado nivel de seguridad y rendimiento en su funcionamiento. Este componente esencial protege los conductores eléctricos y las bobinas del motor, previniendo cortocircuitos y asegurando una operación eficiente. Además, el aislamiento contribuye a evitar la fuga de corriente y a mantener la integridad de los componentes eléctricos, prolongando así la vida útil del motor. Asimismo, este aislamiento juega un papel crucial en la prevención de daños causados por factores externos como la humedad, polvo o partículas extrañas, que podrían comprometer el rendimiento y la seguridad del motor a lo largo del tiempo. En resumen, el aislamiento en los motores de inducción es esencial para asegurar un funcionamiento fiable y duradero en diversas aplicaciones industriales y comerciales.
- Es crucial tener en cuenta los factores que pueden influir negativamente en los ensayos offline destinados a evaluar la resistencia de aislamiento. En el caso de la empresa Productos Congelados Selectos 3000 SL, la presencia de humedad en la sala de manipulación de alimentos se posiciona como un condicionante que podría dificultar las inspecciones planeadas por el personal encargado de ejecutarlas. Este entorno húmedo puede representar un desafío significativo para llevar a cabo las pruebas de manera efectiva, destacando la importancia de considerar y mitigar estos factores ambientales al planificar y realizar los ensayos de resistencia de aislamiento.
- Las pruebas de resistencia de aislamiento (IR) se perfilan como un valor precursor del índice de polarización (IP), es decir, la precisión de su magnitud está intrínsecamente vinculada al resultado obtenido en la prueba previamente mencionada. Esto se debe a que, si el valor es significativamente superior al mínimo permitido, se permite una variación en las mediciones a lo largo del tiempo. En otras palabras, la magnitud de la resistencia de aislamiento establece una base para la evaluación del índice de polarización, influyendo directamente en la interpretación de las mediciones en diferentes momentos.
- Los valores de índice de polarización (IP) e índice de absorción dieléctrica son parámetros cruciales que deben ser registrados y resguardados en una base de datos. Su análisis a lo

largo del tiempo, de acuerdo con una periodicidad establecida por el departamento de mantenimiento, posibilita anticiparse a posibles fallos en el aislamiento de los motores de inducción. Este enfoque sistemático no solo facilita la detección temprana de posibles problemas, sino que también contribuye a la planificación efectiva de intervenciones de mantenimiento preventivo, asegurando así la integridad y eficiencia continuas de los motores.

- Los motores sometidos a ensayo son relativamente recientes, pero han estado operando en condiciones de trabajo considerablemente desfavorables. En gran medida, los resultados del índice de absorción dieléctrica (DAR) son catalogados como “cuestionables”, mientras que un porcentaje restante se clasifica como “aceptable”. Aunque los valores mínimos permitidos de resistencia de aislamiento (IR) son aceptables, la situación planteada por los índices de absorción dieléctrica suscita inquietudes sobre la salud del aislamiento en general. Dada esta evaluación, sería aconsejable considerar intervenciones en los equipos con el fin de prevenir posibles fallos o interrupciones en la producción, mitigando así los riesgos asociados con las adversas condiciones de trabajo a las que están expuestos.

2. Recomendaciones

- La evaluación de las causas que puedan influir en mediciones incorrectas durante los ensayos es de suma importancia para garantizar la confiabilidad de la base de datos. Se debe prestar especial atención a los aspectos señalados en la norma IEE 43-2000, ya que estos proporcionan directrices específicas para realizar mediciones precisas y para identificar posibles fuentes de error. Al abordar de manera rigurosa estas consideraciones normativas, se establece una sólida base para la obtención de datos confiables en los ensayos, lo que contribuye a la integridad y utilidad de la información recopilada.
- Aunque lo óptimo sería que las inspecciones fueran llevadas a cabo por especialistas en electricidad, no todos los miembros del departamento de mantenimiento cuentan con dicha especialización. Por lo tanto, es esencial llevar a cabo una serie de capacitaciones, tanto previas como durante el proceso de recopilación de datos basado en estos ensayos. Esto asegurará que el personal esté debidamente preparado para llevar a cabo las inspecciones de manera precisa y conforme a las normativas establecidas.
- La empresa actualmente dispone del megger PCE-IT414, el cual, como se explicó durante la realización de las mediciones, se limita a efectuar mediciones de resistencia de aislamiento en el transcurso del tiempo. Sería beneficioso considerar realizar una inversión en un equipo más sofisticado que facilite la generación directa de parámetros de resistencia en cualquier momento requerido. Un equipo avanzado podría automatizar

- la obtención de valores para el índice de polarización y absorción, brindando una mayor eficiencia y precisión en el proceso de evaluación del aislamiento de manera más integral.
- Realizar un análisis causa raíz de la problemática de valores de índice de polarización (PI) y absorción dieléctrica (DAR), tomando en cuenta el sitio de resguardo de los equipos y la organización del almacén.

ANEXOS



Figura 62: Placa de características motor SODECA

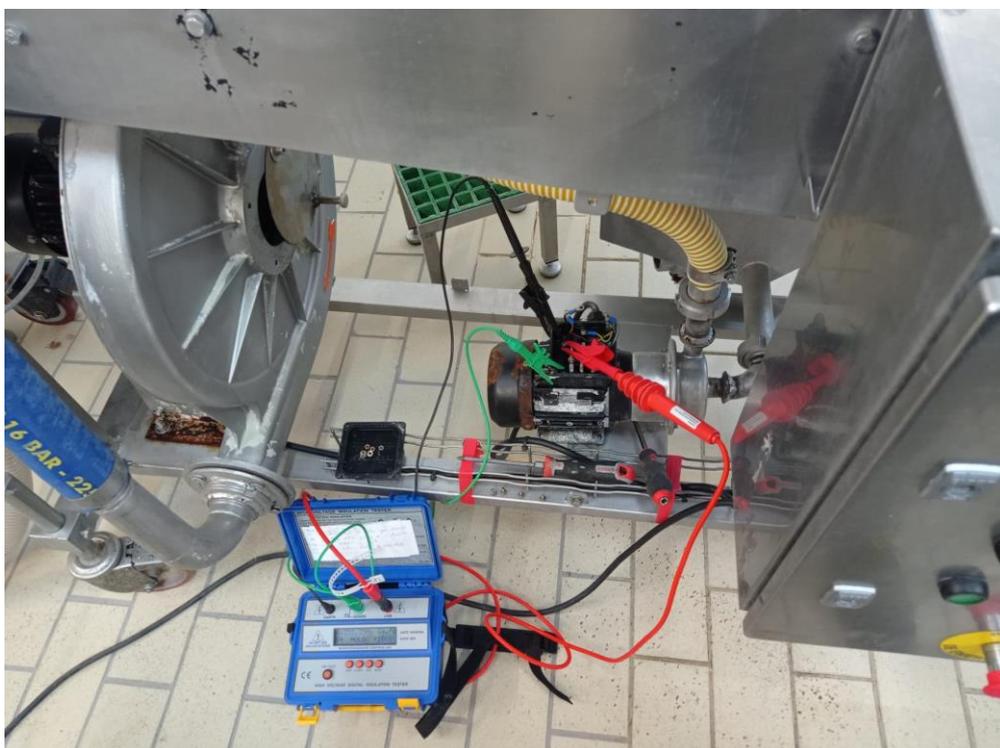


Figura 63: Ejecución de ensayos de medidas de resistencia de aislamiento en motor SODECA

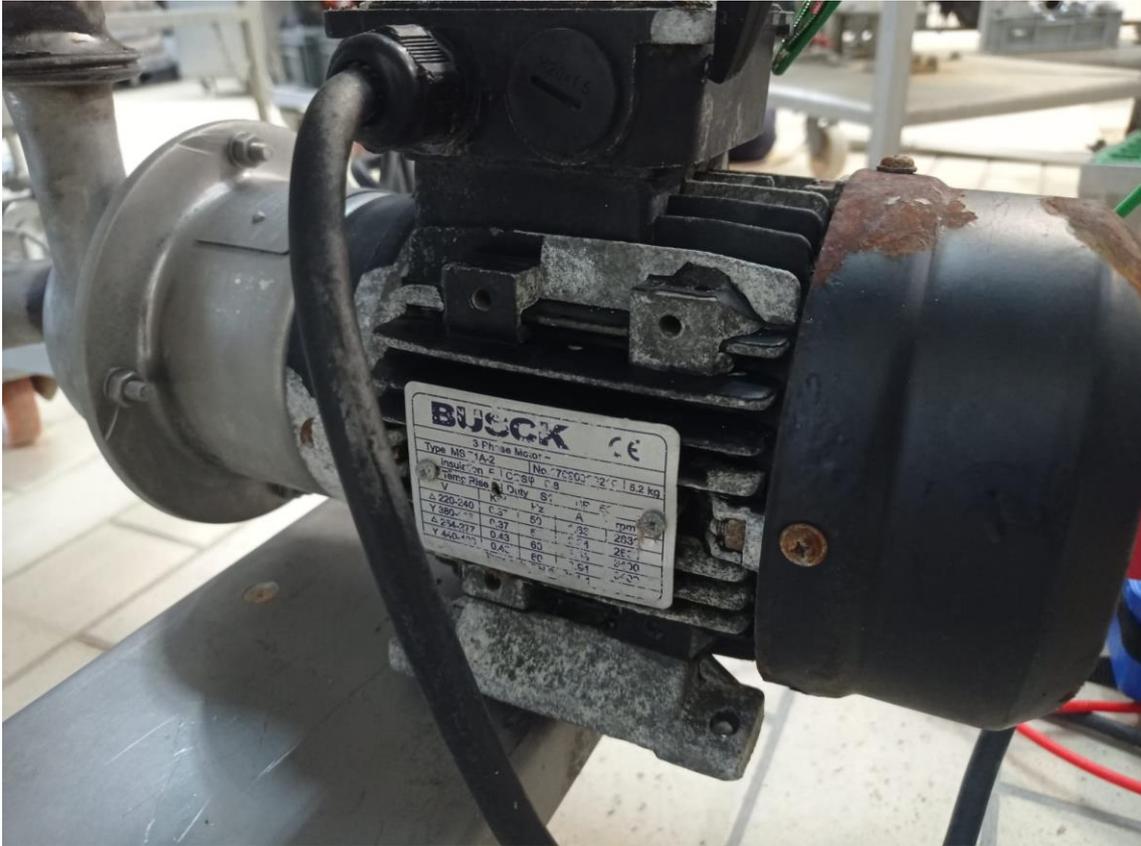


Figura 64: Placa de características motor BUSCK



Figura 65: Placa de características motor TSUBAKI



Figura 68: Ejecución de ensayos de medidas de resistencia de aislamiento en motor CEMER



Figura 69: Visualización de operaciones en versión móvil de Carl Source

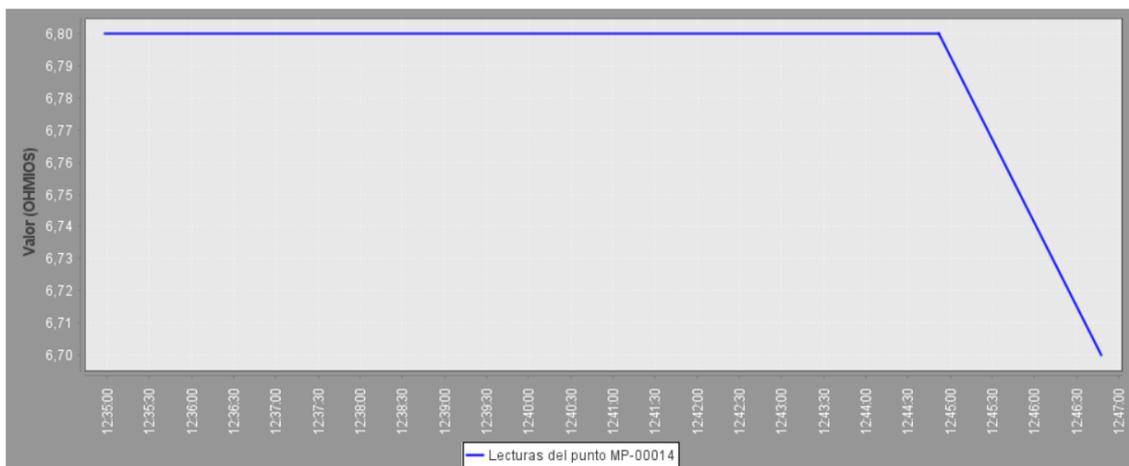


Figura 70: Ejemplo de visualización de medidas en el tiempo de resistencia en bobina 1 – Motor CEMER, reflejado en el GMAO Carl Source.

Índice de Polarización	IP: <1	Peligro
	IP: >1 , <1.5	Regular
	IP: >1.5 , <2.0	Precaución
	IP: >2 , <4	Bueno

Figura 71: Evaluación de parámetros medidos de índice de polarización. Fuente: [21]

BIBLIOGRAFIA

- [1] Harper, G. E. (2001). Transformadores y Motores de inducción/ motors of induction. Editorial Limusa.
- [2] Purcell, M. E. (2005). Electricidad y Magnetismo. Editorial Reverte, S.A.
- [3] Gómez, S, I. (2020). Mantenimiento electromecánico de motores eléctricos. Ediciones Paraninfo, SA.
- [4] Daviu, J, A. (2022). Mantenimiento Preventivo de Motores Eléctricos de Inducción. [File:///C:/Users/jnicolas/Downloads/MANTENIMIENTO_MAQUINAS_PARTE_2_2022_23%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/jnicolas/Downloads/MANTENIMIENTO_MAQUINAS_PARTE_2_2022_23%20(1).pdf)
- [5] IEEE Power Engineering Society (2000). IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery (Norma núm. 42-2000). <https://roshdsanatniroo.com/pdf/IEEE%20Std.%2043-2000.pdf>
- [6] Normas NEMA MG (1998). MOTORES Y GENERADORES (Norma núm. 1-1998). <https://es.slideshare.net/jesusgomez39750/norma-nema-completa>
- [6] Hualpa Molina, J. R. (2018). Aplicación de Ensayos Offline para el Diagnostico del Estado del Aislamiento en Máquinas Eléctricas Rotativas a Nivel Industrial. Universitat Politècnica de València. <file:///C:/Users/jnicolas/Desktop/TFM/HUALPA%20JOHANA-%20APLICACI%C3%93N%20ENSAYOS%20OFF%20LINE.pdf>.
- [7] Chauvin Arnoux Group (2010). Guía de la medición de aislamiento. https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_aislamiento.pdf.
- [8] PCE Ibérica S.L. (2019). Instrucciones de uso medidor de aislamiento de alta tensión PCE-IT1413 PCE-I1414. (Primera edición). <https://www.pce-instruments.com/espanol/api/getartfile?fnr=863221&dsp=inline>
- [9] Generador Eléctrico (2023). Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Generador_el%C3%A9ctrico.
- [10] Transpower (05 de enero de 2024). Transformador eléctrico 2000 kva. <http://www.sino-transpower.com/transformer/distribution-transformer/2000kva-electrical-transformer.html>.
- [11] Mantenimientoelectrico.com (05 de enero de 2024). Motores Eléctricos, los tipos mas comunes. <https://www.mantenimientoelectrico.com/motores-electricos/motores-electricos-los-tipos-mas-comunes-n3476>.
- [12] Generador Síncrono (2024). Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Generador_s%C3%Adncrono.
- [13] Sector Electricidad (05 de enero de 2024). Componentes de un motor básico eléctrico. <https://www.sectorelectricidad.com/35366/componentes-de-un-motor-basico-electrico/>.

- [14] Energía Controlada de México S.A. de C.V. (06 de enero de 2024). ¿Qué es un Motor eléctrico trifásico de inducción?. <https://www.energiacontrolada.com/faq/Que-es-un-motor>.
- [15] Amazon (06 de enero de 2024). Aexit Rotor del motor eléctrico AC 220V 100A para taladro de (model: V1851IIVI-2796WA) impacto makkita 9035. <https://www.amazon.es/Aexit-Rotor-motor-el%C3%A9ctrico-taladro/dp/B07MQV7RXD>.
- [16] Carpenter Electrification (19 de enero de 2024). Stator and Rotor Stacks. <https://www.carpenterelectrification.com/stator-rotor-stacks>.
- [17] Anónimo (2012). Bobinado en motores eléctricos. <https://tecnicocirilo.blogspot.com/?view=timeslide>.
- [18] Fluke (19 de enero de 2024). ¿Qué es la resistencia?. <https://www.fluke.com/es-es/informacion/blog/electrica/que-es-la-resistencia>.
- [19] PCE Instruments (22 de enero 2024). Comprobador de miliohmios PCE-MO 2002. https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/comprobador-de-miliohmios-pce-instruments-comprobador-de-miliohmios-pce-mo-2002-det_96026.htm.
- [20] G2- Bussines Software Reviews (22 de enero de 2024). CARL Source. <https://www.g2.com/products/carl-source/reviews>.
- [21] anónimo (2016). IME Ingeniería de Maquinas Eléctricas. <https://imeingenieria.blogspot.com/2016/03/ensayo-de-indice-de-polarizacion-ip.html>.