



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA

Metodología para la detección de fallas en motores eléctricos de inducción trifásicos de una molinera de granos en La Libertad

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Castañeda Miguel, Fernando (orcid.org/000-0002-4617-7480)

Uceda Chávez, Hugo Alexander (orcid.org/0000-0001-7230-9785)

ASESOR:

Mg. Tejeda Ponce, Alex Deyvi (orcid.org/0000-0001-9844-1100)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO - PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Dios por guiarme por un camino correcto hacia mi futuro profesional. A mis queridos familiares, que con su amor y apoyo incondicional han sido la base sólida sobre la cual construí mi camino hacia la culminación de esta tesis. A mis amados padres Humberto Castañeda Castillo y Crecencia Miguel Laiza, quienes han sido mi mayor ejemplo de perseverancia y sacrificio de lucha, quienes generosamente me brindaron su apoyo económico durante toda mi carrera. Sin ustedes, este logro no sería posible.

A mis adorables hermanas, Fideliza Castañeda Miguel y Clotilde Castañeda Miguel quienes me acompañaron en cada paso de este viaje académico y me alentaron a nunca rendirme. Vuestras palabras de ánimo y vuestra confianza en mí me impulsaron a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles de la vida.

A mi querida pareja Bani Ruiz Bocanegra, gracias por tu comprensión, paciencia y por ser mi fuente de motivación constante. Tus palabras de aliento y tu apoyo incondicional me han dado la fuerza necesaria para superar cualquier obstáculo en el camino hacia esta meta.

~ Castañeda Miguel, Fernando ~

A mis amados padres y hermana, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida y en el camino que me ha llevado a culminar esta tesis. Su amor incondicional, su apoyo constante y su presencia han sido mi mayor inspiración y fortaleza. Este logro es dedicado con profundo agradecimiento a ustedes, quienes siempre han creído en mí y han sido mi motor para alcanzar mis metas.

~ Uceda Chávez, Hugo Alexander ~

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todos los profesores que formaron parte de mi trayecto educativo. Vuestras enseñanzas, dedicación y guía fueron fundamentales para mi formación profesional. Vuestras exigencias me impulsaron a dar siempre lo mejor de mí, y gracias a ello hoy puedo presentar esta tesis con orgullo.

A aquellos profesores que me brindaron su apoyo adicional, sus palabras alentadoras y su orientación en momentos cruciales, les estoy enormemente agradecido. Vuestras recomendaciones y consejos me han ayudado a expandir mis horizontes.

También quiero expresar mi gratitud a mis compañeros de clase y amigos, quienes compartieron conmigo los retos y las alegrías de esta etapa académica. Vuestras discusiones y debates fueron fundamentales para mi crecimiento intelectual y para la adquisición de nuevos conocimientos en mi vida profesional.

Por último, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a este logro, directa o indirectamente. Vuestra presencia en mi vida ha dejado una huella imborrable, y por eso les estaré eternamente agradecido.

~ Castañeda Miguel, Fernando ~

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis padres, quienes no solo me dieron la vida, sino que también me brindaron su apoyo económico durante todo mi recorrido académico. Vuestra generosidad y sacrificio han sido invaluable, permitiéndome concentrarme en mis estudios y en la realización de esta tesis. Estoy eternamente agradecido por todo lo que han hecho por mí.

A mi querida hermana, gracias por ser mi confidente, mi compañera de aventuras y mi inspiración constante. Tus palabras de aliento, tu apoyo incondicional y tu capacidad para motivarme han sido una bendición en cada paso de este camino. Tu presencia ha hecho que incluso los momentos más desafiantes sean más llevaderos, y por eso te agradezco de todo corazón.

También deseo agradecer a mis profesores, cuya sabiduría, conocimiento y dedicación han sido fundamentales en mi formación académica. Vuestras enseñanzas y orientación han moldeado mi pensamiento y han ampliado mi horizonte intelectual.

Por último, a todas las personas que, de alguna manera, han contribuido a mi formación y a la realización de esta tesis, les doy las gracias. Vuestras palabras de aliento, vuestro interés y vuestra presencia han dejado una huella imborrable en mi camino.

~ Uceda Chávez, Hugo Alexander ~

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MARCO TEÓRICO.....	12
III. METODOLOGÍA	30
3.1 Tipo y diseño de investigación	30
3.2 Variables y operacionalización.....	30
3.2.1 Variables	30
3.2.2 Operacionalización	31
3.3 Población, muestra y muestreo	32
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	32
3.5 Procedimientos	33
El procedimiento necesario para realizar la presente investigación son los siguientes:.....	33
3.6 Método de análisis de datos.....	34
3.7 Aspectos éticos.....	34
IV. RESULTADOS	35
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	45
VI. CONCLUSIONES	47
VII. RECOMENDACIONES.....	48
VIII. REFERENCIAS.....	49
IX. ANEXOS	53

ANEXO A: Tablas de operacionalización de las variables	53
ANEXO B: Evidencia fotográfica de la evaluación en el motor	56
ANEXO C: Parámetros del primer objetivo de la investigación	61
ANEXO D: Parámetros del segundo objetivo de la investigación	63
ANEXO E: Parámetros del tercer objetivo de la investigación.....	67
ANEXO D: Parámetros del cuarto objetivo de la investigación.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Figura 1: Estator del motor de inducción de tres fases	12
Figura 2: Rotor tipo jaula de ardilla.....	13
Figura 3: Vista seccionada del motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla ...	14
Figura 4: Diagrama de pérdidas en el motor de inducción	16
Figura 5: Costos de mantenimiento en función del tiempo	21
Figura 6: Diagrama de las variables para probar el núcleo del estator	26
Figura 7: Valores de vibración y sus efectos en las maquinas rotativas	27
Figura 8: Valores de vibración envolvente para los rodamientos.....	28
Figura 9: Elaboración del diagrama de flujo para el procedimiento del proyecto .	33
Figura 10: Distribución de la temperatura en la chapa del núcleo ferromagnético	40
Figura 11: Esquema de las fallas halladas en el motor	42
Figura 12: Punto de equilibrio del mantenimiento en el motor de estudio.....	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Tabla 1: Tolerancias permisibles para la deflexión en el eje de máquinas IEC	18
Tabla 2: Tolerancias permisibles para la deflexión del eje de máquinas NEMA ...	18
Tabla 3: Tolerancias permisibles para alojamientos de rodajes rígidos de bolas..	19
Tabla 4: Tolerancias permisibles para alojamientos de rodajes de rodillos	19
Tabla 5: Voltaje aplicado en prueba de aislamiento	20
Tabla 6: Resistencia mínima permisible para energizar el motor eléctrico	20
Tabla 7: Ingress Protection (IP) definidos por cada valor	22
Tabla 8: Fracción de corriente en vacío respecto a la corriente nominal (FLA)	23
Tabla 9: Clasificación del estado del bobinado en función de RAD e IP	25
Tabla 10: Pérdida de potencia en el motor en función del desbalance del voltaje	27
Tabla 11: Técnicas e instrumentos de la recolección de datos.....	32
Tabla 11: Resumen de las pruebas dinámicas en el motor eléctrico	37
Tabla 12: Deflexión del eje de transmisión del motor	38
Tabla 13: Deformación del eje en el asiento del acople y rodamientos	38
Tabla 14: Deformación del alojamiento de rodajes en tapas laterales	39
Tabla 15: Resultados de la prueba en el núcleo ferromagnético del estator.....	39
Tabla 16: Resumen de las fallas halladas en el motor de estudio	42

RESUMEN

En la presente investigación se estableció como objetivo elaborar una metodología para la detección de fallas en motores eléctricos de inducción trifásicos de una molinera de granos en La Libertad. Plasmando un tipo de investigación aplicada y un diseño no experimental, estableciendo variables de tipo cuantitativas para la investigación, se obtuvieron como resultados, primeramente, el comportamiento eléctrico del motor mediante las pruebas dinámicas del mismo, posteriormente, se determinó las deformaciones mecánicas presentes en las tapas laterales y eje de transmisión del motor, así como también el estado físico del núcleo ferromagnético, consecutivamente, se analizó el comportamiento del bobinado mediante la ejecución de pruebas estáticas, finalmente, se obtuvo que es necesario ejecutar un rebobinado en el motor y diversas correcciones en las piezas, para la ejecución de su respectivo mantenimiento, se proyectó el periodo de retorno de la inversión, con la finalidad de determinar el nivel de factibilidad del mismo.

Palabras clave: Motor, electricidad, pruebas.

ABSTRACT

In the present investigation, the objective was to develop a methodology for the detection of faults in three-phase induction electric motors of a grain mill in La Libertad. Representing a type of applied research and a non-experimental design, establishing quantitative variables for the investigation, the results were obtained, firstly, the electrical behavior of the motor through its dynamic tests, later, the mechanical deformations present in the motors were determined. side covers and transmission shaft of the motor, as well as the physical state of the ferromagnetic core, consecutively, the behavior of the winding was analyzed through the execution of static tests, finally, it was obtained that it is necessary to execute a rewind in the motor and various corrections in the pieces, for the execution of their respective maintenance, the period of return of the investment was projected, with the purpose of determining the level of feasibility of the same.

Keywords: Motor, electrical, testing.

I. INTRODUCCIÓN

Según la Fundación Red de Energía (2009), uno de los retos más significativos de la civilización moderna es el máximo aprovechamiento de los recursos energéticos, para garantizar las actividades industriales y el continuo desarrollo de las sociedades. En dichos procesos industriales, las maquinas eléctricas y la infraestructura del lugar, presentan valores bajos de eficiencia, debido a que se ha excedido o se acerca a la vida útil de los equipos, causando un continuo despilfarro energético. La eficiencia energética es un factor importante para superar el incremento de la demanda continua de energía eléctrica, las inversiones necesarias para adaptar la tecnología, modificar el comportamiento al uso de la energía y ejecutar los mantenimientos respectivos, en conjunto con diversos cambios asociados a mejorar la eficiencia, son acciones más económicas que la expansión de la red energética.

De acuerdo con PROCOBRE (2019), en el ámbito internacional, los costos de la energía eléctrica aumentaron considerablemente en todo el mundo, durante los últimos años. Los motores eléctricos son las máquinas de mayor consumo del sector industrial, aproximadamente el 65 % de energía total en dicho sector. Esto incentiva el incremento de la eficiencia energética en los motores eléctricos de sus instalaciones. Por lo tanto, los centros de servicio que realizan reparaciones de máquinas ofrecen un valor agregado a las empresas, ya que disminuyen sus costos de operación, debido el ahorro energético obtenido, además se contribuye con los compromisos medioambientales, donde el cobre tiene un papel fundamental en la eficiencia energética de las maquinas reparadas. La economía circular de los motores eléctricos está en función de los métodos empleados para su reparación, por lo tanto, se considera fundamental efectuar el respectivo mantenimiento.

El Banco de Desarrollo de América Latina (2016), muestra que la eficiencia energética varía en cada país. A nivel nacional, en Perú, el sector transporte e industrial representan mayoritariamente el consumo de energía eléctrica. Debido a la relevancia del sector industrial en general, con la ayuda de financiación se podría desarrollar medidas exactas para impulsar dicho sector.

En el ámbito local, la molinera en el distrito de Santiago de Chuco posee diversos motores eléctricos que están afectando la eficiencia energética de la planta molinera, debido a falta de mantenimientos adecuados en todos los motores trifásicos que tiene la planta. Por lo tanto, se debe desarrollar un método que permita diagnosticar averías de una manera eficaz en el sistema eléctrico y mecánico, optimizando el funcionamiento del motor y disminuyendo las paradas de producción en la empresa molinera.

Por lo tanto, sí se ejecutará el mantenimiento correcto en los motores de inducción, se contribuiría con la eficiencia energética idónea en el sector industrial, entonces, debido a lo anteriormente dicho ¿Cuál sería la metodología que podría detectar las posibles fallas en los motores de inducción de tres fases?

Establecer una metodología que permita determinar el respectivo mantenimiento que se debe ejecutar en motores eléctricos, permitirá el correcto funcionamiento de la maquinaria, reduciendo las paradas de planta en las industrias, por fallas mecánicas y/o eléctricas que se originan de manera espontánea. Además, para la nación peruana sería un gran aporte mundial, ya que desde el año 2015, la Organización de la Naciones Unidas aprobó la “agenda 2030”, la cual contiene 17 objetivos que deben alcanzarse, entre los cuales, está el objetivo número doce de “producción y consumo responsables”, también está el objetivo número diecisiete de “Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar el desarrollo sostenible”.

El objetivo general establecido en la investigación fue determinar una metodología para la detección de fallas en motores eléctricos de inducción trifásicos, consecutivamente los objetivos específicos fueron analizar los parámetros eléctricos en las pruebas dinámicas en vacío, posteriormente, examinar el estado físico y tolerancias de las piezas mecánicas en el desensamble de la maquinaria, seguidamente, ejecutar las pruebas estáticas en el bobinado del estator, y finalmente, se estableció las acciones necesarias que se deben ejecutar para corregir y/o prevenir fallas en el motor eléctrico trifásico.

Respecto a todo lo anteriormente mencionado, se planteó como hipótesis que el desarrollo de una metodología de detección de posibles fallas puede mejorar la eficiencia energética de la empresa molinera de granos.

II. MARCO TEÓRICO

Carlos Hoffman (2004, p.5), define al motor eléctrico como una maquina creada para transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Contiene múltiples ventajas, costo bajo, fácil transporte, simplicidad, limpieza, adaptación a diversas cargas y rendimiento. Se pueden clasificar como motores de corriente continua (DC) y motores de corriente alterna (AC).

Los motores AC, se dividen en dos subtipos de motores eléctricos. El motor síncrono, el cual funciona con una velocidad fija, generalmente empleado para grandes potencias. El motor de inducción, el cual posee una velocidad que varía ligeramente en función de la carga aplicada en el eje, es el motor mayormente utilizado, debido a su simplicidad, robustez y bajo costo. (Hoffman, Carlos).

El diseño de un motor de inducción contiene físicamente el mismo estator que un motor síncrono, pero, la fabricación es diferente en el rotor. Existen dos tipos de rotores para el motor de inducción, uno que es comúnmente llamado “rotor tipo jaula de ardilla” y el otro conocido es “rotor devanado”. (Chapman, Stephen).



Figura 1: Estator del motor de inducción de tres fases

Fuente: Austin Hughes

El rotor de jaula de ardilla contiene múltiples barras conductoras insertadas dentro de las ranuras de chapas de acero magnético, y conectado en cortocircuito mediante anillos. (Chapman, Stephen).

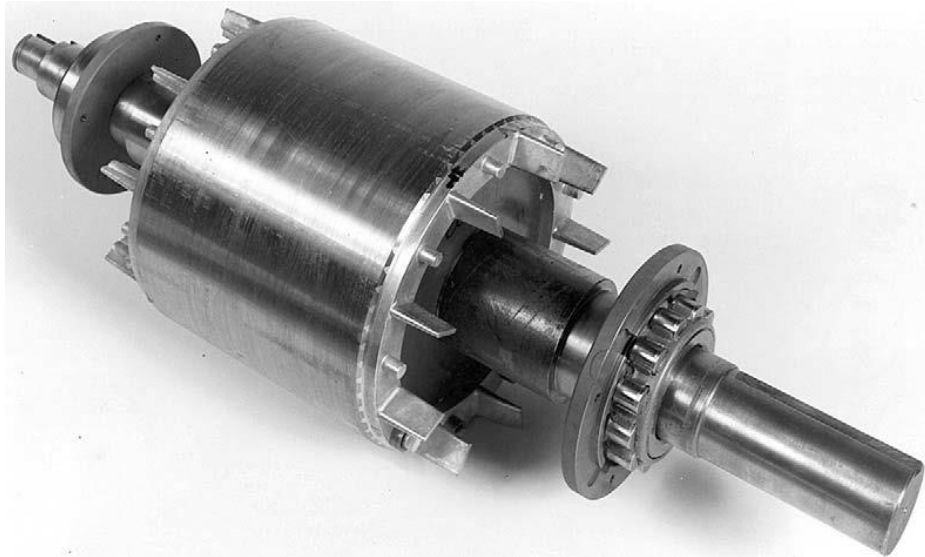


Figura 2: Rotor tipo jaula de ardilla

Fuente: Austin Hughes

El rotor de devanado contiene devanados trifásicos (bobinado) que son semejantes a los devanados en el estator. A cada extremo de los tres conductores del rotor, están conectados los anillos rozantes, en cortocircuito mediante escobillas acopladas sobre los anillos. Además, los rotores devanados poseen corrientes dispuestas en las escobillas del estator, en donde es posible incluir resistencias adicionales en el circuito de dicho rotor, con la finalidad de modificar el par y velocidad del motor. (Chapman, Stephen).

Aparte del rotor y el estator, el motor de inducción trifásico se compone con diversas partes, las cuales se definen a continuación. (Hoffman, Carlos).

Estator:

Carcaza: Estructura robusta de hierro fundido, aluminio o acero, resistente al proceso de corrosión y con aletas de refrigeración de calor.

Núcleo de chapas: Fabricadas con acero (ferromagnético), tratadas térmicamente, con el fin de reducir al mínimo las pérdidas en el hierro.

El núcleo del estator, como material de acero ferromagnético dispone de un pico flujo magnético de 1.50 Teslas. (Laughton & Warne).

Bobinado trifásico: Tres bobinas semejantes (una por cada fase), formando en conjunto un bobinado único de tres fases.

Rotor:

Eje: Encargado de transmitir la potencia mecánica generada por el motor, el cual es tratado térmicamente para reducir la deformación mecánica y la fatiga.

Núcleo de chapas: Contiene características iguales a las chapas empleadas en el núcleo del estator.

Barras y anillos de cortocircuito: Las barras son de aluminio, fundidos a presión junto con los anillos y las chapas para formar un elemento único.

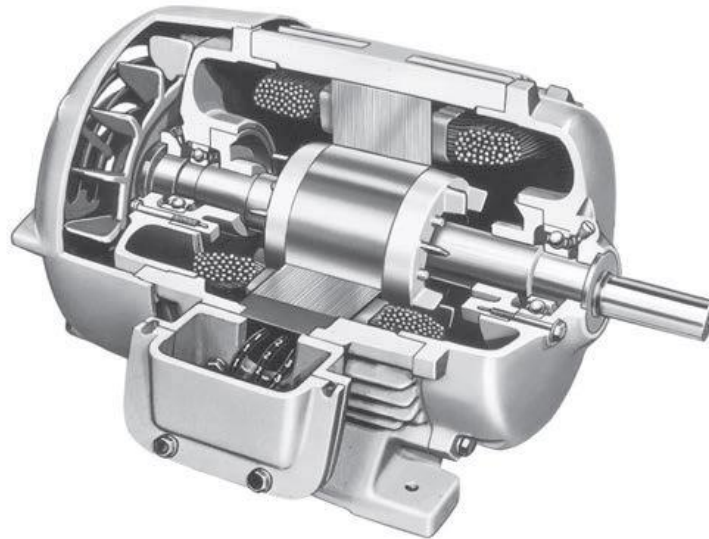


Figura 3: Vista seccionada del motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla

Fuente: Austin Hughes

El estator y el rotor del motor eléctrico están separados mediante una pequeña abertura por donde fluye el aire (entrehierro), el flujo magnético generado por el bobinado del rotor atraviesa el entrehierro radialmente. (Austin Hughes, 2006, p.170). Si se aplica voltaje en cada fase del estator, fluirán un conjunto de corrientes trifásicas, generando un campo magnético rotativo, el cual está en función de la siguiente ecuación. (Chapman, Stephen).

$$n_{sinc} = \frac{120 \times f}{P} \quad (2.1)$$

Donde n_{sinc} es la velocidad de rotación en el campo magnético (RPM,) f es la frecuencia en Hertz y P son la cantidad de polos en la máquina.

Existen dos términos, que emplean para definir el movimiento del rotor y los campos magnéticos, uno de ellos es el deslizamiento. (Chapman, Stephen).

$$s = \frac{n_{sinc} - n_{eje}}{n_{sinc}} \times 100 \quad (2.2)$$

Donde s es el deslizamiento expresado en puntos porcentuales y n_{eje} es la velocidad nominal del eje de transmisión en RPM.

Para determinar la potencia mecánica del motor P_{mec} , asumiendo que la velocidad se mantiene constante, está dada por la siguiente ecuación. (Hughes, Austin).

$$P_{mec} = T \times \omega \quad (2.3)$$

Donde T es el torque del eje de transmisión del motor y ω es la velocidad angular que se mantiene constante.

Para calcular la potencia eléctrica entrante en el sistema eléctrico del motor trifásico, se utiliza la siguiente ecuación de potencia aparente S . (Hoffman, Carlos).

$$S = \sqrt{3} \times U \times I \quad (2.4)$$

Donde U es el voltaje que entra a los terminales del motor e I es la cantidad de corriente eléctrica que entra por los conductores.

Sin embargo, no toda la potencia aparente se convierte en energía útil aprovechable mecánicamente, la porción de la potencia aparente que se realiza como trabajo, se determina con la siguiente ecuación. (Hoffman, Carlos).

$$P_{elec} = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \theta \quad (2.5)$$

Donde P_{elec} es la potencia eléctrica activa y $\cos \theta$ es el factor de potencia que depende del diseño del motor.

La otra fracción de potencia aparente que no realiza ningún trabajo, sino que es transportada y almacenada en elementos del circuito, es la potencia reactiva que se calcula con la siguiente ecuación Q .

$$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \text{sen } \theta \quad (2.6)$$

La potencia de entrada de un motor de inducción se representa en forma de voltajes y corrientes de tres fases, siendo esta la potencia total captada por la máquina. Sin embargo, la potencia de salida del motor se presenta en forma de energía mecánica en el eje. En el proceso, existen muchas pérdidas energéticas, las primeras están en devanados del estator, pérdidas en el cobre. Luego, se pierde cierta porción de potencia por histéresis y Foucault en el núcleo del estator. La potencia restante se transfiere al rotor del motor mediante el entrehierro (potencia de entrehierro). Una parte de la potencia del rotor se pierde en el cobre, además de las pérdidas por fricción con las piezas mecánicas, rozamiento con el aire y misceláneas. (Chapman, Stephen).

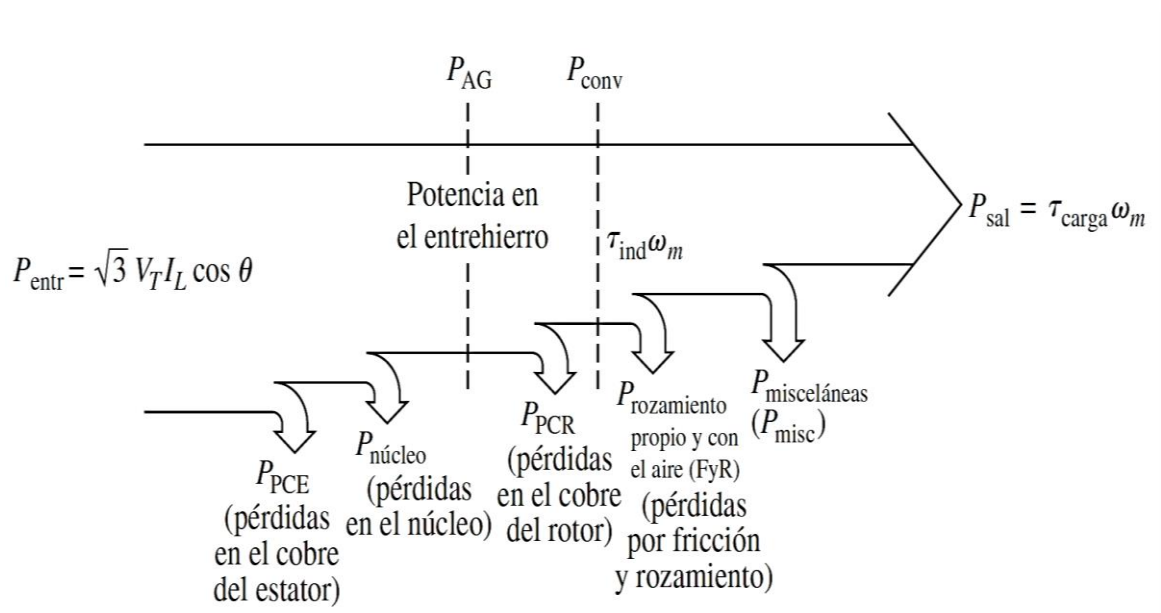


Figura 4: Diagrama de pérdidas en el motor de inducción

Fuente: Stephen Chapman

Para medir las pérdidas anteriormente mencionadas, se emplea **la prueba en vacío del motor eléctrico**, la cual también brinda información acerca de la corriente de magnetización. Para ejecutar la prueba, se conecta el amperímetro a cada línea del motor, el cual gira libremente sin asignar ninguna carga externa en el eje de transmisión, las únicas cargas del motor serán las pérdidas por fricción y rozamiento con el aire. (Chapman, Stephen).

Además de la prueba en vacío, otro parámetro fundamental en el funcionamiento del motor es el valor de la resistencia del estator. Para ello, **la prueba de resistencia del estator** (R_1) se ejecuta mediante la aplicación de voltaje de corriente continua en los devanados del estator de un motor de inducción, ya que en corriente continua no existe voltaje inducido en el rotor ni existe flujo de corriente en el mismo. Por lo tanto, lo único que limita el flujo de corriente en el motor, para el presente caso, sería el estator y de esta manera se puede calcular la resistencia en cada devanado y su desviación promedio. (Chapman, Stephen).

Para medir el voltaje y corriente del motor a “plena carga”, se utiliza **la prueba del rotor bloqueado**, para ello, se debe bloquear o inmovilizar el rotor, posteriormente se suministra voltaje en corriente alterna a los devanados del motor hasta llegar a sus valores nominales o cercanos a los mismos, luego se hacen las mediciones pertinentes en las líneas del motor. (Chapman, Stephen).

Las tolerancias de deflexión (paralelismo) en los ejes de transmisión mecánica de los motores, se pueden visualizar a continuación. (Electrical Apparatus Service Association).

MÁQUINAS IEC

Unidades en Milímetro			Unidades en Pulgadas		
Diámetro Nominal del Eje		Excentricidad del Eje	Diámetro Nominal del Eje		Excentricidad del Eje
Desde	Hasta		Desde	Hasta	
6.00	10.00	0.030	0.236	0.394	0.001
10.00	18.00	0.035	0.394	0.709	0.001
18.00	30.00	0.040	0.709	1.181	0.002
30.00	50.00	0.050	1.181	1.969	0.002
50.00	80.00	0.060	1.969	3.150	0.002
80.00	120.00	0.070	3.150	4.724	0.003
120.00	180.00	0.080	4.724	7.087	0.003
180.00	250.00	0.090	7.087	9.843	0.004
250.00	315.00	0.100	9.843	12.402	0.004
315.00	400.00	0.110	12.402	15.748	0.004
400.00	500.00	0.125	15.748	19.685	0.005
500.00	630.00	0.140	19.685	24.803	0.006

Tabla 1: Tolerancias permisibles para la deflexión (deformación) en el eje de máquinas IEC

Fuente: EASA 100 – 2015

MÁQUINAS NEMA

DIMENSIONES EN PULGADAS		DIMENSIONES EN MILÍMETROS	
Diámetro del Eje	Excentricidad del Eje	Diámetro del Eje	Excentricidad del Eje
0.1875 a 1.625	0.002	4.76 hasta 41.3	0.051
>1.625 hasta 6.500	0.003	>41.3 hasta 165.1	0.076

Tabla 2: Tolerancias permisibles para la deflexión (deformación) en el eje de máquinas NEMA

Fuente: EASA 100 – 2015

La norma EASA también establece las **tolerancias permisibles en el eje de transmisión y tapas laterales**, en función del tipo de rodamientos utilizados en el motor (rígidos de bolas o rodillos concéntricos).

Número Básico	Ajustes en el Eje							Ajustes en el Alojamiento (todos H6)									
	Clase de Tolerancia*	Diámetro Interior mm	Diámetro del Eje (mm)				Diámetro Exterior mm	Serie 200 Diámetro Exterior del Alojamiento (mm)				Serie 300 Diámetro Exterior del Alojamiento (mm)					
			(pulgadas)		(mm)			(pulgadas)		(mm)		(pulgadas)		(mm)			
			Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
00	j5	10	0.3939	0.3936	10.004	9.998	30	1.1811	1.1816	30.000	30.016	35	1.3780	1.3786	35.000	35.016	
01	j5	12	0.4726	0.4723	12.005	11.997	32	1.2598	1.2604	32.000	32.016	37	1.4567	1.4573	37.000	37.016	
02	j5	15	0.5908	0.5905	15.005	14.997	35	1.3780	1.3786	35.000	35.016	42	1.6535	1.6541	42.000	42.016	
03	j5	17	0.6695	0.6692	17.005	16.997	40	1.5748	1.5754	40.000	40.016	47	1.8504	1.8510	47.000	47.016	
04	k5	20	0.7878	0.7875	20.011	20.002	47	1.8504	1.8510	47.000	47.016	52	2.0472	2.0479	52.000	52.019	
05	k5	25	0.9847	0.9844	25.011	25.002	52	2.0472	2.0479	52.000	52.019	62	2.4409	2.4416	62.000	62.019	
06	k5	30	1.1815	1.1812	30.011	30.002	62	2.4409	2.4416	62.000	62.019	72	2.8346	2.8353	72.000	72.019	
07	k5	35	1.3785	1.3781	35.013	35.002	72	2.8346	2.8353	72.000	72.019	80	3.1496	3.1503	80.000	80.019	
08	k5	40	1.5753	1.5749	40.013	40.002	80	3.1496	3.1503	80.000	80.019	90	3.5433	3.5442	90.000	90.022	
09	k5	45	1.7722	1.7718	45.013	45.002	85	3.3465	3.3474	85.000	85.022	100	3.9370	3.9379	100.000	100.022	
10	k5	50	1.9690	1.9686	50.013	50.002	90	3.5433	3.5442	90.000	90.022	110	4.3307	4.3316	110.000	110.022	
11	k5	55	2.1660	2.1655	55.015	55.002	100	3.9370	3.9379	100.000	100.022	120	4.7244	4.7253	120.000	120.022	
12	k5	60	2.3628	2.3623	60.015	60.002	110	4.3307	4.3316	110.000	110.022	130	5.1181	5.1191	130.000	130.025	
13	k5	65	2.5597	2.5592	65.015	65.002	120	4.7244	4.7253	120.000	120.022	140	5.5118	5.5128	140.000	140.025	
14	k5	70	2.7565	2.7560	70.015	70.002	125	4.9213	4.9223	125.000	125.025	150	5.9055	5.9065	150.000	150.025	
15	k5	75	2.9534	2.9529	75.015	75.002	130	5.1181	5.1191	130.000	130.025	160	6.2992	6.3002	160.000	160.025	
16	k5	80	3.1502	3.1497	80.015	80.002	140	5.5118	5.5128	140.000	140.025	170	6.6929	6.6939	170.000	170.025	
17	k5	85	3.3472	3.3466	85.018	85.003	150	5.9055	5.9065	150.000	150.025	180	7.0866	7.0876	180.000	180.025	
18	k5	90	3.5440	3.5434	90.018	90.003	160	6.2992	6.3002	160.000	160.025	190	7.4803	7.4814	190.000	190.029	
19	k5	95	3.7409	3.7403	95.018	95.003	170	6.6929	6.6939	170.000	170.025	200	7.8740	7.8751	200.000	200.029	
20	k5	100	3.9377	3.9371	100.018	100.003	180	7.0866	7.0876	180.000	180.025	215	8.4646	8.4657	215.000	215.029	
21	m5	105	4.1350	4.1344	105.028	105.013	190	7.4803	7.4814	190.000	190.029	225	8.8583	8.8594	225.000	225.029	
22	m5	110	4.3318	4.3312	110.028	110.013	200	7.8740	7.8751	200.000	200.029	240	9.4488	9.4499	240.000	240.029	
24	m5	120	4.7255	4.7249	120.028	120.013	215	8.4646	8.4657	215.000	215.029	260	10.2362	10.2375	260.000	260.032	
26	m5	130	5.1194	5.1187	130.033	130.015	230	9.0551	9.0562	230.000	230.029	280	11.0236	11.0249	280.000	280.032	
28	m5	140	5.5131	5.5124	140.033	140.015	250	9.8425	9.8436	250.000	250.029	300	11.8110	11.8123	300.000	300.032	
30	m5	150	5.9068	5.9061	150.033	150.015	270	10.6299	10.6312	270.000	270.032	320	12.5984	12.5998	320.000	320.036	
32	m5	160	6.3005	6.2998	160.033	160.015	290	11.4173	11.4186	290.000	290.032	340	13.3858	13.3872	340.000	340.036	
34	m6	170	6.6945	6.6935	170.040	170.015	310	12.2047	12.2060	310.000	310.032	360	14.1732	14.1746	360.000	360.036	
36	m6	180	7.0882	7.0872	180.040	180.015	320	12.5984	12.5998	320.000	320.036	380	14.9606	14.9620	380.000	380.036	
38	m6	190	7.4821	7.4810	190.046	190.017	340	13.3858	13.3872	340.000	340.036	400	15.7480	15.7494	400.000	400.036	
40	m6	200	7.8758	7.8747	200.046	200.017	360	14.1732	14.1746	360.000	360.036	420	16.5354	16.5370	420.000	420.040	

*Para ejes huecos, use tolerancia j5 enés de j5, m5 enés de k5, n6 enés de m5 y p6 enés de m6.

El eje gira-la pista externa está quieta. Adaptada de las tablas 1, 2, 3 y 4 de la norma ABMA 7. Los ajustes de los ejes (interferencias) y de los alojamientos (holguras) descritos en la tabla, son válidos para la mayoría de las aplicaciones de los motores eléctricos convencionales. Donde sea permisible utilizar tolerancias más amplias (ajustes en los alojamientos), use tolerancias H7 enés de H6. Algunas aplicaciones como motores con ejes huecos, motores de husillos y vibradores requieren tolerancias diferentes a las descritas en la tabla.

Tabla 3: Tolerancias permisibles para alojamientos de rodajes rígidos de bolas

Fuente: EASA 100 – 2015

Número Básico	Ajustes en el Eje							Ajustes en el Alojamiento (todos H6)									
	Clase de Tolerancia*	Diámetro Interior mm	Diámetro del Eje (mm)				Diámetro Exterior mm	Serie 200 Diámetro Exterior del Alojamiento (mm)				Serie 300 Diámetro Exterior del Alojamiento (mm)					
			(pulgadas)		(mm)			(pulgadas)		(mm)		(pulgadas)		(mm)			
			Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
00	m5	10	0.3942	0.3939	10.012	10.006	30	1.1811	1.1816	30.000	30.016	35	1.3780	1.3786	35.000	35.016	
01	m5	12	0.4730	0.4727	12.015	12.007	32	1.2598	1.2604	32.000	32.016	37	1.4567	1.4573	37.000	37.016	
02	m5	15	0.5911	0.5908	15.015	15.007	35	1.3780	1.3786	35.000	35.016	42	1.6535	1.6541	42.000	42.016	
03	m5	17	0.6699	0.6696	17.015	17.007	40	1.5748	1.5754	40.000	40.016	47	1.8504	1.8510	47.000	47.016	
04	m5	20	0.7881	0.7877	20.017	20.008	47	1.8504	1.8510	47.000	47.016	52	2.0472	2.0479	52.000	52.019	
05	m5	25	0.9850	0.9846	25.017	25.008	52	2.0472	2.0479	52.000	52.019	62	2.4409	2.4416	62.000	62.019	
06	m5	30	1.1818	1.1814	30.017	30.008	62	2.4409	2.4416	62.000	62.019	72	2.8346	2.8353	72.000	72.019	
07	m5	35	1.3787	1.3783	35.020	35.009	72	2.8346	2.8353	72.000	72.019	80	3.1496	3.1503	80.000	80.019	
08	m5	40	1.5756	1.5752	40.020	40.009	80	3.1496	3.1503	80.000	80.019	90	3.5433	3.5442	90.000	90.022	
09	m6	45	1.7726	1.7720	45.025	45.009	85	3.3465	3.3474	85.000	85.022	100	3.9370	3.9379	100.000	100.022	
10	m6	50	1.9695	1.9689	50.025	50.009	90	3.5433	3.5442	90.000	90.022	110	4.3307	4.3316	110.000	110.022	
11	m6	55	2.1666	2.1658	55.030	55.011	100	3.9370	3.9379	100.000	100.022	120	4.7244	4.7253	120.000	120.022	
12	m6	60	2.3634	2.3626	60.030	60.011	110	4.3307	4.3316	110.000	110.022	130	5.1181	5.1191	130.000	130.025	
13	m6	65	2.5603	2.5595	65.030	65.011	120	4.7244	4.7253	120.000	120.022	140	5.5118	5.5128	140.000	140.025	
14	m6	70	2.7574	2.7567	70.039	70.020	125	4.9213	4.9223	125.000	125.025	150	5.9055	5.9065	150.000	150.025	
15	m6	75	2.9543	2.9536	75.039	75.020	130	5.1181	5.1191	130.000	130.025	160	6.2992	6.3002	160.000	160.025	
16	n6	80	3.1511	3.1504	80.039	80.020	140	5.5118	5.5128	140.000	140.025	170	6.6929	6.6939	170.000	170.025	
17	n6	85	3.3483	3.3474	85.045	85.023	150	5.9055	5.9065	150.000	150.025	180	7.0866	7.0876	180.000	180.025	
18	n6	90	3.5451	3.5442	90.045	90.023	160	6.2992	6.3002	160.000	160.025	190	7.4803	7.4814	190.000	190.029	
19	n6	95	3.7420	3.7411	95.045	95.023	170	6.6929	6.6939	170.000	170.025	200	7.8740	7.8751	200.000	200.029	
20	n6	100	3.9388	3.9379	100.045	100.023	180	7.0866	7.0876	180.000	180.025	215	8.4646	8.4657	215.000	215.029	
21	n6	105	4.1357	4.1348	105.045	105.023	190	7.4803	7.4814	190.000	190.029	225	8.8583	8.8594	225.000	225.029	
22	n6	110	4.3325	4.3316	110.045	110.023	200	7.8740	7.8751	200.000	200.029	240	9.4488	9.4499	240.000	240.029	
24	n6	120	4.7262	4.7253	120.045	120.023	215	8.4646	8.4657	215.000	215.029	260	10.2362	10.2375	260.000	260.032	
26	n6	130	5.1202	5.1192	130.052	130.027	230	9.0551	9.0562	230.000	230.029	280	11.0236	11.0249	280.000	280.032	
28	n6	140	5.5139	5.5129	140.052	140.027	250	9.8425	9.8436	250.000	250.029	300	11.8110	11.8123	300.000	300.032	
30	p6	150	5.9082	5.9072	150.068	150.043	270	10.6299	10.6312	270.000	270.032	320	12.5984	12.5998	320.000	320.036	
32	p6	160	6.3019	6.3009	160.068	160.043	290	11.4173	11.4186	290.000	290.032	340	13.3858	13.3872	340.000	340.036	
34	p6	170	6.6956	6.6946	170.068	170.043	310	12.2047	12.2060	310.000	310.032	360	14.1732	14.1746	360.000	360.036	
36	p6	180	7.0893	7.0883	180.068	180.043	320	12.5984	12.5998	320.000	320.036	380	14.9606	14.9620	380.000	380.036	
38	p6	190	7.4834	7.4823	190.079	190.050	340	13.3858	13.3872	340.000	340.036	400	15.7480	15.7494	400.000	400.036	
40	p6	200	7.8771	7.8760	200.079	200.050	360	14.1									

Además, también se establece la **prueba del aislamiento**, estableciendo el nivel mínimo que debe cumplirse para determinar si el motor se encuentra apto para la energización. (Electrical Apparatus Service Association).

Tensión nominal del bobinado (V)	Tensión C.C para la prueba del aislamiento (V)
<1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12 000	2500 – 5000
>12 000	5000 – 10 000

Tabla 5: Voltaje aplicado en prueba de aislamiento en función del voltaje nominal del motor

Fuente: EASA 100 – 2015

Valor mínimo de la resistencia del aislamiento	Tipo de máquina
$IR_{1min} = kV + 1$	Utilizado en la mayoría de los bobinados fabricados antes del año 1970, todos los bobinados de campo y los otros no descritos abajo.
$IR_{1min} = 100$	Utilizados en la mayoría de las carcasas C.C y bobinados C.A, fabricados después del año 1970 (en pletina).
$IR_{1min} = 5$	Utilizados en la mayoría de los estatores de bobinados con alambre redondo y en pletina con tensión menor de 1kV.

Tabla 6: Resistencia mínima permisible para energizar el motor eléctrico

Fuente: EASA 100 – 2015

De la misma manera, la investigación da a conocer que la tensión de prueba U_p el que es un voltaje en C.C al que se debe someter el bobinado del estator y el rotor bobinado para la prueba HIPOT y Surge (Onda) del estator y el rotor devanado, su valor se calcula usando la ecuación (2.7) donde. U_n es el voltaje nominal de trabajo del motor (Electrical Apparatus Service Association).

$$U_{prueba} = 2U_{nominal} + 1000 \quad (2.7)$$

Sí bien los motores eléctricos se distinguen por su larga vida útil, ya que existen empresas que operan con motores mayores de 30 años de antigüedad. No obstante, en caso de que el rebobinado exceda el 35.00% del costo del motor, entonces sería más prudente la sustitución del mismo. (Fundación Red de Energía).

Comúnmente se cree que la reparación o sustitución de componentes averiados puede parecer la alternativa más rápida, pero actualmente se sabe que esta afirmación es falsa, ya que generalmente una avería impacta en gran medida en el funcionamiento del conjunto de equipos que este involucra. Además, la suma de tiempos de indisponibilidad afecta más negativamente de lo que sería la ejecución de una evaluación previa. (Lourival Augusto).

Respecto a los costos de un mantenimiento correctivo, conforme avanza el tiempo, se presenta una curva ascendente, debido a la disminución de la vida útil de los equipos y la depreciación de los activos, pero generalmente no se menciona que involucra factores como pérdida de producción, adquisición de los repuestos, pago de horas extras del personal sin producir y aumento de riesgos de los accidentes. (Lourival Augusto).

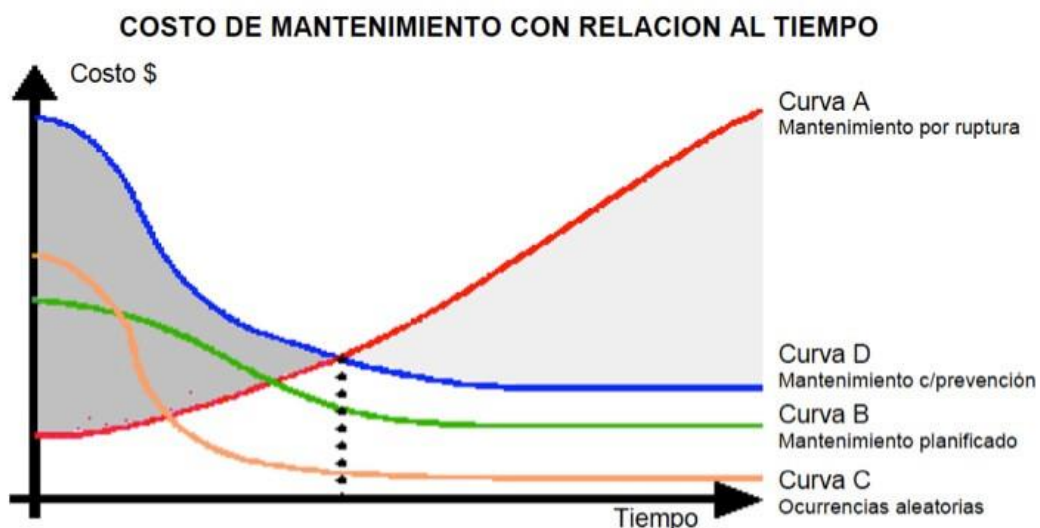


Figura 5: Costos de mantenimiento en función del tiempo

Fuente: Lourival Augusto

Antecedentes

El Centro Mexicano de Promoción del Cobre (2019), en su publicación titulada “Guía para la reparación de motores eléctricos trifásicos”, tenía como objetivo proporcionar recomendaciones de reparación y rebobinado para aplicarse en el mantenimiento de motores. La investigación, establece las acciones que deben tomarse en consideración para restaurar la operatividad eléctrica de un motor de inducción.

Vatavu, Paraian, Vatavu & Popa (2021), en su investigación titulada “Considerations regarding test methods against dust and water ingress protection for Ex equipment”, tenía como objetivo estudiar y analizar los grados de protección para el ingreso (IP) de partículas hacia el interior del motor.

La investigación define y explica cada numeración del IP, y que tan protegido está la maquina contra diferentes ambientes. Por lo tanto, se recopila la siguiente tabla, para usarla como guía.

Característica del primer dígito		Característica del segundo dígito	
IP	Descripción	IP	Descripción
0	Sin protección	0	Sin protección
1	Protección contra sólidos externos con un diámetro ≥ 50 mm	1	Protección contra gotas de agua verticales
2	Protección contra sólidos externos con un diámetro ≥ 12 mm	2	Protección contra gotas de agua que pueden tener un ángulo de 15° de inclinación
3	Protección contra sólidos externos con un diámetro ≥ 2.50 mm	3	Protección contra spray de agua que pueden tener inclinación de 60° a la vertical
4	Protección contra sólidos externos con un diámetro ≥ 1.00 mm	4	Protección contra spray de agua para cada lado (todos los ángulos)
5	Protección contra la arena y depósitos peligrosos	5	Protección contra pequeños caudales de agua en todos los ángulos
6	Deposito contra arena fina	6	Protección contra caudales de agua, equivalentes a una tormenta
		7	Protección contra la inmersión de agua
		8	Protección contra la inmersión de agua menores a 1000 metros
		9	Protección contra la inmersión de agua en alta presión y temperatura

Tabla 7: Ingress Protection (IP) definidos por cada valor

Fuente: Vatavu, Paraian, Vatavu & Popa

Chuck Yung (2005), en su investigación titulada “No – load Current Basics: Practical Guidelines For Assessment”, tenía como objetivo analizar la corriente en vacío con respecto a la nominal del motor eléctrico.

La investigación establece una tabla de rangos del valor que debería ser la corriente en vacío respecto a la nominal para cada par de polos del motor.

Polos de 3 fases Motor de inducción	Corriente esperada sin carga Como una fracción de FLA	Porcentaje aproximado de FLA
2	1/4 a 1/3	25 - 33
4	1/3 a > 3/8	33 - 40
6	1/3 a < 1/2	33 - 45
8	1/3 a > 5/8	33 - 65
10 o mas	1/5 a > FLA	60 - 110

Tabla 8: Fracción de corriente en vacío respecto a la corriente nominal (FLA)

Fuente: Chuck Yung

Después de calcular las densidades de flujo, podemos evaluar mejor la relación entre la corriente sin carga y la corriente a plena carga. Cuanto mayor sea la densidad de flujo, mayor será probablemente la relación de corriente.

- Cuanto mayor sea la densidad de flujo, mayor será la corriente sin carga como porcentaje de FLA.
- Cuanto menor sea la velocidad, mayor será la corriente sin carga, como porcentaje de FLA.
- La relación de FLA es inversa (aunque no directamente), proporcional a la potencia.

Héctor Lavín (2010), en la publicación titulada “Pruebas estáticas y diagnóstico del estado de la aislación de motores eléctricos”. Tiene como objetivo explicar cada tipo de pruebas estáticas para determinar qué tipo de falla podría sufrir el motor eléctrico en cuestión.

La investigación define los tipos de pruebas estáticas que se deben hacer a los motores, para determinar la existencia de alguna falla en el sistema eléctrico del mismo. Por lo tanto, de la publicación se rescatan las siguientes pruebas eléctricas.

Prueba de Megger: Se aplica voltaje DC entre el devanado y la carcasa (tierra) del motor, es típicamente utilizada para identificar motores que estén directos a tierra. En mantenimiento predictivo, es una prueba valiosa para encontrar humedad o partículas contaminantes en el bobinado de los motores.

Prueba del Índice de Polarización (PI): Se lleva a cabo durante un periodo de diez minutos, en dicho proceso las moléculas, el papel aislante en las ranuras del estator se polarizan, cuando esto sucede los valores de la resistencia del aislamiento deberían incrementarse, sí el material aislante está en buen estado.

Prueba de tensión Paso: Es realizada con DC, a la tensión a la que normalmente es sometido el motor durante su arranque o parada. Se aplica voltaje a las tres fases, incrementándolo paulatinamente y manteniéndolo constante durante un periodo de tiempo, luego se eleva el voltaje a otro valor (paso) y se retiene por otro periodo de tiempo, repitiendo este procedimiento hasta alcanzar el voltaje de prueba máximo. Esta prueba permite medir la rigidez dieléctrica del aislamiento, evaluar la corriente de fuga y que los cables soporten el trabajo durante al arranque y apagado del motor (picos de voltaje).

Prueba de impulso (Surge): Es importante realizar este tipo de pruebas, ya que el 80% de todas las fallas, comienza entre las espiras del estator, a causa de la debilidad en el aislamiento. Para este tipo de prueba, el equipo cargará un condensador y se descargará en una de las fases del motor, manteniendo las otras dos restantes, directo a tierra. Durante la prueba, el equipo incrementara el voltaje desde cero hasta la tensión de prueba, este proceso genera una onda basada en la inductancia del devanado. Sí se alcanza la tensión de prueba sin ningún tipo de cambio en la forma de la onda de cada devanado, entonces el aislamiento entre espiras se encuentra en buen estado.

Grupo SKF (2017), en su publicación titulada “Use of Electric Motor Surge Testing as a Predictive Technology”, tenía como objetivo explicar la prueba Surge y como está se podría usar para el mantenimiento predictivo de las maquinas eléctricas, además, establece valores máximos porcentuales que se deben tener en consideración durante la ejecución de la prueba. La investigación establece un

margen de tolerancia para la prueba Surge de máximo 10.00%, y de esta manera determinar la condición del material aislante en el bobinado.

Sergio García (2018), en su publicación titulada “Índices de Polarización y de Absorción”, analiza la medición del índice de polarización (IP) y la medición del índice de absorción (RAD), los cuales determinan el estado del bobinado en el estator. La investigación propone que para calcular el índice de polarización se debe medir el nivel de aislamiento durante mínimo 10 minutos, sin embargo, para calcular el índice de absorción, se debe medir el aislamiento del motor durante por lo menos 60 segundos. Además, el autor resume en una tabla la clasificación de los rangos de valores de la variable RAD y la variable IP.

Relación de Absorción Dieléctrica	Índice de Polarización	Clasificación del estado de Aislación
$RAD < 1,1$	$IP < 1$	Peligroso
$1,1 < RAD \leq 1,25$	$IP < 1,5$	Cuestionable
$1,25 < RAD \leq 1,4$	$1,5 \leq IP < 2$	Aceptable
$1,4 < RAD \leq 1,6$	$2 \leq IP < 3$	Bueno
$1,6 < RAD$	$3 \leq IP < 4$	Muy bueno
	$4 \leq IP$	Excelente

Tabla 9: Clasificación del estado del bobinado en función de la variable RAD e IP

Fuente: Sergio García

Mollisaca Centellas (2020), en su publicación titulada “Mantenimiento y reparación de motores eléctricos síncronos” detalla las instrucciones y métodos de mantenimiento tanto preventivos como predictivos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento de los motores síncronos. La investigación previa obtuvo como resultado presencia de desgaste y daño en el eje de transmisión, recomendando el rectificado y metalizado del mismo para restaurar su estado físico.

Electrical Apparatus Service Association (2020), en su investigación titulada “How to Test and Asses Stator Core Condition Using Loop Test”, establece el procedimiento para la ejecución de la **prueba en el núcleo estático**, con la finalidad de determinar su adecuada condición para generar el campo magnético sin generar pérdidas adicionales innecesarias.

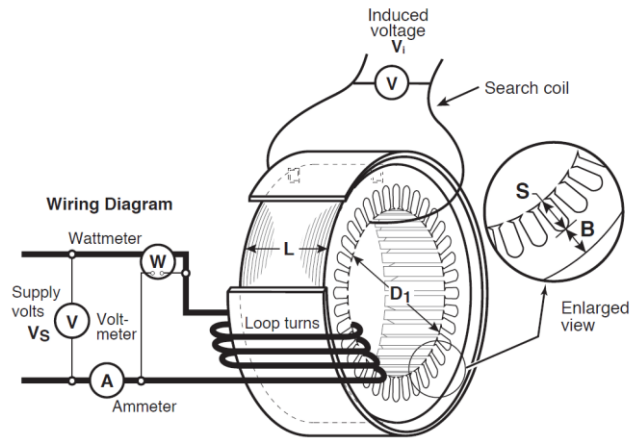


Figura 6: Diagrama de las variables a considerar para probar el núcleo del estator

Fuente: Electrical Apparatus Service Association

Para determinar el voltaje inducido en el núcleo, la investigación previa, sugiere utilizar la siguiente ecuación.

$$V_i = 0.000005557 \times f \times L \times B \times \Phi \quad (2.8)$$

Donde f es la frecuencia en Hertz de la fuente de alimentación, L es la longitud del núcleo en milímetros, B es la anchura del núcleo (sin incluir la ranura) en milímetros y Φ es el flujo magnético de magnetización del material en cuestión.

Para determinar que el núcleo del estator se encuentra en correcto estado, primero la temperatura, generada por la inducción del voltaje en el núcleo, debe ser uniforme y no variar más de 5~10° C durante 30 minutos. Además, la temperatura máxima que alcance el núcleo no debe ser mayor a 15° C, respecto a la temperatura inicial.

Reineri, Targarona & Campetelli (2009), en su investigación titulada “Unbalance on Power Systems: A General Review”, establece los efectos a los que se somete el motor al contener diferentes valores del consumo de voltaje en sus líneas. Además, señala la pérdida de potencia en el motor, en función al desbalance de voltaje en el mismo.

Voltage unbalance (%)	IEC derating using (4)	NEMA derating Using (1)
0 to 0.5	0	0
1	0	≈0.99
2	≈0.955	0.95
3	0.9	0.89
4	≈0.835	0.825
5	≈0.755	0.75

Tabla 10: Pérdida de potencia en el motor en función del desbalance del voltaje

Fuente: Reineri, Targarona & Campetelli

Para determinar el desbalance de voltaje en el motor, el autor sigue utilizando la siguiente ecuación. Donde σ es la máxima diferencia entre los valores del voltaje en cada fase y \bar{V} es el promedio de los tres valores de voltaje.

$$\%P = \frac{\sigma}{\bar{V}} \quad (2.9)$$

Yasdin Yasir (2019), en su publicación titulada "Detecting Classifier-Coal Mill Damage Using A Signal Vibration Analysis", analiza los efectos de la vibración en una maquinaria, señalando, mediante una figura, los valores de vibración y los daños que podría generar en una máquina rotativa. El autor en cuestión obtuvo como resultado que el motor de estudio presenta una vibración radial 1.60 mm/s y 1.26 mm/s, consecutivamente la vibración axial medida fue de 0.83 mm/s y 1.10 mm/s en cada rodaje.

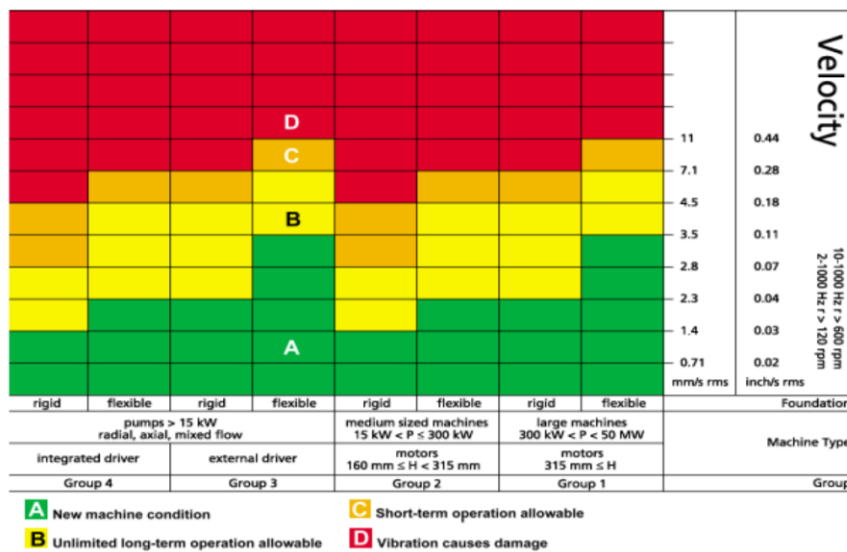


Figura 7: Valores de vibración y sus efectos en las máquinas rotativas

Fuente: Yasdin Yasir

Michael Howard (2020), en su artículo titulado “Envolvente de Aceleración para Análisis de Fallas en Rodamientos” estudia como los rodamientos son afectados ante la vibración envolvente de una maquina rotativa, el autor sugiere utilizar la siguiente figura para determinar el riesgo del nivel de vibración envolvente.

Enveloping Severity gE peak to peak	Speed		
	Speed <500rpm	Speed between 500 & 1800rpm	Speed is either 1800 or 3600rpm
0.1	Good	Good	Good
0.5	Satisfactory		
0.75		Satisfactory	Satisfactory
1	Unsatisfactory	Unsatisfactory	
2	Unacceptable (danger)	Unsatisfactory	Satisfactory
4		Unacceptable (danger)	Unsatisfactory
10		Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)

Figura 8: Valores de vibración envolvente para los rodamientos

Fuente: Michael Howard

OMICRON (2022), en su artículo titulado “Pruebas de diagnóstico y monitoreo de transformadores de potencia” estudia los parámetros que se deben tomar en consideración para analizar el estado de los transformadores. Entre todos los parámetros estudiados, se destaca el desbalance de resistencia óhmica en el bobinado cuando es sometido a corriente continua, el autor señala que las diferencias entre fases generalmente son inferiores al 2.00% o 3.00%.

Centro Mexicano de Promoción del Cobre (2019), en su publicación titulada “Guía para la reparación de motores eléctricos trifásicos” establece que, para motores de propósito general y motores menores a 30 HP, cuando el costo de la reparación sea mayor a 40.00% de su valor en el mercado, entonces se sugiere el reemplazo por un motor nuevo.

El autor señala que existen ocasiones en que un rebobinado se convierte en una oportunidad para mejorar el funcionamiento del motor, ya que mediante el aumento de la sección del conductor (alambres) en las ranuras (por lo menos un 50% o 40%), se reduce las pérdidas por efecto Joule (I^2R), conllevando al incremento de la eficiencia del motor.

Néstor Caiza (2016), en su tesis titulada “Termografía Industrial En Motores Eléctricos De La Planta SOGUAR S.A. Para Determinar Parámetros De Mantenimiento Predictivo” la investigación establece un plan de mantenimiento predictivo mediante el uso de la termografía. El autor define la prueba de termografía infrarroja permite visualizar la distribución de la temperatura de un área (objeto) determinado sin tener ningún contacto físico. El autor concluye que la termografía en los motores eléctricos es un método rápido y sencillo para analizar el funcionamiento del motor sin detener la puesta en marcha de este, señalando además de que, al momento de incrementar la carga en el motor, la temperatura del mismo aumento un 60.00% de la inicial.

Lila Wei (2017), en su publicación titulada “How to calculate the profit of the maize milling Plant?” el autor señala que generalmente el beneficio obtenido de las molineras se encuentra alrededor de 20 a 100 dólares por cada tonelada de producción, a no ser que haya alguna condición especial de la empresa industrial en cuestión.

Carlos Torres (2022), en su publicación titulada “¿Cuánto dinero puede ahorrar el mantenimiento predictivo a una empresa industrial?” expone que una empresa puede perder en promedio 323 horas de producción cada año, debido a la falta de mantenimiento predictivo en sus equipos y maquinas.

Julia Kagan (2023) en su publicación titulada “Payback Period Explained, With the Formula and How to Calculate it” muestra una fórmula para calcular el periodo en que se retorna la inversión de un proyecto y/o bien material determinado, la cual se visualiza a continuación.

$$\textit{Periodo de retorno} = \frac{\textit{Costo de la inversión}}{\textit{Beneficio anual}} \dots \dots \dots (2.9)$$

III.METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación, es aplicada, según Cegarra Sánchez (2004, p.42), se proyecta a la solución de problemas, estaba encaminada a obtener innovaciones, mejoras de procesos – productos, aumento de calidad y/o productividad, etc.

Diseño de investigación, no experimental, ya que se limitó solamente al análisis de una o diversas variables. Básicamente, se determina como una investigación transversal correlacionales causales (causalidad múltiple), describiendo únicamente las relaciones entre dos o más categorías. Se establece de múltiples causales, debido a que se reafirma las relaciones de las variables independientes y dependientes, sin explicar la causa de dicha relación. (Sampieri, Fernández y Baptista, 2014, p.152, p.157).

3.2 Variables y operacionalización

3.2.1 Variables

La variable **característica del funcionamiento del motor eléctrico** fue independiente, debido a que la peculiaridad o propiedad que supone la causa del fenómeno abordado no puede ser contralado por el investigador. (Paz, Baena).

Según su *naturaleza*, se consideró una variable cuantitativa discretas, debido a que medirá cantidades enteras, conteniendo un numero finito de valores que se pueden tomar. (Cabezas, Naranjo y Santamaria).

Según su *complejidad*, se consideró una variable simple, ya que no es necesario que se descomponga en dimensiones, se establecerá a través de un único indicador o unidad de medida. (Cabezas, Naranjo y Santamaria).

La variable **pruebas en el bobinado** fue dependiente, debido a que sus valores están en función de la variable independiente. Es la que se pudo manipular por el investigador, será el fenómeno o situación explicados en base a la variable independiente. (Paz, Baena).

Según su *naturaleza*, se estableció como cuantitativa continua, medirá valores y magnitudes, para representar los resultados se seleccionará cualquier expresión numérica, como fracciones o decimales. (Cabezas, Naranjo y Santamaria).

Según su *complejidad*, se consideró como variable compleja, se necesitará fragmentarse en dos o más dimensiones, para ello, se planteará uno o más indicadores por cada dimensión. (Cabezas, Naranjo y Santamaria).

3.2.2 Operacionalización

Variable independiente:

característica del funcionamiento del motor eléctrico (ver anexo A – 1) En el Anexo 1 Tabla A – 1 se detalla la variable independiente en su cuadro del proyecto.

Definición conceptual: Toda máquina eléctrica posee una única placa de datos permanente, de preferencia original, la cual contiene la información acerca de la máquina. (Electrical Apparatus Service Association).

Definición operacional: Parámetros eléctricos y variables que determinan el tipo de carcasa, fecha de fabricación, serial y marca.

Indicadores: Voltios.

Escala de medición: Razón.

Variable dependiente:

Pruebas en el bobinado (ver anexo A – 2) En el Anexo 1 Tabla A – 2 se detalla la variable dependiente en su dicho cuadro del proyecto.

Definición conceptual: Cuando el bobinado de tres fases es suministrado por corrientes en sus tres fases, se generará un campo magnético, originado por el mismo bobinado en el estator, induciendo tensiones en las barras del rotor y generando un par mecánico en el eje. (Hoffmann, Carlos).

Definición operacional: Análisis del consumo de voltaje, corriente eléctrica, resistencia del aislamiento y óhmica, deslizamiento y la presencia del campo magnético.

Indicadores: “Nivel del aislamiento”, “Corriente de línea”, “Resistencia del bobinado” y “Surge test”

Escala de medición: Razón.

3.3 Población, muestra y muestreo

Población: Motores eléctricos en funcionamiento de la empresa molinera de granos de La Libertad.

Muestra: Motores eléctricos WEG, 30 HP de potencia.

Muestreo: Muestreo intencional u opinático, debido a que los elementos de la muestra son escogidos en base al criterio del investigador. (Cabezas, Naranjo y Santamaria).

Unidad de análisis: Motores eléctricos WEG, 30 HP de potencia.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La **técnica** empleada fue la observación directa, debido a que se estará en contacto personalmente con el fenómeno que se quiere investigar. (Cabezas, Naranjo y Santamaria). El **instrumento** empleado fue una guía de observación de campo, compuesto por libretas, periódicos, cuadros, mapas y dispositivos, los cuales ayudaran a analizar los factores que interactúan en la zona. (Paz, Baena).

Técnicas	Instrumento	Validación
Observación Directa	Guía de observación de campo: libreta de notas, fichas técnicas, cuadros, gráficos y mapas.	Por asesor especialista

Tabla 11: Técnicas e instrumentos de la recolección de datos

Fuente: Elaboración propia

3.5 Procedimientos

El procedimiento necesario para realizar la presente investigación son los siguientes:

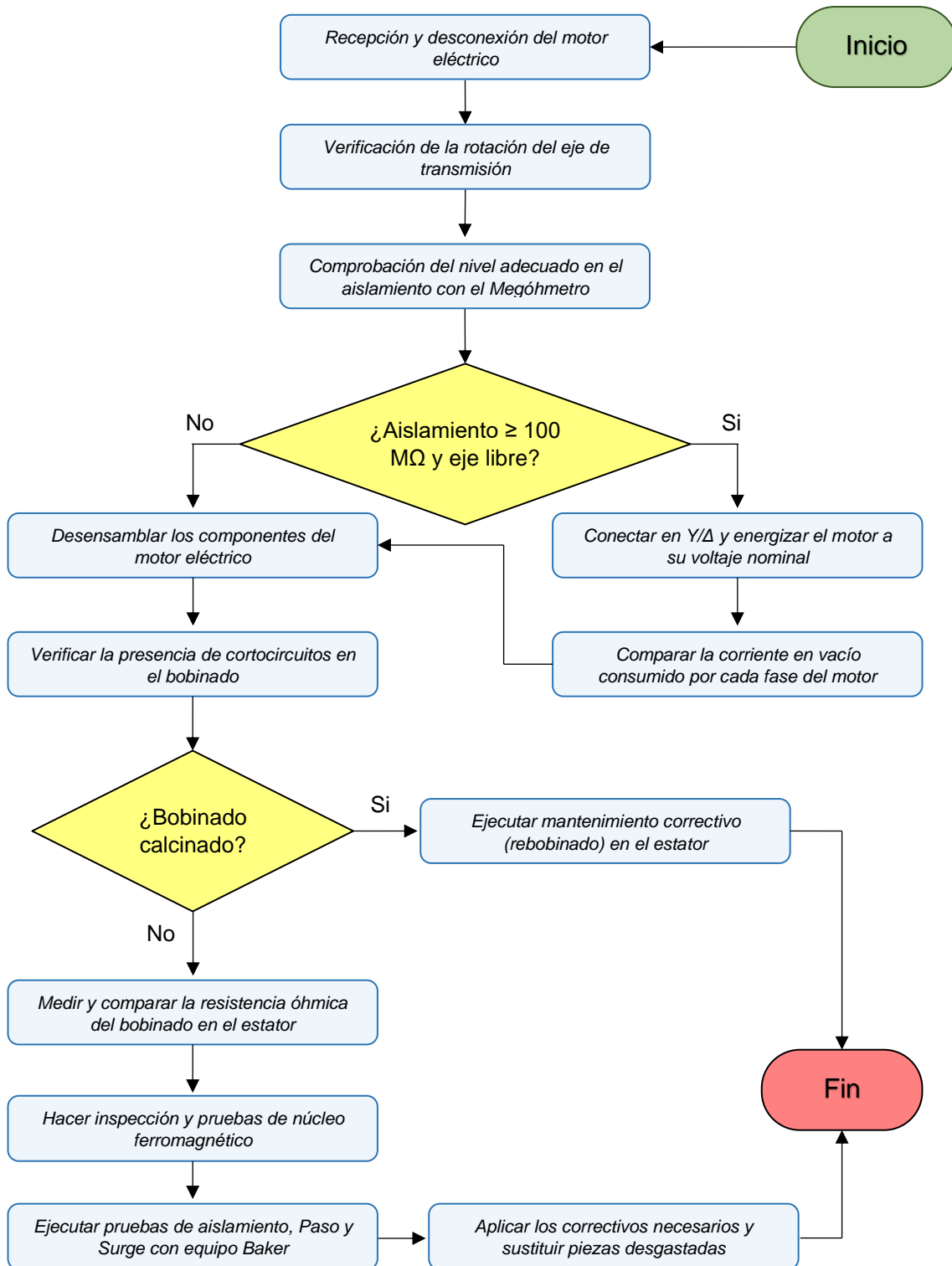


Figura 9: Elaboración del diagrama de flujo para el procedimiento del proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.6 Método de análisis de datos

Toda la información recolectada por la guía de observación de campo fue plasmada usando el programa Microsoft Excel, donde usando la estadística matemática se promediará el valor promedio del nivel del aislamiento en un periodo de tiempo, lo cual nos permitió analizar variables relevantes para la presente investigación, se anexaron las tolerancias eléctricas y mecánicas en base a la normativa correspondiente.

3.7 Aspectos éticos

Todos los datos recolectados en la presente investigación fueron empleados solo con fines académicos y sociales. En pocas palabras, para la generación de un nuevo conocimiento, utilizando investigaciones anteriores de relevancia. Por lo tanto, se establecieron los siguientes aspectos éticos del Colegio de Ingenieros (CIP).

Código de ética del CIP:

Artículo N° 14: Los ingenieros están dispuestos a la voluntad de la sociedad, por lo tanto, tienen el deber de favorecer el bienestar humano, teniendo como prioridad a la seguridad y apropiada utilización de los recursos, durante el ejercicio de su profesión.

Artículo N° 29: El ingeniero tiene que salvaguardar y optimizar los recursos naturales como urbanos, beneficiando la creación de las condiciones correctas para la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

Código deontológico del CIP:

Artículo 105: Manifestaran la opinión en temas de ingeniería, únicamente cuando se fundamenten en el adecuado análisis y conocimientos de los hechos, en competencia técnica suficiente y honesta convicción.

Artículo 106: Los ingenieros al manifestar su trabajo, logros o explicar opiniones en temas de ingeniería, actuaran con honestidad, previniendo de no crear problemas de intereses, proyectándose con incrementar el conocimiento público acerca de la ingeniería y de los servicios prestados ante la sociedad.

4. RESULTADOS

a. Analizar los parámetros eléctricos en las pruebas dinámicas en vacío

Primeramente, se determina el número de par de polos en el motor de estudio, empleando la ecuación (2.1).

$$n_{sinc} = \frac{120 \times f}{P}$$

Despejando la ecuación previa, se obtiene el número de polos (Según tabla C – 1).

$$P = \frac{120 \times f}{n_{prueba}} = \frac{120 \times 60 \text{ Hz}}{1175 \text{ RPM}} \approx 6 \text{ polos} = 3 \text{ pares de polos}$$

Iterando la ecuación (2.1), se obtiene la velocidad nominal del rotor.

$$n_{sinc} = \frac{120 \times 60 \text{ Hz}}{6 \text{ polos}} = 1200 \text{ RPM}$$

Usando la velocidad del rotor, obtenida en la prueba dinámica, y la velocidad del rotor nominal, se calcula el deslizamiento empleando la ecuación (2.2).

$$s = \frac{1200 \text{ RPM} - 1175 \text{ RPM}}{1200 \text{ RPM}} \times 100 \approx 2.10\%$$

Utilizando la ecuación (2.4), se calcula la potencia aparente en el motor de estudio (Según tabla C – 1).

$$\bar{U} = \frac{(440.50 + 440.70 + 441.40) \text{ V}}{3} \approx 440.87 \text{ V}$$

$$I_{vacío} \approx \frac{(17.80 + 17.50 + 18.10) \text{ A}}{3} \approx 17.80 \text{ A}$$

En base al resultado previo, se estima la fracción porcentual de la corriente nominal (FCN) del motor (Según figura B – 2), en función de la corriente en vacío medida.

$$FCN = \frac{17.80 \text{ A}}{37.20 \text{ A}} \times 100 \approx 47.85\%$$

$$S = \sqrt{3} \times 440.87 \text{ V} \times 17.80 \text{ A} \approx 13.59 \text{ kVA}$$

Utilizando la ecuación (2.5), se calcula la potencia activa del motor que consume directamente de la red (Según figura B – 2).

$$P_{elec} = \sqrt{3} \times 440.87 \text{ V} \times 17.80 \text{ A} \times 0.86 \approx 11.69 \text{ kW}$$

Utilizando la ecuación (2.6), se calcula la potencia reactiva en el motor de estudio.

$$\theta = \cos (0.86) \approx 30.68^\circ$$

$$Q = \sqrt{3} \times 440.87 \text{ V} \times 17.80 \text{ A} \times \sin 30.68^\circ \approx 6.94 \text{ kVAR}$$

Utilizando la ecuación (2.3) y teniendo en cuenta la eficiencia (Según figura B – 2), se calcula el torque del motor de estudio.

$$P_{mec} = P_{elec} \times \eta = 11.69 \text{ kW} \times 0.902 \approx 10.54 \text{ kW}$$

$$10.54 \text{ kW} = T \times \frac{1175 \text{ rev}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}$$

$$T = \frac{10.54 \text{ kW}}{61.52 \text{ rad/s}} \approx 171.33 \text{ N.m}$$

Consultando la tabla de proporción de corriente en vacío entre la nominal del marco teórico (Según tabla N° 8) y teniendo en cuenta el porcentaje obtenido de la corriente en vacío en la prueba dinámica (Según tabla C – 1), se deduce que:

- ✓ El 47.85% se encuentra ligeramente por encima del rango promedio de 33.00% a 45.00%, para un motor de 6 polos.
- ✓ El presente exceso de corriente consumida en vacío podría significar un problema en el bobinado del motor.

Utilizando la ecuación (2.9), se calcula el desbalance de voltaje presente en el motor, durante la ejecución de la prueba dinámica.

$$\%P = \frac{(441.40 - 440.50)\text{V}}{440.87 \text{ V}} \times 100 \approx 0.2041\%$$

En base a la tabla del desbalance de voltaje en el marco teórico (Según tabla N° 10), el resultado previo se ubica en un rango de desbalance de 0.00% a 0.50%.

Consultando a la tabla de vibraciones del marco teórico (Según figura N° 7) y a los datos obtenidos en las pruebas dinámicas, se deduce que:

- ✓ El motor de estudio presenta valores mínimos de vibración.
- ✓ Los valores de vibración no representan ningún potencial daño a las piezas mecánicas del motor de estudio.

INSTRUMENTOS DE LAS PRUEBAS DINÁMICAS DE INGRESO EN EL MOTOR ELÉCTRICO			
Conexión	Triangulo	Voltaje	440 V
Prueba	Instrumento	Valor	Interpretación
Resistencia del aislamiento	Megóhmetro digital marca Fluke	> 2200 MΩ	El motor no se encuentra directo a tierra
Corriente en vacío	Pinza amperimétrica marca Fluke	17.80 A (Promedio)	Por encima del rango permisible en la norma
Vibración	Advanced 6CH Vibration Analyzer marca DSP Logger Expert	< 1.50 mm/s	No representa daños estructurales
Velocidad del eje	Tacómetro digital	1200 RPM	El deslizamiento es correcto

Tabla 11: Resumen de las pruebas dinámicas en el motor eléctrico

Fuente: Elaboración propia

b. Examinar el estado físico y tolerancias de las piezas mecánicas en el desensamble de la maquinaria

Teniendo en cuenta las deformaciones en el eje de transmisión en el motor de estudio (Según tabla D – 6), se determina si hay presencia de deformación mecánica fuera del rango establecido por la normativa (Según tabla 1), asumiendo que se trata de una maquina con diseño IEC.

DESCRIPCIÓN	MÁXIMA DEFORMACIÓN EN EL EJE	RANGO PERMITIDO	RESULTADO
Deflexión del eje	0.04 mm	0.00 a 0.07 mm	Conforme
Instrumento utilizado	Reloj comparador		

Tabla 12: Deflexión del eje de transmisión del motor

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta las deformaciones del eje de transmisión en la zona de rodajes, acople y ventilador (Según tabla D – 6), se determina si existe presencia de deformación mecánica fuera del rango de tolerancias permisibles por la normativa (Según tabla 3) para rodajes rígidos de bolas.

DESCRIPCIÓN	LADO ACOPLA (PTO. 1)	LADO LIBRE (PTO. 2)	RANGO PERMITIDO	RESULTADO
Diámetro de eje asiento de rodaje (mm)	60 + 0.015	60 + 0.005	Pto. 1: 0.002 a 0.015 Pto. 2: 0.002 a 0.015	Pto. 1: Conforme
				Pto. 2: Conforme
Diámetro de eje asiento de acople-ventilador (mm)	55 - 0.01	55 + 0.01	Pto. 1: 0.00 a 0.015 Pto. 2: 0.00 a 0.015	Pto. 1: No conforme
				Pto. 2: Conforme
Instrumento utilizado	Reloj comparador			

Tabla 13: Deformación del eje en el asiento del acople y rodamientos

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta las deformaciones en el alojamiento de rodajes en tapas laterales (Según tabla D – 6), se determina si existe presencia de deformación mecánica fuera del rango de tolerancias permisibles por la normativa (Según tabla 3) para rodajes rígidos de bolas.

DESCRIPCIÓN	LADO ACOUPLE (PTO. 1)	LADO LIBRE (PTO. 2)	RANGO PERMITIDO	RESULTADO
Diámetro de bocinas alojamiento de rodajes (mm)	130 - 0.005	110 + 0.035	Pto. 1: 0.000 a 0.025 Pto. 2: 0.000 a 0.022	Pto. 1: No conforme
				Pto. 1: No conforme
Instrumento utilizado	Alexómetro			

Tabla 14: Deformación del alojamiento de rodajes en tapas laterales

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta las dimensiones del núcleo ferromagnético del estator (Según tabla D – 6), se calcula el voltaje inducido que se debe aplicar para determinar la correcta operatividad del mismo, aplicando la ecuación (2.8) se obtiene dicho voltaje.

$$V_i = 0.000005557 \times 60 \text{ Hz} \times 240 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 1.50 \text{ T} \approx 3.00 \text{ V}$$

Aplicando el voltaje previamente calculado, durante un periodo de 30 minutos, se obtiene una temperatura de 35.30° C (Según Figura B – 5). Por lo tanto, resumiendo los resultados de la prueba, se construye la siguiente tabla.

Temperatura inicial	Tiempo de prueba	Temperatura máxima	Voltaje de línea	Corriente de línea	Resultado
21.00° C	30 minutos	35.30° C	57.50 V	33.00 A	Conforme
Instrumento utilizado	Pirómetro óptico				

Tabla 15: Resultados de la prueba en el núcleo ferromagnético del estator

Fuente: Elaboración propia

En base a la evaluación realizada, se ejecuta una simulación térmica para visualizar a la distribución de la temperatura en la chapa del núcleo ferromagnético.

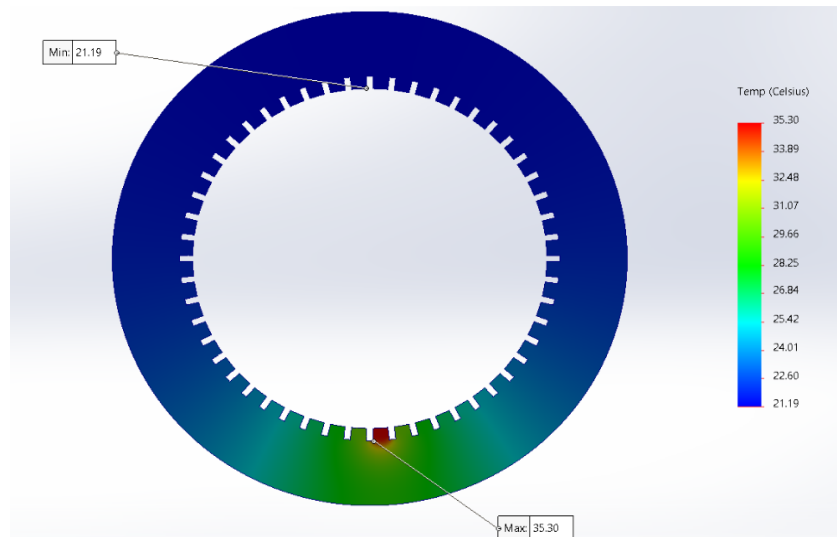


Figura 10: Distribución de la temperatura en la chapa del núcleo ferromagnético

Fuente: SolidWorks

c. Ejecutar las pruebas estáticas en el bobinado del estator

Para la ejecución de la prueba estática, se utilizó el equipo Baker DX12 (Según figura B – 6).

Visualizando la tabla resultante de la prueba de resistencia en el bobinado (Según tabla E – 1), se puede deducir lo siguiente:

- ✓ La resistencia óhmica entre cada fase del motor varía ligeramente, obteniendo un desbalance total de 0.20%, el cual en base a la tabla del desbalance de voltaje en el marco teórico (Según tabla N° 9), el resultado previo se ubica en un rango tolerable de desbalance entre 0.00% a 0.50%.
- ✓ El desbalance obtenido coincide con el desbalance calculado previamente al utilizar la ecuación (2.9).

Visualizando la tabla resultante de la prueba de aislamiento en el estator (Según tabla E – 2), se puede deducir lo siguiente:

- ✓ El voltaje aplicado para la prueba está conforme con lo estipulado por la normativa EASA (Según tabla 5).
- ✓ El valor del aislamiento no se incrementa en función del tiempo, por lo tanto, el valor de la variable AD (RAD) y la variable IP son reducidos.
- ✓ Utilizando la Tabla N° 9 del marco teórico y en base al valor de AD e IP, se puede afirmar que el bobinado se encuentra en un estado cuestionable (no conforme).
- ✓ El aislamiento del bobinado cumple con el valor mínimo requerido por la norma para ser energizado y operar continuamente (Según tabla 6).

Visualizando la tabla resultante de la prueba Paso (Según tabla E – 3), se puede deducir lo siguiente:

- ✓ El voltaje máximo aplicado para la prueba es dos veces la nominal más el incremento de mil voltios, coincidiendo con lo estipulado por la normativa EASA (Según ecuación 2.7).
- ✓ El bobinado del motor puede soportar sobrecargas de hasta 1850 voltios durante el encendido o apagado del mismo.

Visualizando la tabla resultante de la prueba Surge (Según tabla E – 4), se puede deducir lo siguiente:

- ✓ El voltaje de prueba es dos veces la nominal más el incremento de mil voltios, coincidiendo con lo estipulado por la normativa EASA (Según ecuación 2.7).
- ✓ El desfase entre los devanados del bobinado no varía por encima del 10.00% del máximo permitido.

d. Establecer las acciones necesarias que se deben ejecutar para corregir y/o prevenir fallas en el motor eléctrico trifásico

Resumiendo, las fallas obtenidas, se construye el siguiente cuadro referencial para el motor de estudio.

Fallas encontradas en el motor de estudio				
Parámetro	Medición	Estándar	Corrección	Anexos
Diámetro de eje asiento de acople	55 ^{-0.01}	0.00 a 0.015	Mecanizado del eje	-
Diámetro en alojamiento de rodajes	130 ^{-0.005}	0.000 a 0.025	Mecanizado de tapas	-
	110 ^{+0.035}	0.000 a 0.022		
Índice de Polarización (IP)	1.00	> 1.50	Rebobinado	Tabla E – 2
Índice de Absorción (AD)	1.10	≥ 1.25	Rebobinado	Tabla E – 2
Ranuras del núcleo vacías parcialmente	> 50.00%	≤ 40.00%	Rebobinado	Figura D – 2

Tabla 16: Resumen de las fallas halladas en el motor de estudio

Fuente: Elaboración propia

Resumiendo, las fallas de la tabla previa, se construye la siguiente imagen en un programa CAD.

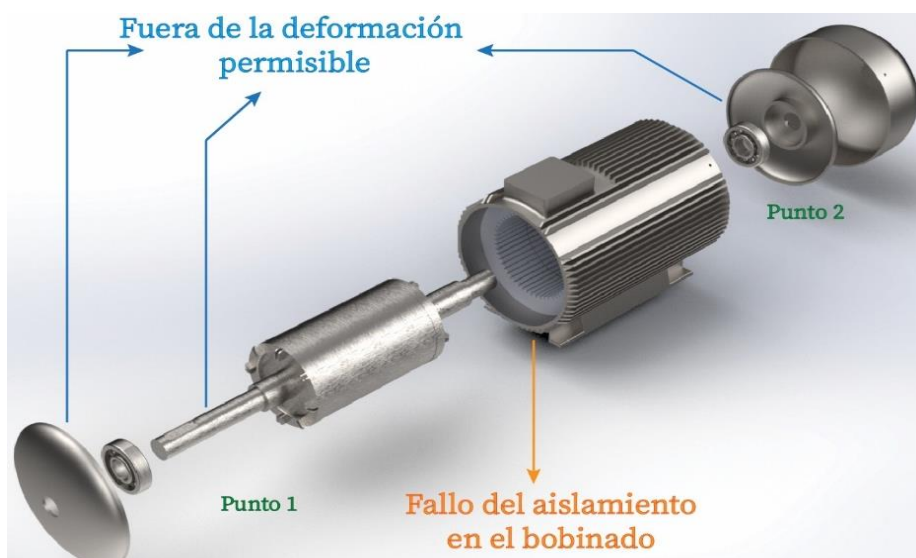


Figura 11: Esquema de las fallas halladas en el motor

Fuente: SolidWorks

En base al diagnóstico, se determina que las acciones a tomar para restaurar la óptima operatividad del motor de estudio es la ejecución de un rebobinado del estator y el mecanizado en el eje de transmisión y tapas laterales. Sin embargo, se tiene que tener en cuenta que la reparación del motor no es factible sí supera 40% o 35% del valor actual del motor en el mercado.

Teniendo en cuenta el costo del motor (Según figura D – 1), se obtiene la máxima inversión para que el mantenimiento sea factible.

$$Inv_{m\acute{a}x} = 0.40 \times 4924.00 \text{ USD} = 1969.60 \text{ USD}$$

En base al tipo de cambio actual (Según figura D – 3), se calcula el monto en nuevos soles.

$$Inv_{m\acute{a}x} = 1969.60 \text{ USD} \times \frac{3.70 \text{ S/}}{\text{USD}} \approx 7287.52 \text{ S/}.$$

Utilizando el diagrama del mantenimiento en función del tiempo del marco teórico (Según figura N° 5), se establece el punto más factible para realizar el mantenimiento respectivo.

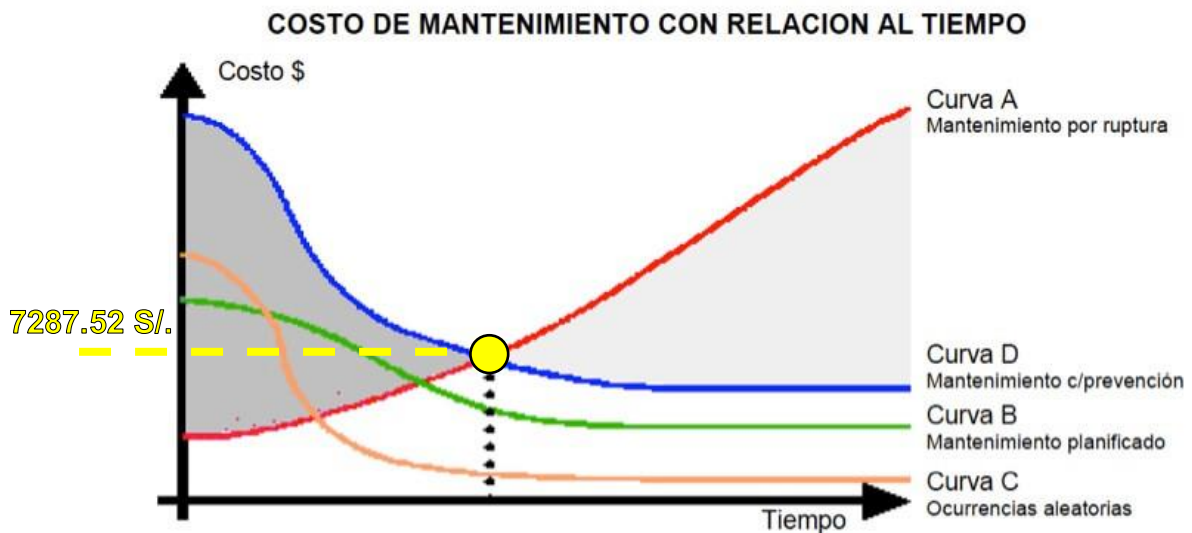


Figura 12: Punto de equilibrio del mantenimiento en el motor de estudio

Fuente: Elaboración propia

Según los antecedentes de la investigación, una empresa puede perder en promedio hasta 323 horas por año en paradas de planta, por lo tanto, en base al

beneficio obtenido de la molinera en los anexos D, se calcula la pérdida económica por paradas de planta.

$$1.71 \frac{USD}{h} \times 323 h = 552.33 \frac{USD}{año} \times \frac{3.70 S/}{USD} = 2043.62 \frac{S/}{año}$$

Finalmente, se calcula el periodo de retorno de la inversión del mantenimiento para el motor en cuestión.

$$ROI = \frac{7287.52 S/}{2043.62 \frac{S/}{año}} \approx 3 \text{ años con 7 meses}$$

A continuación, se plasma un plan de inspección periódico para el motor en cuestión posterior al rebobinado y puesta en marcha del mismo.

PLAN DE INSPECCIÓN PROPUESTO PARA EL MOTOR ELECTRICO						
N°	Descripción de la actividad	1 día	1 sem	1 mes	6 meses	1 año
1	Revisión del nivel de aislamiento en el estator		X			
2	Revisión de la bornera de conexión	X				
3	Revisión de los terminales de cada cable		X			
4	Revisión de la temperatura en la carcasa del motor	X				
5	Medición del desbalance de voltaje en el motor				X	
6	Medición de la deformación en el eje				X	
7	Medición de la deformación en tapas laterales				X	
8	Medición de las vibraciones	X				
9	Sustitución de la grasa en piezas mecánicas				X	
10	Ejecución de pruebas con equipo Baker					X

Tabla 17: Resumen de la metodología usada en el motor

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Recopilando la fundamentación teórica presentada por el autor Chuck Yung en su publicación del año 2005, en la que obtiene que, para los motores de 6 polos, la fracción de corriente nominal en función de la corriente en vacío es entre 33.00% a 45.00%. En comparación con los resultados obtenidos en el primer objetivo, se puede deducir que existe una diferencia de resultados. Sin embargo, es importante recalcar que el resultado obtenido es muy aproximado al valor superior máximo plasmado por el autor Chuck Yung.

De la misma manera, recopilando la información teórica del autor Yasdin Yasir en su publicación del año 2019, donde obtuvo que las vibraciones radiales en su motor de estudio fueron 1.60 mm/s y 1.26 mm/s, así como también las vibraciones axiales fueron 0.83 mm/s y 1.10 mm/s en cada rodaje, concluyendo que no simbolizan riesgo alguno dichos valores vibracionales. En comparación con los resultados obtenidos en el primer objetivo, las vibraciones del motor de la presente investigación son (Según Tabla C – 2) se aproximan a las resultantes por el autor Yasdin Yasir. Por lo tanto, se puede deducir que las vibraciones resultantes en el motor de estudio de la presente tesis no representan ningún riesgo significativo.

Recopilando la información tomada por el autor Mollisaca Centellas en su publicación del año 2020, donde obtuvo que para restaurar el desgaste del eje de transmisión se debe metalizar el mismo, por el contrario, para llevar al eje al rango de tolerancia correcta, se debe rectificar. En comparación con los resultados obtenidos en el segundo objetivo, el eje de transmisión debe ser metalizado en el asiento del acople, de igual forma, la tapa lateral (Punto 1) debe ser rectificada (pulida) para alcanzar la tolerancia correcta, por el contrario, la tapa lateral (Punto 2) debe ser metalizada (embocinado) para alcanzar la tolerancia correcta.

Recopilando la información provista por Electrical Apparatus Service Association en su publicación del año 2020, donde determinó que la temperatura en el núcleo debe ser uniforme, no debe variar más de 10° C como máximo y la temperatura máxima que puede alcanzar un núcleo en buen estado es de 15° C por encima de la temperatura inicial, durante 30 minutos de prueba. En comparación con los resultados obtenidos en el segundo objetivo, el motor alcanzó una temperatura de

35.50° C, respecto a una temperatura inicial de 21.00° C, en una prueba de 30 minutos. En base a los valores previos, se puede deducir que los datos concuerdan con Electrical Apparatus Service Association.

Recopilando la información teórica del autor Héctor Lavín de su publicación del año 2010, en donde se señala que en caso de que el aislamiento del bobinado se encuentre en buen estado, su resistencia debería incrementarse en función del tiempo. En comparación con los resultados obtenidos del tercer objetivo, el aislamiento no se incrementa conforme la prueba está siendo ejecutada, difiriendo con lo manifestado por el autor previo. Además, el autor Sergio García en su publicación del año 2018, se establece una tabla donde se visualiza un grupo de rangos de los valores del índice de polarización (IP) e índice de absorción (RAD) para determinar el estado del aislamiento. En comparación con los datos obtenidos en el tercer objetivo, se calculó 1.10 en el índice de absorción y 1.00 en el índice de polarización, los cuales, en base a la información afirmada por el autor previo, se determina que los valores coinciden dentro del rango "Cuestionable".

Recopilando la información teórica del autor OMICRON en su publicación del año 2022, se afirma que la resistencia óhmica entre fases es generalmente inferior a 3.00%. En comparación con los resultados obtenidos en el tercer objetivo (Según anexos E), se visualiza que el desbalance de la resistencia óhmica es de 0.20%, coincidiendo con lo establecido por el autor previo.

Recopilando la información teórica del Centro Mexicano de Promoción del Cobre de la publicación del año 2019, se establece que, para motores de potencia menores a 30 HP, el costo de reparación es factible cuando únicamente representa como máximo un 40.00% de su valor en el mercado actual. En comparación con los resultados del cuarto objetivo, se obtiene que el rebobinado y mantenimiento preventivo el motor en sí solo es factible cuando no supere el monto de 7287.52 Nuevos Soles. Además, visualizando el punto de equilibrio del mantenimiento en el motor (Según figura N° 10), se deduce que el mantenimiento preventivo solo es factible una vez que el motor haya cumplido un periodo de tiempo en utilización posterior a su fabricación.

VI. CONCLUSIONES

1. En primer lugar, respecto al primer objetivo específico, se afirma que los resultados de las pruebas dinámicas en vacío, la corriente en el motor difiere ligeramente con lo expuesto por el autor Chuck Yung en su publicación del año 2005. Esta diferencia de valores puede deberse a la falla presente en el aislamiento del bobinado en el estator. Además, los resultados de las vibraciones mecánicas halladas en el motor coinciden aproximadamente con lo expuesto por el autor Yasdin Yasir en su publicación del año 2019. Por lo tanto, se deduce que los resultados encontrados son correctos y no representan ningún peligro para el motor de estudio.
2. Respecto al segundo objetivo específico, se afirma que los resultados encontrados en las pruebas mecánicas, respecto a la deformación mecánica para las tapas laterales y el eje de transmisión del motor, así como los métodos de corrección, coinciden con lo expuesto por el autor Mollisaca Centellas en su publicación del año 2020. Por lo tanto, se deducen que los resultados hallados son correctos. Además, los resultados obtenidos de la temperatura en el estator coinciden con el rango de temperatura permisible por Electrical Apparatus Service Association en su publicación del año 2020, por lo tanto, se considera un resultado correcto.
3. Respecto al tercer objetivo específico, se afirma que los resultados de las pruebas estáticas, respecto al índice de polarización e índice de absorción, coinciden dentro del rango expuesto por el autor Héctor Lavín de su publicación del año 2010, por lo tanto, se considera que el resultado encontrado es correcto. Además, los resultados de la resistencia óhmica del bobinado se afianzan y corroboran con la información expuesta por el autor OMICRON en su publicación del año 2022.
4. Respecto al cuarto objetivo específico, el resultado obtenido de las acciones ha tomar para corregir y/o prevenir fallas, los datos se afianzan en base a la información provista por el Centro Mexicano de Promoción del Cobre de la publicación del año 2019, de manera que cobra relevancia en función del gráfico del mantenimiento en función del tiempo (Según figura N° 11).

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda dividir las pruebas dinámicas en dos bloques, la primera que sea ejecutada en el vacío (sin carga) y la segunda que sea ejecutada con carga. De esta forma, se analiza el comportamiento del motor más eficientemente.
2. Se recomienda estudiar la posibilidad de la sustitución del eje de transmisión en caso de que este se encuentre en un estado de deterioro avanzado, de forma que ya no es factible la reparación del mismo. De igual forma, se recomienda la posibilidad de realizar el estudio del núcleo ferromagnético (inducción del núcleo) mediante la utilización de una maquina especializada para ello.
3. Se recomienda utilizar diversas herramientas para el análisis de motores eléctricos, específicamente, instrumentos de análisis para la ejecución de pruebas estáticas.
4. Se recomienda realizar una cotización completa de un mantenimiento preventivo programado para un motor determinado y realizar una comparación de la sustitución del mismo en base con su coste actual en el mercado.

VIII. REFERENCIAS

Banco de Desarrollo de América Latina. *Eficiencia energética en Perú: Identificación de oportunidades* [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado de: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/963>

Fundación Red de Energía BUN – CA. *Manual Técnico de Motores Eléctricos*. 1.ª.ed. Costa Rica: Programa de Eficiencia Energética en los Sectores Industrial y Comercial en América Central, 2009. ISBN: 978-9968-904-36-0

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). *Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo* [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

PROCOBRE CENTRO MEXICANO DE PROMOCIÓN DEL COBRE. *Guía Para la Reparación de Motores Eléctricos Trifásicos* [en línea]. 2019. 1.ª.ed. México: PROCOBRE. pp. 1 – 58. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/496916/Gu_aReparaci_nMotores_-_FinalDigPswd.pdf

Norma EASA AR100 – 2015: Práctica recomendada para la reparación de máquinas eléctricas rotativas. (). *Electrical Apparatus Service Association, Inc* [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado de <http://www.kellerelectrical.com/pdf/EASA%20Standard%20Recommended%20Practice.pdf>

Yung, C. No – load Current Basic: Practical Guidelines For Assessment [en línea]. 2005. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado de: <https://easa.com/resources/resource-library/no-load-current-basics-practical-guidelines-for-assessment>

Lavín, H. Pruebas estáticas y diagnóstico del estado de la aislación de motores eléctricos [en línea]. 2010. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado de: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1351&ni=pruebas-estaticas-y-diagnostico-del-estado-de-la-aislacion-de-motores-electricos>

Baena, G. *Metodología de la investigación*. 3.^a. ed. México: Grupo Editorial Patria, 2017. ISBN: 978-607-744-748-1.

Cabezas, E., Naranjo, D. y Santamaría, J. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Ecuador: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018. ISBN: 978-9942-765-44-4.

Cegarra, J. *Metodología de la Investigación Científica y Tecnología*. España: Ediciones Diaz de Santos, 2004. ISBN: 84-7978-624-8.

Colegio de Ingenieros del Perú. *Código de ética del colegio de ingenieros del Perú*. [en línea]. 1987. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado de https://www.cip.org.pe/publicaciones/reglamentosCNCD2018/codigo_de_etica_del_cip.pdf

Colegio de Ingenieros del Perú. *Código deontológico del colegio de ingenieros del Perú* [en línea]. 2012. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado de https://www.cip.org.pe/publicaciones/2018/CODIGO_DEONTOLOGICO2012.pdf

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. *Metodología De La Investigación*. 6.^a.ed. México: MCGraw – Hill / Interamericana Editores, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

Lexseco. *Core loss testing in the practical motor repair environment* [en línea]. 2011. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado de: <https://pdf4pro.com/cdn/core-loss-testing-in-the-practical-motor-repair-55b7aa.pdf>

García, S. *Índices de Polarización y de Absorción* [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado de:

<http://catmiron.com.ar/images/descargas/nota-tecnica-6-ndices-de-polarizacion.pdf>

Vatavu, J., Paraian, M., Vatavu, S. & Popa, M. *Considerations regarding test methods against dust and water ingress protection for Ex equipment* [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado

https://www.researchgate.net/publication/357629630_Considerations_regarding_test_methods_against_dust_and_water_ingress_protection_for_Ex_equipment

Hoffmann, C. *Manual de Motores Eléctricos* [en línea]. Brasil: WEG Exportadora. 2004. pp. 1 – 21. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Disponible en:

<https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/cys//DI/manual%20de%20motores%20electricos.pdf>

Champman, S. *Máquinas Eléctricas*, 2012. 5ª ed. Mexico: MCGraw – Hill / Interamericana Editores. ISBN: 978-607-15-0724-2.

Hughes, A. *Electric Motors and Drives*, 2006. 3ª ed. Gran Bretaña: Elsevier Ltd. ISBN-13: 978-0-7506-4718-2.

Centellas, C. *Mantenimiento y Reparación de Motores Eléctricos Síncronos* [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 10 de mayo del 2023]. Recuperado de

<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/153318/Mollisaca%20-%20MANTENIMIENTO%20Y%20REPARACI%C3%93N%20DE%20MOTORES%20EL%C3%89CTRICOS%20S%C3%8DNCRONOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Romahadi, D., Avicenna, A. & Dorion, L. *Detecting Classifier-Coal Mill Damage Using a Signal Vibration Analysis* [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2023]. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/291842746.pdf>

Laughton, M. & Warne, D. *Electrical Engineer's Reference Book*, 2003.16^a ed. Reino Unido: Elsevier Science. ISBN 0 7506 46373.

EASA. *How to Test Assess Stator Core Condition Using a Loop Test* [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2023]. Recuperado de <https://easa.com/resources/resource-library/how-to-test-and-assess-stator-core-condition-using-a-loop-test>

García, S. *Índice de Polarización y de Absorción* [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2023]. Recuperado de <http://catmiron.com.ar/images/descargas/nota-tecnica-6-ndices-de-polarizacion.pdf>

OMICRON. *Pruebas de diagnóstico y monitoreo de transformadores de potencia* [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2023]. Recuperado de <https://www.omicronenergy.com/download/document/E19A7510-4BEE-4C7A-9525-A7E2A278724B/>

Reineri, C., Gomez, J. & Campetelli, N. *Unbalance on Power Systems: A General Review* [en línea]. 2009. [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2023]. Recuperado de <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/21438158>

IX. ANEXOS

ANEXO A: Tablas de operacionalización de las variables

Tabla A – 1: Variable independiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Ítems	Escala de medición
Característica del funcionamiento del motor eléctrico	Toda máquina eléctrica posee una única placa de datos permanente, de preferencia original, la cual contiene la información acerca de la máquina. (EASA, 2009, p.1).	Parámetros eléctricos y variables que determinan el tipo de carcasa, fecha de fabricación, serial y marca.	Voltaje nominal Corriente Factor de potencia	Voltios Amperios	Razón

Fuente: Elaboración propia

Tabla A – 2: Variables dependientes

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Ítems	Escala de medición
Pruebas en el bobinado	Cuando el bobinado de tres fases es suministrado, por corrientes en sus tres fases, se generará un campo magnético, originado por el mismo bobinado en el estator, induciendo tensiones en las barras del rotor y generando un par mecánico en el eje. (Hoffmann, 2004, p.10).	Análisis del consumo de voltaje, corriente eléctrica, resistencia del aislamiento y óhmica, deslizamiento y la presencia del campo magnético.	Nivel del aislamiento	Mega Ohmios	Razón
			Resistencia del bobinado	Ohmios	Razón
			Surge Test	Porcentaje	Razón

Fuente: Elaboración propia

Resumen del procedimiento de la metodología del Motor Eléctrico		
Parámetro	Norma	Corrección
Deflexión en el eje IEC/NEMA	En función del diámetro del eje	Metalizado o cambio de eje
Deformación en tapas laterales		Mecanizado en tapas laterales
Nivel del aislamiento	$\geq 100 \text{ M}\Omega$	Horneado del bobinado
Corriente en vacío	En función del número de polos	Rebobinado
PI/DAR	En función del incremento del aislamiento	
Prueba Surge	$\leq 10\%$	
Prueba de núcleo	15°C por encima de la inicial	Reparación de chapas ferromagnéticas
Desbalance	$\leq 2.00\%$	Rebobinado
Vibración	En función de los RPM del motor	Sustitución de rodajes y/o balanceo dinámico

Tabla A – 3: Resumen de la metodología utilizada

Fuente: Elaboración propia

Tabla A – 4: Guía de observación de campo

PRUEBAS DINÁMICAS EN EL MOTOR						
Devanado	Tensión Medida	Corriente Medida	Vacío/Nominal	Velocidad	Frecuencia	Conexión
Fase 1-2						
Fase 2-3						
Fase 3-1						
Valores de vibración de la carcasa externa						
Posición			Punto 1	Punto 2		
Horizontal						
Vertical						
Axial						
Envolvente						
PRUEBAS ESTÁTICAS EN EL MOTOR						
Equipo Baker DX12						
Aislamiento		Surge o Impulso		Tensión de prueba		
30 segundos						
1 minuto				DA		
3 minutos				PI		
10 minutos		Temperatura del motor				
PRUEBAS MECÁNICAS EN EL MOTOR						
Longitud del núcleo	Ancho de la corona	Tiempo de la prueba	Voltaje inducido	Temperatura inicial	Observación	
			Formula (2.8)			
Eje zona de acople		Observación	Eje zona de ventilador		Observación	
Nominal	Deformación		Nominal	Deformación		
Alojamiento de rodaje P1		Observación	Alojamiento de rodaje P2		Observación	
Nominal	Deformación		Nominal	Deformación		
Diámetro del eje nominal		Deformación	Tolerancia permisible		Observación	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO B: Evidencia fotográfica de la evaluación en el motor



Figura B – 1: Motor eléctrico trifásico de muestra para la investigación

Fuente: Telsen Ingenieros



Figura B – 2: Placa característica del motor en cuestión

Fuente: Telsen Ingenieros

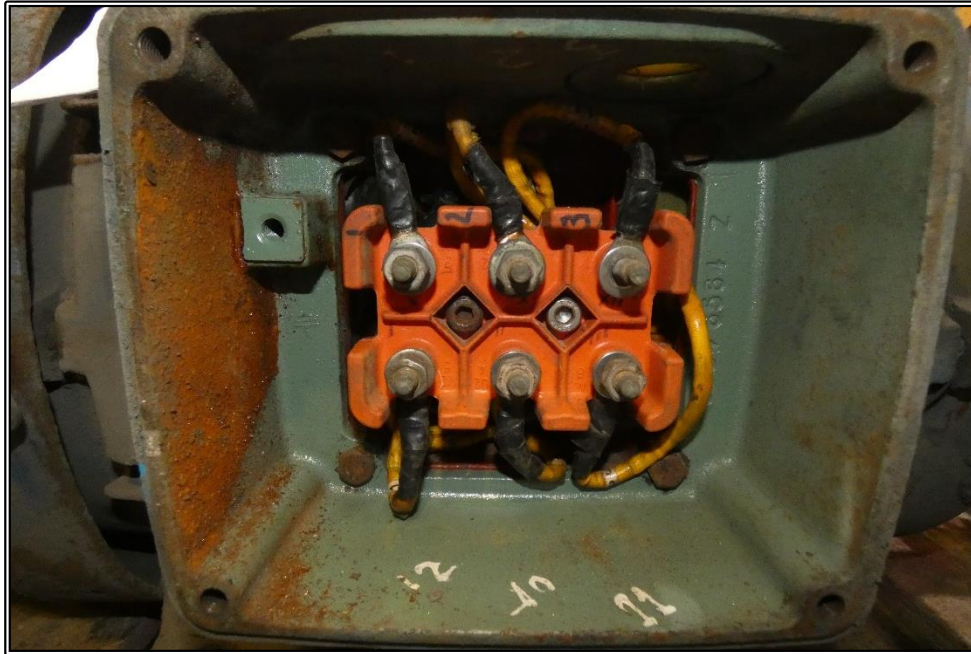


Figura B – 3: Bornera del motor eléctrico en cuestión

Fuente: Telsen Ingenieros

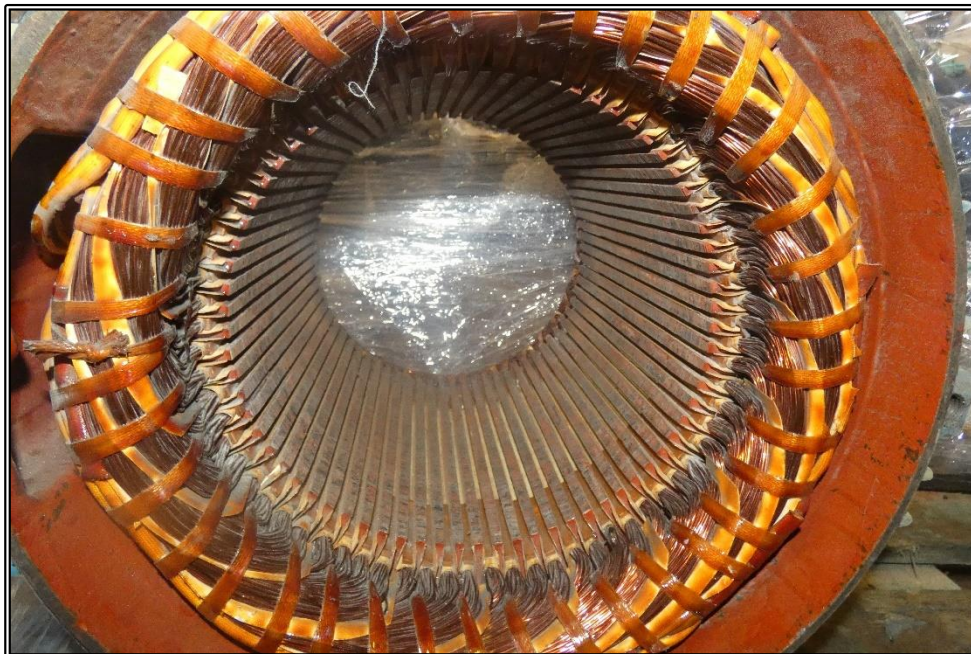


Figura B – 4: Bobinado del motor eléctrico en cuestión

Fuente: Telsen Ingenieros



Figura B – 5: Prueba de núcleo en el estator con 10 minutos de duración

Fuente: Telsen Ingenieros

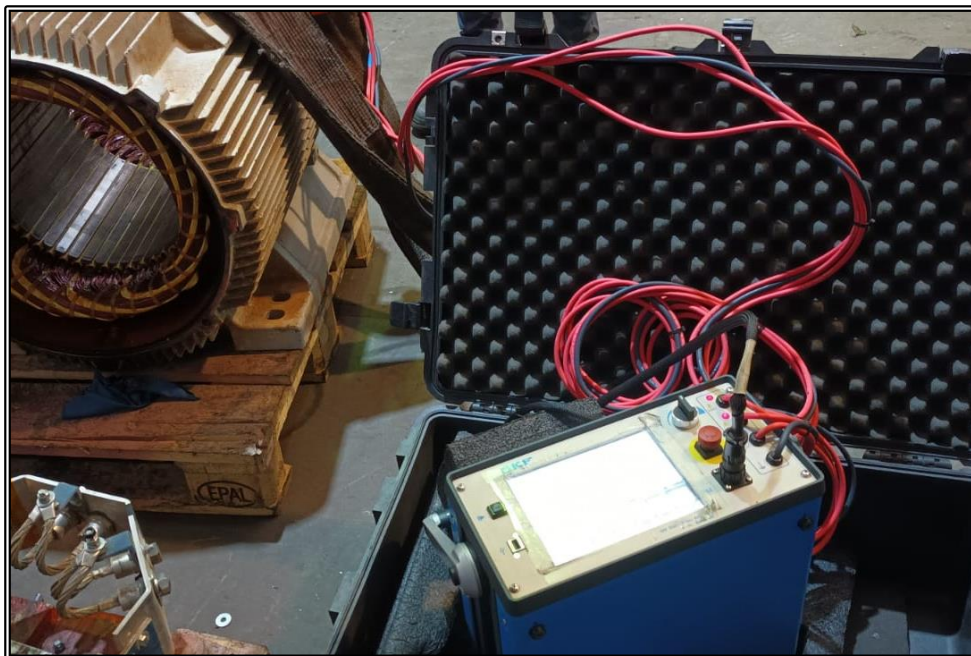


Figura B – 6: Prueba estática con equipo Baker DX12 en el motor en cuestión

Fuente: Telsen Ingenieros

TELSEN
EVALUACIÓN DE SALA DE PRUEBAS

OT. **29835**
Fecha **15-06-22**
Recepcionado por: **Eduardo**

Cliente: **Cotguasi**
Código / TAG: **ME-099** Atención: _____ Solapado/orden: _____

1) DATOS GENERALES

Equipo: **Motor Electrico** Potencia: **30 HP** Nº fases: **3**
 Marca: **WEA** Tensión: **440v** Cos φ: _____
 Modelo: _____ Corriente: **37.2A** F. serv.: **1.15**
 Nº serie: _____ Velocidad: **1125** RPM Cl. Aisl.: _____
 Frame / Tipo: **200 L** Frecuencia: **60** Hz Encl.: _____
 Spec Nº / Cat Nº: _____ Rotor devanado: _____ IP: **55**
 Modelo / N.º (VENT): _____ Campo principal: _____ Altitud: _____
 Rodaje, lado carga (1): **6312-03** Salidas / conexión: **6 Y-A 216re** Peso: **277 Kg**
 Rodaje, lado libre (2): **6312-22-03** Grasa lubricante / horas: _____

2) ESTADO DE RECEPCIÓN

Placa original SI Caja de fuerza SI PTC/N/C Turbina 1 Acople **Polea**
 Placa Telsen Caja de control PT100 Turbina 2 Reductor
 Cáncamo SI Bornera SI Heater Base metal. Enconder

3) OBSERVACIONES DE RECEPCIÓN

3.1 Estado físico de la máquina y elementos
** Motor llega con 6 aletas rotas*
** febe en buen estado*

3.2 Piezas adicionales y/o faltantes
** Motor llega con cáncamo*

3.3 Medición y nomenclatura de sensores

4) PRUEBAS CON MEGÓHMETRO

4.1 Resistencia óhmica (Deshbalance resistivo)
 Norma IEEE 1415-2006: 3 - 5% (Promedio)
 Norma IEEE 1065-2015: ≤1% (Post manto)
 PDMA Corporation: ≤1% (Nuevo o rebobinado)
 PDMA Corporation: ≤3% (en servicio)

Fase 1-2 / K-L: **280, 5062 m**
 Fase 2-3 / L-M: **279, 3642 m**
 Fase 3-1 / M-K: **280, 2353 m**
 Desbalance (E): **0.201**
 Desbalance (R): _____

4.2 Resistencia de aislamiento a masa (Ri)
 Estator VS masa: **> 2200 M**
 Rotor VS masa: _____

4.3 Resistencia de aislamiento entre fases
 Fase 1-2 / K-L: _____
 Fase 2-3 / L-M: _____
 Fase 3-1 / M-K: _____

5) PRUEBA ELECTRO-DINÁMICA

5.1 ENSAYO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS
 Norma IEEE 112-2004
 Norma IEC 60034-2-1-2007

Salidas / conexión: **6 (A)**
 Tensión aplicada: **440.57440714414V**
 Corriente medida: **17.81151181A**
 Porcentaje de I: **47.85% OKI**
 Velocidad / Frec.: **1125rpm/60Hz**

5.2 NIVEL DE VIBRACIÓN Y ENVOLVENTE
 Norma ISO 10816-3

	PTO. 1	PTO. 2
Horizontal (H)	1.2	1.3
Vertical (V)	1.1	1.1
Axial (A)	1.1	1.1
Envolvente	Balanceo 1700 rpm	

TÉCNICO A CARGO / FECHA: _____

6) PRUEBA ESTÁTICA CON BAKER

6.1 Resistencia de aislamiento (norma IEEE 43, mínimo 100 MΩ)

30 seg.	Tensión	Corriente
21304 M	490VDC	1.10
1 min. 22272 M		1
3 min. 23333 M		21%
10 min. 23333 M		

DA: **1.10**
 PI: **1**
 Tº motor: **21%**

6.2 Impulso o Surto (norma-IEEE 522, máximo 10%)
 Fase 1-2: **1850VDC 3%**
 Fase 2-3: **1880VDC 4%**
 Fase 3-1: **1880VDC 5%**

Equipo utilizado:
 Baker D55R
 Baker DX12

Observación:
Revisar Calculos y e hoario Robobimod y SETREL en 2016

TÉCNICO A CARGO: _____
 Fecha y firma: _____

7) PRUEBA ESTÁTICA - POLARIDAD CON REGULADOR

Nivel de aislamiento _____
 N.º de salidas / Conexión _____
 Tensión aplicada _____
 Corriente medida _____
 Porcentaje de tensión _____
 N.º de polos _____
 Frecuencia _____
 Tº ambiente _____
 Tº devanado _____

Observación: _____

TÉCNICO A CARGO / FECHA: _____

8) PRUEBA DE INDUCCIÓN

8.1 Núcleo magnético del estator
 Fórmula: $0.0456 \times LA \times HC$
 Longitud activa (LA): **24cm**
 Ancho de corona (HC): **2.50cm**
 Tensión/espira calculado: **2.800V/600**
 Tensión/espira medido: **2.40V**
 Tensión/corriente Línea: **57.5V/33A**
 Tiempo de prueba: **10 minutos**
 Tº ambiente/núcleo: **21°C 25°C**

Resultado: **OKI**
 Observación: _____

8.2 Jaula de aradura del rotor
 Total de barras _____
 Barras abiertas _____
 Resultado: _____
 Observación: _____

TÉCNICO A CARGO / FECHA: _____

9) CONCLUSIÓN

bot. nos abracen la mitad de Rampa porque q. la capacidad de corriente este alta y bot. nos abracen la mitad de Rampa lentamente en conome del dinamómetro.

10) CAUSA RAÍZ

11) RECOMENDACIÓN

12) OTROS

REBE

Figura B – 7: Hoja de evaluación técnica del motor durante la prueba dinámica y estática

Fuente: Telsen Ingenieros



TELSEN INGENIEROS S.R.L.

EVALUACIÓN MECÁNICA

CLIENTE: _____ OT: 35 FECHA: _____

MAQUINA:	RPM: <u>1200 RDM</u>
MARCA:	HP/KW:
N° SERIE:	HORA INICIO:
TIEMPO DE MONTAJE DEL MOTOR:	HORA FIN:
	CANT. PERSONAL:

Estado de Recepción					
Placa caract. Orig:	<input type="checkbox"/>	Tapa:	<input checked="" type="checkbox"/>	Ventilador	<input checked="" type="checkbox"/>
Caja de conexión	<input checked="" type="checkbox"/>	Ejes	<input checked="" type="checkbox"/>	Acople	<input checked="" type="checkbox"/>
Bornera	<input type="checkbox"/>	Funda	<input checked="" type="checkbox"/>	Chaveta	<input checked="" type="checkbox"/>
Inpro-seal	<input checked="" type="checkbox"/>	Laberintos	<input checked="" type="checkbox"/>	Estator	<input checked="" type="checkbox"/>
V-ring	<input checked="" type="checkbox"/>	Reten	<input checked="" type="checkbox"/>	Cáncamo	<input checked="" type="checkbox"/>

Slam(muelle)Pto1 _____
 Slam(muelle)Pto2 15mm
 Resorte de contratapas _____
 Alineamiento de paquete OK

ROTOR

Deflexión de eje 0.04
 Cod rodaje Pto1 6312 2RS C3
 Cod rodaje Pto2 6312 2RS C3
 Eje zona de acople Ø 55 - 0.02 Mobilizado
 Acople Ø int Vujo
 Canal chaveta Pto1 _____
 Canal chaveta Pto2 N/A
 Valor de balanceo Balaceo dinámico
 Asiento de rodaje Pto1 Ø 60 +0.018 OK
 Asiento de rodaje Pto2 Ø 60 +0.018 OK
 Ejes asiento ventilador Ø 55
 Ventilador Ø int Plástico
 Medidas de chaveta Pto1 S
 Medidas de chaveta Pto2 N/A

ESTATOR

Alojamiento de rodaje tapa Pto1 Ø 130 +0.000 rect.
 Alojamiento de rodaje tapa Pto2 Ø 110 +0.02 ENB.
 Pestaña de tapa Pto1 _____
 Pestaña de tapa Pto2 _____
 Contra tapa interna Pto1 S
 Contra tapa externa Pto1 N/A
 Contra tapa interna Pto2 N/A
 Contra tapa externa Pto2 N/A
 Ventilador Ø: S
 Caja de conexión: S
 Alabes N/A
 Tapa de caja de conexión S

Distancia de acople: Eje adentro _____
 Eje afuera 12.5mm

Luz o distancia inicial de porta escobilla con el colector o anillos rozantes: _____

Porta escobilla regulable SI NO

OBSERVACIONES

* Notas del estator se encuentran rotas

Figura B – 7: Hoja de evaluación mecánica del motor durante el desensamblaje

Fuente: Telsen Ingenieros

ANEXO C: Parámetros del primer objetivo de la investigación

PRUEBAS DINÁMICAS EN EL MOTOR						
Devanado	Tensión Medida	Corriente Medida	Vacío/Nominal	Velocidad	Frecuencia	Conexión
Fase 1-2	440.50 V	17.80 A	47.85%	1175 RPM	60 Hz	Triangulo (Δ)
Fase 2-3	440.70 V	17.50 A				
Fase 3-1	441.40 V	18.10 A				

Tabla C – 1: Parámetros eléctricos obtenidos de las pruebas dinámicas

Fuente: Telsen Ingenieros S.R.L

VALORES DE VIBRACIÓN EN EL MOTOR		
Posición	Punto 1	Punto 2
Horizontal	1.20 mm/s	1.30 mm/s
Vertical	1.10 mm/s	1.10 mm/s
Axial	0.90 mm/s	N/A
Envolvente	N/A	N/A

Tabla C – 2: Parámetros de vibración obtenidos de las pruebas dinámicas

Fuente: Telsen Ingenieros S.R.L



Tabla C – 3: Megóhmetro utilizado para la prueba

Fuente: Telsen Ingenieros S.R.L



Tabla C – 4: Pinza amperimétrica utilizada para la prueba

Fuente: Telsen Ingenieros S.R.L

de Maquina			
	M 43%	0%	SD 100%
	27/07/2022 10:50		
	Canal A	Canal B	
RMS-A	0.470 G	0.460 G	
RMS-V	0.900 mm/s	1.134 mm/s	
Estado Rodamiento	ACEPTABLE	ACEPTABLE	
Estado Lubricación	ACEPTABLE	ACEPTABLE	
ISO 10816	MAQ. NUEVA o REPARADA	MAQ. NUEVA o REPARADA	
Balanceo	NORMAL	NORMAL	

Tabla C – 5: Advanced 6CH Vibration Analyzer marca DSP Logger Expert

Fuente: Telsen Ingenieros S.R.L

ANEXO D: Parámetros del segundo objetivo de la investigación



Figura D – 1: Rotor del motor eléctrico en cuestión

Fuente: Telsen Ingenieros



Figura D – 2: Estado físico de los rodamientos del motor en cuestión

Fuente: Telsen Ingenieros



Figura D – 3: Estado físico de las tapas laterales del motor en cuestión

Fuente: Telsen Ingenieros



Figura D – 4: Estado físico de las tapas laterales del motor en cuestión

Fuente: Telsen Ingenieros



Figura D – 5: Estado físico de las aletas de refrigeración del estator

Fuente: Telsen Ingenieros

PRUEBAS MECÁNICAS EN EL MOTOR					
Longitud del núcleo	Ancho de la corona	Tiempo de la prueba	Voltaje inducido	Temperatura inicial	Observación
24.00 cm	2.50 cm	30 minutos	Formula (2.8)	21.00° C	Motor del año 2001
Eje zona de acople		Observación	Eje zona de ventilador		Observación
Nominal	Deformación	No Conforme	Nominal	Deformación	Conforme
55.00 mm	- 0.01		55.00 mm	0.00	
Alojamiento de rodaje P1		Observación	Alojamiento de rodaje P2		Observación
Nominal	Deformación	No Conforme	Nominal	Deformación	No Conforme
130.00 mm	- 0.005		110.00 mm	0.035	
Diámetro del eje nominal		Deformación	Tolerancia permisible		Observación
60.00 mm		0.04 mm	0.06 mm		Conforme

Tabla D – 6: Propiedades mecánicas del motor de estudio

Fuente: Telsen Ingenieros



Figura D – 7: Reloj comparador
Fuente: Internet



Figura D – 8: Alexómetro
Fuente: Internet

ANEXO E: Parámetros del tercer objetivo de la investigación

Temperatura 21.00 °C

Resistencia

	Cables 1-2	Cables 2-3	Cables 3-1	Desbalance [%]	Promedio
Resistencia DC [mΩ]	280.5062	279.3642	280.2353	0.2	280.0352
Temp R corregida [mΩ]	284.8914	283.7742	284.5867	-	284.4174

Inductancia

Frecuencia [Hz]	60.0	60.0	60.0	-	-
Impedancia [mΩ]	1.665	1.661	1.664	0.1	1.663
Impedancia de Ang [°]	82.4	82.4	82.2	0.1	82.4
Inductancia [mH]	4.377	4.368	4.375	0.1	4.373
Factor de disipación	0.133	0.133	0.136	-	-
Factor de Calidad	7.523	7.496	7.334	-	-

Tabla E – 1: Prueba de resistencia e inductancia del motor usando el equipo Baker DX12

Fuente: Telsen Ingenieros

Resultados del DA/PI

Voltaje [V]		Relación AD		Relación IP
490		1.1		1
Hora [Minuto(s)]	Voltaje [V]	I [μA]	IR [MΩ]	
00:15	490	0.024	20416.67	
00:30	490	0.023	21304.35	
00:45	490	0.022	22272.73	
01:00	490	0.022	22272.73	
01:30	490	0.021	23333.33	

02:00	490	0.021	23333.33
02:30	490	0.021	23333.33
03:00	490	0.021	23333.33
04:00	490	0.021	23333.33
05:00	490	0.022	22272.73
06:00	490	0.021	23333.33
07:00	490	0.022	22272.73
08:00	490	0.022	22272.73
09:00	490	0.022	22272.73
10:00	490	0.021	23333.33

Tabla E – 2: Prueba del aislamiento en el motor usando el equipo Baker DX12

Fuente: Telsen Ingenieros

Resultados de la prueba Paso

Paso	Voltaje [V]	I [μ A]	IR [M Ω]	IR [M Ω] Corregido 40°C (Termoestable)
1	960	0.041	23415	18107
2	1480	0.065	22769	17608
3	1850	0.084	22024	17032

Tabla E – 3: Prueba Paso en el motor usando el equipo Baker DX12

Fuente: Telsen Ingenieros

Resultados de la prueba Surge

Punta	Tensión máxima [V]	Número de Pulsos	Estado EAR PP	EAR entre impulsos máx. [%]
1	1850	50	PASA	3
2	1880	50	PASA	4
3	1880	50	PASA	5

Tabla E – 4: Prueba Surge en el motor usando el equipo Baker DX12

Fuente: Elaboración propia

ANEXO D: Parámetros del cuarto objetivo de la investigación

WEG | SOBRE WEG | PRODUCTOS | SOLUCIONES | INVERSIONISTAS | ÉTICA | SOPORTE

Noticias | Formación | Trabajo | Iniciar sesión

Búsqueda por producto, categoría o código

HOME | MOTORES ELÉCTRICOS | MOTOR DE INDUCCIÓN - IE3 | USO GENERAL ODP/TEFC | CARCASA DE HIERRO GRIS | TEFC W22 TRU-METRIC | W22 TRU-METRIC IE3 30 HP 6P 200L 3F 460//380-415 V 60 HZ IC411 - TEFC - B3L(E)

W22 Tru-Metric IE3 30 HP 6P 200L 3F 460//380-415 V 60 Hz IC411 - TEFC - B3L(E)

Número del Catálogo: 02212ET3Y200L-W22 | Producto: 11567431

VISIÓN GENERAL | DETALLES DEL PRODUCTO | CENTRO DE DESCARGAS | GENERAR DOCUMENTOS



Imagen meramente ilustrativa

Norma	NEMA MG-1	Potencia	30 HP
Frecuencia	60 Hz	Fijación	Con pies
Tensión	460//380-415 V	Brida	Sin
Numero de polos	6	Forma constructiva	B3L(E)
Grado de protección	IP55	Caja de conexión ¹	Posición derecha
Rotación sincrónica	1200 rpm	Refrigeración	IC411 - TEFC

USD4,924.00 USD

Comparar

Figura D – 1: Costo actual del motor de estudio

Fuente: WEG



Figura D – 2: Ranuras del núcleo del estator parcialmente vacías

Fuente: Telsen Ingenieros

TIPO DE CAMBIO								
TC Interbancario (S/ por US\$)	Cotización (S/ por US\$)		(S/ por €)					
	Jun. 01	May. 31	Jun. 01	May. 31	Jun. 01	May. 31	Jun. 01	May. 31
Mínimo	3,6600	3,6710	Apertura.	3,6625	3,6815	Cierre Venta	3,982	3,919
Máximo	3,7000	3,6830	Cierre.	3,6980	3,6710	Var%(12 meses)	0,25	-1,75
Promedio	3,6790	3,6793	Var%(12 meses)	-0,79	-1,18			
Transacciones entre 9:00 AM y 1:30 PM. Fuente: Datatec.			Var%(acum. 2023)	-2,86	-3,57			

Figura D – 3: Tipo de cambio entre soles y dólares

Fuente: Banco Central de la Reserva del Perú

Producto	Cantidad (@)	Conversión (kg)	Tiempo (minutos)
Trigo	1.00	11.502	25
Otros granos	1.00	11.502	10 - 12

Figura D – 4: Producción de granos en la molinera

Fuente: Molinera de granos Rebasa

Realizando la conversión de proporción pertinente en el trigo, en base a la tabla previa, se obtiene el siguiente resultado.

$$\frac{11.502 \text{ kg Trigo}}{25 \text{ minutos}} = 0.46 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

Calculando la producción anual, se obtiene el siguiente resultado.

$$0.46 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \approx 241\,776 \frac{\text{kg}}{\text{año}} = 241.776 \frac{\text{Ton}}{\text{año}}$$

Ahora, se realiza el mismo procedimiento para la categoría de “otros granos”,

$$\frac{11.502 \text{ kg Otr. Grns}}{12 \text{ minutos}} = 0.96 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

$$0.96 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \approx 504\,576 \frac{\text{kg}}{\text{año}} = 506.576 \frac{\text{Ton}}{\text{año}}$$

Por lo tanto, la producción total en la molinera sería la sumatoria de los resultados previamente obtenidos, originando un total de 748.35 Ton/año.

Tomando como referencia el beneficio que obtienen las molineras anualmente, mostrado en los antecedentes, se calcula el beneficio mínimo para el presente caso de estudio.

$$748.35 \frac{\text{Ton}}{\text{año}} \times 20.00 \frac{\text{USD}}{\text{Ton}} = 14\,967 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Expresando el resultado previo en dólares por hora, se obtiene el siguiente resultado.

$$14\,967 \frac{\text{USD}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ días}}{24 \text{ horas}} = 1.71 \frac{\text{USD}}{\text{h}}$$



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, TEJEDA PONCE ALEX DEYVI, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "

Metodología para la detección de fallas en motores eléctricos de inducción trifásicos de una molinera de granos en La Libertad

", cuyos autores son CASTAÑEDA MIGUEL FERNANDO, UCEDA CHAVEZ HUGO ALEXANDER, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 06 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
TEJEDA PONCE ALEX DEYVI DNI: 42219417 ORCID: 0000-0001-9844-1100	Firmado electrónicamente por: ATEJEDA el 24-07- 2023 14:28:36

Código documento Trilce: TRI - 0575112