

NOMBRE DEL TRABAJO

**ENSAYOS EN MANTENIMIENTOS PROGRAMADOS PARA EL DIAGNOSTICO TEMPRANO DE FALLAS EN MAQUINAS ELECTRICAS**

AUTOR

**NEL YURI HUAITA CCALLO**

RECUENTO DE PALABRAS

**35642 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**201388 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**185 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**8.8MB**

FECHA DE ENTREGA

**Mar 11, 2024 12:48 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Mar 11, 2024 12:50 PM GMT-5**

### ● 12% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA  
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN  
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS**  
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.untels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

**TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

- 1). TESIS (  ) 2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL (  )

**DATOS PERSONALES**

Apellidos y Nombres:	Huaita Ccallo, Nel Yuri
D.N.I.:	46246272
Otro Documento:	
Nacionalidad:	Peruano
Teléfono:	992006774
e-mail:	2016100086@untels.edu.pe / nelhcc@gmail.com / nel_hcc@hotmail.com

**DATOS ACADÉMICOS**

**Pregrado**

Facultad:	Facultad de Ingeniería y Gestión.
Programa Académico:	Tesis
Título Profesional otorgado:	Ingeniero Mecánico Electricista

**Postgrado**

Universidad de Procedencia:	
País:	
Grado Académico otorgado:	

**Datos de trabajo de investigación**

Título:	Ensayos en mantenimientos programados para el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión, Villa el Salvador 2023”
Fecha de Sustentación:	01 de Diciembre del 2023
Calificación:	Aprobado por Unanimidad
Año de Publicación:	2024

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo  No autorizo \_\_\_\_\_

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	<b>info:eu-repo/semantics/openAccess</b> (Para documentos en acceso abierto)	( <input checked="" type="checkbox"/> )

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	<b>info:eu-repo/semantics/restrictedAccess</b> (Para documentos restringidos)	( )
	<b>info:eu-repo/semantics/embargoedAccess</b> (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	( )
	<b>info:eu-repo/semantics/closedAccess</b> (para documentos confidenciales)	( )

(\*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

---

---

Motivos de la elección del acceso restringido:

---

---

---

---

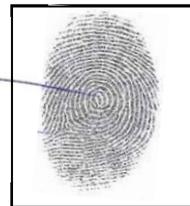
---

**Huaita Ccallo, Nel Yuri**

APELLIDOS Y NOMBRES

**46246272**

DNI



Firma y huella:

Lima, 14 de Marzo del **2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“ENSAYOS EN MANTENIMIENTOS PROGRAMADOS PARA EL  
DIAGNOSTICO TEMPRANO DE FALLAS EN MAQUINAS  
ELECTRICAS ROTATIVAS DE ANILLOS ROZANTES DE MEDIA  
TENSION, VILLA EL SALVADOR 2023”**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

HUAITA CCALLO, NEL YURI  
ORCID: 0009-0007-2662-4961

**ASESOR**

RUBIÑOS JIMENEZ, SANTIAGO LINDER  
ORCID: 0000-0003-0095-6988

**Villa El Salvador  
2023**



DECANATO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO ELECTRICISTA

En Villa El Salvador, siendo las 12:20 a.m. del día 01 de diciembre del 2023, en la Facultad de Ingeniería y Gestión, los miembros del Jurado Evaluador, integrado por:

PRESIDENTE: ROBERTO PFUYO MUÑOZ DNI N° 23854398 C.I.P. N° 46900  
SECRETARIO: CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO DNI N° 07390694 C.I.P. N° 96353  
VOCAL : SOLIN EPIFANIO PUMA CORBACHO DNI N° 72491744 C.I.P. N° 224387  
ASESOR : SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ DNI N° 43324583 C.I.P. N° 112655

Designados mediante Resolución de Decanato N° 311-2023-UNTELS-R-D de fecha 15 de agosto de 2023 quienes dan inicio a la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación de Tesis.

Acto seguido, el (la) aspirante al : Grado de Bachiller  Título Profesional

Don: HUAITA CCALLO NEL YURI identificado(a) con D.N.I. N° 46246272 procedió a la Sustentación de:

Trabajo de investigación  Tesis  Trabajo de suficiencia  Artículo científico

Titulado: "ENSAYOS EN MANTENIMIENTOS PROGRAMADOS PARA EL DIAGNÓSTICO TEMPRANO DE FALLAS EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DE ANILLOS ROZANTES DE MEDIA TENSIÓN, VILLA EL SALVADOR 2023"

Aprobado mediante Resolución de Decanato de N° 891-2023-UNTELS-R-D, de fecha 24 de noviembre de 2023 de conformidad con las disposiciones del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales vigentes, sustentó y absolvió las interrogantes que le formularon los señores miembros del Jurado Evaluador.

Concluida la Sustentación se procedió a la evaluación y calificación correspondiente, resultando el aspirante APROBADO por UNANIMIDAD con la nota de: 15 (letras) QUINCE (números), de acuerdo al Art. 65° del Reglamento General para optar el Título Profesional.

CALIFICACIÓN		CONDICIÓN	EQUIVALENCIA
NÚMERO	LETRAS		
15	QUINCE	APROBADO POR UNANIMIDAD	BUENO

Siendo las 16:40 horas del día 01 de Diciembre del 2023, se dio por concluido el acto de sustentación, firmando el jurado evaluador el Acta de Sustentación, que obra en el Decanato de la Facultad de Ingeniería y Gestión.

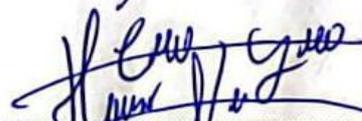
CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO  
Ingeniero Mecánico  
CIP N° 96353  
CARLOS VIDAL DAVILA IGNACIO  
SECRETARIO

  
ROBERTO PFUYO MUÑOZ  
PRESIDENTE

  
Roberto Pfuyo Muñoz  
INGENIERO ELECTRICISTA  
CIP. N° 46900

  
SOLIN EPIFANIO PUMA CORBACHO  
VOCAL

Solin Epifanio Puma Corbacho  
INGENIERO MECÁNICO  
CIP. N° 224387

  
HUAITA CCALLO NEL YURI  
BACHILLER

## DEDICATORIA

A Teodora, mi madre. Quien  
teniendo poco, lo brindo todo por su  
familia: hijos y nietos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los docentes Universitarios, por compartirnos sus dotes de conocimiento.

A la familia por ser fuente inagotable de motivación.

A la universidad por la difusión de conocimientos

## RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en el análisis, interpretación y diagnóstico de los ensayos electromecánicos en máquinas eléctricas rotativas. Tal análisis utiliza como principal fuente de data, aquella que se obtuvo durante los Mantenimientos preventivos programados, sometiendo a análisis cinco dimensiones: A. Estático; A. Dinámico; Técnicas predictivas estáticas; Técnicas predictivas dinámicas y Monitoreo de condición. Estos Análisis se aplicaron a un motor trifásico asíncrono de anillos rozantes de MT” de: P(8000 kW), V(13.8 kV), en condiciones On-Off line.

Nuestro trabajo consiste en el tipo de investigación Experimental puro, debido al modo de: evaluación, obtención y análisis de data. en el apartado denominado “Implementación de la Investigación”. Asimismo, para cumplir con nuestros propósitos utilizamos instrumentos de especialidad según corresponda, pudiendo mencionar tres categorías: Primera (Material Bibliográfico, Manual de operación, fichas técnicas, Normas (EASA, IEEE, ANSI.)); Segunda (Instrumentos de prueba certificados - calibrados. (Megger, Fluke, DSP Logger, Adash Vibrio,)), maletines de pruebas (Baker Static -Dynamic, Ómicron)); Tercero (Power Bi, Google Colab, Office, Software Nativos (DSP Logger, Baker Static, Baker Dynamic, Etc.))

Los análisis, interpretaciones y diagnósticos están ceñidas bajo las recomendaciones normativas establecidas para el servicio de mantenimiento y reparación de las maquinas rotativas de los EE.UU.: EASA/ANSI Ar 100-2020, de su complemento estándar IEEE 1068.2015; la norma SKF Para motores y generadores; las normas NEMA MG-1; IEEE y CEI correspondientes.

En nuestro Caso de estudio: Identificamos tempranamente el proceso de degradación de la R. Aislamiento del devanado Estático y Rotórico; Identificamos elementos críticos de control fallados(sensores); Identificamos actuadores en estado de deformación, descalibrado y desgaste (Flejes, Pisadores, Cajetines, Escobillas.); Incrementos de temperatura irregular en elementos rodantes (Chumaceras); Identificamos espectros típicos de vibración ocasionados por fallas de desbalance rotórico.

**Palabras clave:** Análisis estático, Análisis dinámico, Técnicas predictivas estáticas, Técnicas predictivas dinámicas y Monitoreo de condición.

## ABSTRACT

The present work focuses on the analysis, interpretation and diagnosis of electromechanical tests on rotating electrical machines. This analysis uses as its main source of data, that which was obtained during the scheduled preventive maintenance, subjecting five dimensions to analysis: A. Static; A. Dynamic; Static predictive techniques; Dynamic Predictive Techniques and Condition Monitoring. These analyses were applied to an asynchronous three-phase MV slip ring motor of: P (8000 kW), V (13.8 kV), under On-Off line conditions.

Our work consists of the pure experimental type of research, due to the way it evaluates, obtains and analyzes data. in the section called "Research Implementation". Likewise, in order to fulfill our purposes, we use specialized instruments as appropriate, being able to mention three categories: First (Bibliographic Material, Operation Manual, Technical Sheets, Standards (EASA, IEEE, ANSI.)); Second (Certified Test Instruments - Calibrated. (Megger, Fluke, DSP Logger, Adash Vibrio,)), test cases (Baker Static -Dynamic, Omicron)); Third (Power Bi, Google Colab, Office, native software (DSP Logger, Baker Static, Baker Dynamic, etc.))

The analyses, interpretations and diagnostics are based on the normative recommendations established for the maintenance and repair service of rotating machines in the U.S.: EASA/ANSI Ar 100-2020, of its standard complement IEEE 1068.2015; the SKF standard for motors and generators; NEMA MG-1 standards; IEEE and IEC.

In our Case Study: We identified early the degradation process of the R. Insulation of the Stator and Rotoric winding; We identify critical failed control elements (sensors); We identify actuators in a state of deformation, decalibration and wear (Straps, Clamps, Housings, Brushes.); Irregular temperature increases in rolling elements (Pillow Blocks); We identify typical vibration spectra caused by rotor imbalance failures.

**Keywords:** Static Analysis, Dynamic Analysis, Static Predictive Techniques, Dynamic Predictive Techniques and Condition Monitoring.

## INTRODUCCION

El Proyecto de Titulación Denominado **“Ensayos en Mantenimientos Programados para el Diagnóstico Temprano de Fallas en Máquinas Eléctricas Rotativas de Anillos Rozantes de Media Tensión, Villa El Salvador 2023”**. Donde el problema principal es la ineficiencia en los diagnósticos temprano de fallas en las maquinas eléctricas rotativas de anillo rozantes de MT. Por lo que nos trazamos como objetivo analizar como los resultados de los ensayos en mantenimientos programados permiten diagnosticar de manera temprana la materialización de una falla.

El abordaje del presente trabajo de investigación consistió en analizar un motor de anillos rozantes de Media Tensión la cual seleccionamos de una población y en adelante denominamos Muestra. Esta muestra es sometida a: ensayos, adquisición de datos, análisis de resultados, diagnósticos tempranos en el **capítulo IV**, Apartado **4.3 Implementación de la investigación** y sección 4.3.3. **Pruebas realizadas**

En tal capitulo se ejecutaron una gran cantidad de ensayos experimentales las cuales fueron registrados y analizados las condiciones reales de los elementos materiales y posterior a ello emitir Diagnósticos certeros sobre la condición interna de la máquina. así también, determinar los trabajos a realizar.

En nuestro caso pudimos determinar la degradación de Resistencia de aislamiento en curso, por condiciones de funcionamiento y no reconsideración de los mantenimientos predictivos entre periodos de mantenimientos integrales en taller; además, se localizaron elementos de control en estado inoperatividad por defecto físico, comprometiendo a todo el motor, de similar forma los actuadores de sistema porta escobillas las cuales estaban en proceso de deformación, así podemos mencionar las escobillas desgastadas de manera irregular; los flejes presentaban pérdida de presión; entre otros.

Finalmente plantemos loas acciones correctivas a realizar para perdurar periodos de trabajo continuo hasta nuevo mantenimiento. Asimismo, se recomendó recalcular periodos de monitoreo de condición, en puntos críticos, según ello reprogramar horas de servicio recomendados entre mantenimientos.

# INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCION.....	vi
INDICE.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
INDICE DE TABLAS.....	xvii
INDICE DE ECUACIONES.....	xx
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Estado del Arte.....	1
1.2.1. Sistemas de arranque innovadores - Banco de Reóstatos Líquidos....	2
1.2.2. Sistemas de Arranque Abatibles “Motorizados”.....	4
1.3. Descripción del problema.....	6
1.4. Formulación del Problema.....	7
1.4.1. Problema General.....	7
1.4.2. Problemas Específicos.....	7
1.5. Objetivos.....	8
1.5.1. Objetivo General.....	8
1.5.2. Objetivos Específicos.....	8
1.6. Justificación del Problema.....	9
1.6.1. Justificación Teórica.....	10
1.6.2. Justificación Practica.....	10
1.6.3. Justificación Social.....	10
1.6.4. Justificación Metodológica.....	10
II. MARCO TEORICO.....	11
2.1. Antecedentes.....	11

2.1.1.	Antecedentes Internacionales .....	11
2.1.2.	Antecedentes Nacionales .....	13
2.2.	Bases teóricas .....	15
2.2.1.	Conceptos elementales .....	15
2.2.1.1.	Tipos de Mantenimientos .....	15
2.2.1.1.1.	Mantenimiento preventivo .....	15
2.2.1.1.2.	Mantenimiento correctivo .....	15
2.2.1.1.3.	Mantenimiento predictivo .....	16
2.2.1.2.	Indicadores de Mantenimiento. ....	16
2.2.1.2.1.	Disponibilidad.....	16
2.2.1.2.2.	Confiabilidad.....	16
2.2.1.2.3.	Mantenibilidad .....	17
2.2.1.3.	Motores Eléctricos de anillos rozantes .....	17
2.2.1.4.	Fallas en motores Asíncronos Trifásicos.....	21
2.2.2.	Análisis Estático .....	22
2.2.2.1.	Prueba de Resistencia de Aislamiento.....	23
2.2.2.2.	Absorción Dieléctrica DA - Índice de Polarización PI .....	23
2.2.2.3.	Prueba de R. Óhmica (Mét. Puente de Kelvin – $\Delta R$ ).....	26
2.2.2.4.	Prueba de Inductancia.....	27
2.2.2.1.	Prueba de Relación de Transformación.....	28
2.2.2.2.	Prueba de Rotor Bloqueado.....	28
2.2.2.3.	Prueba de Núcleo Magnético LOOP TEST.....	29
2.2.2.4.	Prueba de Impedancia.....	30
2.2.2.5.	Metrología .....	30
2.2.3.	Análisis Dinámico .....	32
2.2.3.1.	Prueba de Vacío.....	32
2.2.3.2.	Balanceo Estático y Dinámico.....	33
2.2.3.2.1.	Balanceo de elementos rotativos.....	33
2.2.3.2.2.	Balanceo estático.....	33
2.2.3.2.3.	Balanceo dinámico.....	33
2.2.4.	Técnicas Predictivas Estáticas - Baker SKF AWA IV .....	34

2.2.4.1.	Prueba de Descargas Parciales .....	36
2.2.5.	Técnicas Predictivas Dinámicas - Baker EXP4000.....	39
2.2.6.	Monitoreo de condición.....	40
2.2.6.1.	Análisis Paramétrico.....	41
2.2.6.2.	Análisis Termográfico .....	41
2.2.6.3.	Análisis Vibracional .....	44
2.3.	Términos Básicos .....	47
III.	VARIABLES E HIPOTESIS .....	49
3.1.	Operacionalización de las Variables.....	49
3.2.	Hipótesis de la investigación .....	52
3.2.1.	Hipótesis General .....	52
3.2.2.	Hipótesis Específicas.....	52
IV.	METODOLOGIA.....	53
4.1.	Diseño de Investigación.....	53
4.2.	Descripción de la Metodología.....	53
4.3.	Implementación de la Investigación .....	54
4.3.1.	Datos de maquina eléctrica.....	55
4.3.2.	Descripción de Maquinas – Equipos - Instrumentos.....	56
4.3.3.	Pruebas Realizadas .....	57
4.3.3.1.	Análisis Estático .....	57
4.3.3.1.1.	Condiciones de recepción: .....	57
4.3.3.1.2.	Medida de R. de Aislamiento - Estator.....	57
4.3.3.1.3.	Medida de R. de Aislamiento - Rotor.....	58
4.3.3.1.4.	Medida de Resistencia Óhmica.....	59
4.3.3.1.5.	Prueba de Relación de Transformación .....	60
4.3.3.1.6.	Prueba de Rotor Bloqueado .....	61
4.3.3.1.7.	Medida de R. Óhmica e Inductancia.....	62
4.3.3.1.8.	Prueba de Impedancia $Z1\emptyset - Z3\emptyset$ .....	64
4.3.3.1.9.	Prueba de Núcleo Magnético LOOP TEST .....	65
4.3.3.1.10.	Metrología Dimensional .....	68
4.3.3.1.11.	Accesorios - Sensores de Bobinado.....	69

4.3.3.1.11.1.	Medida de R. de Aislamiento .....	70
4.3.3.1.11.2.	Medida de Resistencia Óhmica.....	70
4.3.3.1.12.	Accesorios - Sensores de Chumaceras.....	71
4.3.3.1.12.1.	Medida de R. de Aislamiento .....	71
4.3.3.1.12.2.	Medida de Resistencia Óhmica.....	71
4.3.3.1.12.3.	Prueba de Sensibilidad – t[s] Vs T[°C].....	72
4.3.3.1.13.	Accesorios – Resistencias Calefactoras (Heater).....	73
4.3.3.1.13.1.	Medida de R. de Aislamiento .....	74
4.3.3.1.13.2.	Medida de Resistencia Óhmica.....	74
4.3.3.1.13.3.	Prueba de Energizado .....	74
4.3.3.1.14.	Pruebas de monitoreo - Estator / Rotor Desmontados .....	75
4.3.3.1.14.1.	Medida de R. de Aislamiento .....	75
4.3.3.2.	Análisis Dinámico .....	77
4.3.3.2.1.	Prueba de Vacío en BT .....	77
4.3.3.2.2.	Análisis Vibracional.....	77
4.3.3.2.3.	Prueba de Balanceo Dinámico del Rotor .....	78
4.3.3.3.	Técnicas Predictivas Estáticas - Baker SKF AWA IV .....	80
4.3.3.3.1.	Cálculo de valores de prueba - Estator.....	81
4.3.3.3.2.	Prueba de Resistencia de Aislamiento .....	83
4.3.3.3.3.	Prueba de R. de Aislamiento - DA / PI.....	83
4.3.3.3.4.	Prueba de Step Voltage - Hipot (Escalón) .....	84
4.3.3.3.5.	Prueba de Impulso - Surge.....	85
4.3.3.3.6.	Prueba de Descargas Parciales.....	87
4.3.3.3.7.	Cálculo de valores de prueba - Rotor.....	90
4.3.3.3.8.	Prueba de Resistencia e Inductancia .....	91
4.3.3.3.9.	Prueba de Resistencia de Aislamiento .....	92
4.3.3.3.10.	Prueba de R. de Aislamiento – DA / PI .....	92
4.3.3.3.11.	Prueba de Hipot - Step Voltage (Escalón) .....	93
4.3.3.3.12.	Prueba de Impulso - Surge .....	94
4.3.3.4.	Técnicas Predictivas Dinámicas - Baker EXP4000.....	96
4.3.3.4.1.	Resumen de Análisis Paramétrico.....	99

4.3.3.4.2.	Análisis grafico Fasorial de Parámetros.....	100
4.3.3.4.3.	Espectros de Transitorios .....	104
4.3.3.5.	Monitoreo de Condición.....	105
4.3.3.5.1.	Análisis Paramétrico - Prueba con Carga Parcial en MT.....	105
4.3.3.5.2.	Análisis Vibracional.....	106
4.3.3.5.3.	Análisis Termográfico (Curva de Temperatura).....	107
4.4.	Población y Muestra .....	109
4.4.1.	Población .....	109
4.4.2.	Muestra .....	111
4.5.	Técnicas de recolección de datos.....	113
4.6.	Instrumentos de recolección de datos.....	113
4.6.1.	Validez.....	113
4.6.2.	Confiabilidad .....	114
4.7.	Resultados.....	115
4.7.1.	Análisis Estático .....	115
4.7.1.1.	Estator.....	115
4.7.1.2.	Rotor .....	117
4.7.1.3.	Accesorios .....	118
4.7.2.	Análisis Dinámico .....	119
4.7.3.	Técnicas predictivas estáticas - Baker SKF AWA IV .....	120
4.7.3.1.	Estator.....	120
4.7.3.2.	Rotor .....	122
4.7.3.3.	Motor - Estator / Rotor .....	123
4.7.4.	Técnicas Predictivas Dinámicas - Baker EXP4000.....	126
4.7.5.	Monitoreo De Condición.....	128
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	130
VI.	CONCLUSIONES.....	132
VII.	REFERENCIAS .....	135
ANEXOS .....		142
Anexo 1	Matriz de Consistencia .....	143
Anexo 2	Presión en escobillas según Grado .....	144

Anexo 3	Tabla de Grado - Composición de carbones.....	145
Anexo 4	Características de Escobillas .....	146
Anexo 5	Instructivo de Motores - Generadores SIEMENS .....	147
Anexo 6	Glosario de términos.....	151
Anexo 7	Siglas .....	153
Anexo 8	Nomenclatura .....	154
Anexo 9	Diagramas Ishikawa (Causa Efecto) .....	155
Anexo 10	Esquema de motor de anillos rozantes. ....	157
Anexo 11	Formato de recolección de datos. ....	158

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Placa de Conexionado.....	2
<b>Figura 2</b>	Placa de datos de Banco de Resistencia Liquido .....	2
<b>Figura 3</b>	Vista Lateral B de Banco de Resistencia .....	2
<b>Figura 4</b>	Vista Lateral A de Banco de Resistencia .....	2
<b>Figura 5</b>	Banco de resistencia de Ciclo Único.....	3
<b>Figura 6</b>	Banco de Resistencia de Ciclo Continuo .....	3
<b>Figura 7</b>	Motor de Anillos Rozantes con sistema Porta-Escobilla Abatible. ....	4
<b>Figura 8</b>	Cabina de sistema porta-escobilla abatible. ....	5
<b>Figura 9</b>	Fallas recurrentes en máquinas rotativas .....	14
<b>Figura 10</b>	Motor trifásico de anillos rozantes abatibles ABB .....	18
<b>Figura 11</b>	Estator ranurado .....	20
<b>Figura 12</b>	Postes, Cajetín, Escobilla. ....	20
<b>Figura 13</b>	Estator + Rotor .....	20
<b>Figura 14</b>	Block de anillos trifásico.....	20
<b>Figura 15</b>	Rotor devanado .....	20
<b>Figura 16</b>	Chumacera L.N.A. ....	20
<b>Figura 17</b>	Chumaceras LA - LNA .....	20
<b>Figura 18</b>	Sistema porta escobilla.....	20
<b>Figura 19</b>	Análisis gráfico de fallas recurrentes en estator y rotor.....	21
<b>Figura 20</b>	Meghometro Megabras MD 5060 X.....	24
<b>Figura 21</b>	Micro ohmímetro MPK 253.....	26
<b>Figura 22</b>	Inductometro BK Precisión 878B .....	27
<b>Figura 23</b>	Proceso de medida de inductancia .....	27
<b>Figura 24</b>	Estator con corrosión por oxido y signos de rozamiento del rotor. ....	29
<b>Figura 25</b>	Prueba de núcleo magnético a Estator .....	29
<b>Figura 26</b>	Distancia cajetín - anillo. ....	31
<b>Figura 27</b>	Cajetín Porta-escobilla .....	31
<b>Figura 28</b>	Proceso de balanceo estático y dinámico de rotor .....	33

<b>Figura 29</b>	Maletín de pruebas estáticas- Baker AWA 12 KV .....	34
<b>Figura 30</b>	Baker PPX Power Packs .....	34
<b>Figura 31</b>	Prueba de Descargas Parciales .....	37
<b>Figura 32</b>	Matriz de patrones, tendencias en ensayos de Descargas Parciales.....	38
<b>Figura 33</b>	Maletín compacto de evaluación dinámica.....	39
<b>Figura 34</b>	Dominios de prueba equipo EXP 4000.....	40
<b>Figura 35</b>	Monitoreo termográfico a motor.....	42
<b>Figura 36</b>	Proceso de operación en Análisis termográfico.....	43
<b>Figura 37</b>	Equipo de registro vibracional DSP LOGGER EXPERT .....	45
<b>Figura 38</b>	Motor asíncrono trifásico de anillos rozantes Siemens.....	55
<b>Figura 39</b>	Monitoreo de condición en ESTATOR .....	65
<b>Figura 40</b>	Monitoreo de condición en ESTATOR .....	65
<b>Figura 41</b>	Prueba de Loop Test en ESTATOR.....	66
<b>Figura 42</b>	Prueba de Loop Test en ROTOR .....	67
<b>Figura 43</b>	Medición con Equipo DSP LOGGER EXPERT .....	79
<b>Figura 44</b>	Medición con DSP LOGGER.....	79
<b>Figura 45</b>	Vista de BAKER con salidas. ....	80
<b>Figura 46</b>	Prueba de R.A., Hipot, Surge.....	80
<b>Figura 47</b>	Curva representativa de tendencia: R.A. - Corriente vs Tiempo .....	84
<b>Figura 48</b>	Voltaje en Pasos tendencia: Corriente vs Voltaje .....	85
<b>Figura 49</b>	Voltaje en Pasos tendencia: $V - I$ Vs $t$ .....	85
<b>Figura 50</b>	Representación de forma de onda. ....	86
<b>Figura 51</b>	Resumen de relación del error de Área Pulso a Pulso .....	86
<b>Figura 52</b>	Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 1 .....	86
<b>Figura 53</b>	Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 3 .....	86
<b>Figura 54</b>	Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 2 .....	86
<b>Figura 55</b>	Configuración básica de test DP en maquina rotativa de estrella abierta. ..	87
<b>Figura 56</b>	Medición síncrona multicanal en una maquina rotativa. ....	87
<b>Figura 57</b>	Gráfico representativo de tendencia de Descargas Parciales FASE R.....	88
<b>Figura 58</b>	Gráfico representativo de tendencia de Descargas Parciales FASE S .....	89
<b>Figura 59</b>	Gráfico representativo de tendencia de Descargas Parciales FASE T.....	89

<b>Figura 60</b>	Curva representativa de tendencia: R.A. - Corriente vs Tiempo .....	93
<b>Figura 61</b>	Voltaje en Pasos tendencia: Corriente vs Voltaje .....	94
<b>Figura 62</b>	Voltaje en Pasos tendencia: V – I Vs t.....	94
<b>Figura 63</b>	Resumen de la representación de forma de onda. ....	95
<b>Figura 64</b>	Resumen de relación del error de Área Pulso a Pulso .....	95
<b>Figura 65</b>	Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 1 .....	95
<b>Figura 66</b>	Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 2.....	95
<b>Figura 67</b>	Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 3 .....	95
<b>Figura 68</b>	Esquema de conexión EXP4000 .....	96
<b>Figura 69</b>	Reporte: forma onda Corriente- Voltaje vs Tiempo .....	100
<b>Figura 70</b>	Reporte: Diagrama fasorial de Voltaje - Corriente.....	100
<b>Figura 71</b>	Registro de espectro de Rizado de TORQUE.....	101
<b>Figura 72</b>	Tendencia Porcentual de la distorsión .....	101
<b>Figura 73</b>	Tendencia Porcentual de la Corriente Consumida respecto al Nominal... 102	
<b>Figura 74</b>	Tendencia Porcentual del Desbalance en la Corriente.....	102
<b>Figura 75</b>	Reporte: Tendencia P.U. de la EFICIENCIA. ....	103
<b>Figura 76</b>	Reporte: Tendencia Porcentual de la Carga aplicada al Motor.....	103
<b>Figura 77</b>	Reporte: Espectro de barras de rotor.....	104
<b>Figura 78</b>	Reporte: Tendencia temporal del Sonido referente a barras rotas. ....	104
<b>Figura 79</b>	Termografía en chumacera L.A. – Con carga.....	108
<b>Figura 80</b>	Termografía en chumacera L.N.A. – Con carga.....	108
<b>Figura 81</b>	Termografía en chumacera L.A. – Sin carga .....	108
<b>Figura 82</b>	Termografía en chumacera L.N.A. – Sin carga .....	108
<b>Figura 83</b>	Sist. Porta-escobillas Motor SIEMENS .....	109
<b>Figura 84</b>	Motor trifásico de anillos rozante Motor SIEMENS .....	109
<b>Figura 85</b>	Motor trifásico de anillos rozantes Motor ABB.....	110
<b>Figura 86</b>	Sistema de block de anillos motorizado Motor ABB .....	110
<b>Figura 87</b>	Motor trifásico de anillos rozantes Motor GENERAL ELECTRIC .....	110
<b>Figura 88</b>	Sistema de block de anillos Motor GENERAL ELECTRIC .....	110
<b>Figura 89</b>	Placa de datos de motor SIEMENS de anillos rozantes.....	111
<b>Figura 90</b>	Cabina de Sistema Porta-Escobilla .....	111

<b>Figura 91</b>	Vista lateral de motor trifásico de Anillos Rozantes.....	111
<b>Figura 92</b>	Sistema porta escobilla + block de anillos, Motor SIEMENS .....	111
<b>Figura 93</b>	Motor Estator proceso de desmontaje.....	112
<b>Figura 94</b>	Rotor Devanado con Anillos Rozantes. ....	112
<b>Figura 95</b>	Prueba de Hipot a Block de Anillos.....	112
<b>Figura 96</b>	Motor síncrono trifásico de anillos rozantes.....	112
<b>Figura 97</b>	Prueba de Tendencia - Tiempo de respuesta en sensores tipo Bulbo. ....	118
<b>Figura 98</b>	Medición de R.A previo a la puesta en servicio en campo. ....	120
<b>Figura 99</b>	Análisis comparativo de Resistencia de Aislamiento .....	123
<b>Figura 100</b>	Análisis comparativo de resistencia Estator - Rotor .....	124
<b>Figura 101</b>	Valores obtenidos de Voltaje - Eficiencia.....	126
<b>Figura 102</b>	Monitoreo de Temperatura en elementos Rodantes - Chumaceras.....	129
<b>Figura 103</b>	Monitoreo de Temperatura en materiales Rodantes - Chumaceras .....	129
<b>Figura 104</b>	Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) - Rotor.....	155
<b>Figura 105</b>	Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) - Estator.....	155
<b>Figura 106</b>	Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) ventilador.....	156
<b>Figura 107</b>	Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) Eje de Motor. ....	156
<b>Figura 108</b>	Esquema representativo de motor de Anillos Rozantes.....	157

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Voltaje de prueba de R.A. según NORMA .....	25
<b>Tabla 2</b>	Valores de resistencia referenciales a 40°C.....	25
<b>Tabla 3</b>	Voltajes de prueba de Impulso -SURGE – para bobinados Nuevos .....	35
<b>Tabla 4</b>	Voltajes de prueba DC - HIPOT.....	35
<b>Tabla 5</b>	Análisis comparativo descargas parciales OFF LINE vs ON LINE .....	37
<b>Tabla 6</b>	Tabla de metales y valores de emisividad referenciales.....	43
<b>Tabla 7</b>	Severidad según el tipo de maquinaria .....	46
<b>Tabla 8</b>	Matriz de estado de Operación .....	46
<b>Tabla 9</b>	Operacionalización de variables .....	50
<b>Tabla 10</b>	Placa de datos de Motor Asíncrono Trifásico de Anillos Rozantes. ....	55
<b>Tabla 11</b>	Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento en el ESTATOR. ....	57
<b>Tabla 12</b>	Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento en el ROTOR.....	58
<b>Tabla 13</b>	Registro de Pruebas de Resistencia Óhmica del ESTATOR.....	59
<b>Tabla 14</b>	Registro de Pruebas de Resistencia Óhmica del ROTOR. ....	59
<b>Tabla 15</b>	Calculo teórico de Relación de Transformación del ESTATOR - ROTOR..	60
<b>Tabla 16</b>	Registro de Pruebas Relación de transformación del ESTATOR - ROTOR.	60
<b>Tabla 17</b>	Registro de Pruebas de Rotor Bloqueado a MOTOR.....	61
<b>Tabla 18</b>	Registro de Pruebas de Rotor Bloqueado a el MOTOR.....	61
<b>Tabla 19</b>	Registro de Pruebas: Resistencia e Inductancia en ESTATOR.....	62
<b>Tabla 20</b>	Registro de Pruebas: Resistencia e Inductancia en ROTOR. ....	63
<b>Tabla 21</b>	Registro de Pruebas: Resistencia e Inductancia en BLOCK de ANILLOS. .	63
<b>Tabla 22</b>	Registro de Pruebas: Impedancia Monofásica y Trifásica en el ESTATOR.	64
<b>Tabla 23</b>	Registro de Pruebas: Impedancia Monofásica y Trifásica en el ROTOR. ....	65
<b>Tabla 24</b>	Registro de variables de prueba de LOOP TEST en el ESTATOR. ....	66
<b>Tabla 25</b>	Registro de variables de prueba de LOOP TEST en el ROTOR.....	67
<b>Tabla 26</b>	Registro de prueba de Presión al Sist. Porta Escobilla principal.....	68
<b>Tabla 27</b>	Registro de prueba de Presión a el Sist. porta escobilla Tierra. ....	69
<b>Tabla 28</b>	Registro de Pruebas de R. Aislamiento de sensores del devanado ESTAT. .	70

<b>Tabla 29</b>	Registro de Pruebas de R. Óhmica de sensores del devanado ESTAT.....	70
<b>Tabla 30</b>	Registro de Pruebas de R. Aislamiento de sensores Tipo BULBO.....	71
<b>Tabla 31</b>	Registro de Pruebas de R. Óhmica de sensores Tipo BULBO.....	71
<b>Tabla 32</b>	Registro de Pruebas de sensibilidad de $t[S]-T[°C]$ a sensor Tipo BULBO...	72
<b>Tabla 33</b>	Registro paramétrico de Datos Nominales de HEATER en placa. ....	73
<b>Tabla 34</b>	Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento en HEATERS .....	74
<b>Tabla 35</b>	Registro de pruebas de Resistencia Óhmica de HEATERS .....	74
<b>Tabla 36</b>	Registro de Pruebas de Energizado a HEATERS .....	75
<b>Tabla 37</b>	Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento en el ESTATOR. ....	75
<b>Tabla 38</b>	Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento en el ROTOR.....	76
<b>Tabla 39</b>	Registro de Prueba de VACIO a motor. ....	77
<b>Tabla 40</b>	Registro de Análisis Vibracional realizado al MOTOR. (Valores RMS) ....	77
<b>Tabla 41</b>	Cálculo de Voltaje de prueba Resistencia de Aislamiento R.A. ....	81
<b>Tabla 42</b>	Cálculo de Voltaje de prueba DC - HIPOT .....	81
<b>Tabla 43</b>	Cálculo de Voltaje de prueba DC - SURGE.....	81
<b>Tabla 44</b>	Registro de Pruebas de Resistencia Óhmica del ESTATOR.....	82
<b>Tabla 45</b>	Secuenciamiento de Pruebas Estaticas con Baker SKF AWA IV .....	82
<b>Tabla 46</b>	Registro de Pruebas de Inductancia del ESTATOR.....	82
<b>Tabla 47</b>	Registro de Pruebas de Capacitancia del ESTATOR.....	82
<b>Tabla 48</b>	Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento del ESTATOR.....	83
<b>Tabla 49</b>	Registro de Pruebas de R. de Aislamiento (DA- IP) del ESTATOR .....	83
<b>Tabla 50</b>	Registro de tendencia en Prueba de R. de Aislamiento del ESTATOR.....	83
<b>Tabla 51</b>	Registro de tendencia en Prueba DC - HIPOT a ESTATOR .....	84
<b>Tabla 52</b>	Registro de Pruebas SURGE del ESTATOR .....	85
<b>Tabla 53</b>	Registro de Pruebas Descargas Parciales FASE R de ESTATOR .....	88
<b>Tabla 54</b>	Registro de Pruebas Descargas Parciales FASE S de ESTATOR.....	88
<b>Tabla 55</b>	Registro de Pruebas Descargas Parciales FASE T de ESTATOR .....	88
<b>Tabla 56</b>	Cálculo de Voltaje de prueba Resistencia de Aislamiento R.A. ....	90
<b>Tabla 57</b>	Cálculo de Voltaje de prueba DC -HIPOT .....	90
<b>Tabla 58</b>	Cálculo de Voltaje de prueba DC - SURGE.....	90
<b>Tabla 59</b>	Secuenciamiento de Pruebas Estáticas con Baker SKF AWA IV .....	91

<b>Tabla 60</b>	Registro de Pruebas de Resistencia Óhmica del ROTOR .....	91
<b>Tabla 61</b>	Registro de Pruebas de Inductancia del ROTOR .....	91
<b>Tabla 62</b>	Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento del ROTOR .....	92
<b>Tabla 63</b>	Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento DA- PI del ROTOR.....	92
<b>Tabla 64</b>	Registro de tendencia en Prueba de R. de Aislamiento del ROTOR .....	92
<b>Tabla 65</b>	Registro de tendencia en Prueba DC - HIPOT a ROTOR.....	93
<b>Tabla 66</b>	Registro de Pruebas SURGE del ROTOR.....	94
<b>Tabla 67</b>	Reporte de registro ID - PRUEBA .....	98
<b>Tabla 68</b>	Reporte de registro ID - MAQUINA.....	98
<b>Tabla 69</b>	Reporte de registro ID - RESUMEN.....	98
<b>Tabla 70</b>	Reporte general: Colección de datos MAQUINA .....	99
<b>Tabla 71</b>	Reporte general: Resumen de RESULTADOS .....	99
<b>Tabla 72</b>	Registro de Prueba de motor con carga parcial. ....	105
<b>Tabla 73</b>	Registro de Análisis Vibracional realizado al MOTOR. (Valores RMS) ...	106
<b>Tabla 74</b>	Limites estándar de vibración según SIEMENS referenciados en MG1-7.8 NEMA .....	106
<b>Tabla 75</b>	Registro de temperatura de acentado en CHUMACERAS. ....	107
<b>Tabla 76</b>	Análisis comparativo de la Impedancia Estatórica y Rotóricas. ....	125
<b>Tabla 77</b>	Tabla de Presiones - Grado.....	144
<b>Tabla 78</b>	Tabla de Grado según composición de escobillas.....	145

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b>	Formula de Disponibilidad. ....	16
<b>Ecuación 2</b>	Fórmula de Confiabilidad .....	16
<b>Ecuación 3</b>	Formula de Mantenibilidad.....	17
<b>Ecuación 4</b>	Ecuación de corrección de temperatura .....	23
<b>Ecuación 5</b>	Fórmula de cálculo de indicador DA .....	24
<b>Ecuación 6</b>	Fórmula de cálculo de indicador PI .....	24
<b>Ecuación 7</b>	Fórmula para hallar la resistencia referencial .....	26
<b>Ecuación 8</b>	formula de relación de transformación .....	28
<b>Ecuación 9</b>	Fórmula de cálculo de potencia perdida y suma de potencias perdidas. ...	28
<b>Ecuación 10</b>	Fórmula de cálculo de tensión de LOOP TEST .....	29
<b>Ecuación 11</b>	Cálculo de Impedancia, Reactancia Inductiva Y Reactancia Capacitiva	30
<b>Ecuación 12</b>	Cálculo de Presión en escobillas. Ver. <b>Figura 26</b> .....	30
<b>Ecuación 13</b>	Fórmula de cálculo de distancias. ....	31
<b>Ecuación 14</b>	Cálculo de voltaje de prueba HIPOT .....	36
<b>Ecuación 15</b>	Cálculo de voltaje de prueba SURGE.....	36

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1.Motivación**

El presente trabajo se realizó considerando un conjunto de argumentos de fuerza, tales como: el déficit de: fuentes de información especializadas en las máquinas eléctricas asíncronas de anillos rozantes; Base de datos experimentales recopilados en taller de reparación, base de datos recopilados en campo (in situ); análisis y contrastación de fundamentos teóricos respecto a experimentales; técnicas de recopilación de datos denominado “monitoreo de condición”; entre otros. Siendo tales razones, motivación suficiente, para el abordaje de este tema en el presente trabajo, donde el principal objetivo es cubrir algunos vacíos teórico experimentales. Para la comunidad de estudiosos, desarrolladoras y otros que requieran cierta información de procedimientos de ensayos de laboratorio generales y alternativos.

## **1.2.Estado del Arte**

Las máquinas asíncronas de anillos rozantes trifásicos tienen muchas ventajas respecto sus homólogos, los motores del tipo jaula de ardilla, entre estas virtudes resaltan: alto torque de arranque, alto torque a bajos rpm, entre otros; sin embargo, estas presentan muchas variables de control y monitoreo, las cuales incrementan los costos en los mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos. Los más relevantes podemos mencionar: los sistemas de arranque mediante banco de resistencias; los elementos de contactos dinámicos en el sistema porta escobillas (la presión y grado de las escobillas); sistema block de anillos (distancias de block a sistema porta escobillas, holguras cajetín - escobilla), transitorios (arranque - funcionamiento; análisis termográfico (sistema porta escobilla, sistema de block).

Dado esta situación existen estudios recientes a máquinas eléctricas modificadas respecto a características de fabricación para complementar y suplir bajo ciertas condiciones a estas máquinas en un futuro.

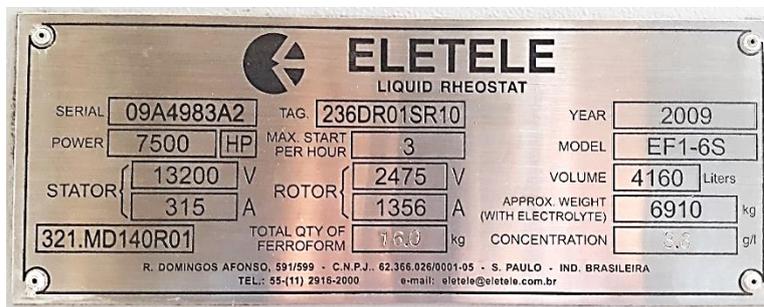
### 1.2.1. Sistemas de arranque inovadores - Banco de Reóstatos Líquidos.

Los arrancadores líquidos pertenecen a una categoría particular de reóstatos que se diferencian significativamente de los interruptores de resistencia metálica.

Estos tienen como principal virtud, convertir grandes cantidades de energía en calor, utilizando principalmente motores impulsores de alta potencia. La variación de resistencia es continua en todo su recorrido, pudiendo causar cambios repentinos en la carga y en consecuencia la corriente, aumentando así la vida útil de los acoples, reductores y de los propios motores. (ELETELE, 2020)

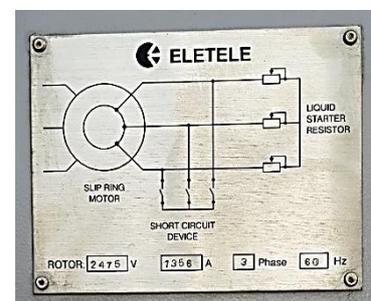
**Figura 2**

*Placa de datos de Banco de Resistencia Liquido*



**Figura 1**

*Placa de Conexionado*



*Nota.* Banco de resistencia del ciclo único. Fuente: Propio

*Nota.* Diagrama.

**Figura 4**

*Vista Lateral A de Banco de Resistencia*



*Nota.* V. Lateral A. Fuente: Propio

**Figura 3**

*Vista Lateral B de Banco de Resistencia*

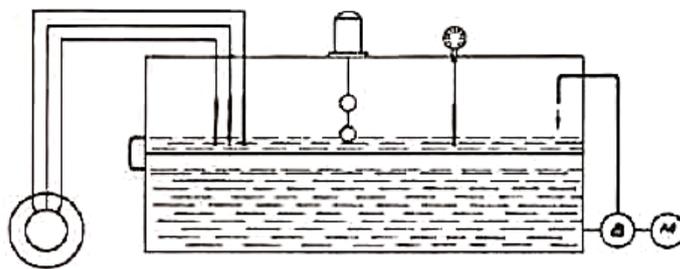


*Nota.* Vista Lateral B. Fuente: Propio

En las siguientes figuras se puede visualizar el diagrama simplificado de dos diferentes presentaciones de banco de resistencia líquido, además de sus componentes básicos como: electrodos, interruptor de válvula, termómetro y bomba de refuerzo. La Celolita se disuelve en la caja de electrodos. A medida que aumenta el nivel, la parte sumergida de los electrodos, el valor de resistencia disminuye. Cuando la resistencia alcanza su valor mínimo, los anillos se cortocircuitan y el electrolito regresa al depósito por gravedad, devolviéndolo a una nueva condición de partida. (ELETELE, 2020)

**Figura 5**

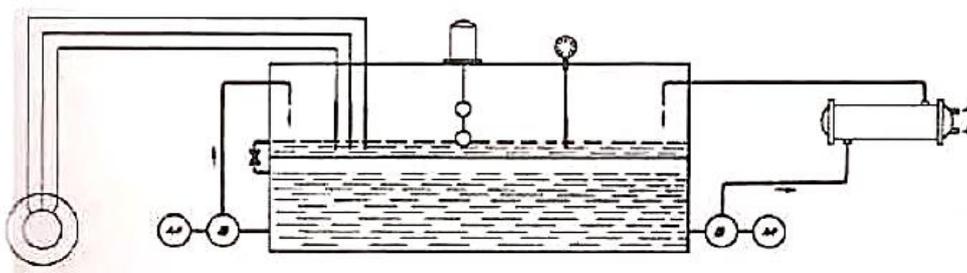
*Banco de resistencia de Ciclo Único*



*Nota.* Vista Lateral e interior. Fuente: (ELETELE, 2020)

**Figura 6**

*Banco de Resistencia de Ciclo Continuo*



*Nota.* Cuenta con sistema intercambiador de calor. Fuente: (ELETELE, 2020)

### 1.2.2. Sistemas de Arranque Abatibles “Motorizados”

Los Motores con sistema de alza escobillas automatizado, destacan por su adaptabilidad modular en su diseño eléctrico y mecánico, pudiendo ser aplicado en varios tipos de molinos (rodillos, bolas, barras, SAG), trituradoras, ventiladores, escapes, correas transportadoras, volteadores y extractores de vagones, bombas centrífugas, hornos rotatorios, excavadoras eléctricas entre otras. (WEG, 2021)

**Figura 7**

*Motor de Anillos Rozantes con sistema Porta-Escobilla Abatible.*



na

*Nota.* Vista sección. Fuente: (WEG, 2021)

#### Ventajas

El levantamiento motorizado de escobillas implica ventajas importantes en el desempeño del motor a lo largo de los años:

- Evita el desgaste constante y prematuro de las escobillas y anillos colectores.
- Reduce las paradas de mantenimiento y cambio de escobillas.
- Evita la acumulación de polvillo de escobillas en el interior del compartimiento, manteniendo alto el nivel de aislamiento del rotor.
- Aumenta la vida útil de las escobillas, anillos colectores y del motor.

### **Entre sus principales Características Técnicas**

- Potencia: hasta 50.000 KW
- Número de polos: 4 a 14
- Carcasa: IEC 355 a 1.800
- Voltaje: 220 a 13.800 V
- Frecuencia: 50 y 60 Hz
- Forma de construcción: horizontal o vertical
- Sistema de refrigeración: IC611, IC616, IC666, IC81W, IC86W
- Grado de protección: IP23, IP24(W), IP55 a IP66
- Régimen de servicio: S1 a S5
- Estándares: IEC/NEMA
- Sistema de control integrado para motores con porta escobillas elevables

### **Figura 8**

*Cabina de sistema porta-escobilla abatible.*



*Nota. Vista lateral. Fuente: (WEG, 2021)*

### **Mecanismo de alza escobillas**

El mecanismo de un sistema compacto y simplificado. Además, su sistema de control permite las maniobras de manera local y también con acceso remoto. (ABB, 2021)

### **1.3.Descripción del problema**

Las maquinas eléctricas rotativas son un tipo de activo universal, con presencia en la gran mayoría sectores, tales como: minería, construcción, industrial, comercial, etc. Estos presentan condiciones de funcionamiento según el diseño, dimensionamiento y funcionalidad. Sin embargo, están compuestos de partes mecánicas y eléctricas, las cuales tienen diferentes condicionantes de funcionamiento pudiendo ser número de ciclos, temperatura de ambiente, temperatura en piezas giratorias, carga mecánica, calidad energética entre otros.

En el monitoreo de condición, estos parámetros son importantes en la programación de los mantenimientos regulares de la maquina (preventivos - predictivos - correctivos.)

Los principales objetivos de estos mantenimientos en garantizar la confiabilidad y disponibilidad. para lograr ello es de suma importancia realizar los análisis e interpretaciones correspondientes de la data obtenida en las distintas pruebas de rutina en el mantenimiento preventivo programado en talleres de reparación.

Durante los mantenimientos y reparaciones programados en taller las maquinas eléctricas rotativas están sujetas a evaluaciones mecánicas y eléctricas, las cuales están fundamentadas en normas internacionales vigentes IEEE, EASA AR100, estos ensayos son realizadas en diferentes etapas y condiciones de prueba, donde las más relevantes son los estados de: recepción, por partes, montaje preliminar y despacho. Asimismo, durante todos estos estados, permanentemente se obtienen medidas las cuales componen una base de data, para someter permanentemente a análisis. Sin embargo, estos análisis son sustentadas en forma particular y aislada respecto a sus similares. Dificultando las evaluaciones y generalizaciones. A la fecha, los periodos de análisis son muy tediosos y complejos, incrementando el margen de error en los resultados de diagnóstico.

## **1.4. Formulación del Problema**

### **1.4.1. Problema General**

¿En qué medida el análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión? Villa El Salvador 2023.

### **1.4.2. Problemas Específicos**

PE1: ¿En qué medida el análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el uso de Técnicas Predictivas estáticas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión?

PE2: ¿En qué medida el análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el uso de Técnicas Predictivas dinámicas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión?

PE3: ¿En qué medida el análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el monitoreo de condición en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión?

## **1.5.Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Analizar como los resultados de los ensayos en mantenimientos programados permiten el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión. Villa El Salvador 2023.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

OE1: Evaluar el análisis de ensayos en mantenimientos programados que permiten el uso de Técnicas Predictivas estáticas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.

OE2: Evaluar el análisis de ensayos en mantenimientos programados que permiten el uso de Técnicas Predictivas dinámicas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.

OE3: Identificar el análisis de ensayos en mantenimientos programados que permiten el monitoreo de condición en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.

## 1.6. Justificación del Problema

Las máquinas eléctricas rotativas ostentan una gran presencia a nivel mundial en diversos sectores productivos tales como: minería, construcción, industria, agricultura, entre otros. Motivos suficientes para justificar sus innumerables estudios a diversas escalas. Donde la mayoría, selecciona como objeto de estudio a las máquinas asíncronas tipo jaula de ardilla en sus diversas presentaciones, siendo las preponderantes, según su: Funcionalidad, régimen de trabajo, potencia, parámetros nominales de trabajo, entre otros.

Sin embargo, existe un déficit de estudios considerando como modelo de estudio a las máquinas eléctricas rotativas asíncronas de anillos rozantes, incluso siendo estas consideradas también, entre una de las aplicadas en múltiples sectores, ya antes mencionados. Siendo seleccionados por sus grandes virtudes respecto a máquinas de similares usos.

Estas máquinas presentan una gran cantidad de aplicaciones las cuales mencionaremos algunas:

- Regulador trifásico.
- Generador doble frecuencia en sistema de Motor - Generador.
- Motor asíncrono trifásico de anillos rozantes de BT, MT.
- Motor síncrono trifásico de anillos rozantes de MT – AT.

### **1.6.1. Justificación Teórica**

El presente trabajo expone los aspectos teóricos que gobiernan a las máquinas eléctricas rotativas asíncronos de anillos rozantes de MT; asimismo, también se plantean generalizaciones teóricas, validadas mediante ensayos experimentales de laboratorio, las cuales cumplen con las leyes generales de las maquinas eléctricas rotativas.

### **1.6.2. Justificación Practica**

El presente trabajo corresponde a la validación experimental en laboratorio y en campo, de las máquinas eléctricas rotativas asíncronos de anillos rozantes de MT; asimismo, verificamos la correspondencia teórico – experimental de las máquinas eléctricas rotativas.

### **1.6.3. Justificación Social**

La presente investigación expone: procedimientos, normativas, aspectos teórico-experimentales, Respecto a las máquinas eléctricas rotativas asíncronos de anillos rozantes de MT, para la difusión y conocimiento de la comunidad eléctrica y sociedad multidisciplinaria que está relacionada directa e indirectamente con las maquinas eléctricas rotativas.

### **1.6.4. Justificación Metodológica**

El presente trabajo de investigación utilizo: procedimientos, lineamientos y recomendaciones de normas de ensayos vigentes de las maquinas eléctricas.

Se realizaron análisis de correspondencia y comparación. El primero, mediante validación teórico experimental; el segundo, mediante contrastación de resultados mediante diferentes métodos y procedimientos para una misma variable en evaluación.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

(García, 2022), en su Tesis: “Análisis Teórico-Práctico de Pruebas Eléctricas a Máquinas Estáticas y Dinámicas”, Las pruebas en motores, como la evaluación de resistencia de aislamiento o la prueba estándar de corriente alterna para el Rotor - Estator, se aconseja realizarlas semestral o anualmente, según las condiciones de trabajo y los protocolos de la empresa correspondiente. Estas pruebas forman parte del mantenimiento predictivo, permitiendo a los técnicos e ingenieros evaluar el estado operativo del equipo. Es esencial mantener un registro de estas pruebas para comparar con evaluaciones previas, identificar desgastes o envejecimiento, y determinar nuevos intervalos para el mantenimiento preventivo.

(Camilo, 2019) en su Tesis: “Implementación de una Guía para el Diagnostico de Fallas y Estimación de Eficiencia de Maquinas Eléctricas Asíncronas Utilizando el Equipo MCEMAX”, Los motores y las bombas representan elementos fundamentales en la industria. Por lo general, estos dispositivos eléctricos están expuestos a condiciones ambientales adversas, montajes inadecuados y operaciones incorrectas, lo que resulta en un deterioro prematuro y una disminución de su vida útil. Este factor aumenta la posibilidad de fallos en estos equipos.

(Delgado, 2017) en su Tesis: “Diagnóstico de Motores Eléctricos para la Localización de Fallas Incipientes.”, Presento una nueva metodología de diagnóstico de fallas en Maquinas rotativas. Esta metodología se aplica a señales capturadas durante el funcionamiento del motor en estado operativo. Además, se presentó un estudio de técnicas de análisis espectral tiempo-frecuencia aplicadas al diagnóstico de motores de inducción durante el transitorio de arranque.

(Antonino, 2020), En su Artículo: “Electrical Monitoring under Transient Conditions: A New Paradigm in Electric Motors Predictive Maintenance”, El mantenimiento predictivo de motores eléctricos está adquiriendo cada vez más relevancia en diversas aplicaciones industriales, y la industria minera no es una excepción. En entornos mineros, muchos motores eléctricos son componentes críticos, y sus fallas inesperadas pueden conllevar pérdidas significativas y

representar riesgos para los usuarios. Ante esta realidad, se ha incrementado la investigación para desarrollar nuevas técnicas que ofrezcan diagnósticos confiables sobre el estado de los motores. Recientemente, el Monitoreo de condición, ha surgido como una opción atractiva para evaluar la condición de diversas partes del motor, como el rotor, las excentricidades y los rodamientos. Esto se debe a sus ventajas, que incluyen la posibilidad de monitoreo remoto, su naturaleza no invasiva, su aplicación sencilla y su amplia cobertura de fallas. Los métodos convencionales basados en el análisis de las corrientes del motor durante el funcionamiento en estado estacionario (MCSA) se ven complementados, e incluso reemplazados, por enfoques más confiables. Asimismo, expongo una metodología basada en transitorios (ATCSA)

(Dewi et al., 2019) En su Artículo: “Techno-Economic Analysis of Slip Ring Motor Replaced By Standard Squirrel Cage Induction Motor With VSD”. La tecnología de anillo deslizante en motores de inducción ha sido ampliamente utilizada en la industria como un componente eléctrico esencial. En comparación con los motores de inducción convencionales. la construcción de estos motores es más compleja por las conexiones entre: devanado, anillo, escobillas. Implicando en un mantenimiento más costoso, respecto a el motor Jaula de Ardilla. Este último siendo más versátil con un variador de velocidad, permite arranque suaves y eficientes.

Este estudio evalúa la viabilidad de sustitución de motores con anillos con motores de jaula de ardilla estandarizados, basándose en su compatibilidad y perspectivas financieras. Validando requerimientos del sistema existente. El análisis financiero se fundamentó en el período de recuperación. Estimando un período de amortización de dos años, con un ahorro de energía proyectado del 69%, dependiendo principalmente de los patrones de operación. Desde nuestro punto de vista, el motor estándar de jaula de ardilla tiene el potencial de sustituir al motor de anillo deslizante, proporcionando no solo una operación más simple, sino también una reducción en los requerimientos de mantenimiento y costos.

(Kim & Kong, 2018), En su Artículo: “Experience with Stator Insulation Testing and Turn/Phase Insulation Failures in the Power Generation Industry”, La confiabilidad de los motores de media tensión (MT) empleados en la propulsión de bombas, ventiladores y otras cargas en la industria de generación de energía resulta crucial para mantener una producción continua de energía. En este contexto, las pruebas periódicas del aislamiento del devanado del estator, que constituye el

componente más susceptible en los motores de MT, se consideran una parte integral del mantenimiento predictivo. Asimismo, dado la amplia experiencia del Instituto de Investigación de Korea Electric Power Corporation (KEPCO) en el mantenimiento predictivo del aislamiento del estator en motores de MT. Emitimos un resumen del programa de pruebas de aislamiento del estator de KEPCO, junto con estadísticas de los registros de pruebas. Donde exponemos casos recientes de fallas en el aislamiento de giro y fase que resultaron en interrupciones forzadas del motor.

(Plazenet, 2018). en su Artículo: “A Comprehensive Study on Shaft Voltages and Bearing Currents in Rotating Machines”, Expone acerca de las corrientes de rodamiento y las herramientas de diagnóstico, fundamentados en los fenómenos de tensiones del eje y corrientes de rodamientos. Las mediciones de señales se incorporan de manera progresiva en el monitoreo del estado de grandes turbogeneradores e hidro-generadores. Además, evidenciamos interés creciente en el diagnóstico de fallas en los rodamientos a través de las señales del eje, con el propósito de mejorar la confiabilidad y estimar la vida útil restante en los accionamientos. Asimismo, ofrece una visión integral de las tendencias actuales en el diagnóstico de fallas mediante señales del eje. realizando una revisión crítica de los métodos de medición, destacando las ventajas y desventajas de los métodos de diagnóstico de fallas.

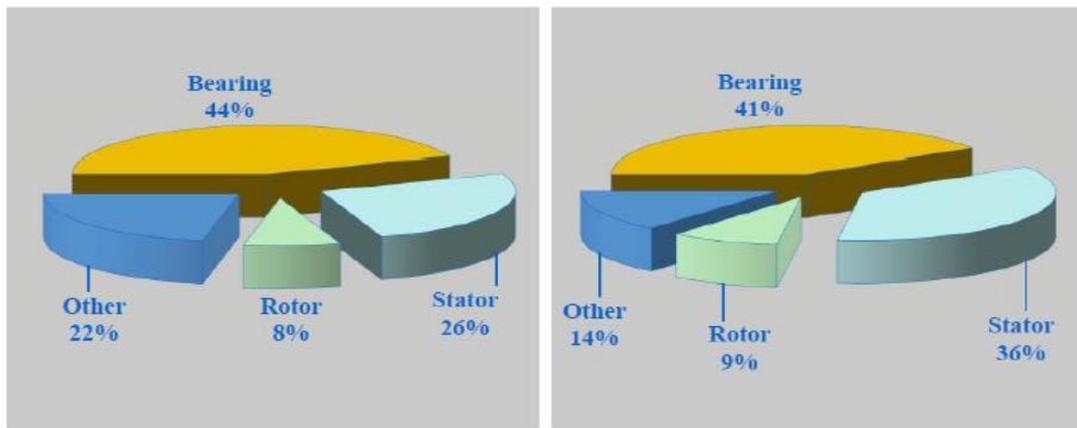
### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

(Limaymanta, 2022) , En su Tesis: “Análisis De Calidad En Motores De Inducción Mediante Pruebas Eléctricas En Régimen Dinámico.”, Afirma según los estudios, la posibilidad de un fallo en una zona específica de la máquina varía según las condiciones particulares de su operación. La **Figura 9** ilustra un estudio llevado a cabo por el Electric Power Research Institute (EPRI) y el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). El propósito principal de este estudio fue identificar las fuentes de fallas en motores eléctricos. Como resultado, se concluyó que las fallas en los rodamientos representan el mayor porcentaje, oscilando entre el 41% y el 44% (debido a problemas en la rodadura). Las fallas en el estator representan un porcentaje del 26- 36% (por fallas en el devanado del estator), mientras que las fallas en el rotor constituyen el 8- 9% (por rupturas en las barras del rotor y problemas en los anillos).

Por último, otras fallas abarcan un rango del 14-22% (por problemas en el entrehierro y la calidad de la energía de alimentación).

### Figura 9

*Fallas recurrentes en máquinas rotativas*



*Nota.* Estudio de Fallas en Motores eléctricos. Fuente: (Limaymanta, 2022)

(Caipo, 2019). En su Tesis: “Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para Incrementar La Disponibilidad De Los Motores Eléctricos Jaula Ardilla De La Empresa Dámper SAC.”, Se llevó a cabo un análisis de criticidad para los 32 motores eléctricos, agrupando las 44 posibles fallas en sus componentes principales, como rotor, estator, cojinete, ventilador y eje del motor. Este análisis se realizó con base en 5 criterios evaluativos: frecuencia de fallas, impacto operativo, flexibilidad operativa, costos de mantenimiento e impacto en seguridad y medio ambiente. Como resultado, se identificaron como elementos críticos al rotor, estator, ventilador y eje del motor. Clasificando en tres categorías: 25 Críticas, 13 Semi-Críticas y 6 No Críticas.

(Pinto, 2019). En su Tesis: “Desarrollo De Plan De Mantenimiento En Motores Eléctricos.”, Las fallas que afectan a los motores eléctricos en la industria suelen originarse principalmente por condiciones operativas y un seguimiento inadecuado, las cuales podrían prevenirse mediante la implementación de mejoras continuas y el desarrollo de un plan de mantenimiento adaptado, buscando aumentar la confiabilidad de estos motores.

(Llacza, 2018), En su Tesis: “Factores Influyentes de Corto Circuito en el Funcionamiento de Maquinas Eléctricas Síncronas y Asíncronas.”, Afirma que la paralización de un motor eléctrico puede derivar de diversos factores, como barras del rotor, cortocircuitos en sus devanados o sobrecargas durante su operación. Estas fallas provocan un aumento significativo en la corriente de trabajo, llegando a ser de 4 a 6 veces la corriente nominal, conllevando al incremento de temperaturas en el estator. Otra posible causa de paralización es el desnivel o pandeo del eje, lo cual afecta el giro del motor debido a la vibración. Además, la distancia entre el rotor y el estator (entrehierro) puede ser afectada, impactando en el campo magnético o rozamientos.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Conceptos elementales**

#### **2.2.1.1. Tipos de Mantenimientos**

##### **2.2.1.1.1. Mantenimiento preventivo**

Actividad más importante en la industria, se define como el conjunto de actividades recurrentes y periódicos, las cuales se realizan periódicamente para prevenir la materialización de fallas y mantener los equipos e instalaciones en perfectas condiciones.

La periodicidad del mantenimiento preventivo depende de los elementos que componen la máquina, siendo correspondiente con las especificaciones del fabricante. Pudiendo intervenir de ser necesario por fases o zonas específicas, en periodos más largos cada vez.

##### **2.2.1.1.2. Mantenimiento correctivo**

Actividades orientadas a la reparación de averías imprevistas y excepcionales que quedan fuera de control del mantenimiento preventivo, busca diagnosticar y corregir las causas reales que ocasionaron la materialización de la falla.

Metodología aplicable solo mientras exista disponibilidad suficiente de equipos, repuestos y la sustitución es rápida, económica y no supone interrupciones ni perjuicios en el proceso productivo. Esto suele ser así en el caso de máquinas

sencillas y baratas de las cuales existe varias unidades en la planta industrial, lo que permite con un repuesto reducido cubrir gran parte de las eventuales fallas.

### **2.2.1.1.3. Mantenimiento predictivo**

Mantenimiento basado en el proceso de predicción o anticipación de fallas. Este proceso se puede dar mediante análisis de data “historial”. Usualmente estos datos son recopilados mediante sensores o captadores de señales, las cuales están distribuidos y alojados en diversas zonas de control de la maquina en evaluación. Frecuentemente las variables son: Temperatura, Vibración, Distorsión, V, I, f.p, P, Q, S, etc. Estas datas suelen tener una tendencia y rango de valores permisibles, normales, críticos. En función a estos se toman decisiones de posibles intervenciones parciales o totales

### **2.2.1.2. Indicadores de Mantenimiento.**

#### **2.2.1.2.1. Disponibilidad**

Se define como la probabilidad de que un equipo este operando o esté dispuesto para su operación, durante un periodo de tiempo determinado.

#### **Ecuación 1**

*Formula de Disponibilidad.*

$$D_{(t)} = \frac{T_{MEF}}{T_{MEF} + T_{MPR}} \times 100\% \quad ( 1 )$$

Donde:

- $T_{MEF}$  : Tiempo medio entre fallas.
- $T_{MPR}$  : Tiempo medio de reparación.

#### **2.2.1.2.2. Confiabilidad**

Se define como la probabilidad de que un equipo o sistema pueda operar durante un periodo de tiempo determinado bajo condiciones de operación definidos.

#### **Ecuación 2**

*Fórmula de Confiabilidad*

$$C_{(t)} = \frac{-\lambda t}{e^{100}} \times 100\% \quad ( 2 )$$

Donde:

- $C_{(t)}$  : Confiabilidad para un tiempo dado.
- $e$  : Base de los logaritmos neperianos ( $e = 2.7182$ ).
- $\lambda$  : Tasa de fallas (número total de fallas por operación).
- $t$  : Tiempo de operación previsto.

### 2.2.1.2.3. Mantenibilidad

Se define como la factibilidad de que un equipo sistema o instalación, permita mayor o menor grado de facilidad de ejecución los procesos de mantenimiento. También la probabilidad de que un equipo sea reparado en un tiempo determinado.

#### Ecuación 3

*Formula de Mantenibilidad.*

$$M_{(t)} = (1 - e^{\frac{-\mu t}{100}}) \times 100\% \quad (3)$$

Donde:

- $M_{(t)}$  : Mantenibilidad para un tiempo dado.
- $e$  : Base de los logaritmos neperianos ( $e = 2.7182$ ).
- $\mu$  : Tasa de reparaciones (número de reparaciones realizadas en relación al total de horas de reparación de un equipo).
- $t$  : Tiempo de reparación previsto.

### 2.2.1.3. Motores Eléctricos de anillos rozantes

Los motores eléctricos de anillos rozantes, son un tipo especial de motor de inducción trifásico que se utiliza en aplicaciones donde se requiere un control de velocidad y arranque suave.

La característica distintiva de los motores eléctricos de anillos rozantes es la presencia de anillos y escobillas en el rotor, en lugar del diseño de rotor jaula de ardilla común en los motores de inducción convencionales. Los anillos rozantes son conductores conectados al rotor e interconectados con las escobillas que hacen contacto deslizante con los anillos mientras el rotor gira. Estos anillos y escobillas

permiten la conexión de resistencias externas o devanados adicionales al rotor, lo que proporciona un mayor control sobre las características de arranque y velocidad.

Algunas características y aplicaciones comunes de los motores anillos incluyen:

- Control de velocidad y arranque suave: adecuados para aplicaciones que requieren un arranque suave y un control preciso de la velocidad, como en elevadores, grúas y trenes.
- Aplicaciones de carga variable: Son utilizados en aplicaciones donde la carga puede variar ampliamente, ya que su diseño permite ajustar la resistencia del rotor para adaptarse a diferentes condiciones de carga.
- Control de par: Estos motores pueden ajustar el par de salida mediante la modificación de las resistencias en los anillos rozantes, lo que los hace adecuados para aplicaciones que requieren un control de par preciso.
- Maquinaria industrial y herramientas: Se utilizan en molinos y otros equipos donde se requiere un control específico de velocidad y par.

Si bien los motores eléctricos de anillos rozantes ofrecen ventajas en términos de control y rendimiento, también presentan algunas desventajas, como un mayor mantenimiento debido al desgaste de las escobillas y anillos. Sin embargo, su capacidad de control flexible los hace ideales para aplicaciones especializadas donde se requiere un control preciso de la velocidad y el rendimiento.

### **Figura 10**

*Motor trifásico de anillos rozantes abatibles ABB*



*Nota. Vista lateral. Fuente: Propio*

A continuación, se describen las partes principales de este tipo de motor:

- Estator: parte fija del motor y consta de devanados trifásicos que generan un campo magnético rotativo cuando se aplica una corriente eléctrica. Este campo magnético interactúa con el rotor para inducir movimiento.
- Rotor: parte giratoria del motor y es donde se genera el par motor. En un motor de anillos rozantes, el rotor tiene anillos conductores y cepillos que permiten la conexión de resistencias externas o devanados adicionales para controlar el rendimiento del motor.
- Anillos Rozantes: Los anillos rozantes son anillos conductores conectados al rotor que permiten la conexión de circuitos externos, como resistencias o devanados adicionales. Que permiten un mayor control sobre las características de arranque, velocidad y par del motor.
- Escobillas: Son piezas de contacto que hacen contacto deslizante con los anillos rozantes a medida que el rotor gira. Estos cepillos permiten que la corriente fluya hacia y desde los anillos rozantes, lo que a su vez permite el control de las resistencias o devanados adicionales.
- Eje: El eje es una parte del rotor y es la que transmite el movimiento generado por el motor a otros componentes o sistemas mecánicos.
- Carcasa o Chasis: La carcasa o chasis del motor protege los componentes internos y proporciona soporte estructural al motor.
- Blower de Ventilación: Sistemas de ventilación para disipar el calor generado durante el funcionamiento. Esto es importante para evitar el sobrecalentamiento y prolongar la vida útil del motor.
- Terminales y Conexiones: Los terminales del motor permiten la conexión a la fuente de alimentación y a otros componentes del sistema eléctrico.

Estas son las partes principales de un motor trifásico asíncrono de anillos rozantes. Cada una de estas partes cumple un papel importante en la generación de movimiento y en el control de las características de rendimiento del motor; asimismo mostramos imágenes para referenciar las partes.

**Figura 11**

*Estator ranurado*



Fuente: Propio

**Figura 12**

*Postes, Cajetín, Escobilla.*



Fuente: Propio

**Figura 15**

*Rotor devanado*



Fuente: Propio

**Figura 13**

*Estator + Rotor*



Fuente: Propio

**Figura 14**

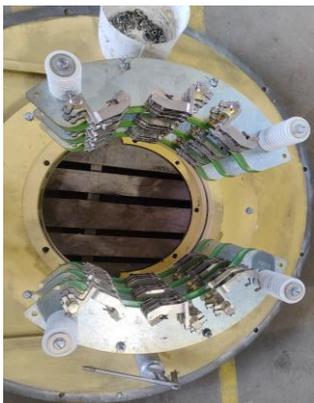
*Block de anillos trifásico.*



Fuente: Propio

**Figura 18**

*Sistema porta escobilla*



Fuente: Propio

**Figura 16**

*Chumacera L.N.A.*



Fuente: Propia

**Figura 17**

*Chumaceras LA - LNA*



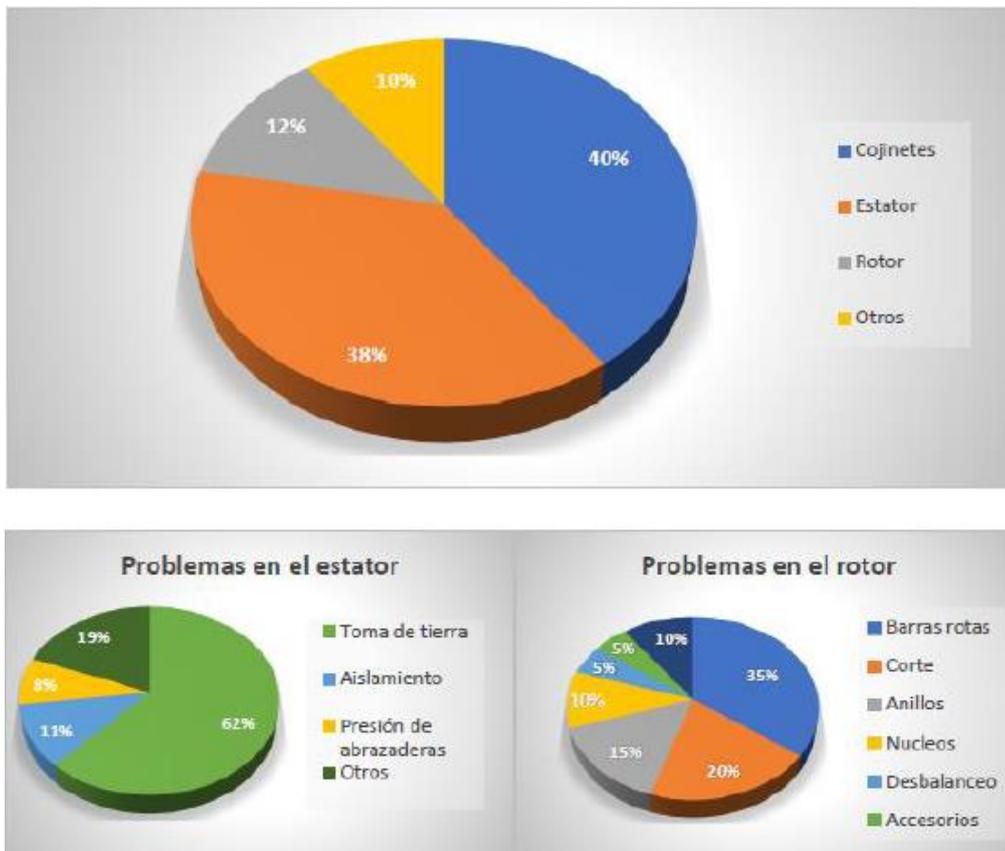
Fuente: Propia

### 2.2.1.4. Fallas en motores Asíncronos Trifásicos

Un motor de inducción es un sistema electromecánico, por lo que pueden presentarse fallas de naturaleza eléctrica y mecánica. De acuerdo con estadísticas de fallas en máquinas, se ha reportado el porcentaje de fallas de acuerdo con el elemento constitutivo del motor, tal como se observa en la **Figura 19**.

**Figura 19**

*Análisis gráfico de fallas recurrentes en estator y rotor*



*Nota.* Gráfico Circular. Fuente: (Limaymanta, 2022)

### **2.2.2. Análisis Estático**

El análisis estático de motores eléctricos trifásicos de anillos rozantes se refiere a una serie de pruebas y mediciones que se realizan en el motor mientras está en estado estático o detenido. Estas pruebas están diseñadas para evaluar diferentes parámetros eléctricos y mecánicos del motor y proporcionar información sobre su estado eléctrico. El análisis estático es una parte importante del mantenimiento predictivo y ayuda a detectar posibles problemas antes de que se materialicen.

Algunas de las pruebas y mediciones que se pueden realizar como parte del análisis estático en motores eléctricos trifásicos de anillos rozantes son:

- Medición de resistencia de devanados: Se mide la resistencia eléctrica de los devanados del motor para detectar problemas de conexión, cortocircuitos o problemas de aislamiento.
- Medición de impedancia: Se mide la impedancia de los devanados para evaluar su integridad y detectar posibles problemas de cruces, desbalances o conexiónado.
- Prueba de aislamiento: Se realiza para medir la resistencia de aislamiento entre los devanados y la carcasa del motor para detectar problemas de descargas o degradación de los distintos materiales dieléctricos.
- Inspección visual: consiste en la observación crítica de los devanados, anillos rozantes, escobillas y otros componentes para detectar daños físicos o desgaste.
- Medición de continuidad: Se verifica la continuidad eléctrica en los circuitos y conexiones para asegurarse de que no haya interrupciones.
- Medición de voltaje: Se pueden medir los voltajes en los anillos rozantes y otros puntos del motor para verificar que los circuitos estén conectados correctamente.
- Prueba de rotor bloqueado: Se puede realizar una prueba de bloqueo del rotor para evaluar la integridad de los devanados y anillos en una condición estática.

### 2.2.2.1. Prueba de Resistencia de Aislamiento

Es una técnica utilizada para evaluar la integridad del aislamiento eléctrico entre los materiales conductores, dieléctricos y las partes metálicas del motor. Consiste en aplicar un voltaje continuo entre los elementos conductores respecto la carcasa, luego medir la resistencia resultante. Su unidad de medición usual es Mega Ohmios ( $M\Omega$ ).

Los tiempos de prueba regulares son 1' – 10', los resultados se deben corregir a temperatura de 40 °C. Se sabe que la R.A. disminuye a la mitad por cada 10 °C de aumento de la temperatura. Una R.A. bajo podría indicar posibles problemas de humedad, contaminación, daño o envejecimientos en material aislante, lo que podría llevar a fallas eléctricas o daños en el motor si no se abordan a tiempo.

#### Ecuación 4

*Ecuación de corrección de temperatura*

$$R_{\text{Aislamiento}} = R_{\text{Aislamiento Medido}} \times 0.5 e^{\frac{\text{Temperatura}-40}{10}} \quad (4)$$

Donde:

- $R_{\text{Aislamiento}}$  : R. Aislamiento corregido de manera teórica.
- $R_{\text{Aislamiento Medido}}$  : R. Aislamiento medido de manera experimental.
- Temperatura : Temperatura real medida en el bobinado instantes previos a la medición de resistencia de aislamiento.
- $e$  : Base de los logaritmos neperianos ( $e = 2.7182$ ).
- 40 : valor de temperatura a la cual se está corrigiendo.

### 2.2.2.2. Absorción Dieléctrica DA - Índice de Polarización PI

La Prueba Absorción Dieléctrica es esencialmente una prueba PI de corta duración y es orientado para motores relativamente pequeños, entre 50 y 100 HP. Motores grandes cuyo aislamiento no se polariza fácilmente, son también buenos candidatos para la prueba DA., todos los otros principios son esencialmente los mismos que para la prueba PI. Por lo general si la resistencia obtenida es más de 5000  $M\Omega$  en un minuto, entonces ya no se debe realizar la prueba de Índice de Polarización.

### Ecuación 5

*Fórmula de cálculo de indicador DA*

$$DA = \frac{R. A. 1 \text{ minuto}}{R. A. 30 \text{ segundos}} \quad ( 5 )$$

Donde:

- R.A. 1 minuto : Medición de resistencia de aislamiento por 1 minuto.
- R.A. 30 segundos : Medición de resistencia de aislamiento a los 30 segundos.
- DA : Relación matemática del valor de resistencia de aislamiento obtenido en el minuto 1 respecto al obtenido en el segundo 30.

### Ecuación 6

*Fórmula de cálculo de indicador PI*

$$PI = \frac{R. A. 10 \text{ minutos}}{R. A. 1 \text{ minuto}} \quad ( 6 )$$

Donde:

- R.A. 1 minuto : Medición de resistencia de aislamiento por 1 minuto.
- R.A. 10 minutos : Medición de resistencia de aislamiento por 10 minutos.
- PI : Relación matemática del valor de resistencia de aislamiento obtenido en el minuto 10 respecto al obtenido en el minuto 1.

### Figura 20

*Meghometro Megabras MD 5060 X*



Fuente: (Megabras, 2023)

**Tabla 1***Voltaje de prueba de R.A. según NORMA*

Tensión Nominal del Bobinado (V) <sup>a</sup>	Tensión DC. de Prueba de R.A. (V)
<1000	500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 12,000	2500 - 5000
>12,000	5000 - 10,000

<sup>a</sup> Es el voltaje nominal línea-línea para máquinas trifásicas de C.A., línea-neutro (tierra) para máquinas monofásicas y el voltaje nominal C.C. para máquinas de corriente continua o devanados de campo.

Fuente: IEEE Std. 43.

**Tabla 2***Valores de resistencia referenciales a 40°C*

Valor Mínimo de Resistencia de Aislamiento	Tipo de Máquina
$IR_{1\min} = kV + 1$	Para la mayoría de los bobinados fabricados antes de 1970, todos los bobinados de campo y otros no descritos abajo.
$IR_{1\min} = 100$	Para la mayoría de los bobinados de C.A. fabricados después de 1970 (en pletina).
$IR_{1\min} = 5$	Para la mayoría de las máquinas con estatores bobinados con alambre redondo y en pletina con tensiones por debajo de 1 kV y armaduras de C.C.

Notas:

<sup>1</sup>  $IR_{1\min}$  es el valor mínimo recomendado de la resistencia de aislamiento de todo el bobinado de la máquina, en  $M\Omega$  y a 40°C.

Fuente: IEEE Std. 43.

### 2.2.2.3. Prueba de R. Óhmica (Mét. Puente de Kelvin – $\Delta R$ )

Esta prueba cuantifica el valor de resistencia óhmica inherente del material conductor utilizado en las bobinas. Este valor es dependiente de la longitud, sección, conexión realizada en el motor. Esta medición busca, verificar que el desbalance de resistencia entre fases y en conexión, se encuentre dentro de los rangos permisibles según la norma vigente. La fórmula de cálculo y los problemas típicos que existen, son:

- Malas conexiones entre bobinas de una misma fase o entre fases.
- Bobinas rebobinadas con alambre de calibre y espiras impropias.
- Conexiones flojas, malas uniones soldadas pernadas entre otros.

#### Ecuación 7

*Fórmula para hallar la resistencia referencial*

$$\Delta R = \left| \frac{R_{\text{Promedio}} - R_{\text{Fase en evaluacion}}}{R_{\text{Promedio}}} \right| \times 100\% \quad (7)$$

Donde:

- $\Delta R$  : Desbalance resistivo, expresado en porcentaje.
- $R_{\text{Promedio}}$  : El valor representativo y ponderado de los valores de resistencia óhmica obtenidos en la medición experimental.
- $R_{\text{Fase en evaluacion}}$  : El valor de la resistencia óhmica de la fase a evaluar.

#### Figura 21

*Micro ohmímetro MPK 253*



Fuente: (Megabras, 2023)

#### 2.2.2.4. Prueba de Inductancia

La inductancia eléctrica en los motores eléctricos trifásicos se refiere a la propiedad de oposición al cambio de corriente eléctrica que se presenta en los circuitos debido a la presencia de bobinas o devanados. En un motor eléctrico trifásico, las bobinas o devanados se encuentran en los enrollamientos de las fases del motor.

Cuando se aplica un voltaje alterno con una frecuencia determinada a una bobina, esta genera un campo magnético que induce una corriente en sí misma, de acuerdo con la Ley de Faraday de la inducción electromagnética. La inductancia se mide en henrios[H] y está relacionada con la tasa de cambio de corriente en la bobina.

En un motor eléctrico trifásico, la inductancia es una propiedad inherente a los devanados y bobinas que forman parte de las fases del motor. La inductancia puede tener varios efectos en el funcionamiento del motor.

**Figura 22**

*Inductometro BK Precisión 878B*



Fuente: (BK Precision, 2023)

**Figura 23**

*Proceso de medida de inductancia*



*Nota.* Medición de etapa por partes. Fuente: Propio

### 2.2.2.1. Prueba de Relación de Transformación

La prueba de relación de transformación en motores eléctricos trifásicos de anillos rozantes consiste en determinar la razón entre el voltaje aplicado al estator y el voltaje inducido en el rotor. Esta prueba se realiza con el circuito secundario (Rotor) sin conexión alguna a ningún sistema de arranque. Esta prueba es importante para evaluar la integridad del circuito eléctrico equivalente del motor y la correspondencia de tensiones entre estator y rotor tipificado en la placa de datos.

#### Ecuación 8

*formula de relación de transformación*

$$a = \frac{N_0}{N_1} = \frac{V_0}{V_1} = \frac{I_1}{I_0} \quad ( 8 )$$

Donde:

- $N_{0-1}$  : Numero de espiras del devanado Primario – Secundario
- $V_{0-1}$  : Tensión del devanado Primario - Secundario
- $I_{0-1}$  : Intensidad del devanado Primario - Secundario

### 2.2.2.2. Prueba de Rotor Bloqueado

La prueba de rotor bloqueado en motores eléctricos trifásicos de anillos rozantes se realiza para evaluar, diagnosticar y cuantificar las pérdidas en los devanados del motor, cuando está en una condición de bloqueo o detenido. Esta prueba es importante para identificar zonas con posibles problemas en los devanados del motor, los anillos rozantes y otros componentes internos.

#### Ecuación 9

*Fórmula de cálculo de potencia perdida y suma de potencias perdidas.*

$$P_{\text{Perdidas Totales}} = P_{P-E} + P_{P-R} ; P_{\text{Perdidas}} = I^2 * R \quad ( 9 )$$

Donde:

- $P_{P-E}$  : Perdidas Estatóricas [W]
- $P_{P-R}$  : Perdidas Rotóricas [W]
- $P_{P-R}$  : Perdidas Rotóricas [W]

**Figura 25**  
*Prueba de núcleo magnético a Estator*



*Nota.* Loop Test. Fuente: Propio

**Figura 24**  
*Estator con corrosión por oxido y signos de rozamiento del rotor.*



*Nota.* Etapa de evaluación. Fuente: Propio

### 2.2.2.3. Prueba de Núcleo Magnético LOOP TEST

La prueba de **Loop Test** en motores eléctricos es un método de diagnóstico utilizado para evaluar el estado del núcleo magnético de un motor eléctrico. El núcleo magnético es la parte central del motor donde se enrollan los devanados que contribuye a la generación y transmisión del flujo magnético para el funcionamiento del motor. Esta prueba detecta posibles problemas que puedan afectar la eficiencia y del motor, ocasionados por excesivas pérdidas por efecto joule como consecuencia de incremento de corrientes Foucault, en la masa nucleica estática o rotóricas.

#### Ecuación 10

*Fórmula de cálculo de tensión de LOOP TEST*

$$V = 4 * K * f * \emptyset * n_{\# \text{vuelatas}} \quad ; \quad \emptyset = B * A \quad (10)$$

Donde:

- f : Frecuencia [Hz]
- B : Intensidad de campo Magnético [Gauss]
- A : Sección Transversal de núcleo [cm<sup>2</sup>]
- K : Constante de forma de onda senoidal. [1.11]
- $\emptyset$  : Flujo magnético relacionado con la sección de corte del núcleo.

#### 2.2.2.4. Prueba de Impedancia

La prueba de impedancias en motores eléctricos es un método de diagnóstico utilizado para evaluar las características eléctricas de los devanados del motor. Esta prueba se realiza con el objetivo de identificar posibles problemas en los devanados, como: cortocircuitos, cruces, daño en aislamiento o características del rebobinado.

Impedancias

#### Ecuación 11

*Cálculo de Impedancia, Reactancia Inductiva Y Reactancia Capacitiva*

$$Z^2 = R^2 + (XL - XC)^2 \quad (11)$$
$$XL = W * L = 2 * \pi * f ; \quad XC = 0 ;$$

Donde:

- Z : Impedancia [Ω]
- R : Resistencia [Ω]
- XL : Reactancia Inductiva [Ω]
- XC : Reactancia Capacitiva [Ω]
- W : Velocidad Angular [rad/s]
- f : Frecuencia [Hz]
- L : Inductancia [H]

#### 2.2.2.5. Metrología

Se denomina metrología al proceso de verificación de medidas correspondientes a componentes de sistemas compuestos de maquina eléctrica.

Presión

#### Ecuación 12

*Cálculo de Presión en escobillas. Ver. Figura 26*

$$P = \frac{F_{Fuerza}}{A_{Area}} = \frac{F_{Fuerza}}{L_{axial} * L_{tangencial}} = \frac{[gr]}{[cm^2]} \quad (12)$$

Donde:

- P : Presión aplicada por el fleje al carbón o escobilla [gr/cm<sup>2</sup>]
- F : Fuerza aplicada directamente al carbón. [gr]
- A : Área de escobilla en contacto directo con anillos [cm<sup>2</sup>]
- L : Longitud axial de la escobilla [cm]
- L : Longitud tangencial de la escobilla [cm]

Distancias (Holgura cajetín – anillo)

**Ecuación 13**

*Fórmula de cálculo de distancias.*

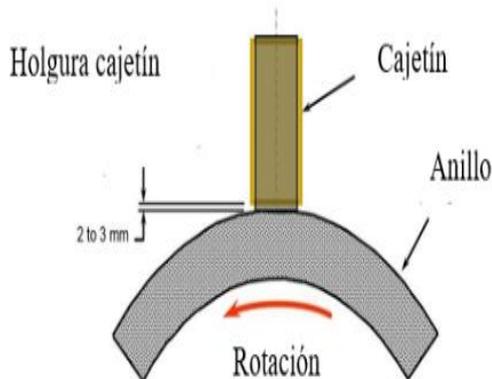
$$\text{Distanc.} = (\text{Ref. a Anillo})_{\text{Dist.}} - (\text{Altura Caj.})_{\text{Dist.}} \quad (13)$$

Donde:

- Distanc. : Distancia de separación de Anillo-Cajetín [cm]
- Ref. a Anillo : Distancia anillo a cara superior de cajetín [cm]
- Altura Caj. : Altura radial de cajetín [cm]

**Figura 26**

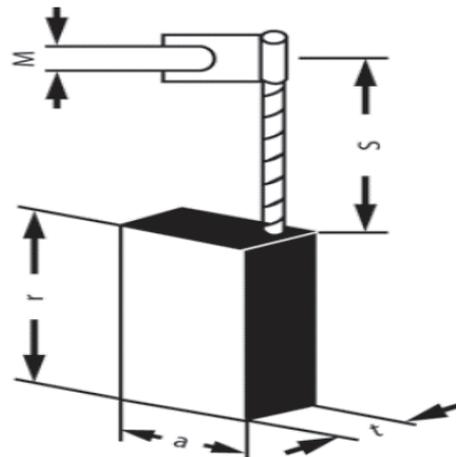
*Distancia cajetín - anillo.*



Nota. Med. Fuente: (Carbonwatt, 2023)

**Figura 27**

*Cajetín Porta-escobilla*



Nota. Med. Fuente: (SCHUNK, 2023)

### **2.2.3. Análisis Dinámico**

El análisis dinámico de motores eléctricos implica evaluar el comportamiento y el rendimiento del motor mientras está en funcionamiento.

#### **2.2.3.1. Prueba de Vacío**

La prueba de vacío en motores eléctricos trifásicos de anillos rozantes es una técnica de diagnóstico que se realiza para evaluar las condiciones internas y externas del motor cuando este operativo, pero no está acoplado a ninguna carga. Esta prueba es útil para detectar posibles problemas en los devanados, los anillos rozantes y otros componentes internos del motor. Durante la prueba se suele evaluar también:

- Análisis de vibraciones: Monitorear y analizar las vibraciones del motor para detectar desequilibrios, alineaciones incorrectas, desgaste de rodamientos u otros problemas mecánicos.
- Análisis de corriente: Medir y analizar las corrientes eléctricas que fluyen a través del motor para identificar posibles desequilibrios, problemas en el aislamiento o irregularidades en el rendimiento.
- Espectro de frecuencia: Utilizar el análisis de espectro de frecuencia de las señales de vibración o corriente para identificar patrones característicos que indiquen problemas específicos.
- Pruebas de carga: Consiste en variar la carga en el motor para evaluar su capacidad de respuesta y rendimiento bajo diferentes condiciones.
- Análisis térmico: Medir y analizar la temperatura del motor en diferentes puntos para detectar posibles problemas de sobrecalentamiento.
- Análisis de resonancia: Identificar frecuencias de resonancia que puedan afectar el rendimiento del motor y causar vibraciones no deseadas.
- Espectro armónico: Evaluar los armónicos presentes en la señal eléctrica o de vibración para detectar distorsiones que puedan ser causadas por problemas en los componentes eléctricos o mecánicos.
- Análisis de velocidad y carga: evaluación de respuesta a cambios en velocidad y carga, identificando posibles anomalías.

## 2.2.3.2. Balanceo Estático y Dinámico

### 2.2.3.2.1. Balanceo de elementos rotativos

El balanceo estático - dinámico en máquinas rotativas, como generadores y motores, consiste en hacer coincidir el centro de gravedad al centro de rotación. Para que los sistemas estén completamente equilibrados, tanto el polígono de fuerza como el de par deben estar cerrados.

### 2.2.3.2.2. Balanceo estático

Ocurre cuando el centro de gravedad de un elemento está en el eje de rotación. Esto permite que el objeto permanezca estacionario, con el eje horizontal, sin la aplicación de ninguna fuerza de frenado. La masa estática no tiene tendencia a girar debido a la fuerza de gravedad.

### 2.2.3.2.3. Balanceo dinámico

Se manifiesta cuando la rotación no produce ninguna fuerza centrífuga o par resultante. El sistema girará sin necesidad de la aplicación de ninguna fuerza o par externo, excepto el requerido para soportar su peso. Cuando un sistema o máquina está desequilibrado, para evitar que se ejerza presión sobre los cojinetes, se agrega un peso de contrapeso. El equilibrio dinámico es una forma de equilibrar las máquinas girando las piezas rápidamente y luego midiendo el desequilibrio mediante equipos electrónicos. El desequilibrio calculado se puede sumar o restar al peso hasta reducir la vibración de las piezas.

## Figura 28

*Proceso de balanceo estático y dinámico de rotor*



*Nota.* Sistema de Prueba. Fuente: (Electromotores, 2023)

## 2.2.4. Técnicas Predictivas Estáticas - Baker SKF AWA IV

**Figura 29**

*Maletín de pruebas estáticas- Baker AWA 12 KV*



The Baker AWA-IV 12kV analyzer. The 6kV and 12kV HO (high output) models share this form factor.

**Figura 30**

*Baker PPX Power Packs*



Fuente: (MEGGER S., 2020)

Fuente: (MEGGER P., 2023)

El "Static Motor Analyzer Baker AWA-IV" es un equipo avanzado de diagnóstico y pruebas para el mantenimiento predictivo, utilizado en la industria eléctrica para evaluar y analizar motores eléctricos, generadores y transformadores. Este dispositivo es fabricado por la empresa **Baker Instrument Company**, ahora parte de **Baker Hughes Digital Solutions**.

La familia Baker AWA-IV incluye modelos diseñados para realizar pruebas a tensiones máximas de 2000 a 12000 voltios. Los modelos incluyen 2 kV, 4 kV, 6 kV, 12 kV y 12kV HO (alto rendimiento). Pudiéndose acoplar con Baker Power Packs para aumentar los voltajes de prueba a 24 o 30 kV para pruebas en MT- AT

Los analizadores de la serie AWA-IV de Baker realizan las siguientes pruebas:

- Temperatura (corrección de resistencia en función de temperatura)
- Resistencia e inductancia del Devanado / Capacitancia del Sistema
- Resistencia de Aislamiento, Ind. Absorción (DA) Índ. De Polarización (PI)
- DC Hipot (voltaje escalonado, rampa continua)
- Surge Test
- Descargas Parciales.

**Tabla 3***Voltajes de prueba de Impulso -SURGE – para bobinados Nuevos*

Voltaje Nominal (V)	IEEE 522 <sup>1,4,5</sup> 2.0 p.u. (kV)	IEEE 522 <sup>2,4,5</sup> 3.5 p.u. (kV)	IEC 60034- 15 <sup>3,4</sup> $U_p = 0.65 U_p$	2E+1kV <sup>6</sup> persección 4.2.5
400	–	–	–	1.8
460	–	–	–	1.9
575	–	–	–	2.2
690	–	–	–	2.4
2300	3.8	6.6	9.2	–
3300	5.4	9.4	11.8	–
4000	6.5	11.4	13.7	–
6600	10.8	18.9	20.4	–
11000	18.0	31.4	31.9	–
13800	22.5	39.4	39.1	–

1. Bobinas sin procesar completamente, se deben probar a voltaje reducido, generalmente al 40-80 % del valor calculado.
2. Las pruebas de mantenimiento de los bobinados reacondicionados pueden ser realizadas al 75% del valor calculado.  
Precaución: Si se desconoce el diseño del aislamiento, utilice el 75% de los valores indicados en la columna de 2.0 p.u.
3. Para máquinas con tensiones por debajo de 2300 V use la sección 4.2.5.

*Nota.* Proceso de cálculo utilizando normas vigentes. Fuente: (EASA, 2020)

**Tabla 4***Voltajes de prueba DC - HIPOT*

V Línea	Bobinas Nuevas ( $3.4 * V_n + 1700$ )	En servicio 65 % (Bobina Nueva)	Estándar BAKER ( $2 * V_n + 1000$ )
480	3332	2166	1960
575	3655	2376	2150
600	3740	2431	2200
2300	9520	6188	5600
4160	15844	10299	9320
6900	25160	16354	14800
13800	48620	31603	28600

*Nota.* Proceso de cálculo utilizando normas vigentes Fuente: IEEE 95 - 2002

#### **Ecuación 14**

*Cálculo de voltaje de prueba HIPOT*

$$V_{Hipot} = (2 * V_{nominal}) + 1000 \quad ( 14 )$$

*Para nuestro caso:*

$$V_{Hipot} = (2 * 13800) + 1000 = 28600$$

Donde:

- $V_{Hipot}$  : Voltaje de prueba, calculado para prueba HIPOT [V]
- $V_{Nominal}$  : Voltaje nominal de motor “según placa de datos” [V]

#### **Ecuación 15**

*Cálculo de voltaje de prueba SURGE*

$$V_{Surge} = \left( 2.5 * \left( \frac{V_{nominal} * \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \right) \right) \quad ( 15 )$$

*Para nuestro caso:*

$$V_{Surge} = \left( 2.5 * \left( \frac{13800 * \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \right) \right) = 28169.13 \cong 28000 \text{ V}$$

Donde:

- $V_{Surge}$  : Voltaje de prueba calculado para prueba SURGE [V]
- $V_{Nominal}$  : Voltaje nominal de motor “según placa de datos” [V]

#### **2.2.4.1. Prueba de Descargas Parciales**

La medición de descargas parciales en los devanados de las máquinas eléctricas rotativas constituye un método no destructivo, Contando con procesos invasivos y no invasivo para identificar los puntos de descarga individuales en su aislamiento.

Mencionamos algunas causas de descargas parciales internas: En el aislamiento pueden ser la delaminación de las capas de aislamiento; Erosión mecánica resultante de la vibración o la abrasión de los recubrimientos de control por nombrar algunas. (Oetl y otros, 2018)

**Figura 31**

*Prueba de Descargas Parciales*



*Nota.* Sistema de Prueba. Fuente: Propio

**Tabla 5**

*Análisis comparativo descargas parciales OFF LINE vs ON LINE*

<b>OFF - Line</b>	<b>ON - Line</b>
Maquina fuera de servicio, con desconexión física de la red	Maquina en servicio, con conexión a la red en tiempo real.
Requiere fuente de alimentación externa de at	No requiere fuente externa, únicamente el de la red.
Costo elevado de ensayo. Requiere: detener procesos, intervenir a máquina.	Costo económico, no requiere parar procesos.
Ocasiona estrés eléctrico	No genera desgastes colaterales
No es sensible a algunos fenómenos: descargas en ranuras, barras sueltas, descargas por vibraciones, descargas por proceso de dilatación en aislamientos y alma de cobre.	Se manifiestan todos los transitorios regulares del funcionamiento: mecánicas eléctricas térmicas electromagnéticas.
Las tensiones de prueba someten a todo el devanado desde fase neutro a tensión nominal.	Se manifiestan fuerzas dinámicas no presentes en evaluación off-line. Los resultados son más confiables.
Puede ocasionar descargas parciales en zonas no sometidas a potenciales elevados.	Las tensiones de funcionamientos son de acuerdo a conexión concebida en dimensionamiento.
La zona de descarga ´puede coincidir con una sonda de corona.	Identifica las zonas con descargas parciales en cada fase y paralelos.

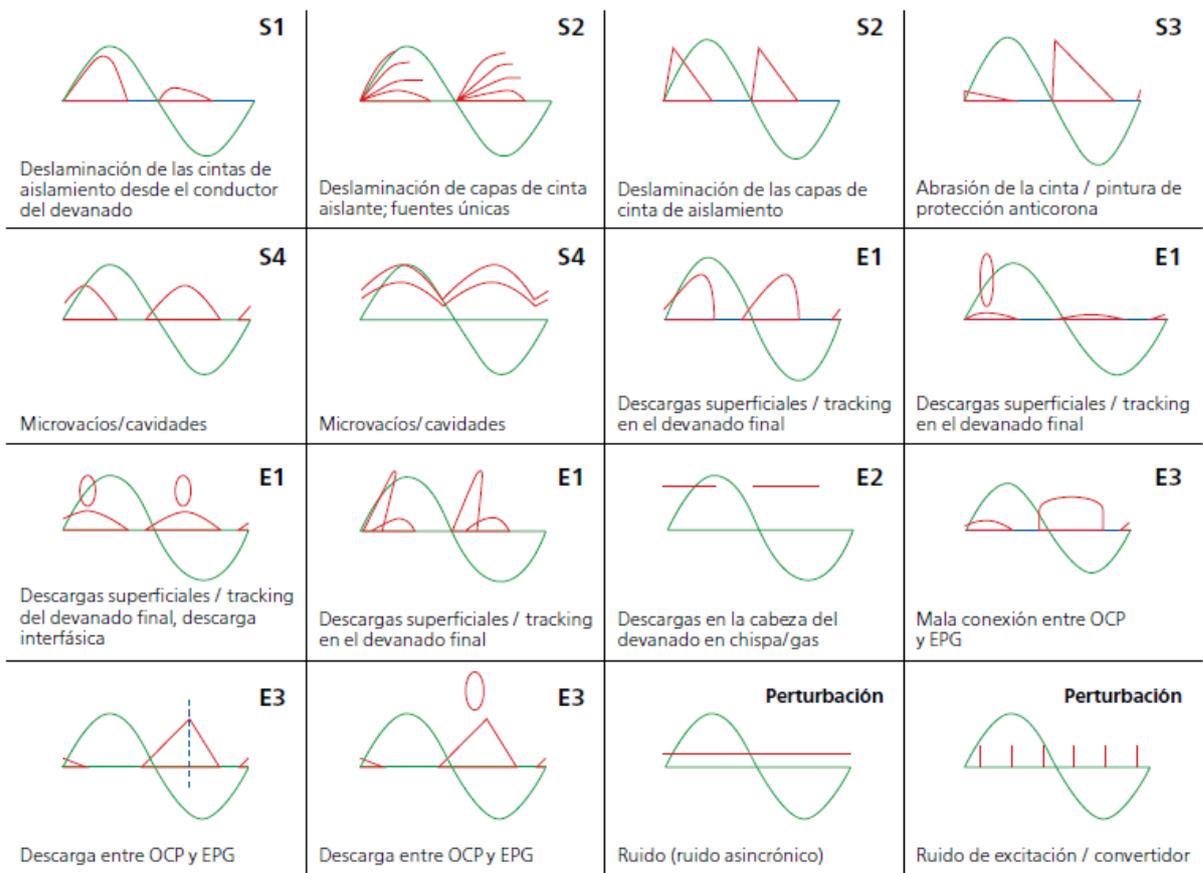
*Nota.* Comparativa. Fuente: Propio

El monitoreo de las descargas parciales se puede definir como la comprobación periódica de parámetros de descargas previamente definidos y es posible realizar esta comprobación de forma offline, online discontinua u online continua (Oetl y otros, 2018)

La forma de los diferentes defectos es conocida y verificada por publicaciones y normas internacionales. Por ejemplo, la IEC 60034-27-1 identifica los diferentes fenómenos y ofrece una evaluación de los riesgos en su anexo informativo. El software de medición de DP de tecnología punta puede identificar los diferentes fenómenos e interpretarlos automáticamente. La **Figura 32** ofrece un resumen sobre los diferentes fenómenos y sus patrones de PRPD resultantes.

**Figura 32**

*Matriz de patrones, tendencias en ensayos de Descargas Parciales.*



*Nota.* Ficha técnica de Ómicron según norma IEC 60034-27-1. Fuente: (OMICRON M., 2020)

## 2.2.5. Técnicas Predictivas Dinámicas - Baker EXP4000

**Figura 33**

*Maletín compacto de evaluación dinámica.*



*Nota.* Maletín Baker EXP4000 Fuente: (MEGGER D., 2020)

El "Dynamic Motor Analyzer Baker EXP4000" es un equipo de diagnóstico avanzado utilizado en la industria eléctrica para evaluar y analizar motores eléctricos, generadores de forma dinámica. Este dispositivo es fabricado por **Baker Instrument Company**, que es parte de **Megger Group**,

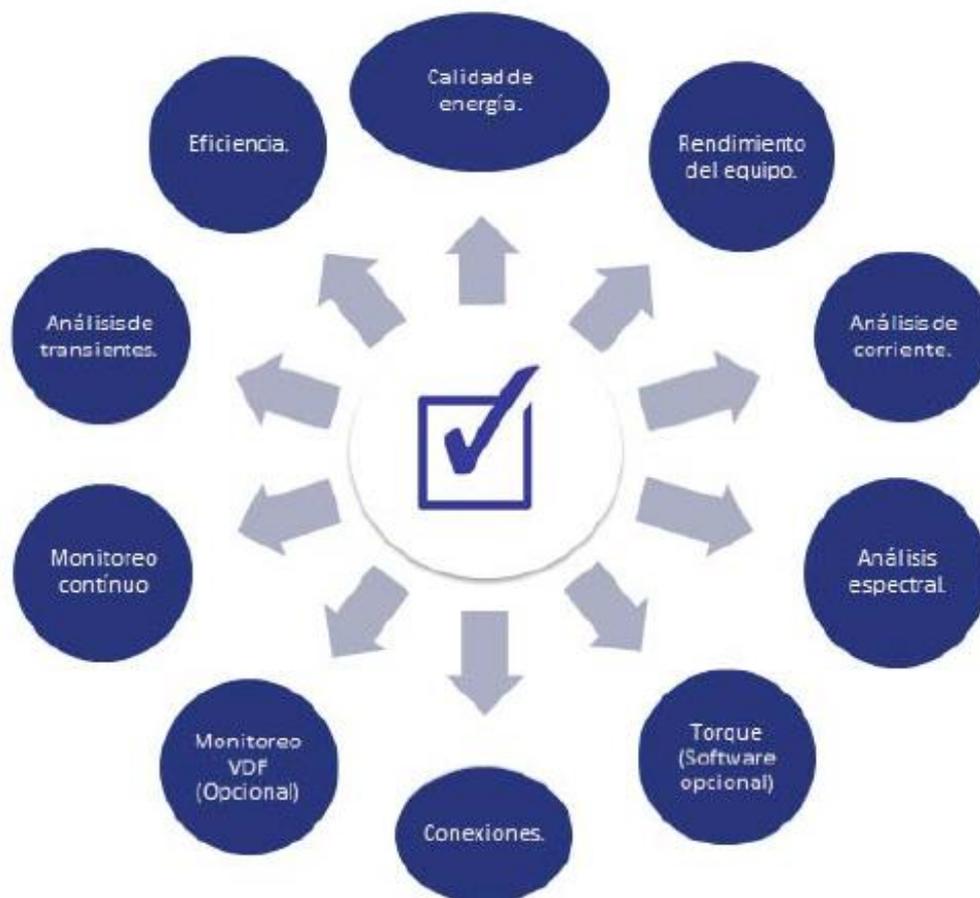
El EXP4000 utiliza una multitud de pruebas para determinar la condición de alimentación, el estado, la carga y el perfil energético de las máquinas. Además, incluye un software estándar para iniciar las pruebas. De ser necesario puede vincular softwares adicionales para análisis de data.

El software estándar incluye los siguientes dominios y pruebas:

- Calidad de alimentación: nivel de tensión, desequilibrio de tensión, distorsión de armónicos, distorsión total, potencia, armónicos.
- Rendimiento de la máquina: factor de servicio efectivo, carga, condición de operación, eficacia, período de utilidad.
- Corriente: sobre corriente, desequilibrios de corriente.
- Espectro: barra del rotor, espectro de V/I, armónicos.
- Conexión: formas de onda, comp. ABC/sim., fasores.

**Figura 34**

*Dominios de prueba equipo EXP 4000*



*Nota.* Parámetros de evaluación Dinámica. Fuente: (MEGGER D., 2020)

### **2.2.6. Monitoreo de condición**

El monitoreo de condición en los motores eléctricos trifásicos se refiere al proceso de seguimiento continuo o periódico de diversos parámetros y características del motor durante su funcionamiento normal. El objetivo principal es detectar cualquier cambio anormal o deterioro en el rendimiento del motor, lo que permite tomar medidas preventivas o correctivas antes de que se conviertan en fallas graves.

El monitoreo de condición implica la recopilación de datos en tiempo real o casi en tiempo real para evaluar el estado electromecánico del motor.

### **2.2.6.1. Análisis Paramétrico**

Este análisis consiste en el monitoreo de parámetros eléctricos, mecánicos, térmicos entre otros. Todo ello durante funcionamiento permite proveer y anticipar acciones ante una probable situación de falla. Esto mejora la confiabilidad operacional del equipo.

Estas variables a analizar pueden ser:

- Corrientes, Voltajes, Potencia,  $\text{Cos}\phi$ : El monitoreo de las corrientes y voltajes eléctricos puede revelar desequilibrios en las fases, problemas de conexión, variaciones en la carga y otros problemas eléctricos.
- Análisis de armónicos: Identificar la presencia de armónicos en las corrientes y voltajes puede indicar distorsiones en la señal eléctrica y posibles problemas en los componentes eléctricos.
- Consumo de energía: Monitorizar el consumo de energía del motor puede ayudar a identificar cambios en la eficiencia y el rendimiento.
- Pruebas de aislamiento: Realizar pruebas periódicas de resistencia de aislamiento puede detectar problemas en el aislamiento de los devanados.

### **2.2.6.2. Análisis Termográfico**

La termografía es un método de inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante la obtención de imágenes de su distribución de temperatura. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un incremento de temperatura en mal funcionamiento.

El elemento para realizar este análisis es:

El termógrafo, es un equipo sofisticado denominado “cámara térmica” mide la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto y generan una imagen térmica. Las cámaras de termografía modernas son portátiles y de fácil manejo. Al no necesitar contacto físico con el sistema, las inspecciones pueden realizarse a pleno funcionamiento sin pérdida o reducción de productividad.

Los parámetros que se requieran para llevar a cabo la toma de la medición:

- Material del objeto: aquí se verifica que tipo de material se trabaja, y las características superficiales del mismo, tales como; si este pulido a espejo, opaco o corrugado.
- La emisividad del material: esta va asociada al material de trabajo, la cual se encuentra especificado en tablas.
- La distancia a la que se realizarán las pruebas: siempre que se realiza la toma de la imagen térmica se debe tener presente que el campo de visión térmica de la cámara dependerá directamente de la distancia a la que se encuentre el objeto (esta distancia es llamada IFOV y se determina con la calculadora IFOV de Fluke.)

El analista de termografía realiza la evaluación y el análisis de las imágenes térmicas basándose los datos históricos del equipo y/o la norma que establezca los parámetros de condición del equipo. Este análisis termográfico será registrado en un formato de prueba y entregado como informe de termografía.

**Figura 35**

*Monitoreo termográfico a motor*



*Nota. Medición. Fuente: (Fluke, 2023)*

Para optimizar la precisión de la medición de superficie:

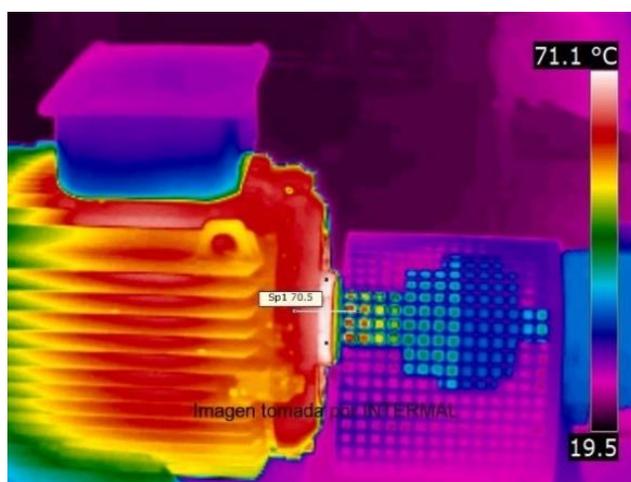
- Evite reflexiones aislando el objeto de fuentes de alta temperatura colindantes.
- Para objetos a temperaturas más altas, use instrumentos con la longitud de onda más corta posible.

**Tabla 6***Tabla de metales y valores de emisividad referenciales*

Material		Valores de Emisividad		
		1.0μm	1.6μm	8-14μm
Acero	Oxidado	0.8-0.9	0.8-0.9	0.7-0.9
	Inoxidable	0.35	0.2-0.9	0.1-0.8
Aluminio	Oxidado	0.4	0.4	0.2-0.4
	Pulido	0.1-0.2	0.02-0.1	N.R.
Bronce	Pulido	0.8-0.95	0.01-0.05	N.R.
	Oxidado	0.6	0.6	0.5
Cobre	Pulido	N.R.	0.03	N.R.
	Áspero	N.R.	0.05-0.2	N.R.
	Oxidado	0.2-0.8	0.2-0.9	0.4-0.8
Hierro	Oxidado	0.4-0.8	0.5-0.9	0.5-0.9
	Fundido	0.35	0.4-0.6	N.R.
Oro		0.3	0.01-0.1	N.R.
Platino	Negro	N.R.	0.95	0.9
Plata		N.R.	0.02	N.R.

*Nota.* N.R. – No Recomendado Fuente: Fluke

- Reporte nativo de instrumentos de medición termográfico, en escala cromatográfico.

**Figura 36***Proceso de operación en Análisis termográfico**Nota.* Medición Fuente: (Wordpress, 2015)

### 2.2.6.3. Análisis Vibracional

El método general de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas tiene el objetivo final de asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas a través de la vigilancia continua de los niveles de vibración en las mismas, siendo estos últimos, los indicadores de su condición; y se ejecuta sin necesidad de recurrir a desmontajes y revisiones periódicas.

#### Vibración

Es el cambio de posición de una máquina en el tiempo de un lado a otro respecto a su posición de reposo.

Las características fundamentales de la vibración son:

- Amplitud: Cantidad de vibración medida en desplazamiento.
- Frecuencia: Número de ciclos por unidad de tiempo.
- Fase: Posición de una pieza que vibra en un instante dado con respecto a un punto de referencia o a otra pieza.

#### Unidades de las vibraciones

- Desplazamiento: Es la distancia recorrida por el punto medido, debido a la vibración y la medida que domina a bajas frecuencias (Inferiores 1200 CPM) y está relacionado a los esfuerzos de flexión de los elementos y se expresa en mils pico a pico o mm pico a pico.
- Velocidad: Es aquella que, experimentada por el punto medido al pasar por la posición neutral, y dominante a frecuencias medias (600 CPM hasta 6000CPM) y se conoce como la rapidez del cambio de desplazamiento y está relacionado a la fatiga del material y se expresa en ips (Pul/Seg) o mm/seg; pico o RMS.
- Aceleración: Es el cambio de velocidad en el tiempo. La dominante a frecuencias altas (mayores a 60000 CPM) y está relacionada a las fuerzas presentes en los componentes de la máquina. Y se expresa CPM (Ciclos/Seg) o Hz (Ciclos/Seg)

## Normas de vibraciones

- ISO 10816-1/6
- ISO 4868
- ANSI-S2

Los problemas mecánicos recurrentes, ocasionados por la vibración son:

- Desbalance
- Desalineación
- Desgastes de cojinetes y excesiva tolerancia
- Resonancia
- Soltura
- Excentricidad
- Fallas en los rodamientos
- Fallas en la caja de engranajes

**Figura 37**

*Equipo de registro vibracional DSP LOGGER EXPERT*



*Nota.* Proceso de medición vibracional con equipo. Fuente: (DSP Logger, 2023)

Exponemos valores admisibles de vibración, según recomendaciones normativas ISO 10816 – 8.

**Tabla 7**

*Severidad según el tipo de maquinaria*

								Valor de
								RMS de
								velocidades
								11 0.43
								7.1 0.28
								4.5 0.18
								3.5 0.14
								2.8 0.11
								2.3 0.09
								1.4 0.06
								0.71 0.03
								mm/s in/s
Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	Rígida	Flexible	fundición
Bombas mayores a 15Kw		Maquinas Medias			Maquinas			
Radial, Axial, Fujo Mixto					Grandes		Tipo de	
Acople directo	Eje intermedio /		Motores		Motores		maquina	
	poleas		160mm=<H<315mm		315 mm =<H			
Clase IV	Clase III		Clase II		Clase I		grupos	

*Nota.* Matriz de criticidad Vibración. Fuente: (ISO 10816 - 8, 2018)

Exponemos escala de colores según la condición de operación de una maquina rotativa.

**Tabla 8**

*Matriz de estado de Operación*

A	Puesta en operación recientemente
B	Operación para largo plazo
C	Operación para corto plazo
D	Vibración causando daños

*Nota.* Condición. Fuente: (ISO 10816 - 8, 2018)

## 2.3. Términos Básicos

**Análisis estático:** Proceso de evaluación, el cual consiste en analizar una maquina eléctrica fuera de operación, pudiendo estar completamente ensamblado o en etapa de desmontaje, sin condiciones regulares ni nominales de trabajo. (Ponce, 2017)

**Análisis dinámico:** Proceso de evaluación, el cual consiste en analizar las maquinas eléctricas en operación, pudiendo ser en condiciones de funcionamiento regulares e irregulares (nominales). (Ponce, 2017)

**Análisis termográfico:** Proceso de evaluación que consiste en analizar zonas específicas, por un periodo determinad (Pinto, 2019)

**Análisis vibracional:** Proceso de evaluación, donde se analiza el comportamiento dinámico del motor, en condiciones regulares, analizando variables como: el desplazamiento, velocidad y aceleración en diferentes planos y direcciones de evaluación. Es la oscilación de un objeto con respecto a su posición de reposo” (Callupe y otros, 2021)

**Espectro:** Es una gráfica que presentan curvas las cuales muestran los diferentes tipos de una vibración en función su frecuencia. (Delgado, 2017)

**Frecuencia:** Es el número de vibraciones que un cuerpo hace por segundo se denomina frecuencia y es comúnmente medida en Hertz (Delgado, 2017)

**Ultrasonido:** Son ondas de sonido con frecuencias por encima del límite audible humano, o en exceso de 20000 Hertz (Delgado, 2017)

**Técnicas predictivas:** Conjunto de prácticas operativas, el cual utilizando base de datos históricos puede predecir tendencias de funcionamiento. (Pinto, 2019)

**Indicadores KPI:** Conjunto de ratios que relacionan parámetros de funcionamiento de las maquinas eléctricas en diferentes condiciones de operación y estado. (Caipo, 2019)

**Mantenibilidad:** La capacidad de un elemento, bajo determinadas condiciones de uso, para conservar, o ser restaurado a, un estado en el que pueda realizar la función requerida, cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos. (Cerra & Pacheco, 2012)

**Confiabilidad:** Es la posibilidad de que un artículo, componente, equipo, máquina o sistema, realice su función determinada dentro de un proyecto, de acuerdo con las condiciones de operación, dentro de un período de tiempo definido. (Caipo, 2019)

**Disponibilidad:** La disponibilidad es la probabilidad de que un sistema esté en funcionamiento o listo para usarse. En otras palabras, puede describirse como el período de tiempo en que el activo debe estar en funcionamiento. Para calcular la disponibilidad, hay que comparar las horas en las que el activo estuvo disponible con las horas de trabajo planificadas. (Caipo, 2019)

**Diagnóstico:** proceso de evaluación el cual basado en técnicas normativas, pueden revelar la condición de una maquina eléctrica en un periodo de evaluación determinada. (García, 2022)

**Arco Eléctrico:** También conocido como arco voltaico es una descarga que se presenta entre dos puntos los cuales están sometidos a una diferencia de potencial.

**Baker AWA 12 KV:** Equipo compacto, para usos en campo y laboratorio, cuya función principal evaluar las condiciones eléctricas de una máquina, pero fuera de operación, es decir des-energizado, libre de conexión eléctrica (línea eléctrica - carga), estos pueden determinar condiciones mediante pruebas de desbalance resistivo, hipot, surge, descargas parciales, entre otros. Mientras el motor este montado o desmontado (por partes). (Pinto, 2019)

**Baker Explorer 4000:** Equipo compacto, para usos en campo o laboratorio, cuya función principal es analizar el motor en marcha en condiciones de funcionamiento regulares, en trabajo operacional. Monitorea, registra, analiza tendencias de parámetros como: voltaje, corriente, factor de potencia, pérdidas, distorsión armónica,, transitorios; asimismo, con estos datos pudiendo dimensionar otros parámetros relacionados directamente: calidad de energía, la condición de las barras del rotor, el porcentaje de carga, el porcentaje de eficiencia, el valor torque promedio, el rizado de torque mostrando las variaciones dentro del proceso, el monitoreo de los arranques del motor (voltaje, corriente y torque), entre otros (Ponce, 2017)

### **III. VARIABLES E HIPOTESIS**

#### **3.1.Operacionalización de las Variables**

Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, operacionalizamos determinando las variables e indicadores que a continuación se mencionan:

**Tabla 9***Operacionalización de variables*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
X:  Los ensayos en mantenimientos programados.	El análisis de resultados de los ensayos, es un proceso post experimental, donde su principal objetivo es interpretar fallas, anomalías o tendencias en las maquinas eléctricas en evaluación.	Proceso de evaluación aislada y por etapas, que nos permite determinar con cierto grado de precisión la condición actual de las variables físicas de funcionamiento de los motores eléctricos de anillos rozantes.	Análisis Estático	R. A. (PI - DA)	$\Omega$ , $K\Omega$ , $M\Omega$ , $G\Omega$
				R	$\Omega$ , $m\Omega$ , $\mu\Omega$
				L	1 KHz 120 Hz
				Prueba relación de transformación	a, n, I, V
				Prueba de Rotor Bloqueado	V, I, P
				Prueba de Núcleo Magnético	B, $\emptyset$ , f, n, A, V, I
				Impedancia 10 - 30	V, I, $Z1\emptyset$ , $Z3\emptyset$
				Metrología (presión)	Kg-f
				Metrología (distancias)	mm
				Análisis Dinámico	Prueba de vacío
Balaceo Estático-Dinámico	1x, 2x, 3x, ..., n				

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítem	
Y: Diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas de rotativas de rozantes de media tensión.	El diagnóstico temprano de fallas en las máquinas eléctricas, es la consecuencia de realizar un análisis de resultados, donde se determinó un déficit, o comportamiento anómalo que nos permita predecir con algún grado de precisión, el elemento o sistemas observados (disponibilidad o – confiabilidad futura)	Proceso, técnicas o procedimientos de evaluación que nos permite mediante los ensayos, determinar, afirmar, evidenciar elementos, mecanismos, sistemas u otros. que nos permite determinar tempranamente la materialización de las fallas.	Técnicas Predictivas Estáticas (Baker – SKF AWA IV)	R. A. (DA - PI)	$\Omega$ , K $\Omega$ , M $\Omega$ , G $\Omega$	
				R	$\Omega$ , m $\Omega$ , $\mu\Omega$ ,	
				L	1 KHz 120 Hz	
				SURGE - HIPOT	Espectro, $\mu$ A	
				Descargas Parciales	Q	
				Parámetros Nominales	V, I, P, To	
				Técnicas Predictivas Dinámicas (Baker EXP 4000)	Espectros	
					Transitorios	
					Eficiencia	$\eta$
					Análisis Paramétrico	
		Monitoreo de Condición	Análisis Termográfico	$^{\circ}$ C		
			Análisis Vibracional	V[mm/s] a[g.]		

Nota. Matriz de Operacionalización de Variables. Fuente: Propio

## **3.2.Hipótesis de la investigación**

### **3.2.1. Hipótesis General**

**Hi:** Los ensayos en mantenimientos programados permiten el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión, Villa El Salvador 2023.

**Ho:** Los ensayos en mantenimientos programados no permiten el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión, Villa El Salvador 2023.

### **3.2.2. Hipótesis Especificas**

HE1: El análisis de ensayos en mantenimientos programados permiten el uso de Técnicas Predictivas estáticas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.

HE2: El análisis de ensayos en mantenimientos programados permiten el uso de Técnicas Predictivas dinámicas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.

HE3: El análisis de ensayos en mantenimientos programados permiten el monitoreo de condición en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.

## IV. METODOLOGIA

### 4.1. Diseño de Investigación

El diseño de una investigación está determinado por el tipo de estudio a realizarse y por la hipótesis planteada. (Inacio y otros, 2022) Entonces, dado estas consideraciones, podemos afirmar que el presente trabajo tiene un diseño de Investigación del Tipo **Experimental**, y dado que: Permite operacionalizar las variables independientes para impactar en las variables dependientes; Permite medir las variables dependientes; Permite controlar y validar; Permite realizar análisis comparativo entre grupos; Permite la selección aleatoriamente de involucrados, es del tipo **Experimental Puro**. (Sampieri, 2018)

### 4.2. Descripción de la Metodología

La presente investigación reúne las condiciones metodológicas de acuerdo a la naturaleza y nivel, las características de un estudio cuantitativo, deductivo, aplicada, explicativo, experimental.

Durante el proceso de investigación para demostrar y comprobar la hipótesis se aplicarán los métodos que a continuación se indican:

- Histórico: Mediante este método se conoció la evolución histórica que ha experimentado el problema de investigación.
- Comparativo: Mediante este método, se hace una comparación entre tipos de ensayos aplicando diferentes métodos.

### 4.3. Implementación de la Investigación

El presente trabajo de investigación abordara los objetivos de la siguiente manera:

- Revisión bibliográfica y desarrollo estructural del tema de investigación.
- Identificación de matriz de interesados, tramitar los permisos requeridos por los involucrados de mayor poder.
- Desarrollo del plan de abordaje del tema de investigación.
- Iniciar etapa de adquisición y procesamiento de datos.
- Desarrollo de objetivos, resultados, discusiones y conclusiones.
- Presentación de resultados, difusión a comunidad interesada.

Los tipos de análisis experimentales a realizar los clasificamos en cinco **Dimensiones**, en donde cada uno internamente tiene **Indicadores** en las cuales se realizan diferentes ensayos, bajo criterios normativos descritos en adelante. Podemos mencionar las cinco Dimensiones:

- Análisis Estático
- Análisis Dinámico
- Técnicas Predictivas Estáticas
- Técnicas Predictivas Dinámicas
- Monitoreo de Condición

#### 4.3.1. Datos de maquina eléctrica

**Tabla 10**

*Placa de datos de Motor Asíncrono Trifásico de Anillos Rozantes.*

---

**3 – PHASE INDUCTION MOTOR**

---

	<b>HP 8000 KW</b>	<b>TYPE</b>		
		<b>FRAME</b>	1120	TEAAC
<b>VOLTS</b>	13800	<b>PHASE</b>	3	<b>KVA CODE</b>
<b>AMPS</b>	408	<b>AMB.</b>	30 °C	<b>INS. CL.</b> F
<b>Hz</b>	60	<b>S.F.</b>	1.0	<b>RATING CONT.</b>
<b>RPM</b>	896	<b>BEARINGS</b>		RENK 22-225/22 - 250
<b>SEC. V</b>	2815	<b>SEC. A.</b>	1647	<b>DESIGN</b>
<b>SERIAL NO.</b>				<b>WEIGHT 57200 KGS</b>

---

**SIEMENS**  
**MOTOR COMPANY**

---

*Nota.* Motor Siemens. Fuente: Propio

**Figura 38**

*Motor asíncrono trifásico de anillos rozantes Siemens*



*Nota.* Vista Isométrica del modelo de estudio. Fuente: Propio

#### 4.3.2. Descripción de Maquinas – Equipos - Instrumentos

- Regulador trifásico - Asíncrono de anillos rozantes de **150 KVA**
- Variac monofásico **TDGC2 – 3 kVA**
- Autotransformador trifásico de **100 kVA**
- Maletas de prueba estáticas **Baker SKF AWA IV + Power Pack**
- Maletas de prueba **OMICRON CPC 100, CP TD1, CP CR500 y MPD800.**
- Maletas de prueba dinámicas **Baker EXP 4000**
- Micro Ohmímetro **MPK 253 - 256**
- Megohmetro Megabras **MD 5060X**
- Analisador **DSP Logger Expert**
- Analisador **ADASH A4900 – Vibrio Exp.**
- Controlador PID de 4 Canales – **PID QUADRO – EMKO**
- Multímetro **Fluke 87 V**
- Amperímetro **Fluke 902 F**
- Inductometro **BK Precisión 878B**
- Balanza electrónica de Precisión **F3000 – 2c - ARMOTEC**
- Brújula con Clinómetro orientación profesional IP65
- Núcleo tipo jaula de ardilla (Escala – 2.5 in)
- Dinamómetro Mecánico **25N SAUTER 283-422**
- Micrómetro de exterior standard **Mitutoyo 25 mm – 50 mm**
- Calibrador Vernier **Mitutoyo 6” – 150 mm 530 - 104**
- Juego de Laminas **Mitutoyo 184 – 313S**

### 4.3.3. Pruebas Realizadas

#### 4.3.3.1. Análisis Estático

##### 4.3.3.1.1. Condiciones de recepción:

la recepción del presente motor fue en taller, para su mantenimiento y reparación programadas, en malas condiciones físicas, con signos de embalaje posterior a traslado en transporte terrestre.

##### 4.3.3.1.2. Medida de R. de Aislamiento - Estator

En la siguiente tabla se registra una evidente degradación del aislamiento eléctrico en el interior (devanado, núcleo ferromagnético) y exterior (en salidas principales, barras de conexión, aisladores). Esta condición se confirma con el proceso de medición de resistencia de aislamiento. Donde emite valores por debajo de los admitidos por norma.

**Tabla 11**

*Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento en el ESTATOR.*

*Condiciones: V (.5000) T (27 °C) HR (58 %) T<sub>Bob.</sub> (25 °C)*

		Bornes	R.A. [ $\Omega$ ]	DA	PI
Estator	Devanado	(U1+U2) Vs (V1+V2+ W1+W2+Masa)	500 M $\Omega$	0.98	-
		(V1+V2) Vs (W1+W2+ U1+U2+Masa)	841 M $\Omega$	1.0	-
		(W1+W2) Vs (U1+U2+ V1+V2+Masa)	687 M $\Omega$	0.99	-
	Conex. ( $\Delta$ )	(U1+U2+ V1+V2+ W1+W2) Vs (Masa)	3.77 G $\Omega$	1.41	4.40

*Nota.* Meghometro Megabras MD 5060X. Fuente: Propio

### 4.3.3.1.3. Medida de R. de Aislamiento - Rotor

Nuestro modelo de estudio presenta un devanado rotórico con salidas con conexión por tramos:

- Tramo 1: Devanado rotórico – Terminal de block de anillos.
- Tramo 2: Block de anillos – Escobillas – Sistema porta escobillas.
- Tramo 3: Sistema porta escobilla – Salidas (4 cables paralelo por fase).
- Tramo 4: Salidas (4 cables paralelo por fase – Barras de conexión (soportado por aisladores).

En los devanados con muy bajo nivel de resistencia óhmica y alto consumo de corriente, suelen adquirir características hidroscopias, esto como consecuencia a la exposición permanente y excesivas temperaturas, donde los materiales aislantes pierden de manera acelerada y permanentemente las propiedades del aislamiento. Las principales evidencias son, resequedad, decoloración, deformaciones, solturas en cuñas, solturas en anillos, solturas en uniones pernadas, etc.

**Tabla 12**

*Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento en el ROTOR.*

*Condiciones: V (. 2500) T (27 °C) HR (58 %) T<sub>Bob.</sub> (25 °C)*

	Bornes	R.A. [ $\Omega$ ]	DA	PI	
Rotor	Devanado+ Anil. + Sist. Port. + Salidas	(K + L+ M) Vs (Masa)	117 M $\Omega$	0.98	1.25
	Devanado + Block De Anillos	Anillos (1+2+3) Vs (Masa)	1.09 G $\Omega$	1.12	2.53
	Sistema Porta Escobillas	(K+K') Vs (L+L'+M+M'+ Masa)	377 M $\Omega$	1.22	-
		(L+L') Vs (M+M'+K+K'+ Masa)	285 M $\Omega$	1.18	-
		(M+M') Vs (K+K'+L+L'+ Masa)	353 M $\Omega$	1.05	-
	Salidas	(K*) Vs (L* + M* + Masa)	610 M $\Omega$	1.19	-
		(L*) Vs (M* + K* + Masa)	589 M $\Omega$	1.22	-
(M*) Vs (K* + L* + Masa)		797 M $\Omega$	1.28	-	

*Nota.* Medición con Meghometro Megabras MD 5060X. Fuente: Propio

#### 4.3.3.1.4. Medida de Resistencia Óhmica

el estator presenta 6 salidas, dado esta condición se tomó registro de mediciones por bobina, en conexión de funcionamiento ( $\lambda$ ), en conexión de verificación ( $\Delta$ )

**Tabla 13**

*Registro de Pruebas de Resistencia Óhmica del ESTATOR.*

		Bornes	R [m $\Omega$ ]
Estator	Por Bobina	U1 – U2	51.21
		V1 – V2	54.23
		W1 – W2	54.32
	Conexión ( $\Delta$ )	U1 – V1	39.68
		V1 – W1	39.63
		W1 – U1	39.67
	Conexión ( $\lambda$ )	U1 – V1	118.41
		V1 – W1	118.46
		W1 – U1	118.55

*Nota.* Medición con Micro ohmímetro MPK 253. Fuente: Propio

el rotor presenta 3 barras de conexión (K – L – M), donde están interconectados por tramos, esta distribución esta detallado en los apartados anteriores.

Cabe aclarar las mediciones dado que en la medición K-L-M, se está contemplado la resistencia óhmica del devanado rotórico + las escobillas + las uniones pernadas + las salidas principales. por ende, el valor obtenido se incrementa de manera porcentual, pero este ha de ser similares en las tres fases, dado que todas tienen similares condiciones, en cantidad, en distribución, en conexión.

**Tabla 14**

*Registro de Pruebas de Resistencia Óhmica del ROTOR.*

		TRAMO	BORNES	R [m $\Omega$ ]
Rotor ( $\Delta$ )	Desde - Salidas		K – L	7.919
			L – M	7.906
			M – K	7.921
	Desde - Block De Anillos		1 – 2	7.890
			2 – 3	7.886
			3 – 1	7.891

*Nota.* Medición con Micro ohmímetro MPK 253. Fuente: Propio

#### 4.3.3.1.5. Prueba de Relación de Transformación

Iniciamos el ensayo calculando la relación de transformación teórico; es decir, tomando la referencia los datos de placa.

**Tabla 15**

*Calculo teórico de Relación de Transformación del ESTATOR - ROTOR.*

1° Estator ( $\Lambda$ )			2° Rotor ( $\Delta$ )			V	I
Bornes	V [V]	I [A]	BORNES	V [V]	I [A]	R.T.	R.T.
U1 – V1	13800	408	K – L	2815	1647		
V1 – W1	13800	408	L – M	2815	1647	4.90	4.036
W1 – U1	13800	408	M – K	2815	1647		

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE. Fuente: Propio

Entonces iniciamos los ensayos experimentales con las siguientes condiciones:

- El Estator se conectó en conexión estrella, posterior a ello energizamos con una red trifásica regulada, registrando la tendencia tensión y corriente.
- El rotor esta desconectado del sistema de arranque nativo, con las tres salidas en circuito abierto (K-L-M). en esa condición se registra la tensión inducida.

**Tabla 16**

*Registro de Pruebas Relación de transformación del ESTATOR - ROTOR.*

1° Estator ( $\Lambda$ )			2° Rotor ( $\Delta$ )			
Bornes	V [V]	I [A]	Bornes	V [V]	R.T.	
U1 – V1	605	5.62	K – L	123.5	4.89	
V1 – W1	608	5.63	L – M	122.8	4.95	4.923
W1 – U1	606	5.65	M – K	122.9	4.93	

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE. Fuente: Propio

Dado nuestro análisis, podemos afirmar, que la relación de transformación experimental 4.92 difiere en un 0.4 %, respecto al teórico 4.90.

### 4.3.3.1.6. Prueba de Rotor Bloqueado

El presente ensayo se realizó con las siguientes condiciones:

- El Estator se conectó en conexión estrella, posterior a ello energizamos con una red trifásica variable, incrementando la tensión gradualmente, verificando permanentemente que la corriente estático - rotórico de línea en ningún caso debe rebasar la corriente nominal de placa.
- El rotor esta desconectado del sistema de arranque nativo, pero con las tres salidas en cortocircuito (K-L-M)
- Finalmente registramos en Estator (V, I) y Rotor (I).

**Tabla 17**

*Registro de Pruebas de Rotor Bloqueado a MOTOR.*

1° Estator ( $\lambda$ )			2° Rotor ( $\Delta$ )		Perdidas
Bornes	V [V]	I [A]	Bornes	I [A]	P [W]
U1 – V1	1498.9	225.9	K – L	1107.43	
V1 – W1	1500.3	226.4	L – M	1109.88	13.8 kW
W1 – U1	1499.3	225.6	M – K	1105.9	
Ponderado	1499.5	225.9	Ponderado	1107.7	

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE. Fuente: Propio

Dado los valores experimentales registrados, procedemos a realizar el cálculo denominado proyección, con el objetivo de determinar el valor porcentual de tensión de cortocircuito; asimismo, verificar la inclusión en los rangos normativos.

**Tabla 18**

*Registro de Pruebas de Rotor Bloqueado a el MOTOR.*

1° Estator ( $\lambda$ )			2° Rotor ( $\Delta$ )		Perdidas
Experimental					
Ponderado	V [V]	I [A]	Ponderado	I [A]	P [W]
	1499.5	225.9		1107.7	13.8 kW
Proyección					
1° Nominal	V [V]	I [A]	2° Nominal	I [A]	P [W]
	2813	408		1647	25 kW

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE. Fuente: Propio

Entonces, verificamos que la tensión de cortocircuito corresponde al 20 % de la tensión nominal. Por lo tanto, podemos verificar el buen estado del devanado rotórico y estático.

En adelante los registros de las tablas (x, x, x, x, x) corresponden a la maquina en estado de desmontaje. es decir, el rotor es retirado del alojamiento del estator, los elementos que componen el sistema porta escobillas dispuesto al block de anillos, están desmontados de la carcasa correspondiente al estator.

#### 4.3.3.1.7. Medida de R. Óhmica e Inductancia

Se realiza nuevamente las mediciones de resistencia óhmica, como confirmación. En adicional también se realiza una prueba denominada: mediciones de inductancia. esta medición no se puede realizar mientras este montado estator - rotor, dado que ambos presentan material ferromagnético “núcleo”, además sus respectivos devanados. Estos mencionados suelen tener influencia directa en los reportes obtenidos distorsionando la lectura.

**Tabla 19**

*Registro de Pruebas: Resistencia e Inductancia en ESTATOR.*

		Resis. - R		Inductancia - L	
		Bornes	R [mΩ]	1 KHz [mH]	120Hz[mH]
Estator	Por Bobina	U1 – U2	51.21	7.812	7.915
		V1 – V2	54.23	7.811	7.912
		W1 – W2	54.32	7.816	7.916
	Conexión (Δ)	U1 – V1	39.68	6.705	6.808
		V1 – W1	39.63	6.701	6.802
		W1 – U1	39.67	6.702	6.804
	Conexión (λ)	U1 – V1	118.41	20.306	20.406
		V1 – W1	118.46	20.318	20.414
		W1 – U1	118.55	20.316	20.415

*Nota.* Medición con Micro Ohmímetro MPK 253 / Inductometro BK Precisión 878B. Fuente: Propio

**Tabla 20***Registro de Pruebas: Resistencia e Inductancia en ROTOR.*

		Bornes	Resist. - R		Inductancia - L	
			R [ $m\Omega$ ]	1 KHz [ $mH$ ]	120Hz [ $mH$ ]	
Rotor ( $\Delta$ )	Block De Anillos	1 – 2	7.889	1.3354	1.5054	
		2 – 3	7.896	1.3355	1.4955	
		3 – 1	7.881	1.3350	1.5050	

*Nota.* Medición con Micro Ohmímetro MPK 253 / Inductometro BK Precisión 878B. Fuente: Propio

Estas mediciones se realizan necesariamente desconectados devanado rotor con block de anillos, en nuestro modelo evidencia una unión tipo puente mediante platina con sujeción pernada, en caso de tener unión soldada, estaríamos imposibilitados de realizar estas pruebas.

La medición de resistencia óhmica nos garantiza la adherencia optima entre puntos de unión y sujeción. Pudiendo estar con soldadura o grapas pernadas entre otros. Este resultado de resistencia tendría que ser la menor posible para evitar una oposición al flujo de corriente y en consecuencia un incremento focalizado de temperatura, ocasionando daños prematuros como solturas y envejecimiento de aislamientos.

**Tabla 21***Registro de Pruebas: Resistencia e Inductancia en BLOCK de ANILLOS.*

		Bornes	Resist. - R		Inductancia - L	
			R [ $\mu\Omega$ ]	1 KHz [ $\mu H$ ]	120Hz [ $\mu H$ ]	
Block de Anillos	Anillo K -	K – 1	60	3.3	4.0	
	Contacto	K – 2	55	3.3	4.0	
	Anillo L -	L – 1	58	3.3	4.0	
	Contacto	L – 2	53	3.3	4.0	
	Anillo M -	M – 1	55	3.3	4.0	
	Contacto	M – 2	59	3.3	4.0	

*Nota.* Medición con Micro Ohmímetro MPK 253 / Inductometro BK Precisión 878B. Fuente: Propio

#### 4.3.3.1.8. Prueba de Impedancia Z1Ø - Z3Ø

El principal objetivo de esta prueba radica en confirmar los valores obtenidos en las mediciones de resistencia e inductancia, esta confirmación la conseguimos energizando al estator y rotor de manera independiente, registrando tensión y corriente, con estos resultados pudiendo calcular la impedancia experimental, y contrastar con los obtenidos de manera teórica.

Asimismo, durante la energización de la maquina se procede a utilizar equipos como brújula y núcleo rotórico tipo jaula a escala, con el propósito de verificar la concordancia de cantidad de números polos magnéticos y el giro constante en toda el área de acción del estator y rotor respectivamente.

**Tabla 22**

*Registro de Pruebas: Impedancia Monofásica y Trifásica en el ESTATOR.*

		Bornes	V [V]	I [A]	Polos	Z
Estator en Conexión	Conexión (Δ)	U1 – V1	204	77.7	8	1Ø 1°; 2° Conect. 3° Libre
		V1 – W1	206	78.1	8	
		W1 – U1	206	78.3	8	
		U1 – V1	349.3	153.4	-	3Ø 1°; 2°; 3° Conectado.
		V1 – W1	351.1	152.9	-	
		W1 – U1	349.9	152.6	-	
	Conexión (Λ)	U1 – V1	480.2	60.5	8	1Ø 1°; 2° Conect. 3° Libre
		V1 – W1	479.3	60.6	8	
		W1 – U1	480.4	60.4	8	
		U1 – V1	728	100	-	3Ø U2-V2-W2 Conectado.
		V1 – W1	725	101	-	
		W1 – U1	722	99.7	-	

*Nota.* Medición Multímetro - Amperímetro FLUKE. / Brújula / Laina. Fuente: Propio

**Tabla 23**

*Registro de Pruebas: Impedancia Monofásica y Trifásica en el ROTOR.*

	Bornes	V [V]	I [A]	Polos	Z
Rotor ( $\Delta$ )	K – L	77.8	170.3	8	En Conexión
	L – M	77.7	170.7	8	1 $\emptyset$ K, L Conectado
	M – K	78.8	170.5	8	M Libre
	K – L	99.9	224.3	-	En Conexión
	L – M	98.5	226.4	-	3 $\emptyset$ 1°; 2°; 3°
	M – K	98.2	223.7	-	Conectado.

*Nota.* Medición Multímetro - Amperímetro FLUKE. / Brújula / Laina Fuente: Propio

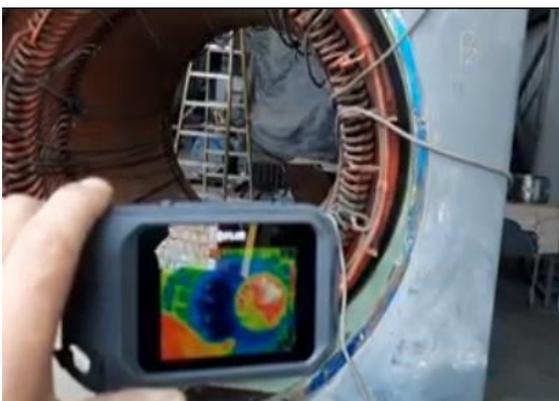
#### 4.3.3.1.9. Prueba de Núcleo Magnético LOOP TEST

El propósito de la prueba consiste en identificar las áreas o zonas donde evidencien excesivo incremento de calor focalizado en corto tiempo. Esto es ocasionado por excesivo contacto entre chapas Hierro-Silicoso, ocasionando el incremento gradual y proporcional de las corrientes parasitas, generando como consecuencia excesivas perdidas en forma de calor, ocasionando desgastes prematuros de aislamientos.

Estos excesivos contactos entre laminas del núcleo pueden ser ocasionados por múltiples factores: humedad “condensación” generando corrosión oxidación en caras externas de las chapas o laminas del núcleo; ingreso de elementos contusos en el entrehierro; descargas prematuras entre estator rotor “arco eléctrico”

**Figura 40**

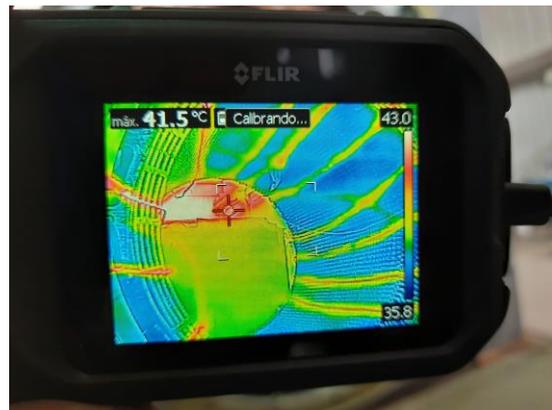
*Monitoreo de condición en ESTATOR*



*Nota.* Cámara termográfica. Fuente: Propio

**Figura 39**

*Monitoreo de condición en ESTATOR*



*Nota.* Cámara termográfica. Fuente: Propio

**Tabla 24***Registro de variables de prueba de LOOP TEST en el ESTATOR.*

		Denominación	Unidad	
Condiciones Paramétricas Físicas y Eléctricas				
Estator	Longitud Activa	Longitud	cm	112
	Ancho de Corona	Longitud	cm	7.5
	Sección Transversal de Núcleo	Área	cm <sup>2</sup>	840
	Intensidad de Campo Magnético	B		16000
	Frecuencia	f	Hz	60
	Numero de espiras	n	#	16
	Constante de Prueba	k	k	4,44
	Voltaje por Espira	Voltios	V	35.8
	Voltaje de Prueba	Voltios	V	595.8
	Intensidad de Prueba	Amper	A	47.4
Condiciones Iniciales				
	Temperatura de Ambiente	T	°C	23
	Humedad Relativa	HR	%	74
	Temp. Inicial promedio de Núcleo	T	°C	25
Condiciones Finales				
	Tiempo de Prueba	Minutos	m'	30
	Temp. Final Promedio de Núcleo	T	°C	50
	Temp Focalizada Final	T	°C	53

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE. / Cámara Termográfica FLIR C3 / Flexómetro / Vernier. Fuente: Propio

**Figura 41***Prueba de Loop Test en ESTATOR*

*Nota.* Espiras de Prueba. Fuente: Propio

**Tabla 25***Registro de variables de prueba de LOOP TEST en el ROTOR.*

		Denominación	Unidad	
Condiciones Paramétricas Físicas Y Eléctricas				
<b>ROTOR</b>	Longitud Activa	Longitud	cm	112
	Ancho de Corona	Longitud	cm	12
	Sección Transversal de Núcleo	Área	cm <sup>2</sup>	1349
	Intensidad de Campo Magnético	B		12000
	Frecuencia	f	Hz	60
	Numero de espiras	n	#	12
	Constante de Prueba	k	k	4,44
	Voltaje por Espira	Voltios	V	43
	Voltaje de Prueba	Voltios	V	513.5
	Intensidad de Prueba	Amper	A	57.2
Condiciones Iniciales				
	Temperatura de Ambiente	T	°C	22
	Humedad Relativa	HR	%	75
	Temp. Inicial promedio de Núcleo	T	°C	25
Condiciones Finales				
	Tiempo de Prueba	Minutos	m'	30
	Temp. Final Promedio de Núcleo	T	°C	51
	Temp. Focalizada Final	T	°C	50

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE. / Cámara Termográfica FLIR C3 / Flexómetro / Vernier. Fuente: Propio

**Figura 42***Prueba de Loop Test en ROTOR*

*Nota.* Espiras de Prueba. Fuente: Propio

#### 4.3.3.1.10. Metrología Dimensional

Este procedimiento se realiza en dos ocasiones, durante la recepción y las pruebas finales. En la primera ocasión se verifica el estado en el cual se encontraba funcionando, generalmente estos suelen estar con escobillas desgastadas, con los flejes deformados y descalibrados en presión esto como consecuencia de la reducción de tamaño radial; ciclos repetitivos de golpeteo; exposición a variaciones de temperatura permanente como consecuencia de flujo de altas corriente.

**Tabla 26**

*Registro de prueba de Presión al Sist. Porta Escobilla principal*

	Denominación	Unidad
Cajetín		
Cantidad (fase K)	Pzas.	14
Cantidad (fase L)	Pzas.	14
Cantidad (fase M)	Pzas.	14
Escobillas		
Cantidad	Pzas.	52
Grado		VEM - 6817 - 5487552
Dimen. (axial x tangencial x radial)	mm.mm.mm	19.85 x 39.10 x 38.05
Fleje		
Cantidad	Pzas.	52
Presión	gr/ cm <sup>2</sup>	167 - 179
Distancias		
Cajetín – anillo (fase K)	mm	2.30
Cajetín – anillo (fase L)	mm	3.03
Cajetín – anillo (fase M)	mm	2.82

*Nota.* Medición con Dinamómetro 5 Kg / Flexómetro / Vernier. Ver. **Tabla 77**, **Tabla 78**. Fuente: Propio

La forma de evaluación del sistema porta escobilla línea tierra es similar a la anterior, pero con la salvedad que esta no suele estar en contacto con temperaturas altas, pero si presenta exposición a la intemperie, estando en contacto permanente con la humedad, grasas, aceites entre otros agentes de uso regular durante los monitoreos de condición, paradas de planta o mantenimientos.

**Tabla 27***Registro de prueba de Presión a el Sist. porta escobilla Tierra.*

	Denominación	Unidad
Cajetín		
Cantidad	Pzas.	2
Escobillas		
Cantidad	Pzas.	2
Grado		VEM – 7620 – BB2
Dimen. (axial x tangencial x radial)	mm.mm.mm	7.90 x 19.85 x 30.64
Fleje		
Cantidad		2
Presión		172
Distancias		
Cajetín – eje (fase M)	mm	3.82

*Nota.* Medición con Dinamómetro 5 Kg / Flexómetro / Vernier. Ver. **Tabla 77**,

**Tabla 78.** Fuente: Propio

#### 4.3.3.1.11. Accesorios - Sensores de Bobinado

En los siguientes cuadros se registran los resultados obtenidos de pruebas rutinarias a elementos de control, monitoreo y protección. Estos son condicionantes de funcionamiento utilizados como receptores de la temperatura de los devanados, las cuales están en ubicados en lados activos de los devanados de cada fase.

Estos sensores de temperatura son regularmente los RTD - PT 100 de 2 o 3 hilos las cuales vienen de diferentes presentaciones:

- Para los devanados: tipo galga
- Para los rodamientos tipo sonda
- Para los fluidos “aceite y aire “tipo bulbo

Estos sensores tienen como medio de conexión conductores de largas longitudes con coberturas superficiales denominados pantallas para repeler la distorsión de tensiones estáticas e inducidas, ocasionado por las tensiones de funcionamientos regulares del Estator - Rotor.

#### 4.3.3.1.11.1. Medida de R. de Aislamiento

**Tabla 28**

*Registro de Pruebas de R. Aislamiento de sensores del devanado ESTAT.*

*Condiciones: V (500) T (27 °C) HR (58 %) T<sub>Bob.</sub> (25 °C)*

Fase	Sensor	Bornes	R.A. [GΩ]	DA
U	1	(R+B+B) Vs (Masa)	4.39	1.12
	4	(R+B+B) Vs (Masa)	3.89	1.01
	7	(R+B+B) Vs (Masa)	5.24	0.99
V	2	(R+B+B) Vs (Masa)	8.33	0.99
	5	(R+B+B) Vs (Masa)	4.99	1.09
	8	(R+B+B) Vs (Masa)	6.87	0.94
W	3	(R+B+B) Vs (Masa)	4.39	1.01
	6	(R+B+B) Vs (Masa)	7.998	1.00
	9	(R+B+B) Vs (Masa)	6.33	0.99

*Nota.* Medición con Meghometro Megabras MD 5060X. Fuente: Propio

#### 4.3.3.1.11.2. Medida de Resistencia Óhmica

**Tabla 29**

*Registro de Pruebas de R. Óhmica de sensores del devanado ESTAT.*

*Condiciones: T (27 °C) HR (58 %) T<sub>Bob.</sub> (25 °C)*

Fase U		Fase V		Fase W				
Bornes	R [Ω]	Bornes	R [Ω]	Bornes	R [Ω]			
1	B - R	112	B - R	112	B - R	111.9		
	B - R	111.9	2	B - R	112	3	B - R	111.9
	R - R	0.6	R - R	0.8	R - R	0.6		
4	B - R	111.9	B - R	111.8	B - R	112		
	B - R	111.9	5	B - R	112	6	B - R	112
	R - R	0.7	R - R	0.7	R - R	0.6		
7	B - R	112.1	B - R	112	B - R	112.1		
	B - R	112.0	8	B - R	111.9	9	B - R	112.1
	R - R	0.6	R - R	0.6	R - R	0.6		

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE.

### 4.3.3.1.12. Accesorios - Sensores de Chumaceras

#### 4.3.3.1.12.1. Medida de R. de Aislamiento

**Tabla 30**

*Registro de Pruebas de R. Aislamiento de sensores Tipo BULBO.*

*Condiciones: V (500) T (27 °C) HR (58 %) T<sub>Bob.</sub> (25 °C)*

	Sensor	Bornes	R.A. [GΩ]	DA
1	Lado No Acople (P1)	(R+B+B) Vs (Bulbo)	45.8	1.20
2	Lado Acople (P2)	(R+B+B) Vs (Bulbo)	75.9	1.02
3	Lado Acople (P2)	(R+B+B) Vs (Bulbo)	46.35	1.10
4	Cabina Sist. Portaescobi.	(R+B+B) Vs (Bulbo)	36.8	0.99
5	Medio (L. Conex.)	(R+B+B) Vs (Bulbo)	47.26	1.25
6	Medio (L. No Conex.)	(R+B+B) Vs (Bulbo)	57.89	0.98

*Nota.* Medición con Meghometro Megabras MD 5060X. Fuente: Propio

#### 4.3.3.1.12.2. Medida de Resistencia Óhmica

**Tabla 31**

*Registro de Pruebas de R. Óhmica de sensores Tipo BULBO.*

*Condiciones: T (27 °C) HR (58 %) T<sub>Bob.</sub> (25 °C)*

L. No Acople (P1)		L. Acople (P2)		L. Acople (P2)				
Bornes	R [Ω]	Bornes	R [Ω]	Bornes	R [Ω]			
	B - R	112.2	B - R	112.3	B - R	111.9		
1	B - R	111.9	2	B - R	112.0	3	B - R	111.9
	R - R	0.7		R - R	0.6		R - R	0.7
Cabina Sist. Portaes.		Medio (L. Conex.)		Medio (L. No Conex.)				
Bornes	R [Ω]	Bornes	R [Ω]	Bornes	R [Ω]			
	B - R	112.0	B - R	112	B - R	112		
4	B - R	112	5	B - R	112	6	B - R	112
	R - R	0.8		R - R	0.7		R - R	0.8

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE.

Estas pruebas están orientadas a los sensores de fijación superficial, donde se puede tener contacto con el punto de recepción de temperatura, es decir a aquellos sensores que son fácilmente extraíbles (desmontables).

Nota: todas las pruebas antes realizadas a sensores se realizan necesariamente cuando estén desconectadas de algún sistema de monitoreo como controlador, transmisor. Exclusivamente a el sensor de manera independiente de alguna conexión física.

#### 4.3.3.1.12.3. Prueba de Sensibilidad – t[s] Vs T[°C]

La prueba consiste en contrastar los valores que registra cada sensor probado de manera individual. Este sistema de prueba está compuesto por un recipiente hermético con un fluido en el interior “agua”. En la parte superior presenta tres cavidades: uno para inyección del fluido de prueba, uno para el sensor tipo bulbo calibrado, uno para el sensor la cual será objeto de prueba.

Estos sensores emiten valores de resistencia las cuales son convertidos mediante un transmisor – controlador a valores de temperatura, las cuales serán registrados.

**Tabla 32**

*Registro de Pruebas de sensibilidad de t[S]-T[°C] a sensor Tipo BULBO.*

L. No Acople (P1)			L. Acople (P2)			L. Acople (P2)		
t [s]	T [°C]*	T [°C]	t [s]	T [°C]*	T [°C]	t [s]	T [°C]*	T [°C]
0	25	26	0	25	26	0	25	26
6	50	49	6	50	49	6	50	30
8	65	64	8	65	64	8	65	40
1	10	81	2	10	81	3	10	52
	12	89		12	89		12	62
	14	98		14	98		14	70
$\Delta \approx$ Aceptable			$\Delta \approx$ Aceptable			$\Delta \approx$ Observado		
Cabina Sist. Portaes.			Medio (L. Conex.)			Medio (L. No Conex.)		
t [s]	T [°C]*	T [°C]	t [s]	T [°C]*	T [°C]	t [s]	T [°C]*	T [°C]
0	25	26	0	25	26	0	25	26
6	50	49	6	50	49	6	50	49
8	65	64	8	65	64	8	65	64
4	10	81	5	10	81	6	10	81
	12	89		12	89		12	89
	14	98		14	98		14	98
$\Delta \approx$ Aceptable			$\Delta \approx$ Aceptable			$\Delta \approx$ Aceptable		

*Nota.* Medición con Controlador PID Autonics.

Nota:

- T [°C]\* indica la Temperatura de bulbo calibrado (referencia).
- El Fluido utilizado como medio de prueba es “AGUA”.
- El fluido está siendo calentado mediante resistencias calefactoras.

En esta prueba podemos identificar a todos los sensores con sus respectivas numeraciones, donde registramos mediante tiempos cronometrados, los valores de temperatura que ambos sensores indican mediante pantalla de transmisor-controlador.

Asimismo, el sensor tres emite una alerta, por alerta de retardo, realizando una inspección física exhaustiva, evidencia un aplastamiento que pasa desapercibido, a simple vista. Se recomendó cambiar.

#### 4.3.3.1.13. Accesorios – Resistencias Calefactoras (Heater)

La presenta maquina tiene aplicación directa en minería, esta razón la ubica a condiciones geográficas agrestes de presión – temperatura. Las cuales fueron contemplados en diseño durante su fabricación. En consecuencia, estas máquinas presentan resistencias calefactoras ubicadas estratégicamente en el interior del motor. Cuya función principal es preservar una temperatura recomendada en fabrica.

Dado esta condición, en adelante realizamos pruebas eléctricas de resistencia de aislamiento, resistencia óhmica, alimentación, con el propósito de verificar la correspondencia entre los valores experimentales respecto los teóricos (indicados en placa de datos), y finalizando con un reporte de estado según sea su condición.,

**Tabla 33**

*Registro paramétrico de Datos Nominales de HEATER en placa.*

Grupo	Detalles	Heater	Vn	Pn
1HE1 – 1HE2	Bobinado. – L. Conexión	1//2//3//4	230	4 x 160 W
2HE1 – 2HE2	Bobinado. – L. No Conex.	5//6//7//8	230	4 x 160 W
3HE1 – 3HE2	Sist. Porta escobillas.	9//10//11//12	230	4 x 160 W
		1// ... //12	230	1920 W
Vn: 220 ...240 V ± 10 %				

*Nota.* Inspección. Fuente: Propio

#### 4.3.3.1.13.1. Medida de R. de Aislamiento

**Tabla 34**

*Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento en HEATERS*

*Condiciones: V (500) T (27 °C) HR (58 %) T<sub>Bob.</sub> (25 °C)*

Grupo	Detalles	Heater	R.A. [MΩ]	DA
1HE1 – 1HE2	Bobina. – L. Conexión	1//2//3//4	200	1.15
2HE1 – 2HE2	Bobina – L. No Conexión	5//6//7//8	184	1.20
3HE1 – 3HE2	Sist. Porta-escobillas	9//10//11//12	240	1.17

*Nota.* Medición con Meghometro Megabras MD 5060X. Fuente: Propio

#### 4.3.3.1.13.2. Medida de Resistencia Óhmica

Los sensores presentan conexión grupal, es decir 3 grupos con 4 Heater's en paralelo por grupo, entonces se registró: resistencia óhmica en salida con 4 resistencia en paralelo (columna cinco); resistencia óhmica de manera independiente (columna cuatro).

**Tabla 35**

*Registro de pruebas de Resistencia Óhmica de HEATERS*

Grupo	Detalles	Heater	R. [Ω] c/u	R [Ω]
1HE1 – 1HE2	Bobin. – L. Conex.	1//2//3//4	362	93.2
2HE1 – 2HE2	Bobin. – L. No Conex.	5//6//7//8	365	93.7
3HE1 – 3HE2	Sist. Portaescob.	9//10//11//12	364	93.6

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE. Fuente: Propio

#### 4.3.3.1.13.3. Prueba de Energizado

Según placa indica como tensión de trabajo, entre el rango de 220 – 240 V, entonces para nuestra prueba optaremos la tensión ponderada y registraremos parámetros eléctricos medidos.

**Tabla 36***Registro de Pruebas de Energizado a HEATERS*

Grupo	Heater	V [V]	I [A]	P [W]	Pn
1HE1 – 1HE2	1//2//3//4	231.4	2.497	579.9	4 x 160 W
2HE1 – 2HE2	5//6//7//8	230.9	2.490	578.08	4 x 160 W
3HE1 – 3HE2	9//10//11//12	231.6	2.505	580	4 x 160 W
	1// ... //12	231.5		1740	1920 W

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE.**4.3.3.1.14. Pruebas de monitoreo - Estator / Rotor Desmontados**

Las siguientes pruebas corresponden las realizadas posteriores a trabajos de mantenimiento, las que podemos mencionar: mantenimiento integral, tratamiento térmico, trabajos de encapsulado al vacío.

**4.3.3.1.14.1. Medida de R. de Aislamiento**

Podemos evidenciar mejora concreta de la resistencia de aislamiento posterior a los trabajos realizados de mantenimiento, para someter a comparativa podemos recurrir a las **Tabla 50 / Tabla 64** para Estator / Rotor.

**Tabla 37***Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento en el ESTATOR.**Condiciones: V (5000) T (27 °C) HR (58 %) T<sub>Bob.</sub> (25 °C)*

	Bornes	R.A. [ $\Omega$ ]	DA	PI
Estator	(U1+U2) Vs (V1+V2+ W1+W2+Masa)	1.50 G $\Omega$	1.20	-
	(V1+V2) Vs (W1+W2+ U1+U2+Masa)	1.47 G $\Omega$	1.18	-
	(W1+W2) Vs (U1+U2+ V1+V2+Masa)	1.57 G $\Omega$	1.25	-
	(U1+U2) Vs (Masa)	2.23 G $\Omega$	1.15	-
	(V1+V2) Vs (Masa)	2.18 G $\Omega$	1.17	-
	(W1+W2) Vs (Masa)	1.98 G $\Omega$	1.23	-
	(U1+U2+ V1+V2+ W1+W2) Vs (Masa)	9.78 G $\Omega$	1.25	5.24

*Nota.* Medición con Megohmetro Megabras MD 5060X. Fuente: Propio

**Tabla 38**

Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento en el ROTOR.

Condiciones: V (Devanado 2500 – Otros 5000) T (27 °C) HR (58 %) T<sub>Bob.</sub> (25 °C)

		Bornes	R.A. [ $\Omega$ ]	DA	PI	
Rotor	Devanado + Block De Anillos	Anillos (1+2+3) Vs (Masa)	5.97 G $\Omega$	1.23	4.15	
		(U+X) Vs (V+Y + W+Z + Masa)	6.90 G $\Omega$	1.12	4.20	
	Devanado	(V+Y) Vs (W+Z + U+X + Masa)	7.28 G $\Omega$	1.23	3.85	
		(W+Z) Vs (U+X + V+Y +Masa)	6.95 G $\Omega$	1.19	3.96	
		(U+X) Vs (Masa)	7.52 G $\Omega$	1.20	3.87	
		(V+Y) Vs (Masa)	8.02 G $\Omega$	1.15	4.11	
		(W+Z) Vs (Masa)	6.98 G $\Omega$	1.09	4.20	
		Anillos	Anillo (1) Vs (Anillo (2+3) + Masa)	15.50 G $\Omega$	1.04	-
	Anillo (2) Vs (Anillo (3+1) + Masa)		18.50 G $\Omega$	1.06	-	
	Anillo (3) Vs (Anillo (1+2) + Masa)		17.50 G $\Omega$	1.07	-	
	Anillo (1) Vs (Masa)		25.50 G $\Omega$	1.05	-	
	Anillo (2) Vs (Masa)		23.50 G $\Omega$	1.07	-	
	Anillo (3) Vs (Masa)		26.50 G $\Omega$	1.09	-	
	Sistema Porta Escobillas + Salidas		(K+K') Vs (L+L' + M+M' + Masa)	38.50 G $\Omega$	1.08	-
			(L+L') Vs (M+M' + K+K' + Masa)	39.50 G $\Omega$	1.06	-
			(M+M') Vs (K+K' + L+L' +Masa)	40.50 G $\Omega$	1.07	-
		(K+K') Vs (Masa)	48.50 G $\Omega$	1.05	-	
		(L+L') Vs (Masa)	50.50 G $\Omega$	1.04	-	
		(M+M') Vs (Masa)	47.50 G $\Omega$	1.09	-	

Nota. Medición con Meghometro Megabras MD 5060X. Fuente: Propio

### 4.3.3.2. Análisis Dinámico

#### 4.3.3.2.1. Prueba de Vacío en BT

La presente maquina según placa indica conexión estrella ( $\Lambda$ ) en alimentación de estator. Sin embargo, se realizó un cambio de conexión de prueba de estrella ( $\Lambda$ ) a delta ( $\Delta$ ). esto por condiciones de no disponibilidad de suministro de alta tensión. Cabe recalcar que, para el análisis, solo se tiene que realizar un recalcu de parámetros nominales para la conexión nueva.

**Tabla 39**

*Registro de Prueba de VACIO a motor.*

Baja Tensión					
1° Estator ( $\Delta$ )			2° Rotor ( $\Delta$ )		Observaciones
Bornes	V [V]	I [A]	Bornes	I [A]	
U1 – V1	463	45.5	K – L	153	RPM: 885
V1 – W1	462	44.8	L – M	150	
W1 – U1	465	45.2	M – K	147	

*Nota.* Medición con Multímetro - Amperímetro FLUKE. Fuente: Propio

#### 4.3.3.2.2. Análisis Vibracional

El presenta análisis se realizó con las intenciones de verificar el estado de la maquina durante recepción realizando un Pre-Montaje, la cual consiste en verificar y realizar correcciones necesarias, pudiendo ser temporales para poner en funcionamiento el rotor y registrar valores espectrales de vibración y deducir fallas mecánicas presentes.

**Tabla 40**

*Registro de Análisis Vibracional realizado al MOTOR. (Valores RMS)*

	Horizontal	Vertical	Axial
Lado Acople - V [mm/s]	1.5	0.95	2.13
Lado no Acople - V [mm/s]	0.6	2.7	1.14

*Nota.* Medición con Equipo DSP LOGGER EXPERT. Fuente: Propio

Resultado: evidencia desbalance rotórico, holguras sobre rango., valores globales medidos con un equipo DSP LOGGER MX300, según Norma ISO 10816-3., EASA TECH NOTE 32

#### 4.3.3.2.3. Prueba de Balanceo Dinámico del Rotor

Norma : ISO 1940 /1 Grado 2.5, EASA TECH NOTE 32

Peso del Rotor : 40,000 Lb

Velocidad : 900RPM

Velocidad de balanceo : 532 RPM

Radio de ubicación de pesos : Planos 1: 22” / Plano 2: 22”

Residual:  $7.2 \times W_{\text{Rotor}} (\text{Lb.}) / \text{RPM}$

$7.2 \times 40,000 \text{ Lb.} / 900$

320 Onza-Pulg

Peso residual mínimo a corregir : 14 Onzas = 390 gr

Peso de corrección final : Plano 1: 50.14 gr / Plano 2: 78 gr

El peso residual cumple la condición  $< 390 \text{ gr.}$  con lo cual se considera balanceado para cualquier velocidad según ISO 1940/1 ISO G2.5)

Vibración final :  $< 0.5\text{mm/Seg.}$  en cada plano ISO G1.0 (ver los espectros en la **Figura 44.**

#### Nota:

Rotor balanceado sobre sus propios cojinetes (motor armado) según EASA Técnica 32 en un Tiempo de operación de la máquina de 6 horas aproximadamente.

**Figura 43**

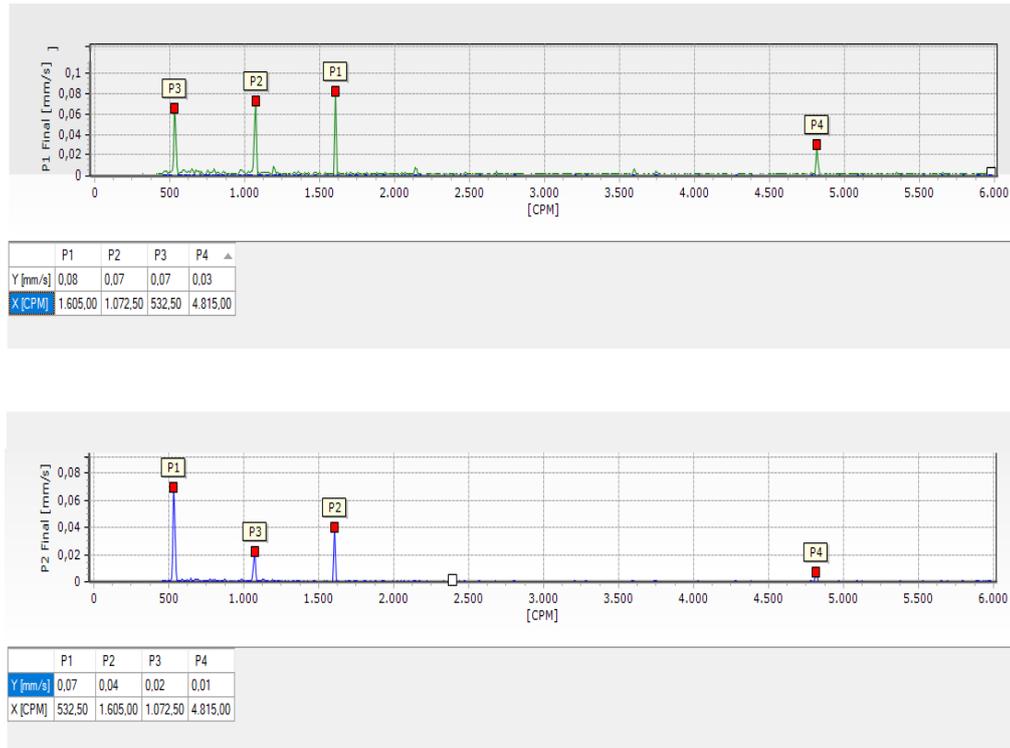
*Medición con Equipo DSP LOGGER EXPERT*



*Nota.* Registro fotográfico del Equipo Analizador DSP LOGGER EXPERT con el reporte de balanceo. Los valores corresponden a la cuarta corrida del balanceo de dos planos del rotor. Fuente: Propio

**Figura 44**

*Medición con DSP LOGGER*



*Nota.* Espectro de vibración en la posición Horizontal, representativos del desbalance residual de la masa rotativa del Rotor, posterior al proceso de balanceo. / El rotor esta balanceado según ISO 1940/1 dentro del grado G1.0. Fuente: Propio

#### 4.3.3.3. Técnicas Predictivas Estáticas - Baker SKF AWA IV

En el presente apartado realizamos pruebas predictivas con equipo Baker AWA este equipo inicialmente crea ID de motor y ejecuta una prueba completamente automática, Al final de la secuencia, los datos de prueba se guardan automáticamente en la base de datos.

Las pruebas mediante equipo Baker AWA, se secuencio según recomendaciones normativas, contemplando los plazos previstos en: tiempos, modos y formas.

La secuencia de pruebas del motor se especifica de la siguiente manera:

- Estator: R, L-C, R.A., (DA - PI), DC Hipot, Surge, Descargas Parciales.
- Rotor: R, L, R.A., (DA - PI), DC Hipot, Surge.

En las figuras mostramos el equipo Baker con los cables de conexionado del maletín, el equipo tiene accesorios adicionales que se conectan en demás puertos. En la figura derecha notamos dos grupos de cables que contienen siete cables y las conexiones de cualquier grupo son excluyentes entre sí:

- Grupo 1 (1 Negro + 3 Rojos) para prueba de R.A., Hipot, Surge.
- Grupo 2 (3 Guindas) para prueba de Resistencia Óhmica.

**Figura 46**

*Prueba de R.A., Hipot, Surge*



**Figura 45**

*Vista de BAKER con salidas.*



*Nota. Vista. Fuente: (MEGGER S., 2020)*

*Nota. Vista. Fuente: (MEGGER S., 2020)*

### 4.3.3.3.1. Cálculo de valores de prueba - Estator

**Tabla 41**

*Cálculo de Voltaje de prueba Resistencia de Aislamiento R.A.*

Norma IEEE-43		Ejecutado	
V <sub>Nominal Motor</sub> [V]	V <sub>DC de Test</sub> [V]	V <sub>Nominal Motor</sub> [V]	V <sub>DC de Test</sub> [V]
>12,000	5000 - 10,000	13,800	10,000

*Nota.* Normas referentes EASA – IEEE. Ver **Tabla 1**. Fuente: Propio

**Tabla 42**

*Cálculo de Voltaje de prueba DC - HIPOT*

Tensión de Prueba DC Estator		Test: DC Hi Pot				
		Step V	-		Step V	
		IEEE Std. 95-2002	EASA AR100-2020		BAKER	
V <sub>Línea</sub> (V)	Por Unidad (p.u.)	V <sub>DC test</sub> (V) Max.	V <sub>DC test</sub> (V) Min.	V <sub>DC test</sub> (V) New.	V <sub>DC test</sub> (V) In Service	V <sub>DC test</sub> (V) In Service
		$1.7*1.5*V$	$1.7*1.25*V$	$1.7*(2*V+100)$	$1.7*(2*V+100)*0.65$	$2*V+1000$
13800	11268	35190	29325	48620	31603	28600

*Nota.* Normas referentes EASA. Ver **Tabla 4**, **Ecuación 14**. - IEEE Fuente: Propio

**Tabla 43**

*Cálculo de Voltaje de prueba DC - SURGE*

Tensión de Prueba DC Estator		Test: Surge		
		IEEE Std. 522-2004	NEMAMG 1-2006	
V <sub>Línea</sub> (V)	Por Unidad (p.u.)	V <sub>DC Test</sub> (V) New.	V <sub>DC Test</sub> (V) In Service	V <sub>DC Test</sub> (V) Maquina Estándar
		$3.5*V_{p.u.}$	$3.5*V_{p.u.}*0.75$	$2.5*V_{p.u.}$
13800	11268	39437	29578	28169

*Nota.* Normas referentes EASA. Ver **Tabla 3**, **Ecuación 15**. - IEEE Fuente: Propio

**Tabla 45***Secuenciamiento de Pruebas Estaticas con Baker SKF AWA IV**Condiciones: T (27 °C) HR (58 %) T<sub>Bob.</sub> (25 °C)*

Dia - Hora	R	LC	IR	DA/PI	DC	HIPOT	SURGE	D.P.
22/04/23 12:31:12	✓	✓						
22/04/23 12:55:22			✓	✓				
22/04/23 13:20:32						✓	✓	
22/04/23 13:59:09								✓

*Nota.* Interphase Machine Test Summary - BAKER. Fuente: Propio**Tabla 44***Registro de Pruebas de Resistencia Óhmica del ESTATOR*

	R [Ω] - (25 °C)	R [Ω] - (40 °C)	R [Ω] - (40 °C)	Desbalance %
Bobina L1-L2	0.1180	0.1153		
Bobina L2-L3	0.1180	0.1154	0.1149	0.18
Bobina L3-L1	0.117	0.114		
Max. Delta R (%)		0.8880		
Bobina 1	0.0585	0.0572		
Bobina 2	0.0595	0.0582	0.0574	0.11
Bobina 3	0.059	0.057		

*Nota.* Interphase Machine Test Summary - BAKER. Fuente: Propio**Tabla 46***Registro de Pruebas de Inductancia del ESTATOR*

	L [mH]	L [mH]	Desbalance %
R-S	25.710 mH		
S-T	25.699 mH	25.704 mH	0.1
T-R	25.704 mH		

*Nota.* Interphase Machine Test Summary - BAKER. Fuente: Propio**Tabla 47***Registro de Pruebas de Capacitancia del ESTATOR*

	C [F]
R-STGnd / 7.97 kV	149.7919 nF
S-RTGnd / 7.97 kV	149.4159 nF
T-RSGnd / 7.97 kV	150.1627 nF

*Nota.* Interphase Machine Test Summary - BAKER. Fuente: Propio

#### 4.3.3.3.2. Prueba de Resistencia de Aislamiento

**Tabla 48**

*Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento del ESTATOR.*

Voltaje Test (V)	Corriente ( $\mu\text{A}$ )	Resistencia ( $\text{M}\Omega$ )	Resistencia a 40°C ( $\text{M}\Omega$ )
10000	3.30	3030	1623

*Nota.* Prueba exitosa, el valor de la resistencia de aislamiento a 40°C > 100M $\Omega$ , según IEEE Std. 43. Fuente: Propio

#### 4.3.3.3.3. Prueba de R. de Aislamiento - DA / PI

**Tabla 49**

*Registro de Pruebas de R. de Aislamiento (DA- IP) del ESTATOR*

Voltaje Test (V)	Absorción Dieléctrica (DA)	Índice Polarización (PI)
9900	2.7	4.1

*Nota.* Prueba exitosa, los valores de PI/DA es mayor a 2 para aislamientos de clase F, según IEEE Std. 43. Fuente: Propio

**Tabla 50**

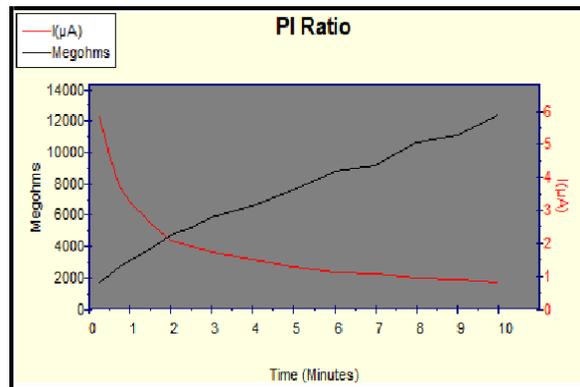
*Registro de tendencia en Prueba de R. de Aislamiento del ESTATOR*

Tiempo (min)	Corriente ( $\mu\text{A}$ )	Resistencia ( $\text{M}\Omega$ )
0.15	5.84	1712
0.30	4.65	2150
0.45	3.70	2702
1.00	3.25	3076
1.30	2.61	3831
2.00	2.09	4784
2.30	1.91	5230
3.00	1.72	5808
4.00	1.50	6600
5.00	1.31	7557
6.00	1.12	8839
7.00	1.08	9166
8.00	0.93	10645
9.00	0.89	11123
10.00	0.80	12375

*Nota.* Test Summary - BAKER. Fuente: Propio

**Figura 47**

*Curva representativa de tendencia: R.A. -  
Corriente vs Tiempo*



*Nota.* Gráfico Nativo BAKER. Fuente:

#### 4.3.3.3.4. Prueba de Step Voltage - Hipot (Escalón)

**Tabla 51**

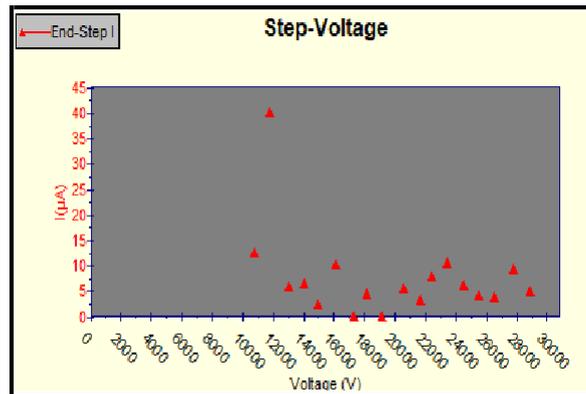
*Registro de tendencia en Prueba DC - HIPOT a ESTATOR*

Pasos	Tiempo (s)	Voltaje (V)	Corriente (µA)	Resistencia (MΩ)	Resistencia a 40°C (MΩ)
1	60	10800	12.80	844	452
2	60	11770	40.40	291	155
3	60	13000	6.00	2167	1161
4	60	14000	6.50	2154	1154
5	60	15000	2.60	5769	3091
6	60	16160	10.20	1584	848
7	60	17340	0.20	20000	10717
8	60	18180	4.50	4040	2164
9	60	19190	0.20	20000	10717
10	60	20600	5.60	3679	1971
11	60	21630	3.40	6362	3409
12	60	22440	8.00	2805	1503
13	60	23460	10.50	2234	1197
14	60	24480	6.40	3825	2049
15	60	25500	4.20	6071	3253
16	60	26520	4.00	6630	3552
17	60	27810	9.50	2927	1568
18	60	28840	5.00	5768	3090

*Nota.* La prueba de Hipot se realizó a una tensión de prueba de 28600 V<sub>DC</sub>, los resultados de las mediciones son aceptable. Fuente: Propio

**Figura 48**

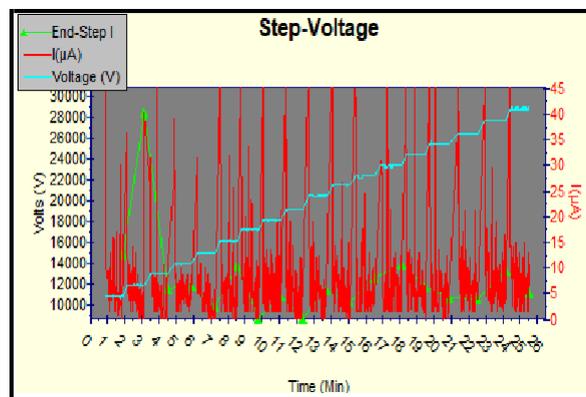
*Voltaje en Pasos tendencia: Corriente vs Voltaje*



*Nota.* Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

**Figura 49**

*Voltaje en Pasos tendencia: V – I Vs t*



*Nota.* Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

#### 4.3.3.3.5. Prueba de Impulso - Surge

**Tabla 52**

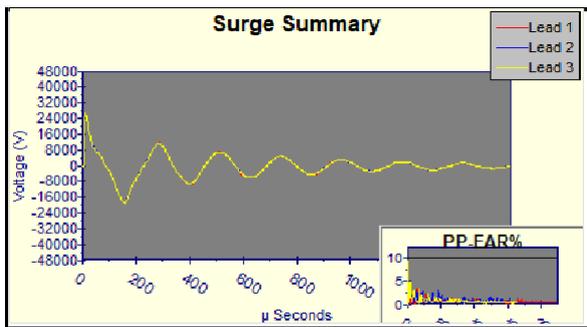
*Registro de Pruebas SURGE del ESTATOR*

Voltage Pico (V)	Fase	Max P-P EAR (%)	Fase	L-L EAR (%)
28560	1		1 a 2	
28280	2	3.4 / 3.2 / 9.4	2 a 3	No Test
28560	3		3 a 1	

*Nota.* Se considera prueba exitosa, el error de P-P EAR < 10%, las pruebas se realizaron con el rotor incluido (puesto en el motor), por lo que no se considera el L-L EAR como criterios de aceptación. Fuente: Propio

**Figura 50**

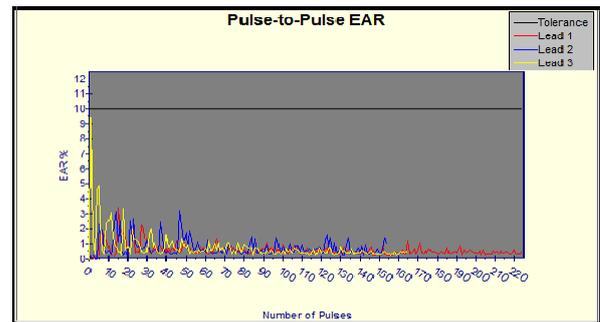
*Representación de forma de onda.*



Nota. Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

**Figura 51**

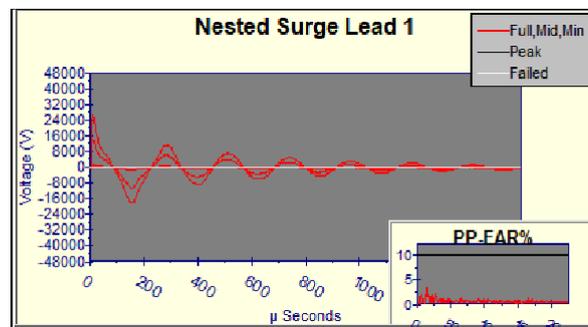
*Resumen de relación del error de Área Pulso a Pulso*



Nota. Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

**Figura 52**

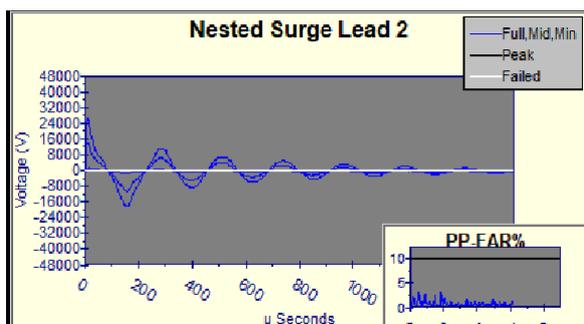
*Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 1*



Nota. Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

**Figura 54**

*Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 2*

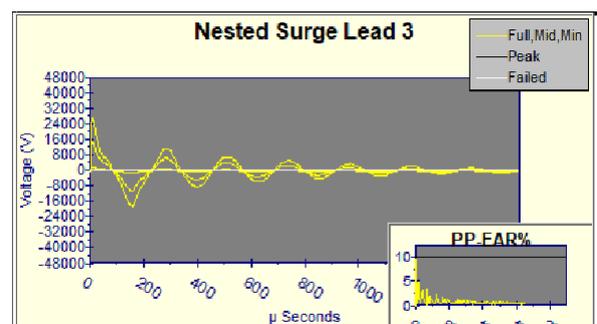


Nota. Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

**Figura**

**53**

*Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 3*



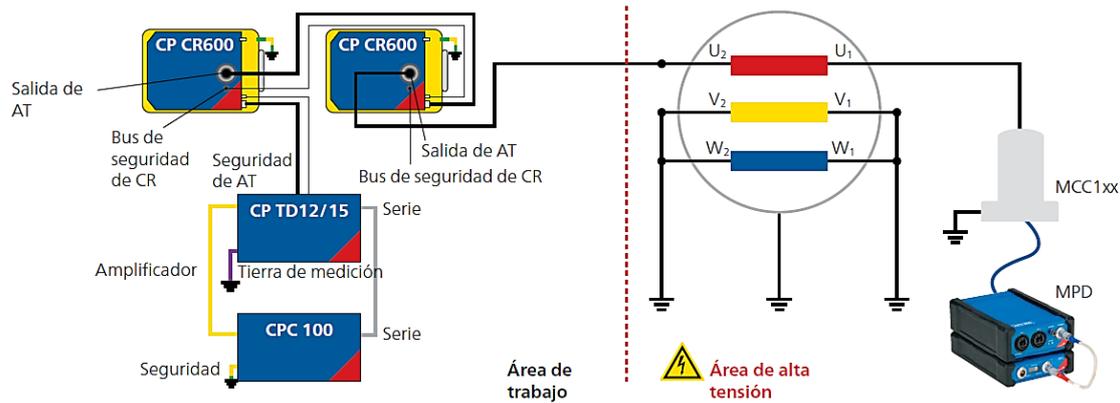
Nota Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

### 4.3.3.3.6. Prueba de Descargas Parciales

Las pruebas de DP requieren de varios recursos entre ellos equipos, según el nivel de rigurosidad de la evaluación. Regularmente existen varias posibles configuraciones e interconexiones entre elementos, para filtrar o revelar información clasificada; Sin embargo, habitualmente se derivan de dos configuraciones bases, las cuales mostramos:

**Figura 55**

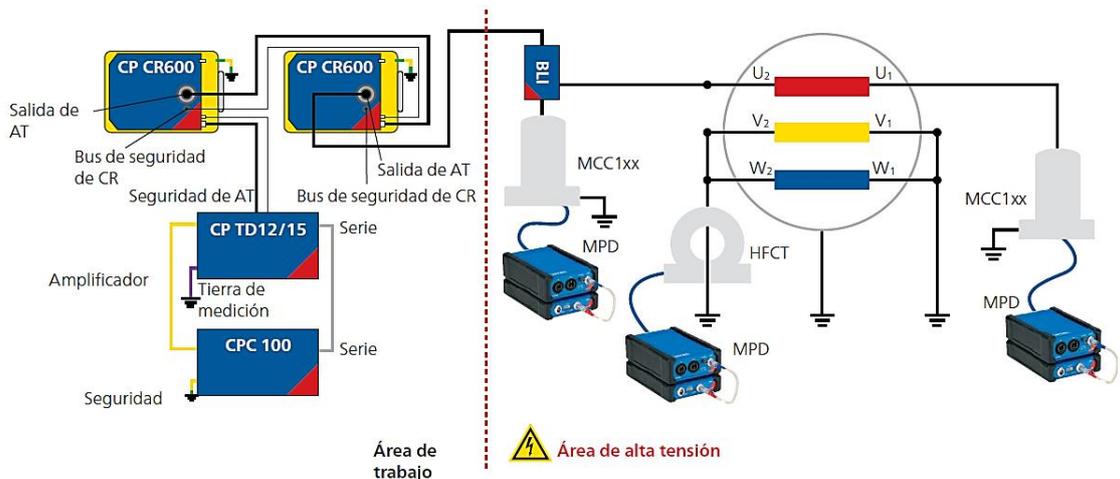
*Configuración básica de test DP en maquina rotativa de estrella abierta.*



*Nota.* Configuración básica de medición de DP de un solo canal, realizando la medición fase a fase, para nuestro caso la fase U1. Fuente: (OMICRON M., 2020)

**Figura 56**

*Medición síncrona multicanal en una maquina rotativa.*



*Nota.* Configuración del sistema Multi-Fuentes, ofrece la ventaja de agregar carga capacitiva para compensar energía reactiva. además de medir C, PF, DF y DP. Fuente: (OMICRON M., 2020)

**Tabla 53***Registro de Pruebas Descargas Parciales FASE R de ESTATOR*

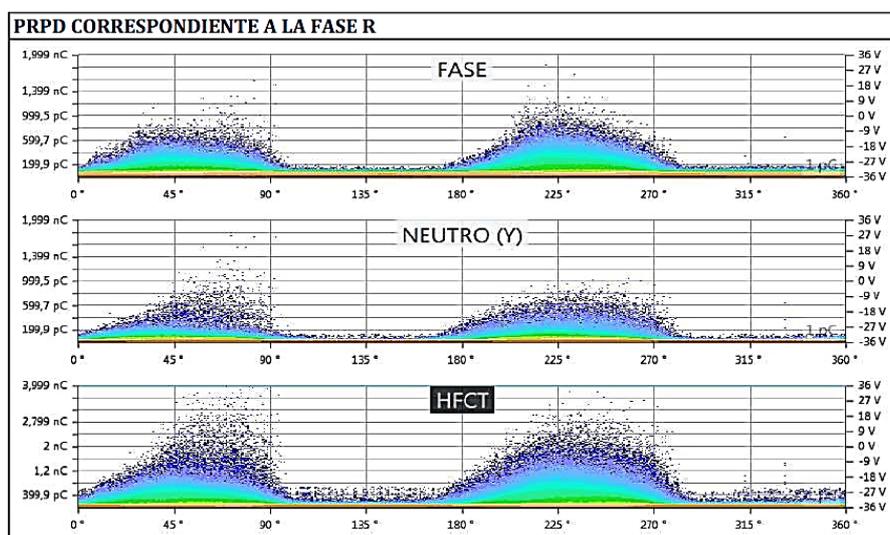
Sensor	Voltaje De Ensayo (kV)	$Q_{IEC}$ /Ponderada	$ Q $ Max	$Q_{DP}$ / Promedio
NEUTRO( $\lambda$ )	7.969 kV	742.2 pC	1.723 nC	40.6 pC
FASE	7.958 kV	900.2 pC	1.846 nC	92.4 pC
HFCT	8.129 kV	2.661 pC	6.199 nC	179.0 pC

*Nota.* Interphase Machine Test Summary - OMICRON Fuente: Propio**Tabla 54***Registro de Pruebas Descargas Parciales FASE S de ESTATOR*

Sensor	Voltaje De Ensayo (kV)	$Q_{IEC}$ / Ponderada	$ Q $ Max	$Q_{DP}$ / Promedio
NEUTRO( $\lambda$ )	8.027 kV	873.2 pC	1.361 nC	50.97 pC
FASE	8.015 kV	834.8 pC	1.415 nC	109.0 pC
HFCT	8.189 kV	5.905 nC	9.454 nC	140.7 pC

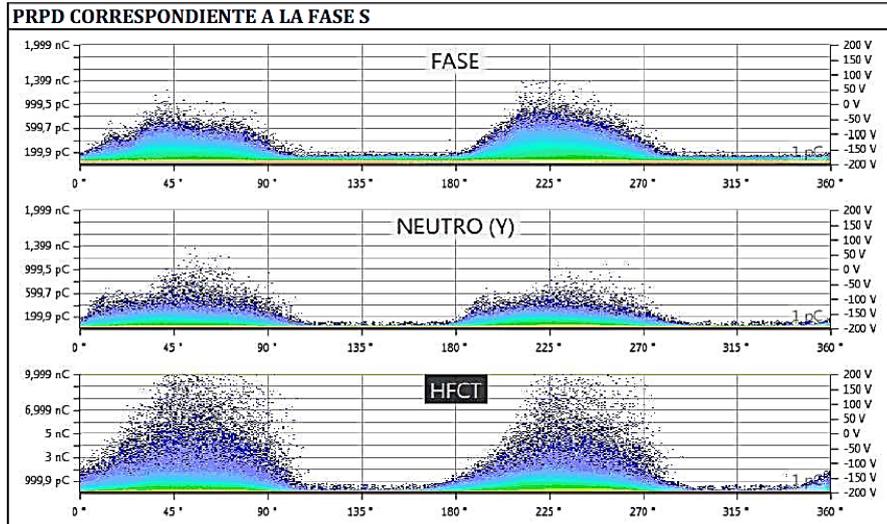
*Nota.* Interphase Machine Test Summary - OMICRON. Fuente: Propio**Tabla 55***Registro de Pruebas Descargas Parciales FASE T de ESTATOR*

Sensor	Voltaje De Ensayo (kV)	$Q_{IEC}$ / Ponderada	$ Q $ Max	$Q_{DP}$ / Promedio
NEUTRO( $\lambda$ )	8.040 kV	921.3 pC	2.031 nC	54.36 pC
FASE	8.022 kV	882.8 pC	1.309 nC	113.5 pC
HFCT	7.355 kV	1.636 nC	2.507 nC	201.2 pC

*Nota.* Interphase Machine Test Summary - OMICRON. Fuente: Propio**Figura 57***Gráfico representativo de tendencia de Descargas Parciales FASE R**Nota.* Gráfico Nativo OMICRON. Fuente: Propio

**Figura 58**

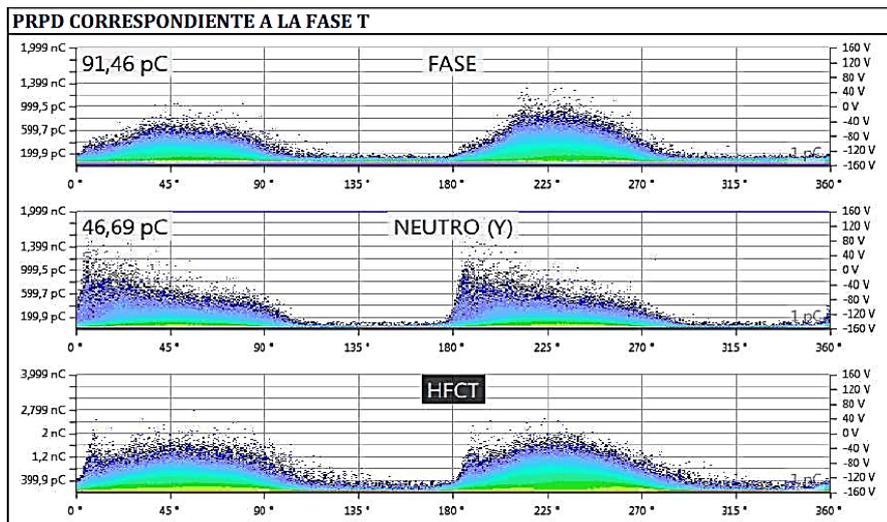
*Gráfico representativo de tendencia de Descargas Parciales FASE S*



*Nota.* Gráfico Nativo OMICRON. Fuente: Propio

**Figura 59**

*Gráfico representativo de tendencia de Descargas Parciales FASE T*



*Nota.* Gráfico Nativo OMICRON. Fuente: Propio

### 4.3.3.3.7. Cálculo de valores de prueba - Rotor

**Tabla 56**

*Cálculo de Voltaje de prueba Resistencia de Aislamiento R.A.*

Norma IEEE-43		Ejecutado	
V <sub>Nominal</sub> Motor [V]	V <sub>DC</sub> de Test [V]	V <sub>Nominal</sub> Motor [V]	V <sub>DC</sub> de Test [V]
2501 - 5000	1000 - 2500	2815	2500

*Nota.* Normas referentes EASA – IEEE. Ver **Tabla I**. Fuente: Propio

**Tabla 57**

*Cálculo de Voltaje de prueba DC -HIPOT*

Tensión de Prueba		Test: DC Hi Pot				
DC Rotor	Step V	-			Step V	
		IEEE Std. 95-2002	EASA AR100-2020	BAKER		
V <sub>Línea</sub> (V)	Por Unidad	V <sub>DC</sub> test (V)				
	(p.u.)	Max.	Min.	New.	In Service	In Service
		$1.7*1.5*V$	$1.7*1.25*V$	$1.7*(2*V+100)$	$1.7*(2*V+100)$	$2*V+1000$
2815	2298	7178.25	5981.875	11271	7326.15	6630

*Nota.* Normas referentes EASA – IEEE. Ver **Tabla 4, Ecuación 14**. Fuente: Propio

**Tabla 58**

*Cálculo de Voltaje de prueba DC - SURGE*

Tensión de Prueba DC		Test: Surge		
V <sub>Línea</sub> (V)	Por Unidad (p.u.)	V <sub>DC</sub> Test (V)	V <sub>DC</sub> Test (V)	V <sub>DC</sub> Test (V)
		New.	In Service	Maquina Estándar
		$3.5*V_{p.u.}$	$3.5*V_{p.u.}*0.75$	$2.5*V_{p.u.}$
2815	2298	8045	6033	5746

*Nota.* Normas referentes EASA – IEEE. Ver **Tabla 3, Ecuación 15**. Fuente: Propio

**Tabla 59***Secuenciamiento de Pruebas Estáticas con Baker SKF AWA IV*

Dia - Hora	R	L	IR	DA/P I	DC HIPOT	SURGE	D.P.
22/04/23 15:35:12	✓	✓					
22/04/23 15:58:22			✓	✓			
22/04/23 16:31:32					✓	✓	

*Nota.* Interphase Machine Test Summary - Baker AWA. Fuente: Propio

#### 4.3.3.3.8. Prueba de Resistencia e Inductancia

**Tabla 60***Registro de Pruebas de Resistencia Óhmica del ROTOR*

	R [ $\Omega$ ] - (25 °C)	R [ $\Omega$ ] - (40 °C)	R [ $\Omega$ ] - (40 °C)	Desbalance %
Bobina L1-L2	0.00548	0.00520		
Bobina L2-L3	0.00546	0.00518	0.005186	0.1
Bobina L3-L1	0.00547	0.00518		
Max. Delta R (%)		0.3400		
Bobina 1	0.00822	0.00780		
Bobina 2	0.00819	0.00777	0.007783	0.2
Bobina 3	0.008205	0.00778		

*Nota.* Interphase Machine Test Summary – Baker AWA. Fuente: Propio

**Tabla 61***Registro de Pruebas de Inductancia del ROTOR*

	L [mH]	L [mH]	Desbalance %
R - S	1.710 mH		
S - T	1.699 mH	1.704 mH	0.1
T - R	1.704 mH		

*Nota.* Test Summary - Baker AWA. Fuente: Propio

#### 4.3.3.3.9. Prueba de Resistencia de Aislamiento

**Tabla 62**

*Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento del ROTOR*

Voltaje Test (V)	Corriente ( $\mu\text{A}$ )	Resistencia ( $\text{M}\Omega$ )	Resistencia a 40°C ( $\text{M}\Omega$ )
2500	1.60	1562	1030

*Nota.* Prueba exitosa, el valor de la resistencia de aislamiento a 40°C > 100M $\Omega$ , según IEEE Std. 43. Fuente: Propio

#### 4.3.3.3.10. Prueba de R. de Aislamiento – DA / PI

**Tabla 63**

*Registro de Pruebas de Resistencia de Aislamiento DA- PI del ROTOR*

Voltaje Test (V)	Absorción Dieléctrica (DA)	Índice Polarización (PI)
2500	2.2	4.2

*Nota.* Prueba exitosa, los valores de PI/DA es mayor a 2 para aislamientos de clase F, según IEEE Std. 43.

**Tabla 64**

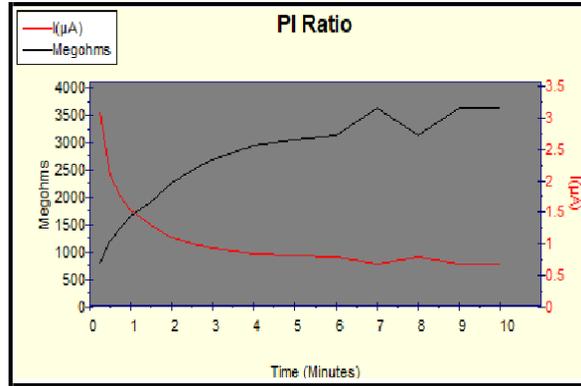
*Registro de tendencia en Prueba de R. de Aislamiento del ROTOR*

Tiempo (min)	Corriente ( $\mu\text{A}$ )	Resistencia ( $\text{M}\Omega$ )
0.15	3.09	809
0.30	2.09	1196
0.45	1.75	1428
1.00	1.52	1644
1.30	1.29	1922
2.00	1.10	2272
2.30	1.00	2500
3.00	0.93	2688
4.00	0.85	2941
5.00	0.82	3048
6.00	0.80	3125
7.00	0.69	3623
8.00	0.80	3125
9.00	0.69	3623
10.00	0.69	3623

*Nota.* R.A. 10'. Fuente: Propio

**Figura 60**

*Curva representativa de tendencia: R.A. -  
Corriente vs Tiempo*



*Nota.* Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

#### 4.3.3.3.11. Prueba de Hipot - Step Voltage (Escalón)

**Tabla 65**

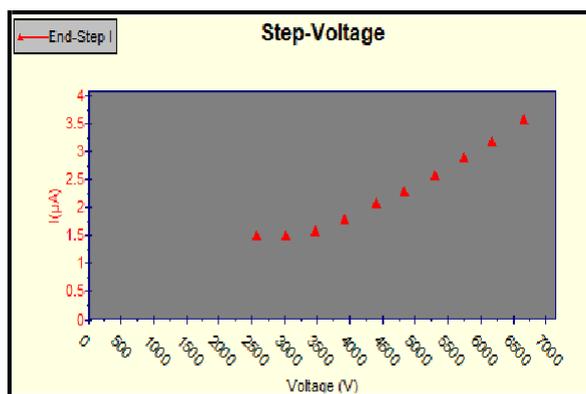
*Registro de tendencia en Prueba DC - HIPOT a ROTOR*

Pasos	Tiempo (s)	Voltaje (V)	Corriente (μA)	Resistencia (MΩ)	Resistencia a 40°C (MΩ)
1	60	2580	1.50	1720	1134
2	60	3030	1.50	2020	1332
3	60	3480	1.60	2175	1434
4	60	3930	1.80	2183	1440
5	60	4400	2.10	2095	1382
6	60	4840	2.30	2104	1388
7	60	5300	2.60	2038	1344
8	60	5750	2.90	1983	1308
9	60	6180	3.20	1931	1273
10	60	6660	3.60	1850	1220

*Nota.* La prueba de Hipot se realizó a una tensión de prueba de 6630 V DC. Los resultados de las mediciones son aceptables. Fuente: Propio

**Figura 61**

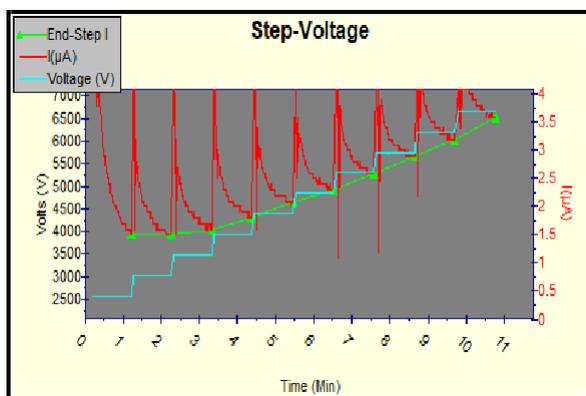
*Voltaje en Pasos tendencia: Corriente vs Voltaje*



*Nota.* Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

**Figura 62**

*Voltaje en Pasos tendencia: V – I Vs t*



*Nota.* Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

#### 4.3.3.3.12. Prueba de Impulso - Surge

**Tabla 66**

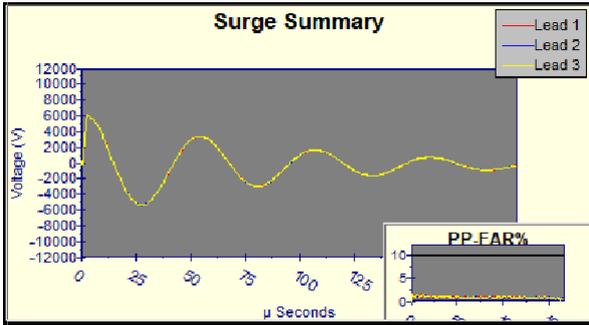
*Registro de Pruebas SURGE del ROTOR*

Voltage Pico (V)	Fase	Max P-P EAR (%)	Fase	L-L EAR (%)
6660	1		1 a 2	
6660	2	1.6 / 1.6 / 1.5	2 a 3	No Test
6660	3		3 a 1	

*Nota.* Prueba exitosa: El error de P-P EAR < 10%, las pruebas se realizaron con el rotor fuera (retirado del motor), por lo que no se considera el L-L EAR y P-P EAR como criterios de aceptación. Fuente: Propio

**Figura 63**

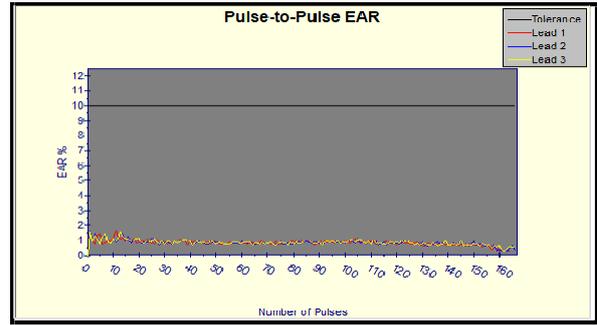
*Resumen de la representación de forma de onda.*



Nota. Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

**Figura 64**

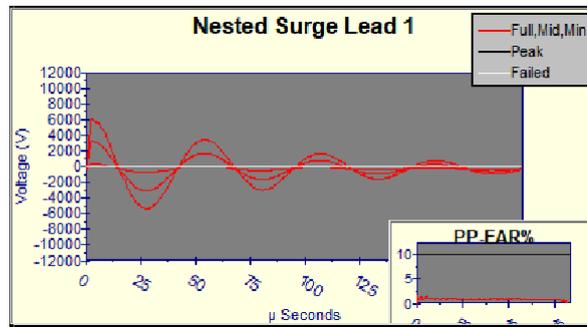
*Resumen de relación del error de Área Pulso a Pulso*



Nota. Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

**Figura 65**

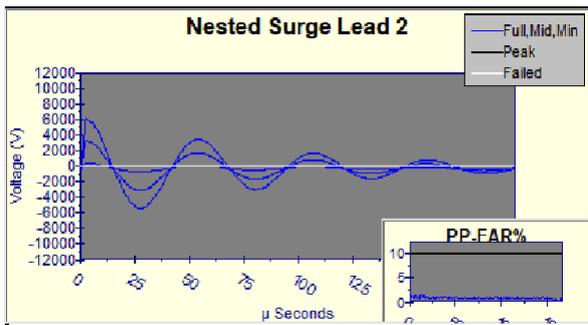
*Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 1*



Nota. Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

**Figura 66**

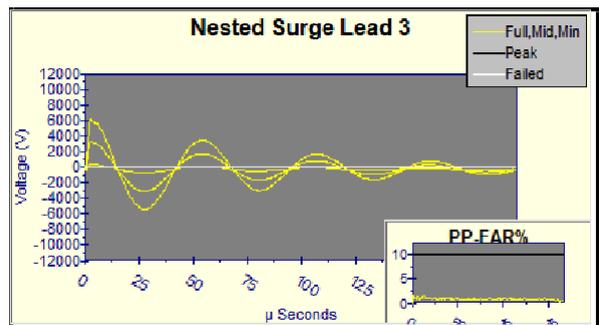
*Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 2*



Nota. Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

**Figura 67**

*Representación de la forma de onda Pulso a Pulso - Fase 3*



Nota. Gráf. Nativo BAKER. Fuente: Propio

#### 4.3.3.4. Técnicas Predictivas Dinámicas - Baker EXP4000

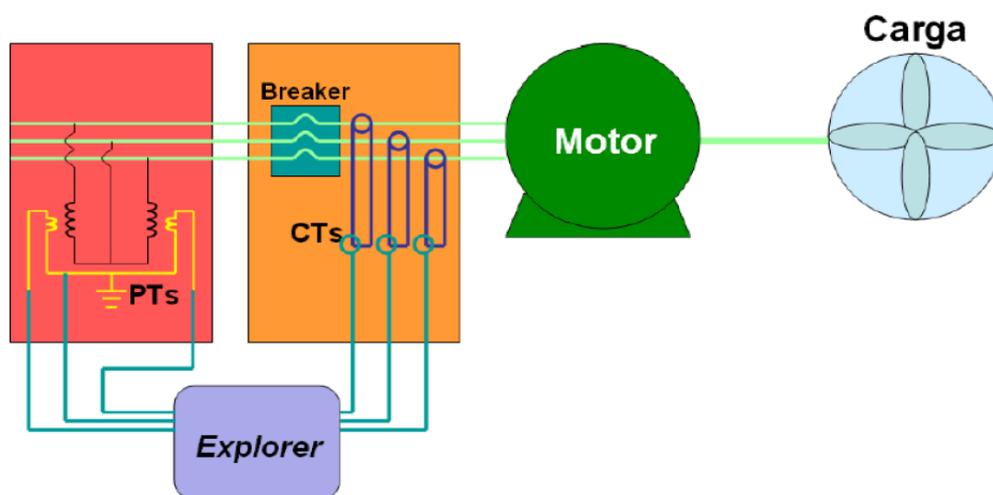
En el presente apartado realizamos pruebas predictivas dinámicas con equipo Baker EXP 4000 este equipo inicialmente crea ID de motor y ejecuta una prueba completamente automática, Al final de la secuencia, los datos de prueba se guardan automáticamente en la base de datos.

Especificamos según dominios de análisis:

- Dominios de prueba y teoría de pruebas
- Dominio Calidad de alimentación
- Armónicos
- Dominio Rendimiento de la máquina
- Dominio de corriente
- Dominio Espectro
- Dominio Torsión
- Dominio Conexión

**Figura 68**

*Esquema de conexión EXP4000*



*Nota.* Gráfico Nativo BAKER. Fuente: (MEGGER D., 2020)

En adelante realizamos pruebas mediante equipo de análisis estático Baker SKF AWA IV, (ISO, 2018) la cual se secuenció según recomendación normativa, contemplando los plazos y tiempos previstos de tiempo modo y forma de descarga para no influir en resultados

La secuencia de pruebas del motor se especifica de la siguiente manera:

- Generación de ID de Prueba - Maquina
- Análisis Paramétrico Nominal de motor. Parametrización experimental respecto a Teóricos. (Placa)
- Análisis Paramétrico Porcentual de motor. Parametrización experimental respecto a Teóricos. (Placa)
- Análisis espectral de formas de onda de tensión y corriente respecto al tiempo.
- Análisis angular de fasores de tensión y corriente.
- Análisis espectral de formas de onda, respecto influencia de rotor.
- Análisis espectral de rizado de Torque respecto al tiempo.
- Análisis Grafico de parámetros nominales.
  - Distorsión porcentual en meses,
  - Tendencia de Consumo de corriente respecto a meses, dependiente de carga.
  - Desbalance de Corriente eléctrica
  - Factor de servicio en meses
  - Variación en la carga de la maquina en meses
  - Tendencia de barras abiertas(referencial)

**Tabla 67***Reporte de registro ID - PRUEBA*

Explorer	
Machine	3132-CR-302
Database	SS-302 CR
Location	
Building	
Report Date	22/07/2023
Report Time	08:37 a. m.

*Nota.* Test Summary – EXP4000. Fuente: Propio**Tabla 68***Reporte de registro ID - MAQUINA*

Nameplate Data:		
kW	5970	Manufacture
RPM	896	Model
Volts	13800	Serial No.
Amps	408.00	Insulation
Enclosure		Design

*Nota.* Test Summary – EXP4000. Fuente: Propio**Tabla 69***Reporte de registro ID - RESUMEN*

Machine		3132-CR-302	
Database	SS-302 CR		Tested by
Location			Tested for
Building		Explorer SN#	
		30300917	
Test Date	6/05/2022	Test Time	11:38:20

*Nota.* Test Summary – EXP4000. Fuente: Propio

#### 4.3.3.4.1. Resumen de Análisis Paramétrico

**Tabla 70**

*Reporte general: Colección de datos MAQUINA*

	Name Plate	Measured
Output Power [kW]	8000	5765.25
Speed [RPM]	896	900.72
RMS [V]	13800	13461.07
RMS [A]	408.00	304.62
PF [p.u.]	0.85	0.83
Nema Derating [p.u.]	1.0	1.00
Torque [[Nm]]	84806.99	61150.80
Efficiency	96.8	95.54
Percent Load	N/A	72.45

*Nota.* Test Summary – EXP4000. Fuente: Propio

**Tabla 71**

*Reporte general: Resumen de RESULTADOS*

Test	Value	Status	Caut. Level	Warn. Level
Voltage Level (Over) [%]	97.55	Good	110.00	120.00
Voltage Level (Under) [%]	97.55	Good	95.00	90.00
Voltage Unbalance [%]	0.24	Good	2.00	3.50
THD [% of fund.]	2.14	Good	7.00	9.00
Total Distortion [% of fund.]	3.48	Good	10.00	12.00
Current Level [%]	77.54	Good	110.00	120.00
Current Unbalance [%]	6.22	Good	10.00	20.00
Load [%]	72.45	Good	110.00	125.00
Ef. Service Factor [p.u.]	0.72	Good	1.10	1.25
Rotor Bar [db]	0.00	Indet.	-45.00	-36.00
Op. Point [%]	0.00	Good	0.00	0.00
Loss Difference [%]	0.00	Good	0.00	0.00
Payback [Months]	0.00	Good	0.00	0.00

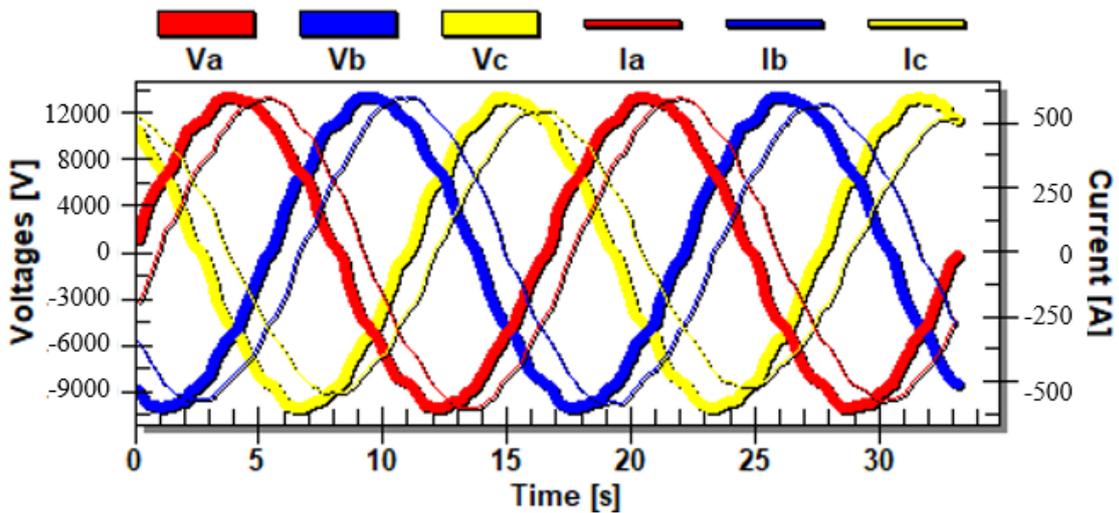
*Nota.* Test Summary – EXP4000. Fuente: Propio

#### 4.3.3.4.2. Análisis gráfico Fasorial de Parámetros

En las siguientes figuras exponemos la onda senoidal de Tensión - Corriente del motor. donde se puede distinguir los valores resultantes de V e I del conjunto de armónicos más representativos. Incluyendo los transitorios, ruidos, y distorsiones en la red.

**Figura 69**

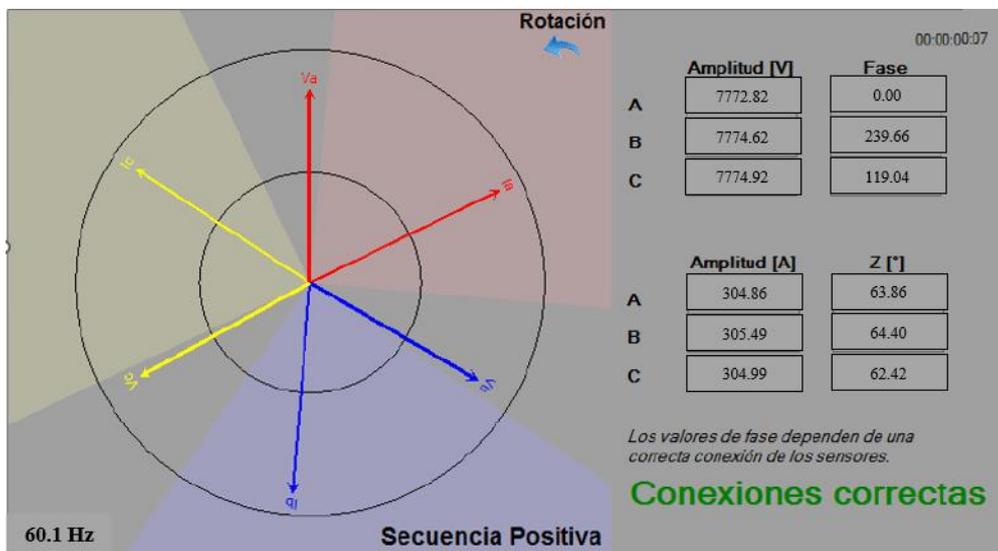
Reporte: forma onda Corriente- Voltaje vs Tiempo



Nota. Gráfico Nativo EXP 4000. Fuente: Propio

**Figura 70**

Reporte: Diagrama fasorial de Voltaje - Corriente.



Nota. Gráfico Nativo EXP 4000. Fuente: Propio

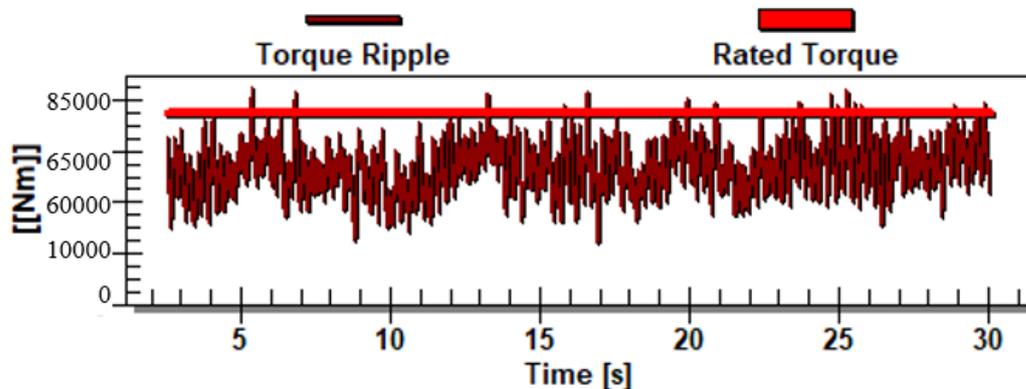
## Análisis Espectral

El análisis espectral consiste en un conjunto de procesos, donde el objetivo principal es identificar expresiones graficas típicas de fallas. Este proceso contiene tareas preliminares, donde podemos mencionar: la receptación, clasificación, grafica, análisis, interpretación y sustentación.

Así podemos exponer expresiones graficas de parámetros relevante de la máquina rotativa la cual es objeto de estudio en el presente trabajo. Ejemplo: en las **Figura 71**, **Figura 72** podemos verificar las expresiones graficas dl torque resultante y la distorsión resultante porcentual, durante funcionamiento al 72.45 % de carga.

**Figura 71**

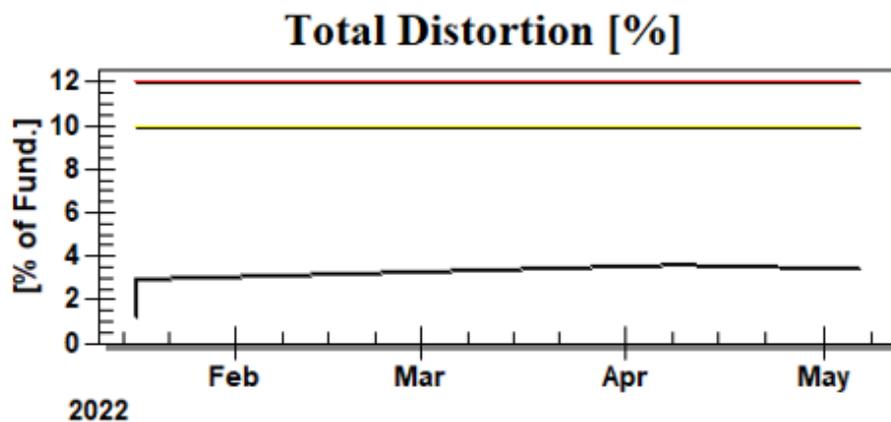
*Registro de espectro de Rizado de TORQUE*



*Nota.* Gráfico Nativo EXP 4000. Fuente: Propio

**Figura 72**

*Tendencia Porcentual de la distorsión*

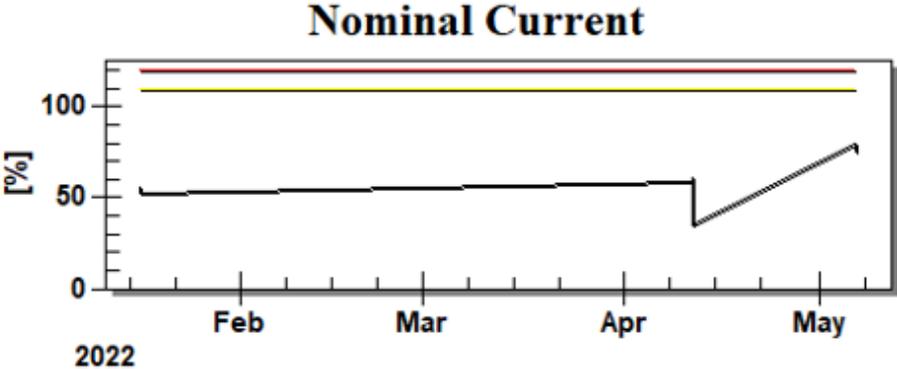


*Nota.* Gráfico Nativo EXP 4000. Fuente: Propio

La máquina eléctrica de anillos rozantes de media tensión que es objeto de estudio, estuvo sometido a cambios paulatinos de carga durante el periodo de evaluación, esta condición fluctuante, impacta directamente en el consumo de corriente eléctrica de la máquina. lo detallado líneas arriba, podemos visualizar gráficamente en la siguiente figura, la cual sintetiza el consumo de corriente porcentual vs el periodo de evaluación en meses.

**Figura 73**

*Tendencia Porcentual de la Corriente Consumida respecto al Nominal.*

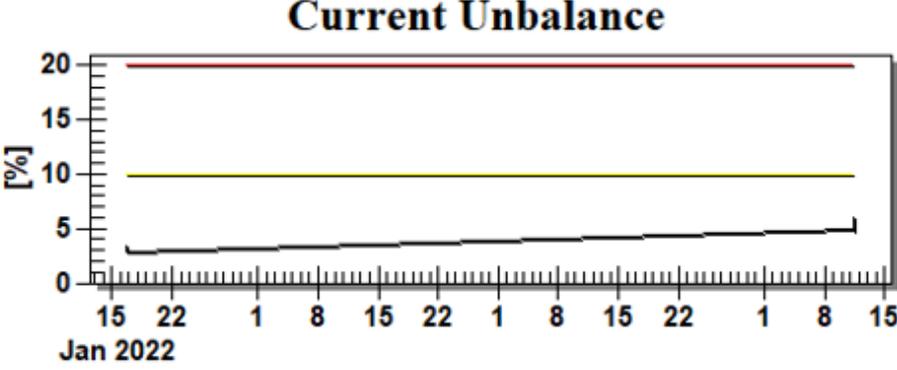


*Nota.* Gráfico Nativo EXP 4000. Fuente: Propio

El motor presenta varias componentes eléctricas, una de las más importantes es la impedancia. Este parámetro se puede monitorear solo fuera de línea. Sin embargo, es posible monitorear indirectamente mediante la corriente de consumo entre fases. esta metodología se cuantifica de manera porcentual y es obtenida del comparativo entre fases del mismo motor en un mismo instante de evaluación.

**Figura 74**

*Tendencia Porcentual del Desbalance en la Corriente.*

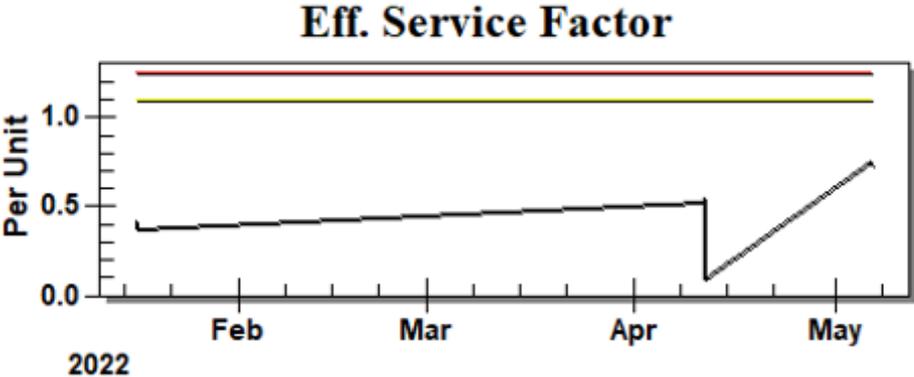


*Nota.* Gráfico Nativo EXP 4000. Fuente: Propio

Las maquinas eléctricas rotativas, transforman energía eléctrica a energía mecánica la relación inherente entre ellas se denomina la eficiencia, esa tasa de conversión es cuantificable y expresado regularmente en porcentaje. Sin embargo, también puede ser expresada por unidad. Esta eficiencia es influenciada también por el  $\text{Cos}\phi$  y esta a su vez por la cantidad de carga, mientras mayor sea la carga se esté  $\text{Cos}\phi$  se aproxima al indicado de placa, y en el supuesto extremo opuesto este  $\text{Cos}\phi$  es menor. Estas condiciones repercuten en el consumo energético más eficiente del motor, tal que puede ser más optima bajo ciertas condiciones.

**Figura 75**

*Reporte: Tendencia P.U. de la EFICIENCIA.*

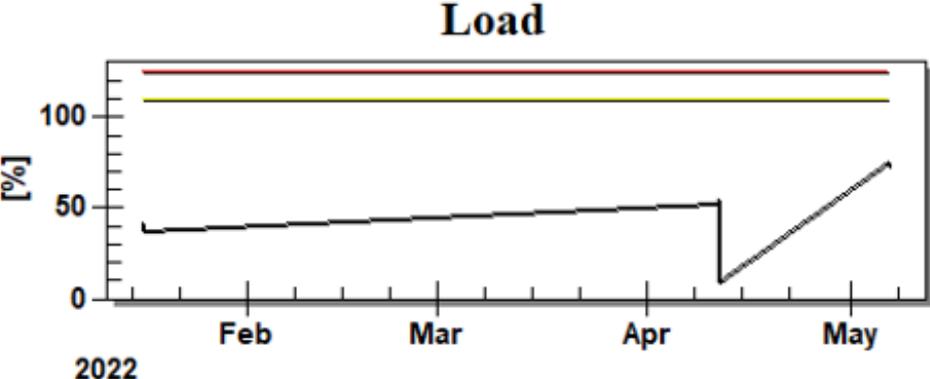


*Nota.* Gráfico Nativo EXP 4000. Fuente: Propio

Asimismo, podemos verificar esta dependencia de la eficiencia y la carga con la siguiente figura, donde ambas graficas evidencian las siluetas muy parecidas

**Figura 76**

*Reporte: Tendencia Porcentual de la Carga aplicada al Motor.*



*Nota.* Gráfico Nativo EXP 4000. Fuente: Propio

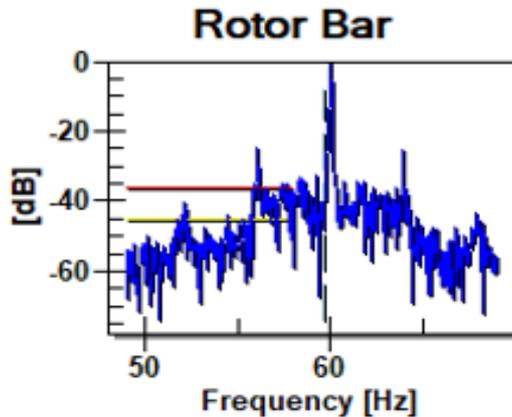
#### 4.3.3.4.3. Espectros de Transitorios

Las maquinas eléctricas regularmente están expuestas permanentemente a transitorios, estos usualmente son ocasionales y en la mayoría de casos no presentan un patrón predecible. Sin embargo, todas las maquinas eléctricas rotativas, durante el tiempo de inicio de marcha y trabajo, están sometidas necesariamente al transitorio inminente de trabajo y arranque, donde el rotor es la componente más relevante de estudio.

El rotor regularmente presenta un devanado continuo típico, la cual tiene una representación gráfica de un solo pico a frecuencia nominal que verifica la continuidad del devanado rotórico y en el supuesto fallo este pico viene acompañado de frecuencias inferiores y superiores de manera simétrica de menores magnitudes, las cuales son indicadores de fallo en devanado rotórico.

**Figura 77**

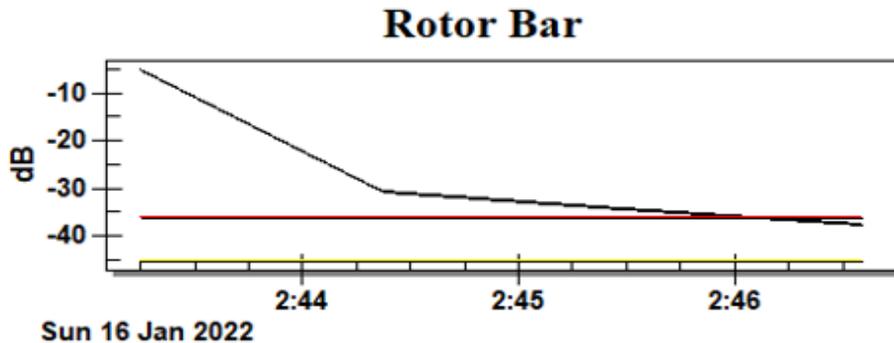
*Reporte: Espectro de barras de rotor.*



*Nota.* Gráf. Nativo EXP 4000. Fuente: Propio

**Figura 78**

*Reporte: Tendencia temporal del Sonido referente a barras rotas.*



*Nota.* Gráfico Nativo EXP 4000 (Fig. Referencial). Fuente: Propio

#### 4.3.3.5. Monitoreo de Condición

En el presente apartado exponemos de datos registrados en campo, en el lugar de operación regular, este proceso se realizó con la intención de replicar los datos obtenidos en la prueba final de taller; asimismo, consiste una práctica de seguridad, dado que la maquina estuvo expuesto a golpes vibraciones durante el transporte. De Taller a Campamento Minero.

Para las pruebas en campamento minero se trasladaron maquinas equipos e instrumentos compactos y certificados.

##### 4.3.3.5.1. Análisis Paramétrico - Prueba con Carga Parcial en MT

El proceso de recepción de data del presente análisis, consiste en evaluar desempeño de la maquina a tensión nominal de placa, en la conexión habitual del suministro de campo, con el propósito de verificar la primera puesta en servicio validando la garantía del servicio. Cabe recalcar que en este escenario también se monitorean los elementos de control “sensores”.

**Tabla 72**

*Registro de Prueba de motor con carga parcial.*

Media Tensión				
1° Estator ( $\lambda$ )		2° Rotor ( $\Delta$ )		Observaciones
Bornes	V [V]	I [A]	Bornes	
U1 – V1	13462.15	305.33	K – L	153
V1 – W1	13461.85	305.14	L – M	150
W1 – U1	13461.97	304.98	M – K	147

*Nota.* Test Summary – EXP4000. Fuente: Propio

#### 4.3.3.5.2. Análisis Vibracional

Este proceso de recopilación de datos se realizó posterior a: Fijar, Anclar, Laminar, Nivelar, Alinear. la maquina en suelo rígido. Regularmente los valores obtenidos son mejores a los de taller, en la gran mayoría estos suelen aproximarse a los obtenidos durante pruebas de taller.

**Tabla 73**

*Registro de Análisis Vibracional realizado al MOTOR. (Valores RMS)*

		V	Horizontal	Vertical	Axial
Sin Carga	Lado Acople	[mm/s]	0.5	0.3	0.3
	Lado no Acople	[mm/s]	0.6	0.7	0.4
Con Carga	Lado Acople	[mm/s]	1.32	1.11	1.13
	Lado no Acople	[mm/s]	1.25	1.20	1.26

*Nota.* Valores globales medidos con un equipo DSP LOGGER MX300, según Norma ISO 10816-3., EASA TECH NOTE 32. / Valores RMS (Cojinetes planos de Babbitt). Ver. **Tabla 7**, **Tabla 8**, **Tabla 74**. / Fuente: Propio

Asimismo, los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos permisibles indicados en la siguiente tabla, donde están referenciados por el fabricante del motor SIEMENS, esta tabla presenta más descripciones y estos detalles se exponen en el apartado de anexos.

**Tabla 74**

*Limites estándar de vibración según SIEMENS referenciados en MG1-7.8 NEMA*

Velocidad	Velocidad, pico mm / seg. (pico pulgadas / seg.)
1200 – 3600 RPM	3.048 (0.120)
1000 RPM	2.667 (0.105)
900 RPM	2.4384 (0.096)
750 RPM	2.0066 (0.079)
720 RPM	1.905 (0.075)
600 RPM	1.6002 (0.063)

*Nota.* Valores limites referenciales en la Pg. 8 del Manual de operación. Fuente: (SIEMENS, 2020)

#### 4.3.3.5.3. Análisis Termográfico (Curva de Temperatura)

Este proceso se realiza con la intención de verificar el buen estado operativo de las chumaceras, validando los trabajos de taller: rectificado, metalizado, pulido, asentado.

La prueba se realiza monitoreo permanente las temperaturas, este proceso durante dos a tres horas aproximadamente, donde el objetivo es hallar el valor máximo de temperatura, además del valor en el que se establece de manera permanente, la **Tabla 75** solo evidenciamos el periodo de una hora por razones analíticas muestrales. Y corresponden al registro tomado desde los sensores sumergibles tipo bulbo.

**Tabla 75**

*Registro de temperatura de asentado en CHUMACERAS.*

	L.A. (P2)	L.N.A (P1)		L.A. (P2)	L.N.A (P1)
t [s]	T[°C]	T[°C]	t [s]	T[°C]	T[°C]
0	27	26	35	57	58
5	34	35	40	58	59
10	39	40	45	59	59
15	45	45	50	58	59
20	47	48	55	58	60
25	56	55	60	58	59
30	57	57			

*Nota.* Medición realizada en las borneras de conexionado designados para los sensores RTD PT-100 tipo bulbo, las cuales son transmitidos mediante Controlador Multicanal AUTONICS. Fuente: Propio

Las condiciones de medida corresponden desde sensor sumergido y despreciando parcialmente las condiciones atmosféricas de la intemperie.

Los registros corresponden a los obtenidos durante las primeras horas de funcionamiento

En el presente apartado exponemos reportes gráficos de los procesos de análisis termográfico realizados a los elementos dinámicos más críticos, para nuestro caso las chumaceras, estos reportes corresponden generalmente a los dos puntos de apoyo estator – rotor.

Los siguientes gráficos corresponden al monitoreo de la máquina rotativa cuando se encontraba operando bajo carga

**Figura 79**

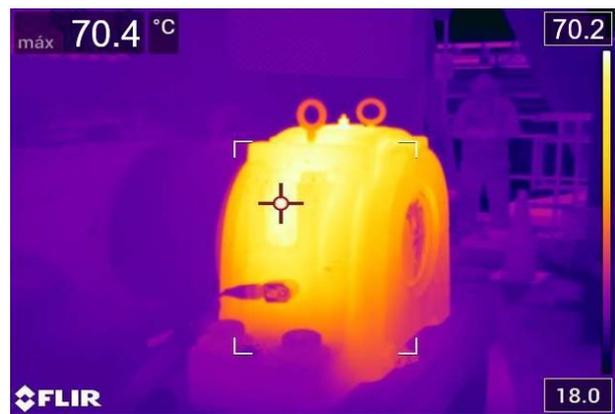
*Termografía en chumacera L.A. – Con carga*



*Nota.* Gráfico Nativo FLIR. Fuente: Propio

**Figura 80**

*Termografía en chumacera L.N.A. – Con carga*



*Nota.* Gráfico Nativo FLIR. Fuente: Propio

Asimismo, en adelante emitimos similares reportes que los anteriores expuestos, con la particularidad de estar siendo evaluados y monitoreados, mientras el funcionamiento del motor es sin carga.

**Figura 81**

*Termografía en chumacera L.A. – Sin carga*



*Nota.* Gráfico Nativo FLIR. Fuente: Propio

**Figura 82**

*Termografía en chumacera L.N.A. – Sin carga*



*Nota.* Gráfico Nativo FLIR. Fuente: Propio

## 4.4. Población y Muestra

Las maquinas eléctricas rotativas cuya principal característica es el de poseer anillos rozantes, generalmente cuentan con dos presentaciones: el motor trifásico de anillos rozantes asíncrono y el motor de anillos rozantes síncrono. Donde están compuestas de la siguiente manera: el primero (Estator Trifásico, Rotor Trifásico y Sistema de Block de Tres Anillos) Ver **Figura 84** y **Figura 86** y el segundo (Estator Trifásico, Rotor de Polos Salientes “Campos” y Sistema de Block de Dos Anillos.) Ver **Figura 85**.

### 4.4.1. Población

La presente investigación clasifico de un universo FINITO de máquinas, solo cuatro modelos de máquinas al cual denominamos población; asimismo, de estos modelos solo seleccionamos un modelo de análisis las cuales denominamos muestra.

Las siguientes figuras corresponden a motores trifásico donde se registraron reportes fotográficos de las siguientes maquinas eléctricas:

- Motor trifásico asíncrono de anillos rozantes

**Figura 84**

*Motor trifásico de anillos rozante Motor SIEMENS*



*Nota. Vista Isométrica. Fuente: Propio*

**Figura 83**

*Sist. Porta-escobillas Motor SIEMENS*



*Nota. Cabina. Fuente: Propio*

- Motor trifásico asíncrono de anillos rozantes con sistema motorizado

**Figura 85**

*Motor trifásico de anillos rozantes Motor ABB*



*Nota.* Vista lateral. Fuente: Propio

**Figura 86**

*Sistema de block de anillos motorizado Motor ABB*



*Nota.* Interior. Fuente: Propio

- Motor trifásico síncrono de anillos rozantes

**Figura 87**

*Motor trifásico de anillos rozantes Motor GENERAL ELECTRIC*



*Nota.* Vista frontal L.A. Fuente: Propio

**Figura 88**

*Sistema de block de anillos Motor GENERAL ELECTRIC*



*Nota.* Vista interior. Fuente: Propio

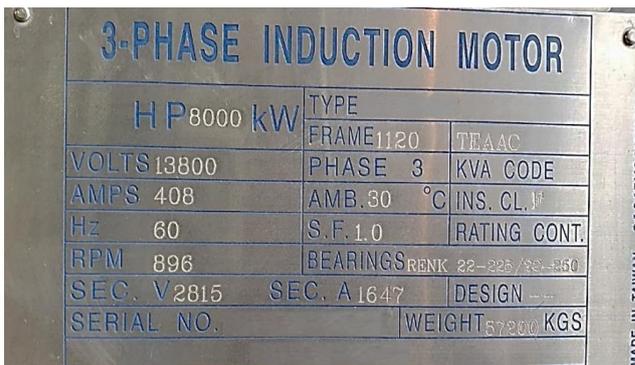
#### 4.4.2. Muestra

En el presente trabajo someteremos a: Pruebas, Análisis y Diagnóstico de estudio, un modelo de máquina eléctrica rotativa. La máquina asíncrona trifásico de tres anillos.

- Reportes fotográficos de placa de datos y vista de acceso a cabina de sistema Porta-Escobilla.

**Figura 89**

*Placa de datos de motor SIEMENS de anillos rozantes.*



3-PHASE INDUCTION MOTOR			
HP 8000 kW	TYPE	FRAME 1120	TEA4C
VOLTS 13800	PHASE 3	KVA CODE	
AMPS 408	AMB. 30 °C	INS. CL. F	
Hz 60	S.F. 1.0	RATING CONT.	
RPM 896	BEARINGS RENK 22-225 / 22-250		
SEC. V 2815	SEC. A 1647	DESIGN	
SERIAL NO.		WEIGHT 57200 KGS	

MADE IN TAIWAN 3A045H3440004

Fuente: Propio

**Figura 90**

*Cabina de Sistema Porta-Escobilla*

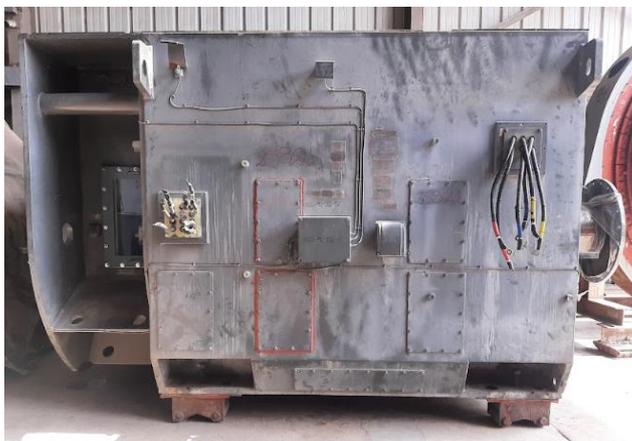


Fuente: Propio

- Vista lateral de motor e interior de cabina sistema porta escobilla.

**Figura 91**

*Vista lateral de motor trifásico de Anillos Rozantes.*



*Nota.* Vista Lado Conexión. Fuente: Propio

**Figura 92**

*Sistema porta escobilla + block de anillos, Motor SIEMENS*



*Nota.* Cabina. Fuente: Propio

- Vistas de motor en proceso de desmontaje y medición de parámetros eléctricos.

**Figura 93**

*Motor Estator proceso de desmontaje.*



*Nota.* Vista Isométrica. Fuente: Propio

**Figura 94**

*Rotor Devanado con Anillos Rozantes.*



*Nota.* Vista interior. Fuente: Propio

- Proceso de inspección y pruebas a Block de anillos trifásicos.

**Figura 95**

*Prueba de Hipot a Block de Anillos*



*Nota.* Block de Anillos Fuente: Propio

**Figura 96**

*Motor síncrono trifásico de anillos rozantes.*



*Nota.* Vista Block de Anillos. Fuente: Propio

## 4.5. Técnicas de recolección de datos

Las principales técnicas de recolección de datos corresponden principalmente a dos circunstancias, en campo y en taller. El primero receptando mediante técnicas predictivas, confiabilidad; el segundo mediante monitoreo de condición.

## 4.6. Instrumentos de recolección de datos.

Los procesos de mantenimiento: Preventivo, Correctivo y Predictivo. Recaudan data clasificada, en medios digitales y físicos. denominados usualmente como: protocolos de pruebas, ITR, expedientes técnicos, dossier de calidad. Tal data fue obtenida mediante ensayos experimentales: estáticos-dinámicos; Off línea - On línea; condiciones nominales - condiciones experimentales; en campo - taller de reparación.

Utilizando como receptores periféricos equipos certificados y calibrados según normas vigentes IEEE, ANSI, EASA. Así tenemos. algunas marcas: Megabras, MPK, Fluke, Bk Precisión, SKF, Metrel, Mitutoyo, entre otros.

### 4.6.1. Validez

(Sampieri, 2018) indica que la validez es el grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir y conduce a conclusiones validas. Asimismo, (Casiano, 2010) define a la validez de criterio como la adecuación con que los resultados obtenidos con un instrumento predicen o se relacionan con los resultados que se obtienen con otros instrumentos ya validados que miden una variable similar

Dado estas definiciones nuestra investigación cumple las condiciones de similitud a la **Validez de Criterio**, debido al desarrollo de las pruebas a maquinas eléctricas mediante distintos equipos de medición para un mismo parámetro de evaluación, optando por estos diferentes métodos por condiciones de disponibilidad y confiabilidad, así podemos mencionar:

- **Las pruebas de resistencia óhmica**, se verificaron con dos equipos: el primero (Micro Ohmímetro MPK 253), el segundo (Maletín de pruebas Baker SKF – AWA).

- **Las pruebas de inductancia** se verificaron con dos equipos: el primero (Inductometro BK Precisión 878B), el segundo (Maletín de pruebas Baker SKF - AWA).
- **Las pruebas de resistencia de aislamiento** se verificaron con dos equipos: el primero (Micro ohmímetro MPK 253), el segundo (Maletín de pruebas Baker SKF - AWA).
- **La prueba de impedancia** se verifico mediante dos métodos: experimental (multímetro Fluke 87V - Amperímetro Fluke 902F) y Teórico (cálculos + Micro Ohmímetro MPK 253 + Inductometro BK Precisión 878B).

En todos los casos los valores obtenidos fueron muy próximos, siempre que se apliquen los factores de corrección correspondientes, para criterios de comparación.

#### **4.6.2. Confiabilidad**

Como indica (Casiano, 2010), La confiabilidad es el grado de precisión y consistencia con que mide un instrumento/investigación una variable una y otra vez.

Dado estas definiciones, para nuestro caso utilizamos el método de determinación de confiabilidad denominado **Equivalencia** y por la forma de probar, **Pruebas Alternas o Paralelas**.

Este método y forma, guarda correspondencia con las pruebas realizadas en diferentes condiciones y etapas. Así podemos mencionar: durante la estancia de la maquina en taller - campo, se realizaron pruebas denominadas: El análisis paramétrico; El análisis vibracional; El análisis termográfico. En todos los casos se pudieron reproducir similares valores, durante las pruebas finales en taller (previo al despacho) y posteriormente a las pruebas de puesta en servicio en campo.

Incluso al contar con diferentes condiciones de puesta en operación por equipos, instrumentos, suministro, entre otros. Si se pudo reproducir los valores de aceptación.

## 4.7.Resultados

### 4.7.1. Análisis Estático

#### 4.7.1.1. Estator

- Los valores obtenidos de R.A. / DA / IP presentan cifras dentro del rango de aceptación según criterios normativos EASA AR100-2020, en la **Tabla 11** podemos verificar que el valor de resistencia de aislamiento registrados en la etapa de recepción R.A.(10') 3.77 GΩ con DA e PI respectivamente 1.41 - 4.40; Sin embargo, estos mejoraron posterior a realizarle trabajos como mantenimiento integral y tratamiento térmico y podemos evidenciar ello con lo registrado en la **Tabla 37** **Tabla 37** R.A.(10') 9.78 GΩ con DA e PI respectivamente 1.25 – 5.24 .
- Los valores de resistencia óhmica e inductancia presentan valores aceptables según normativas, estos presentan un leve desbalance correspondiente al 0.1% y 0.98% respectivamente, en ambos casos menores a el 1 % . Podemos verificar ello en la **Tabla 19**.
- Los valores obtenidos de la prueba de relación de transformación se consideran aceptables. Para el análisis se consideró los valores de placa de datos como referencia de evaluación respecto a los valores experimentales. Posteriormente haciendo una correlación donde ambos difieren de 0.17 % . Cabe recalcar que el proceso de evaluación se realizó a tensiones menores del nominal. Podemos verificar ello en la **Tabla 15**.
- Los valores obtenidos de la prueba de rotor bloqueado, se encuentran dentro del rango de valores de aceptación. Presentan pérdidas de 25 kW. Asimismo, la tensión de prueba proyectada, corresponde a el 20.3% Vn al cual podemos verificar su inclusión dentro del rango 15 – 25 Vn%. Podemos verificar ello en las tablas. **Tabla 17** y **Tabla 18**.
- La prueba de núcleo magnético no evidencio zonas críticas con incrementos de temperatura focalizada. Entonces se concluye que se encuentra en aceptables condiciones la masa nucleica, los valores de temperatura final y promedio registrados son respectivamente 53°C y 50°C, estos difieren en 0.0053 % del promedio global. En nuestro caso consideremos la temperatura

uniforme y constante en todo el núcleo.  $T= 50^{\circ}\text{C}$  Podemos verificar ello en la **Tabla 24**.

- La importancia de las pruebas de impedancia monofásica y trifásica, radican en confirmar el estado real del devanado, contemplando las componentes resistivas e inductivas, dado que esta evaluación se realiza de manera separada estator y rotor. Asimismo, verificamos el buen estado del devanado y la correspondencia con los valores de resistencia óhmica e inductancia en la **Tabla 22**.
- En el apartado de metrología, verificamos la presión que ejerce los flejes – pisadores a las escobillas, que estos se encuentran dentro del rango de valores admisibles. En nuestro caso podemos indicar: 25/32 presentan 200 gr/cm<sup>2</sup> y 7/32 se encuentran con 155gr/cm. Estos últimos tienen recalibrarse por garantía, cabe recalcar que están dentro del límite inferior del rango, pero por el periodo de mantenimientos programados prolongados, recomendamos calibrar. Podemos verificar ello en la **Tabla 26**.
- En el apartado de metrología, verificamos que las distancias de cajetín - anillo, se encuentran dentro del rango de valores admisibles. En nuestro caso podemos indicar: 20/32 tienen 3mm, 8/32 tienen 3.12mm, 4/32 tienen 3.08mm. Dado estos valores podemos garantizar que la distancia es necesaria para evitar chisporroteo o daños entre el anillo y sistema porta-escobilla. Podemos verificar ello en la **Tabla 26**.

#### 4.7.1.2. Rotor

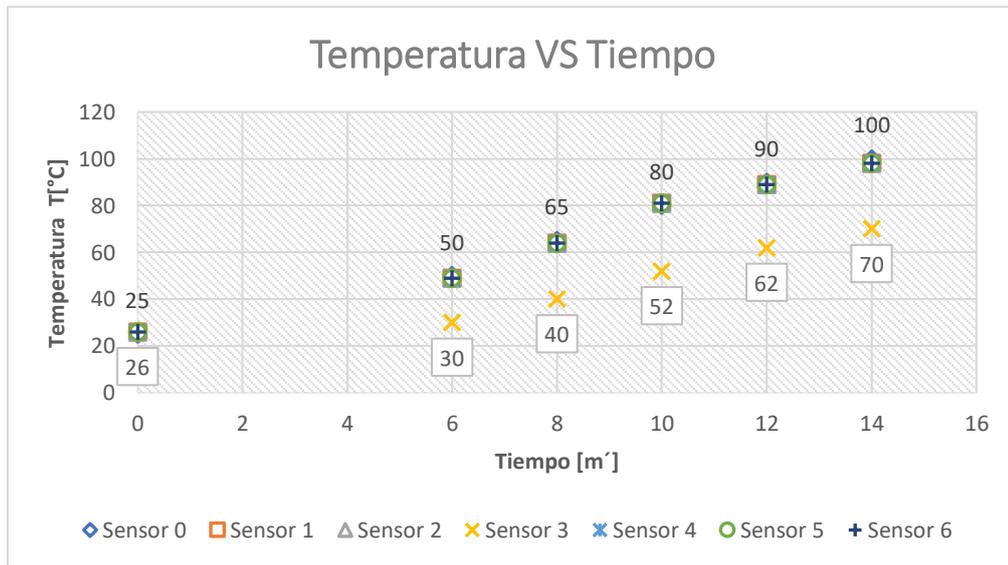
- Los valores obtenidos de R.A. / DA / PI presentan cifras dentro del rango de aceptación según criterios normativos EASA AR100-2020, en la **Tabla 12** podemos verificar que el valor de resistencia de aislamiento registrados en la etapa de recepción R.A.(10') 0.117 GΩ con DA e PI respectivamente 0.98 – 1.25; Sin embargo, estos mejoraron posterior a realizarle trabajos como mantenimiento integral y tratamiento térmico, podemos evidenciar ello con lo registrado en la **Tabla 38** R.A.(10') 5.97 GΩ con DA e PI respectivamente 1.23 – 4.15.
- Los valores de resistencia óhmica e inductancia presentan valores aceptables según normativas, estos presentan un leve desbalance correspondiente al 0.15% y 0.19% respectivamente, en ambos casos menores a el 1 %. Podemos verificar ello en la **Tabla 20**.
- La prueba de núcleo magnético no evidencio zonas críticas con incrementos de temperatura focalizada. Entonces se concluye que se encuentra en aceptables condiciones la masa nucleica, los valores de temperatura final y promedio registrados son respectivamente 50°C y 51°C, estos difieren en 0.0053 % del promedio global. En nuestro caso consideremos la temperatura uniforme y constante en todo el núcleo. T = 48°C. Podemos verificar ello en la **Tabla 25**.
- La importancia de las pruebas de impedancia monofásica y trifásica, radican en confirmar el estado real del devanado, contemplando las componentes resistivas e inductivas, dado que esta evaluación se realiza de manera separada estator y rotor. Asimismo, verificamos el buen estado del devanado y la correspondencia con los valores de resistencia óhmica e inductancia en la **Tabla 23**.

### 4.7.1.3. Accesorios

- Motor presenta 9 sensores RTD PT-100 Alojados en ranura “Lado Activo”, para medición de temperatura del bobinado. Todos presentan aceptables valores de RA, R, Podemos verificar ello en la **Tabla 28, Tabla 29**.
- Motor presenta 6 sensores tipo bulbo las cuales 3/6 ubicados en toda la parte estructural del estar principal y 3/6 ubicados en el Housing de chumaceras. De estos 6 solo 1 se recomienda cambiar dado que evidencia daño físico, generando una mala lectura, presentando retardo y desfase excesivo respecto a sus homólogos (Ver **Figura 97**). Este elemento podría poner en riesgo a el total del motor dado que estos elementos son condicionantes de protección para dar marcha al motor. Podemos verificar ello en la **Tabla 30, Tabla 31, Tabla 32**.

**Figura 97**

*Prueba de Tendencia - Tiempo de respuesta en sensores tipo Bulbo.*



*Nota.* Gráfico Comparativo de incrementos. Fuente: Propio

- Motor presenta 12 Heater tipo tubular. Respecto al valor de R.A. evidencia degradación, en la mayoría el valor ronda la escala de [MΩ] se recomienda reacondicionado; sin embargo, respecto a la potencia eléctrica, consumo y resistencia óhmica efectiva, se consideran operativos. Podemos verificar ello en la **Tabla 33, Tabla 34, Tabla 35, Tabla 36**.

#### 4.7.2. Análisis Dinámico

Los valores obtenidos de la prueba corresponden a la etapa de Pre-Desmontaje esta prueba consiste en poner en servicio el motor previo al desmontaje. Se inicia poniendo en servicio las chumaceras (reacondicionarlo). Para dar marcha al motor e ir registrando parámetros electromecánicos, para someter a análisis, estos pueden ser: Parámetros eléctricos de operación, Temperatura en chumaceras, vibraciones (Balanceo Estático - Dinámico), entre otros. Asimismo, podemos mencionar:

- Dado el reporte Prueba de vacío registrado en la **Tabla 39** podemos aseverar que la maquina contiene valores aceptables de: **V, I, P, Q, S, Rpm, Cosφ**. Todos los parámetros presentan correspondencia según placa de datos.
- El resultado del análisis vibracional emite espectros típicos de: Desalineamiento, Desbalance y Solturas. El primero se justifica por los desniveles regulares del suelo donde se fijó el motor; el segundo y tercero corresponden a fallas regulares en la maquina dado las horas de servicio. Estos fueron confirmados en las pruebas de metrología por el área de mecánica, donde se realizó las correcciones pertinentes. El rotor fue balanceado a velocidad nominal, reduciendo al mínimo la masa de agregación residual (ver **Figura 43**); el eje rotórico presentaba porosidades externas entonces se realizó rectificando y metalizado; la soltura fue corregido mediante el proceso de mandrilado en las tapas. Asimismo, podemos recurrir a la **Figura 44** para verificar el espectro de balance corregido, enfocándose en los picos 1x 2x 3x 4x, finalizado el proceso de balanceo, mediante el método residual dándole las corridas recomendadas por norma.
- Los valores de temperatura registrados en las chumaceras presentan un incremento prematuro pero constante, como consecuencia de defectos (porosidades, irregularidades) en puntos de apoyo giratorios eje y chumacera.

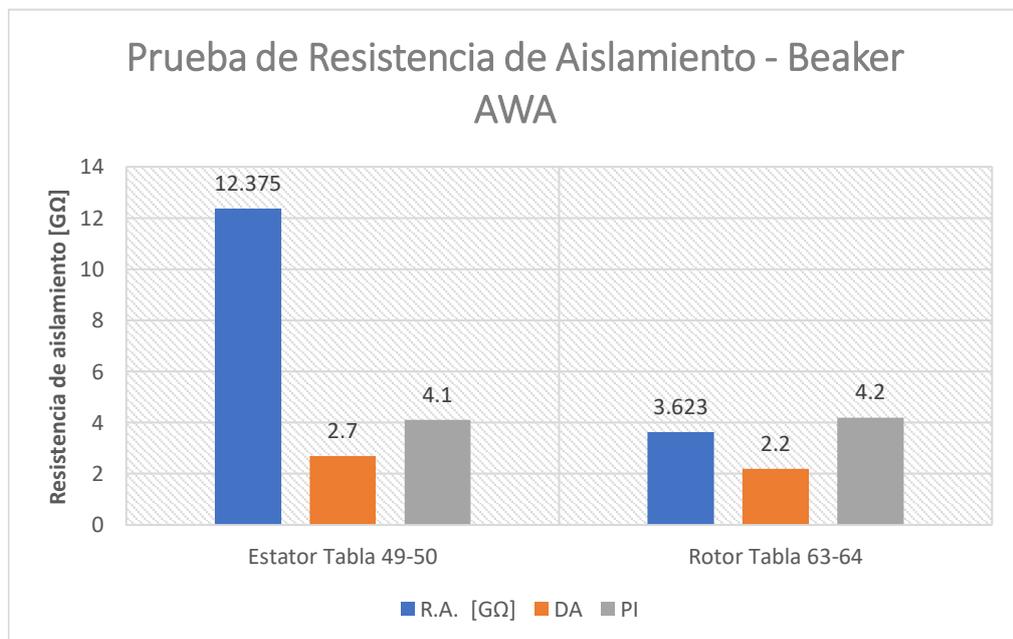
### 4.7.3. Técnicas predictivas estáticas - Baker SKF AWA IV

#### 4.7.3.1. Estator

- El valor del desbalance resistivo del bobinado estatórico del motor es 0.188 %, resultado satisfactorio (menor a 3% recomendado por EASA AR100-2020 y Baker SKF). Ver. **Tabla 44**.
- El resultado de la medición de la resistencia de aislamiento del bobinado estatórico del motor (bobina vs. masa), fue satisfactorio obteniéndose el valor en un minuto y a 40°C de 1623 MΩ (según norma IEEE Std. 43; el valor obtenido supera el valor de R. Aislamiento mínimo de 100 MΩ). Ver. **Tabla 48**
- Los resultados de índice de absorción e índice de polarización ( $DA = 2.7 / PI = 4.1$ ) del bobinado estatórico del motor, fueron satisfactorios superando el valor de 2 según norma IEEE Std 43. Ver. **Tabla 49, Tabla 50, Tabla 63, Tabla 64 y Figura 98**.

**Figura 98**

*Medición de R.A previo a la puesta en servicio en campo.*



*Nota.* Gráfico de barras (Estator Rotor). R.A, DA, PI. Ver. **Tabla 49, Tabla 50, Tabla 63, Tabla 64**. Fuente: Propio

- La prueba de alta tensión (Hipot Step Voltage) en el bobinado estático del motor se realizó a una tensión de 28600 V<sub>DC</sub> (Ver. **Tabla 42, Tabla 51**) como prueba de mantenimiento y puesta en servicio. El resultado de las mediciones es PASA la prueba, pero se observa que la medición presenta un comportamiento errático (no lineal) de la corriente de fuga en los escalones (dispersión entre puntos), lo cual demuestra que el aislamiento puede presentar debilidades respecto a tierra al producirse cambios de carga intermitentes y arranques o paradas durante el trabajo del motor (Ver **Figura 48, Figura 49**).
- La prueba de impulso (Surge) en el bobinado estático se realizó a una tensión en coordinación y con la aprobación del cliente de 28560 V<sub>DC</sub> (Ver. **Tabla 43, Tabla 52**), los valores de P-P EAR% (3.4 % / 3.2 % / 9.4 %) de la prueba del estator del motor son aceptables (obteniéndose valores menores al 10% según norma IEE Std. 522); las pruebas fueron realizadas con el rotor dentro del estator por lo cual solo se considera P-P EAR como criterio de evaluación. (Ver figuras de: **Figura 50 - Figura 54**).
- El valor de capacitancia medida del estator del motor en las fases R, S y T tienen un valor promedio de 149 nF, 149 nF y 150 nF respectivamente y valores de tangente delta (tan  $\delta$ ) % inferiores al 1%. (Ver. **Tabla 47**)
- De los resultados de descargas parciales y según la norma IEC 60034- 27-1., se aprecia que el aislamiento presenta cavidades internas que son el resultado del proceso de fabricación y no indican factores de envejecimiento. (Ver. **Tabla 53, Tabla 55**) (Ver **Figura 32, Figura 57, Figura 58, Figura 59**).
- De las pruebas realizadas en el estator del motor SIEMENS, se puede apreciar que los resultados obtenidos en las pruebas estáticas son satisfactorios, por lo que el estator está en buenas condiciones para su operación.

#### 4.7.3.2. Rotor

- El valor del desbalance resistivo del bobinado rotórico del motor es 0.12 %, resultado satisfactorio (menor a 3% recomendado por EASA AR100-2020 y Baker SKF). Ver. **Tabla 60**
- El resultado de la medición de la resistencia de aislamiento del bobinado rotórico (bobina vs. masa), fue satisfactorio obteniéndose el valor en un minuto y a 40°C de 1030 MΩ (según norma IEEE Std. 43; el valor obtenido supera el valor de R. Aislamiento mínimo de 100 MΩ). Ver. **Tabla 62**
- Los resultados de índice de absorción e índice de polarización ( $DA = 2.2 / PI = 4.2 OL$ ) del bobinado rotórico del motor, fueron satisfactorios superando el valor de 2 según norma IEEE Std 43. Ver. **Tabla 63, Tabla 64 y Figura 98**.
- La prueba de alta tensión (Hipot Step Voltage) en el bobinado rotórico del motor se realizó a una tensión de 6630 V<sub>DC</sub> (Ver. **Tabla 57, Tabla 65**) como prueba de mantenimiento y puesta en servicio. El resultado de las mediciones es PASA la prueba, se observa que la medición presenta un buen comportamiento (lineal) de la corriente de fuga en los escalones, lo cual demuestra que el aislamiento se encuentra en buenas condiciones para trabajos con cambios de carga intermitentes y arranques o paradas durante el trabajo del motor. (Ver **Figura 61, Figura 62**).
- La prueba de impulso (Surge) en el bobinado rotórico se realizó a una tensión en coordinación y con la aprobación del cliente de 6630 V<sub>DC</sub> (Ver. **Tabla 58, Tabla 66**), los valores de P-P EAR% (1.6 % / 1.6 % / 1.5 %) de la prueba del rotor del motor son aceptables (obteniéndose valores menores al 10% según norma IEE Std. 522); las pruebas fueron realizadas con el rotor dentro del estator por lo cual solo se considera P-P EAR como criterio de evaluación. (Ver **Figura 63, Figura 67**).
- De las pruebas realizadas en el rotor del motor SIEMENS, se puede apreciar que los resultados obtenidos en las pruebas estáticas son satisfactorios, por lo que el rotor está en buenas condiciones para su operación.

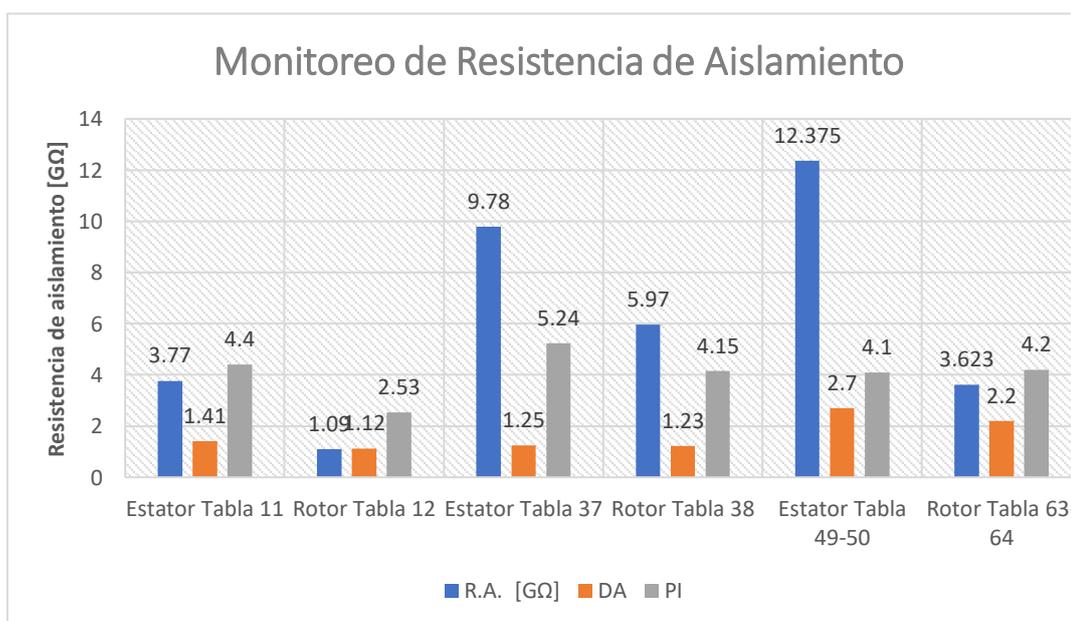
### 4.7.3.3. Motor - Estator / Rotor

El proceso de evaluación de resistencia de aislamiento es una condicional obligatoria para poner en marcha un motor en los servicios, estos suelen ser monitoreados permanentemente, ceñidos a las normas IEEE – 43.

Durante el periodo de mantenimiento se suelen utilizar equipos más compactos con tensiones de prueba en el límite del rango permisibles, pero de igual confiabilidad que en equipos más completos. Así podemos verificar en la siguiente grafica donde la Primera-tercera y quinta terna corresponden a mediciones con equipo Megohmetro Megabras MD 5060X con una tensión de 5 kV y Beaker -SKF – AWA con una tensión de 10 kV, respectivamente. Asimismo, la Segunda-cuarta y sexta terna corresponde a las realizadas con los mismos equipos con 2.5 kV. Entonces dado esta grafica podemos afirmar que indistintamente del equipo que utilicemos siempre que consideremos las prácticas de norma, estos valores presentan una gran confiabilidad. Así podemos evaluar los tres parámetros más importantes durante el ensayo. R.A. (10'), DA, PI. presentando en ambos casos valores de aceptación.

**Figura 99**

*Análisis comparativo de Resistencia de Aislamiento*



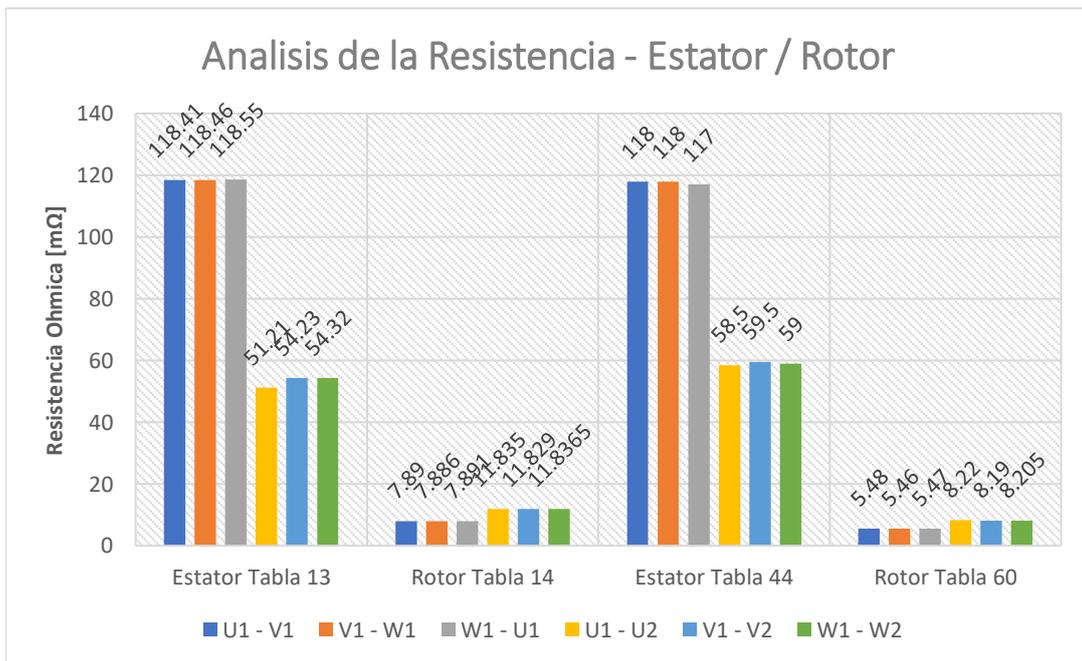
*Nota.* Mediciones realizadas con dos equipos distintos y diferentes valores de prueba. Estator: 5kV – 10 kV Rotor: 2.5kV. Ver **Tabla 11, Tabla 12, Tabla 37, Tabla 38, Tabla 49, Tabla 50, Tabla 63, Tabla 64.** Fuente: Propio

Utilizando los mismos criterios anteriores, realizamos la evaluación con equipos distintos, con la salvedad que en este escenario los valores obtenidos difieren en mayor porcentaje; sin embargo, el criterio de evaluación consiste en el desbalance resistivo de línea y en conexión.

Esta diferencia en valores corresponde a las condiciones externas durante la medición(temperatura), también los criterios de configuración de los equipos, así como en el Beaker las cuales tienen apartados específicos de parámetros que contribuyen en el cálculo de factores de corrección, requeridos por el algoritmo del equipo.

**Figura 100**

*Análisis comparativo de resistencia Estator - Rotor*



*Nota.* Mediciones realizadas con dos equipos distintos Estator( $\lambda$ ) – Rotor( $\Delta$ ) Respectivamente. **Tabla 13** y **Tabla 14** con Micro-Ohmímetro luego **Tabla 44** y **Tabla 60** con Baker AWA. Fuente: Propio.

En la siguiente tabla exponemos valores teóricos y experimentales de la Impedancia  $Z$ , cálculos fueron realizados utilizando la **Ecuación 7**, además considerando valores  $R$ ,  $L$ , las cuales fueron recopilados en la **Tabla 19**, **Tabla 20** medidos con antelación.

Dado ello podemos determinar que los valores obtenidos de manera teórica y experimental difieren en un mínimo porcentaje. (Ver **Tabla 76**).

**Tabla 76**

*Análisis comparativo de la Impedancia Estatórica y Rotóricas.*

Estator	Experimental	<b>V [V]</b>	<b>I [A]</b>	<b>Z [<math>\Omega</math>]</b>
		728	100	7.28
Estator	Teórico	<b>R [m<math>\Omega</math>]</b>	<b>L [mH]</b>	<b>Z [<math>\Omega</math>]</b>
		118.41	20.406	7.693
Rotor	Experimental	<b>V [V]</b>	<b>I [A]</b>	<b>Z [<math>\Omega</math>]</b>
		99.9	224.3	0.442
Rotor	Teórico	<b>R [m<math>\Omega</math>]</b>	<b>L [mH]</b>	<b>Z [<math>\Omega</math>]</b>
		7.889	1.3354	0.5034

*Nota.* Obtención de las Impedancias  $Z[\Omega]$ , mediante proceso Teórico – Experimental.  $Z_{\text{Estatórico}} / Z_{\text{Rotórico}}$  Fuente: Propio

El objetivo incipiente de un ensayo de descargas parciales es ubicar cúmulos cavidades internas copadas de algún “gas” o “aire”, estos concebido por distintas modus: pudiendo ser desde la fabricación, el proceso de bobinado, por tiempo de servicio, por condiciones subestándar de funcionamiento, entre otros. Donde estos cúmulos de gas “burbujas de aire” son condiciones preliminares para la materialización de descargas de alta tensión “arcos”, efecto corona, entre otros. Al identificar su magnitud, sus dimensiones y localización. La maleta de ensayo emite un espectro en forma de nube de puntos (ver **Figura 57**, **Figura 58**, **Figura 59**), donde a la fecha las normas han identificado y sintetizados esos patrones en una matriz, ayudando al diagnóstico, con mayor nivel de precisión. Así tenemos para nuestro caso, diagnosticamos que los patrones son regulares de una maquina sin falla alguna. Asimismo, coincidiendo el reporte de la maleta de pruebas con la del Patrón Típico **S4** en la **Figura 32**.

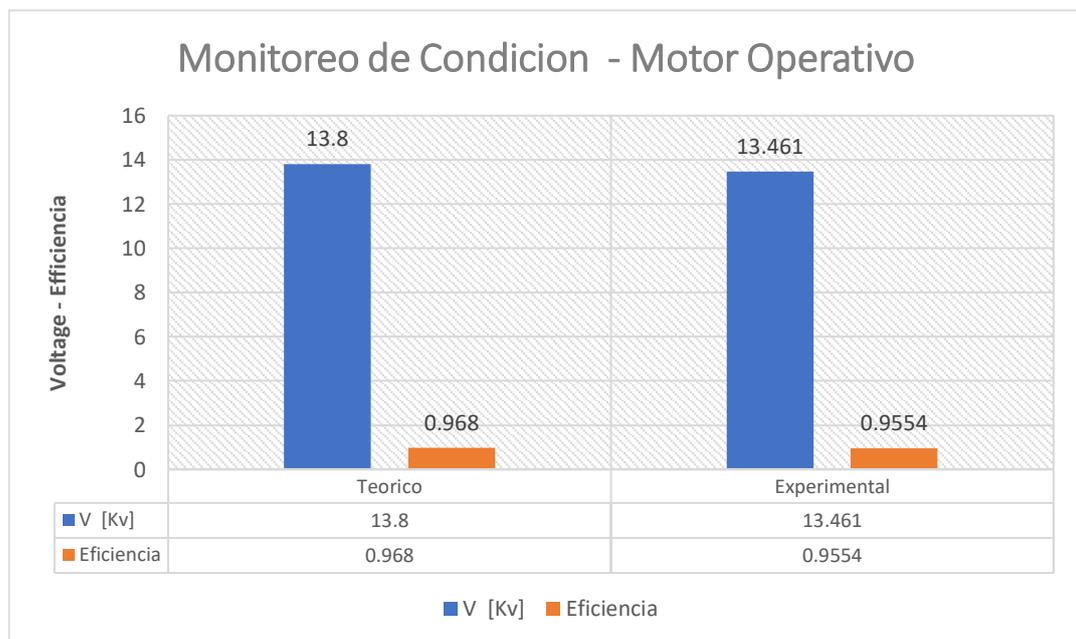
#### 4.7.4. Técnicas Predictivas Dinámicas - Baker EXP4000

Los registros de las pruebas son multivariantes, estos fueron registrados durante su operación desde la puesta en servicio, pero con ciertas restricciones de carga, por considerarse su primera puesta en servicio. sin embargo, nos enfocamos en cuatro aspectos los cuales detallamos de la siguiente manera.

Dado los registros de la **Tabla 67**, **Tabla 68**, podemos afirmar que el suministro eléctrico presenta variaciones permanentes de tensión [V], este parámetro es condicional de variación directa en demás parámetros, como: Eficiencia, Corriente,  $\cos\phi$ , Transitorios, entre otros. Así podemos verificar que la tensión de placa es 13800 V. pero, solo se dispone de 13461 V. Ver. **Tabla 70** y **Figura 69**, **Figura 70**, **Figura 101**. Sin embargo, el dimensionamiento del motor a contemplado estos escenarios de incrementos o reducciones de tensión de línea  $\pm 10\%$ ., pudiendo operar dentro de ese rango, pero con la salvedad de que cada variación repentina ocasiona transitorios eléctricos, siendo estos perjudiciales en la red y la maquina permanentemente.

**Figura 101**

*Valores obtenidos de Voltaje - Eficiencia.*



*Nota.* Mediciones realizadas a motor con EXP 4000. Ver. **Tabla 70**. Fuente: Propio

Respecto a los gráficos espectral podemos deducir ciertas tendencias durante los registros en línea permanente. En la **Figura 71** podemos verificar el incremento del torque en la máquina, la tendencia global presenta picos esto debido a distorsiones en red, potencia, Rpm. pero a pesar de ello preserva alto torque desde el arranque.

Asimismo, en las **Figura 72, Figura 75, Figura 76**, podemos evidenciar la correspondencia de tres parámetros respecto la variación de la carga mecánica del motor, durante la semana dos se programó una parada de planta donde se programó periodo de monitoreo de condición en vacío, retomando sus operaciones de manera gradual. Dado este escenario podemos reafirmar que: a menor carga le corresponde menor  $\cos\phi$  y en consecuencia muy baja eficiencia y alto consumo eléctrico innecesario.

En la **Figura 73** exponemos el monitoreo de las corrientes de línea, en los periodos de junio a agosto. Donde se evaluó el desbalance de corrientes de líneas entre sí. En consecuencia, los valores de desbalance permanecen dentro de los rangos recomendados por normativa. En todos los casos menor al 5%.

#### 4.7.5. Monitoreo De Condición

Las técnicas de monitoreo de condición son Multi-Especialidades, y estos tipos de evaluación son permanentes durante todo el periodo de operación es decir 24/7, sin embargo, nuestro análisis solo se enfoca en periodo corto dado que estas técnicas son ampliadas solo durante la puesta en servicio y primeras marchas. Entonces solo nos enfocaremos en tres indicadores de monitoreo.

Análisis Paramétrico; Análisis Vibracional; Análisis Termográfico.

Los parámetros del primer indicador, fueron registrados, evaluados y sustentados en el apartado **Técnicas Predictivas Dinámicas (4.7.4.)**. sin embargo, hacemos un cuadro resumen de los parámetros relevantes. Ver **Figura 72** y **Figura 70**

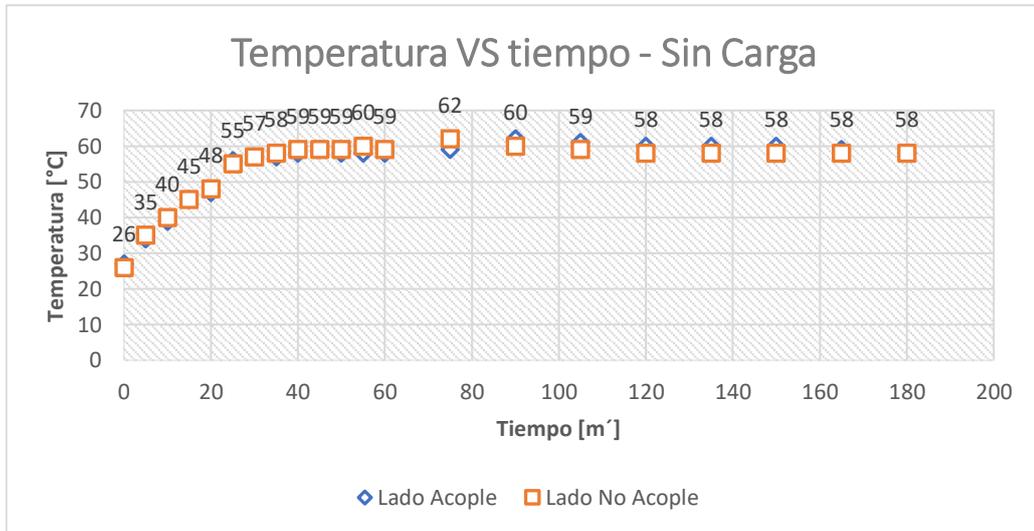
La siguiente evaluación corresponde al segundo indicador; referente al análisis vibracional sin carga y con carga, respectivamente. tal evaluación consistió en aproximadamente tres horas de permanentemente registró de valores globales RMS de [mm/s]. En la **Tabla 73** registramos el valor promedio de varias muestras tomadas permanentemente, obteniendo en todos los casos menor a la unidad. El menor valor de 0.3 [mm/s]. hasta el mayor 0.7 [mm/s]; Asimismo, podemos verificar los valores de vibración con carga, obteniendo El menor valor de 1.11 [mm/s]. hasta el mayor 1.32 [mm/s]. Entonces, podemos verificar en ambos casos los valores están dentro de los rangos admisibles por la norma. Ver **Tabla 7 - Tabla 8** y el fabricante. Ver. **Tabla 74**. Para mas detalles podemos verificar en el aparatado de **Anexo 5**.

El análisis del tercer indicador, se realizó en similares condiciones descrito en el anterior párrafo. Los valores registrados en la **Tabla 75** corresponde al monitoreo de las temperaturas mediante los sensores invasivos sumergidos en las chumaceras. Esta última ya presenta su sistema de enfriamiento recirculado (Intercambiador de Calor), siendo motivo de obtención de valores muy bajos de temperatura. Sin embargo, durante su operación con todas las condiciones reales de funcionamiento se registraron capturas termográficas las cuales están expuestas en la **Figura 79, Figura 82**. Estos valores se mantienen permanentemente y difieren en un **3%** respecto a las lecturas registradas mediante sensores invasivos. Ver **Figura 102, Figura 103**

- La siguiente curva, corresponde a la temperatura registrada en tiempos cronometrados; Además, corresponde a la maquina en operación sin carga.

**Figura 102**

*Monitoreo de Temperatura en elementos Rodantes - Chumaceras*

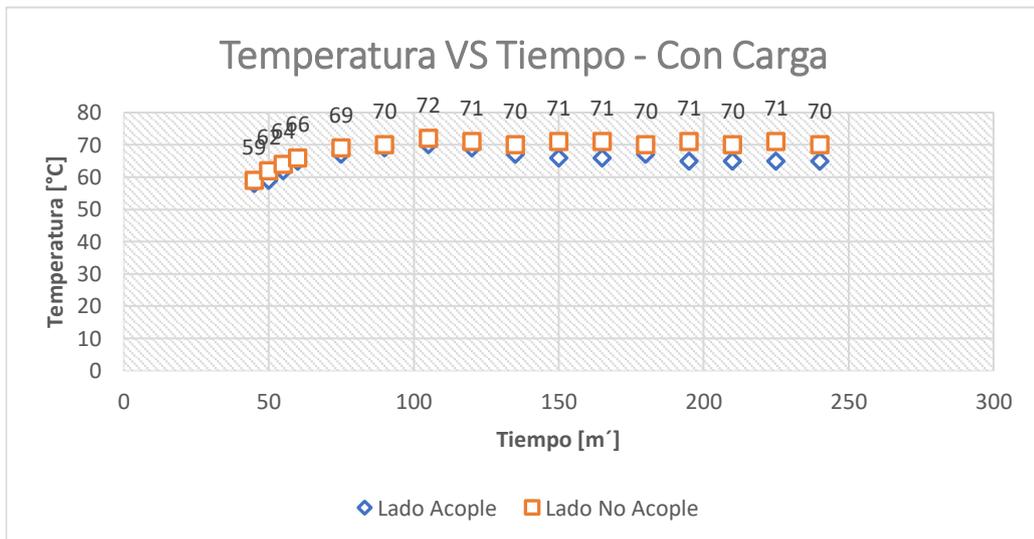


*Nota.* Ensayo motor sin carga. Fuente: Propio

- La siguiente curva, corresponde a la temperatura registrada en tiempos cronometrados; Además, corresponde a la maquina en operación con carga.

**Figura 103**

*Monitoreo de Temperatura en materiales Rodantes - Chumaceras*



*Nota.* Ensayo motor con carga. Fuente: Propio

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Dado los diagnósticos obtenidos como consecuencia de análisis de data a pruebas de campo realizados, se pudo determinar que los ensayos en mantenimientos programados permiten el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión. Estos pueden ser identificados con mucha antelación, siempre que los datos sigan un proceso de análisis de resultados con metodologías confiables. Estas aseveraciones guardan relación de coincidencia con lo afirmado por (Alver, 2018) en su trabajo de Pregrado *“Sistema de control para mejorar la confiabilidad operacional de un motor de inducción de 300 hp en la Compañía Minera Casapalca”*: que indica: el total de confiabilidad de un motor eléctrico incrementa de 27% a 40% aplicando la metodología de análisis de modos de falla; además, indica que los modos de recolección de datos han de ser mediante las técnicas predictivas. Asimismo, (Caipo, 2019) en su trabajo: *“Mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad de los motores eléctricos”* también afirma la metodología causa raíz logra incrementar la confiabilidad de 77.45% a un máximo de 86,11%. Entonces podemos asegurar que el análisis de data de ensayos apoyado con una metodología puede incrementar la identificación de fallas tempranas.

Respecto Los análisis de ensayos en mantenimientos programados que permiten el uso de Técnicas Predictivas Estáticas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de MT. Podemos indicar que muy a pesar de que la evaluación se realice de manera aislada, con la máquina fuera de servicio, los reportes son de una alta credibilidad en predicción, pudiendo establecer regímenes de paradas programadas, para garantizar los imprevistos por condiciones de incidencia en fallas. Así también, lo afirman: (Casa & Quinatoa, 2012), en su trabajo de investigación *“Aplicación de Pruebas de Aislamiento en Maquinas Eléctricas Rotativas con Voltaje Nominal Hasta 15 kV y El Análisis Respectivo de los Resultados Mediante Graficas en el Sistema Eléctrico”*: Mediante el uso del equipo de análisis estático, se realizaron evaluaciones de las condiciones del aislamiento de motores de M.T y mediante su diagnóstico se logró determinar las fechas necesarias de programación de mantenimiento, estos posevaluación de incidencia en materiales aislantes; mediante ensayos de: Resistencia de Aislamiento( DA- PI), Hipot y Surge.

Respecto Los análisis de ensayos en mantenimientos programados que permiten el uso de Técnicas Predictivas dinámicas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de MT. Podemos indicar que este tipo de ensayos emiten datos de muy alta confiabilidad dado que estos evalúan a la maquina en su régimen real de funcionamiento; asimismo, (Limaymanta, 2022) indica en su trabajo, mediante esta metodología logro determinar las variables más perjudiciales con impacto en el rendimiento de la máquina, las cuales menciono a los desbalances en R, L, V, I de líneas, las distorsiones armónicas, Entre otros.

Asimismo, (García, 2022) en su trabajo: “*Análisis Teórico -Practico de Pruebas Eléctricas a Maquinas Estáticas y Dinámicas*”. indica también que según resultados de los ensayos se puede recomendar de manera genérica llevar un control semestral o anual dependiendo de las condiciones de operación; además llevar un control de registro para realizar análisis comparativo entre los resultados anteriores respecto los actuales y así poder actualizar los periodos entre mantenimiento con el propósito de disminuir la probabilidad de una falla.

Respecto la importancia de. *Los análisis de ensayos en mantenimientos programados que permiten el monitoreo de condición en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de M. T.* Podemos coincidir las conclusiones del presente trabajo con lo descrito por (Delgado, 2017) en su trabajo , “*Diagnostico de Motores Eléctricos Para la Localización de Fallas Incipientes*” donde, desarrollo una nueva metodología de diagnóstico de fallas en motores de inducción, apoyándose de las técnicas de monitoreo de condición, específicamente El análisis vibracional. Donde pudo determinar las fallas recurrentes de barras abiertas en motores, transitorios de arranque, entre otros; además, utilizo técnicas alternativas de análisis, independientes de las señales de corriente. Utilizando únicamente señales de vibración logrando llegar al mismo diagnóstico que los métodos tradicionales.

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a las hipótesis y el desarrollo del trabajo de investigación, podemos concluir que las hipótesis son válidas ya que todos demuestran la posibilidad de diagnóstico temprano de fallas. Así tenemos:

Los ensayos en mantenimientos programados permiten el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.

Según el análisis de nuestro caso de estudio, identificamos indicios de fallo seguro, en un corto plazo. Así podemos mencionar:

- los valores de R.A. de los devanados rotóricas y estáticos respecto a fases y a masa, evidenciaban el proceso de degradación, por la exposición a condiciones rigurosas de uso (excesiva humedad, régimen de trabajo, periodos de mantenimientos preventivos prolongados, entre otros.).
- los valores de tensiones corrientes resistencia e inductancia, presentan mínimo valores de desbalance. Todos cumpliendo de manera holgado los valores porcentuales recomendados por normas eléctricas EASA IEEE.
- los elementos de control presentan Des-Calibración y deterioro por malos controles y malas prácticas en campo. En nuestro caso el sensor RTD PT 100 tipo bulbo presentaba un retardo y desfasaje en lectura, las cuales pasaban desapercibidos durante operación, pero evidenciaba tal falencia en una prueba de velocidad de respuesta.
- Actuadores descalibrados por exposición permanente y regular a variaciones de temperaturas altas. Evidenciando pérdida de presión regular en flejes y pisadores, preformados.
- Desgastes irregulares y prematuras de elementos críticos, las escobillas presentan fracturas en zonas de contacto y desgaste en alturas.

Los análisis de ensayos en mantenimientos programados permiten el uso de Técnicas Predictivas estáticas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de MT.

Durante el proceso de mantenimiento en taller la maquina se encuentra fuera de servicio y en múltiples condiciones, montado y desmontados, estas condiciones son las ideales para una evaluación con diagnóstico de alta confiabilidad, dado que estos son evaluados en conjunto y de manera aislada, pudiendo deslindar la influencia de elementos que pueden distorsionar el análisis. así podemos mencionar: la inductancia y la prueba de Surge test, en ambos casos los resultados, son influenciados y distorsionados, cuando la maquina está en condición de montado. el primer escenario. Al contener una masa ferromagnética y devanado estos distorsionan el balance inductivo, dado que los elementos no presentan simetría física estator -rotor. Asimismo, para el segundo caso, El ensayo Surge Test, cuando se evalúa el motor en conjunto solo se evalúa (P- P-EAR), Sin embargo, al tener la maquina disponible en taller y desmontado se puede realizar dos evaluaciones (P- P-EAR / L- L-EAR).

Los análisis de ensayos en mantenimientos programados permiten el uso de Técnicas Predictivas dinámicas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de MT.

Durante el proceso de evaluación la maquina asíncrona de anillos rozantes es puesto en servicio en varias etapas, dado que las mejores obtenciones de data, son mientras la maquina está operativa. Así podemos mencionar:

- El proceso de balanceo rotórico necesariamente, se requiere tener en movimiento el rotor, en ocasiones por disponibilidad de estructuras regulares como soporte de eje o por considerar la evaluación en condiciones reales de funcionamiento se debe de realizar el Pre-Montaje.
- El proceso de análisis vibracional, evalúa la maquina en conjunto, recopilando espectro mediante equipo, en las cuales podemos identificar curvas típicas de fallas eléctricas y mecánicas.

En todos los casos antes mencionados, tenemos a disposición las evaluaciones en línea, pudiendo identificar transitorios, desbalances eléctricos, soldaduras, entre otros. Pudiendo emitir diagnostico confiable.

Los análisis de ensayos en mantenimientos programados permiten el monitoreo de condición en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión

Culminando los trabajos realizados a la maquina eléctrica en conjunto y de manera aislada. contamos con la disposición de poner en servicio durante un periodo largo, monitoreando las condiciones de funcionamiento cuasi reales. Dado la constitución de la máquina, el monitoreo enfatiza en tres especialidades: Eléctrica, Vibracional, Térmica. Donde el diagnostico se realiza de manera independiente, validando permanentemente las interrelaciones entre estas.

## VII. REFERENCIAS

- ABB. (2021). *Modular Slip Ring Motors*, Type NMK. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK103508&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch=>
- Alkadhim, S. A. (2020). Three-phase Induction Motor: Types and Structure. *Xian Jiaotong University - XJTU*. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3647425](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3647425)
- Antonino, D. J. (2020). Electrical Monitoring under Transient Conditions: A New Paradigm in Electric Motors Predictive Maintenance. *MDPI*, 10(6137). <https://doi.org/doi.org/10.3390/app10176137>
- Arauco, T. M. (2022). *Determinacion de la Eficiencia de la Maquina de Corriente Continua Mediante la Prueba de HOPKINSON*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Peru]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8516>
- Areatecnologia. (2023). <https://www.areatecnologia.com/electricidad/motor-anillos-rozantes.html>
- Barreda, S. B. (2015). *Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (R.C.M.) en la EDAR de NULES-VILAVELLA*. [Tesis de Pregrado, Universitat Jaume I.]. <http://hdl.handle.net/10234/128127>
- BK Precision. (2023). <https://www.bkprecision.com>
- Caipo, M. V. (2019). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad de los motores electricos jaula ardilla de la empresa Damper SAC*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14697>
- Callupe, C. O., Suarez, O. J., & Villar, R. E. (2021). *Caracterizacion de Parametros Electromecanicos para Determinar las Fallas en Generadores Sincronos Trifasicos con Rectificador Incorporado*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Callao]. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/6004>
- Carbonwatt. (2023). <https://www.carbonwatt.com>

- Carvajal C., C. M. (2016). *Sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Motores Electricos de Induccion*. [Tesis de Maestria, Universidad Mayor de San Andres], Bolivia. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/12310>
- Carvajal E., E. A. (2022). *Metodología de detección de descargas parciales en generadores eléctricos, cables de potencia y transformadores de potencia usando el método electromagnético*. [Tesis de Maestria, Institucion Universitaria Pascual Bravo].  
[https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/1570/1/Rep\\_IUP\\_B\\_Maestr%C3%ADa\\_Energ%C3%ADa\\_Detecci%C3%B3n\\_Descargas.pdf](https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/1570/1/Rep_IUP_B_Maestr%C3%ADa_Energ%C3%ADa_Detecci%C3%B3n_Descargas.pdf)
- Casa, C. L., & Quinatoa, T. M. (2012). *Aplicacion de Pruebas de Aislamiento en Maquinas Electricas Rotativas con Voltaje Nominal Hasta 15 KV y el Analisis Respectivo de los Resultados Mediante Graficas en el Sistema Electrico*. [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnica de Cotopaxi], Ecuador. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1092>
- Casiano, S. Z. (2010). <https://es.slideshare.net/Mudsy/confiabilidad-3126570>
- Castillo, A. C. (2018). *Aplicación, análisis y diagnóstico del monitoreo en línea de descargas parciales en el aislamiento de motores anillo de gran potencia (24 MW / 16 MW) que accionan molinos Gearless Mill Drive GMD*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6993>
- Cerra, V. M., & Pacheco, T. L. (2012). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Basado en Tecnicas Predictivas: Vibracion, Termografia y Medicion de Parametros Electricos; para la Maquinas e Instalaciones Electricas Presentes en los Activos y Servicios de Cotecmar*. [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnologica de Bolivar]. <https://hdl.handle.net/20.500.12585/839>
- De La Cruz, A. (2018). *Sistema de Control para Mejorar la Confiabilidad Operacional de un Motor de Induccion de 300 HP en la Compañia Minera Casapalca*. [Tesis de Pregrado, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/5125>
- Delgado, A. P. (2017). *Diagnostico de Motores Electricos para la Localizacion de Fallas Incipientes*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Guanajuato]. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/27619>

- Dewi, H., Jufri F. H. , & Hudaya C. (2019). Techno-Economic Analysis of slip ring motor replaced by standard squirrel cage induction motor with VSD. *Physics, 1402*(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/3/033107>
- DSP Logger. (2023). <https://www.dsplogger.com/>
- EASA. (2002). *ROOT CAUSE Failure Analysis*. IECEEx.
- EASA. (2014). *Rediseño de Motores AC*. IECEEx.
- EASA. (2020). *Norma EASA AR100 - 2020 - Practica Recomendada para la reparacion de maquinas electricas rotativas*. IECEEx.
- EASA, E. A., & AEMT, A. o. (2003). *The Effect of Repair / Rewinding on Motor Efficiency*. IECEEx.
- Electromotores. (2023). <https://electromotores.com>
- ELETELE. (2020). *Resistores* (Vol. 4). [https://www.eletele.com.br/home\\_mobile.html](https://www.eletele.com.br/home_mobile.html)
- Ferrer, A. B. (2021). *Detección de descargas parciales en el sistema aislante de los motores eléctricos como técnica de mantenimiento predictivo*. [Tesis de Maestria, Universidad Politecnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/174242>
- Fluke. (2023). <https://www.fluke.com/es-pe/productos/camaras-termicas>
- García, O. S. (2022). *Análisis Teórico-Práctico de Pruebas Eléctricas a Máquinas Estáticas y Dinámicas*. [Tesis de Pregrado, Universidad Autonoma del Estado de Morelos], Cuernavaca, Mexico. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/2967/GAOSRL03.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Has, D., Jason Young, & Ryan McDaniel. (2020). Analysis of Selected Motor Event and Starting Reports. *IEEE*, 24 - 28. <https://doi.org/10.1109/CPRE.2012.6201233>
- He, J. (2019). *Investigation on Diagnostic Methods of Rotating Machines and Influence Factors Based on Existing Testing Products*. [Tesis de maestria, KTH Royal Institute of Technology], Stockholm, Suecia. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1447336/FULLTEXT01.pdf>
- Hedlund, N. (2019). *Implementing VLF as diagnostic test for HV motors and generators*. UPTEC ES 19025.

- HELMKE. (2019). *Motores HELMKE de Anillos Rozantes con Sistemas Abatibles*.  
<https://www.helmke.de/es/productos/motor-de-anillos-rozantes/>
- Hernández, Á. L. (2009). *Optimización del mantenimiento preventivo a motores de rotor devanado de 3600 kW, con 6600 volts, que mueven molinos de cemento con capacidad de 120 toneladas por hora*. [Tesis de Pregrado, Instituto Politecnico Nacional], D.F., Mexico. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/5081>
- IEC. (2017). *Norma IEC 60034-27-1. Off-line partial discharge measurements on the winding insulation*. (Vol. 12).
- IEEE. (2014). *IEEE Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery*.
- Inacio, E. J., Marquina Lujan, R. J., Horna Calderon, V. E., Llanos Miranda, K. N., Herrera Alvarez, A. M., Rodriguez Sosa, J., & Villamar Romero, R. M. (2022). *Tesis Facil - El arte de dominar el metodo científico*. Analectica.
- Inducor Ingenieria S.A. (2017). *diagnostico por descargas parciales en generadores y motores dirigido a supervisores y dueños de grandes maquinas*. *Electrical Testing Group*. [www.inducor.com.ar](http://www.inducor.com.ar)
- ISO 10816 - 8. (2018). *Norma ISO 10816 - 8 (1 ed.)*.  
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:20816:-8:ed-1:v1:en>
- Kim, H., & Kong, T. (2018). Experience with Stator Insulation Testing and Turn/Phase Insulation Failures in the Power Generation Industry. *Institute of Energy Technology Evaluation and Planing (KETEP)*.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8062329>
- Limaymanta, S. P. (2022). *Análisis de calidad en motores de inducción mediante pruebas eléctricas en régimen dinámico*. [Tesis de Pregrado, Universidad Continental], Huancayo, Junin, Peru.  
[https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11858/2/IV\\_FIN\\_109\\_TE\\_Limaymanta\\_Sierra\\_2022.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11858/2/IV_FIN_109_TE_Limaymanta_Sierra_2022.pdf)
- Llacza, R. H. (2018). *Factores Influyentes de Corto Circuito en el Funcionamiento de Maquinas Electricas Sincronicas y Asincronicas*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Callao]. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/4051>

- Megabras. (2023). <https://www.megabras.com>
- MEGGER D. (2020). *User Guide Dinamyc Motor Analyzer SKF EXP4000* (Vol. 16). <https://es.megger.com/dynamic-motor-analyzer-baker-exp4000-15>
- MEGGER P. (2023). <https://csa.megger.com/static-motor-analyzer-booster-baker-ppx-power-packs-14>
- MEGGER S. (2020). *User Guide Baker AWA -IV Static Motor Analyzer* (Vol. 16). <https://megger.com/static-motor-analyzer-baker-awa-iv>
- Ochoa, G. P. (2012). *Protocolo de pruebas para máquinas rotativas de baja potencia fundamentadas en Normas IEEE*. [Tesis de Pregrado, Universidad Politecnica Salesiana], Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1762>
- Oettl, F., Krueger, M., GmbH, O. e., Wojciech Koltunowicz, K., Badicu, L. V., Gorgan, B., GmbH, O. E., & Berlin. (2018). Mediciones de descargas parciales en maquinas rotativas: Experiencia e innovacion. *OMICRON*. [www.omicronenergy.com](http://www.omicronenergy.com)
- OMICRON M. (2020). Mediciones de descargas parciales en maquinas rotativas. *Omicron*. [www.omicronenergy.com](http://www.omicronenergy.com)
- OMICRON P. (2020). Pruebas Primarias. *Omicron*. [www.omicronusa.com](http://www.omicronusa.com)
- Peralta, N. G. (2009). *Diagnostico de Fallas en Motores de Induccion*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Peru]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3559/Peralta%20Nu%C3%B1ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pinto, R. J. (2019). *Desarrollo de plan de mantenimiento en motores eléctricos*. [Tesis de Pregrado, Universidad Continental], Arequipa, PERU. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8682>
- Plazenet, T. (2018). A Comprehensive Study on Shaft Voltages and Bearing Currents in Rotating Machines. *IEEE*, 3749 - 3759. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2818663>

- Ponce, R. R. (2017). *Confiabilidad en motores asíncronos en una planta de procesamiento de minerales*. [Tesis de Pregrado, Pontificie Universidad Catolica de Valparaiso]. [http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-1500/UCC1547\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-1500/UCC1547_01.pdf)
- Rahman, F. M., & Wahjoe Goeritno, S. (2022). Implementation of Autonomous Maintenance on Maintenance of Three-Phase Slip Ring Induction Motor Used In Rubber Internal Motor Mixer. *Liaison Journal of Engineering*, 2(2), 73 - 78. <https://ojs.iuli.ac.id/index.php/eng/article/view/76/68>
- Sampieri, R. H. (2018). *Metodologia de la Investigacion: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.
- San Martín, O. M. (2015). *Generacion Sistemática de un Modelo de Gestion y Control de Ensayos de Maquinas Electricas Para la Determinacion de sus Parametros Caracteristicos y sus Implementacion en un Entorno Industrial*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Valladolid]. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/13155>
- SCHUNK. (2023). <https://www.schunk-group.com/carbon-technology/en>
- SIEMENS. (2018). *Motor de anillo SIMOTICS HV M*. <https://www.directindustry.es/prod/siemens-electric-motors/product-18183-2229013.html>
- SIEMENS. (2020). *Motores / Generadores de Induccion - Instalacion, Funcionamiento y Mantenimiento*. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:17766c09-7d67-40e9-a8a9-c970957a1f46/instr-manual-horiz-odp-wpi-wpii-drawing-03520spn.pdf>
- Turizo, R. E. (2017). *Aplicación de la prueba de descargas parciales al generador hidráulico de 85 MW de la central hidroeléctrica URRÁ I*. [Tesis de Pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2689>
- Vanegas, R. A. (2019). *Implementacion de una Guia para el Diagnostico de Fallas y Estimacion de Eficiencia de Maquinas Electricas Asincronas Utilizando el Equipo MCEMAX*. [Tesis de Pregrado, Universidad Autonoma de Occidente], Colombia. <http://hdl.handle.net/10614/10856>

- WEG. (2021). *Motores de Induccion Trifasicos con Sistema de Control de Alza Escobillas Automaticos*.  
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h83/hb0/WEG-motores-con-sistema-de-control-de-alza-escobillas-autom-ticos-50112292-brochure-espanol.pdf>
- WEG M. (2018). *Motores Electricos de Induccion Trifasicos de Alta y Baja Tension*.  
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h13/hce/WEG-motores-el-ctricos-de-inducci-n-trif-sicos-de-alta-y-baja-tensi-n-l-nea-m-rotor-de-anillos-horizontales-portaescobillas-levantable-14338698-manual-espanol.pdf>
- Wordpress. (2015). <https://mantenimientofacil.wordpress.com/2015/09/09/termografia-en-rodamientos/>

## **ANEXOS**

Anexo 1 Matriz de Consistencia

“Ensayos en Mantenimientos Programados para El Diagnóstico Temprano de Fallas en Máquinas Eléctricas Rotativas de Anillos Rozantes de Media Tensión, Villa El Salvador 2023”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS	VARIABLE X	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
¿En qué medida el análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión? Villa El Salvador 2023.	Analizar como los resultados de los ensayos en mantenimientos programados permiten el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión. Villa El Salvador 2023.	<p><b>HI:</b> Los ensayos en mantenimientos programados permiten el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión. Villa El Salvador 2023.</p> <p><b>HO:</b> Los ensayos en mantenimientos programados no permiten el diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión. Villa El Salvador 2023.</p>	Analizar los resultados de los ensayos en mantenimientos programados	Análisis Estático	R. A. (DA - PI)	<p>Tipo de investigación: el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada</p> <p>Nivel de la investigación: de acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio explicativa</p> <p>Diseño de investigación: el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación experimental</p> <p>Enfoque de investigación: el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación con enfoque cuantitativo</p> <p>Técnicas: las principales técnicas de recolección de datos corresponden principalmente a dos circunstancias, en campo y en taller. El primero receptando mediante técnicas predictivas, confiabilidad; el segundo mediante monitoreo de condición.</p> <p>Instrumentos: documentación digital y física denominados usualmente como: protocolos de pruebas, ITR, expedientes técnicos, dossier de calidad.</p> <p>Población: la presente investigación clasifico de un universo finito de máquinas, solo seis modelos de estudios, la cual denominamos población; asimismo, de estos modelos de estudios seleccionamos dos modelos de análisis las cuales denominamos muestra.</p> <p>Muestra: en el presente trabajo someteremos a estudio, dos modelos de máquinas eléctricas rotativas. La máquina asíncrona y síncrona. Ambos de anillos rozantes, donde el primer modelo será el principal protagonista de estudio y el segundo solo será considerado de manera eventual.</p> <p>Método de análisis de datos: el presente estudio considera el procedimiento de la prueba de hipótesis; asimismo utilizando los métodos no paramétricos.</p>
					R	
					L	
					Prueba de relación de transformación	
					Prueba de rotor bloqueado	
					Prueba de núcleo magnético	
					Prueba de impedancia $1\emptyset - 3\emptyset$	
				Metrología (Presión, Distancias.)		
				Análisis Dinámico	Prueba de vacío	
					Balanceo estático y dinámico	
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS	VARIABLE Y	DIMENSION		
<p><b>PE1:</b> ¿En qué medida el análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el uso de técnicas predictivas estáticas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión?</p> <p><b>PE2:</b> ¿En qué medida el análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el uso de técnicas predictivas dinámicas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión?</p> <p><b>PE3:</b> ¿En qué medida el análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el monitoreo de condición en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión?</p>	<p><b>OE1:</b> Evaluar el análisis de ensayos en mantenimientos programados que permiten el uso de técnicas predictivas estáticas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.</p> <p><b>OE2:</b> ¿Evaluar el análisis de ensayos en mantenimientos programados que permiten el uso de técnicas predictivas dinámicas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión?</p> <p><b>OE3:</b> ¿Identificar el análisis de ensayos en mantenimientos programados que permiten el monitoreo de condición en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión?</p>	<p><b>HE1:</b> El análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el uso de técnicas predictivas estáticas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.</p> <p><b>HE2:</b> El análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el uso de técnicas predictivas dinámicas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.</p> <p><b>HE3:</b> El análisis de ensayos en mantenimientos programados permite el monitoreo de condición en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.</p>	Diagnóstico temprano de fallas en máquinas eléctricas rotativas de anillos rozantes de media tensión.	Técnicas Predictivas Estáticas (Baker SKF - AWA IV)	R.A. (DA – PI); R; L	
					Surge	
					Hipot	
					Descargas Parciales	
				Técnicas Predictivas Dinámicas (Baker EXP 4000)	V, I, P, t <sub>0</sub>	
					Espectros	
					Transitorios	
					Eficiencia	
				Monitoreo de Condición	Análisis Paramétrico	
					Análisis Termográfico	
Análisis Vibracional						

Nota. Síntesis de Operacionalización de variables. Fuente: Propio

## Anexo 2 Presión en escobillas según Grado

**Tabla 77**

*Tabla de Presiones - Grado*

Grupo de Grados o Calidades		gr. / cm <sup>2</sup>		
		Colectores		
		Anillos	Estacionar	Tracción
Carbón Grafito Duras	(L)		180 – 200	250 - 350
Electrografito	(E)	180 – 200	180 – 200	250 - 400
Grafito Natural	(F)	180 – 200	150 - 180	
Grafito Resina	(F)		180 – 200	
Metálicas	(A, B, K, S)	180 – 200	180 – 200	
Velocidades Normales		180 – 200	180 – 200	
Velocidades 1 m/s		250 - 300		

*Nota.* Tabla Grado -Presión. Fuente: (SCHUNK, 2023)

### Anexo 3 Tabla de Grado - Composición de carbones

Tabla 78

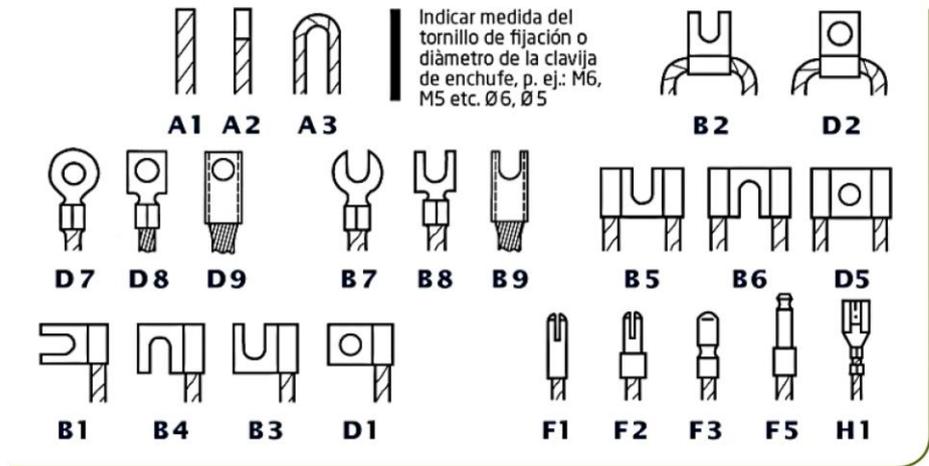
Tabla de Grado según composición de escobillas.

Grado	Tipo de Material	Resistencia Eléctrica Específica	Coeficiente de Fricción (ver tabla)	Nº Experiment al de	Caída de Tensión (V) (ver tabla Nº 1)	Dureza Rockwell			Coeficiente de Ruptura a la Flexión	Densidad gr. / cm <sup>3</sup>	% Metal
						H	R	10			
A12 S	Cobre - Grafito	0.25	n	6	vl	85	-	-	4.10	70	
A 16	Cobre - Grafito	0.15	m	5	vl	85	-	-	5.00	85	
A 20	Cobre - Grafito	2.5	m	7	vl	85	-	-	2.90	50	
A 24	Cobre - Grafito	5.0	n	7	l	80	-	-	2.60	40	
A 30	Cobre - Grafito	10.0	n	7	l	75	-	-	2.20	25	
A 41	Cobre - Grafito	20.0	m	6	m	95	-	-	2.70	37	
B 14	Bronce - Grafito	0.1	n	5	vl	55	-	-	5.30	90	
B 14 Z 1	Bronce - Grafito	0.1	n	5	vl	100	-	-	5.30	90	
B 22	Bronce - Grafito	1.0	n	6	l	90	-	-	4.00	70	
C 40	Cobre - Grafito	0.5	n	6	vl	100	-	-	4.10	75	
K 14 Z 3	Cobre - Grafito	1.5	n	6	vl	110	-	-	3.30	66	
S 13	Plata - Grafito	2.5	m	-	vl	87	-	-	3.60	60	
F 19	Grafito	13	n	4	m	-	-	10	1.30	-	
F 22	Grafito	25	n	4	m	-	-	4	1.25	-	
F 34	Grafito - Resina	100	m	8	l	102	-	38	2.1	10	
F 40	Resina - Grafito	110	n	3	h	100	-	30	1.80	-	
F 46	Resina - Grafito	250	n	3	h	108	-	35	1.80	-	
F 48	Resina - Grafito	300	n	3	h	100	-	30	1.70	-	
F 51	Resina - Grafito	300	n	3	h	100	-	30	1.70	-	
F 52	Resina - Grafito	300	n	3	h	110	-	30	1.70	-	
F 60	Resina - Grafito	250	m	3	h	90	-	18	1.52	-	
E 27	Electrografito	42	n	1	m	-	90	20	1.60	-	
E 29	Electrografito	38	n	2	m	-	100	30	1.65	-	
E 43	Electrografito	20	n	7	m	100	-	30	1.60	-	
E 43 Z 3	Electrografito	20	n	7	m	-	105	42	1.80	-	
E 46	Electrografito	25	m	1	m	50	-	10	1.40	-	
E 46 F3	Electrografito	25	m	4	m	50	-	10	1.40	-	
E 46 X	Electrografito	25	m	1	m	85	-	18	1.55	-	
E 49	Electrografito	60	n	1	h	-	90	18	1.60	-	
E 49 X	Electrografito	60	n	1	h	-	105	25	1.62	-	
E 49 X F3	Electrografito	60	n	1	h	-	105	25	1.62	-	
E 50	Electrografito	100	n	1	h	-	110	21	1.65	-	
E 50 X	Electrografito	100	n	2	h	-	115	32	1.70	-	
E 55	Electrografito	28	n	1	m	-	90	28	1.75	-	
E 64 Z 4	Electrografito	40	m	2	m	-	95	28	1.70	-	
E 79 X	Electrografito	40	m	1	m	90	-	16	1.65	-	
E 79 Z1	Electrografito	40	m	2	m	95	-	20	1.65	-	
E 84	Electrografito	40	n	2	m	-	100	25	1.70	-	
E 84 X	Electrografito	40	n	2	m	-	105	30	1.72	-	
E 84 S	Electrografito	35	n	2	m	-	105	30	1.70	-	
E 88	Electrografito	50	n	2	m	-	105	30	1.65	-	
E 88 X	Electrografito	50	n	2	m	-	110	35	1.70	-	
E 94	Electrografito	45	n	2	m	-	110	40	1.60	-	
E 101	Electrografito	45	n	1	m	-	90	25	1.58	-	
E 140	Electrografito	55	m	1	m	-	90	17	1.55	-	
L 52	Carbón - Grafito	450	n	8	h	-	108	36	1.6	-	
L 53	Carbón - Grafito	1250	h	8	h	85	-	22	1.5	-	
L 82 F 10	Carbón - Grafito	350	h	8	h	-	85	25	1.58	-	

## Anexo 4 Características de Escobillas

### Conexión

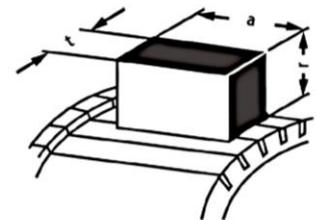
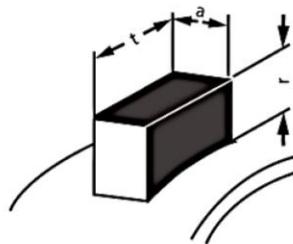
- Cable conductor
- Terminal



### Dimensiones de la escobilla

Las dimensiones de las escobillas deben indicarse en el siguiente orden: **t x a x r**, siendo

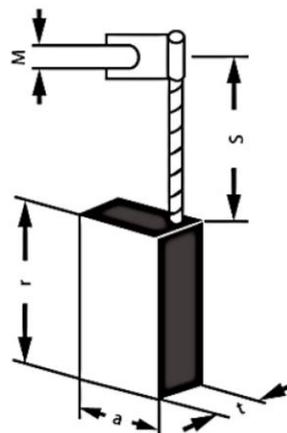
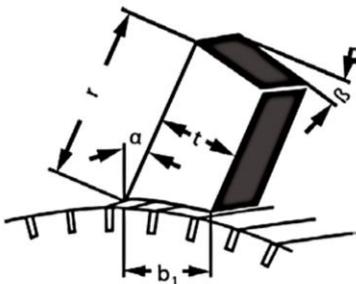
- t** = tangencial (en dirección de la circunferencia)
- a** = axial (en dirección del eje)
- r** = radial (en dirección del diámetro, incl. asiento de la cabeza)



Si el diseño de escobilla que desean no es simplemente rectangular, deberán facilitarnos por favor datos adicionales, como la inclinación de la superficie de rodadura, ranura, etc. Además, para las escobillas con superficie de contacto con inclinación,

deberán indicar el ángulo tanto de la dicha superficie como de la cabeza. Para escobillas con accesorios, valga el siguiente caso a modo de ejemplo:

Ejemplo:  
**S** = Largo del cable conductor, medido desde el comienzo de la cabeza de la escobilla hasta la mitad del terminal o tornillo de fijación  
**M** = Medida del tornillo de fijación, p.ej. M6



- 1) Dimensiones de la escobilla: **t x a x r** 10x25x32 mm, cable conductor **S=75 mm** y terminal diseño =B1
- 2) Ancho de la ranura =6 mm (M6)

*Nota.* Manual de tipos de escobillas industriales y de tracción, Pg 06. Fuente: (SCHUNK, 2023)

# SIEMENS

## Motores / generadores de inducción

Instalación  
Funcionamiento  
Mantenimiento

Horizontal - Medallion™  
Bastidores 500, 580, 680, 800, 1120  
Carcasas ODP, WPI y WPPI

---

**Tipos CG, NCG, CGII, NCGII**

## Índice

	Página		Página
<b>ÍNDICE</b>	<b>1</b>	<b>Funcionamiento</b>	<b>10</b>
<b>PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD</b>	<b>2</b>	Arranque inicial	10
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>	Sistemas de circulación de aceite	10
Garantía	3	Funcionamiento normal	10
Recepción	3	Variación de tensión / frecuencia	10
Manipulación	4	Resolución de problemas	11
Almacenamiento temporal	4	<b>Mantenimiento</b>	<b>13</b>
Designaciones de tipo	4	Mantenimiento preventivo	13
Ventilación	4	Inspección	13
<b>Instalación</b>	<b>5</b>	Mantenimiento correctivo	15
Dimensiones del motor	5	Limpieza del rotor	15
Ubicación	5	Limpieza del estator	15
Fundación	5	Resistencia del aislamiento	16
Montaje	5	Secado del aislamiento	16
Acoplamiento de motores con cojinetes de manguito	5	Cojinetes	17
Cableado externo	6	Lubricación de los cojinetes	20
Cambio de la dirección de rotación	6	Reemplazo de los cojinetes	22
Alineación	6	<b>REPUESTOS</b>	<b>25</b>
Alineación en caliente	7	Identificación	25
Vibración	8	<b>REGISTRO DE SERVICIO DEL MOTOR</b>	<b>34</b>
Ensamble con pasadores guía	8	<b>HOJA DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN</b>	<b>35</b>
Lubricación a presión	8	<b>NOTAS</b>	<b>36</b>
Parámetros típicos de control del motor	9		

**Nota:** Estas instrucciones no pretenden incluir todos los detalles o variaciones de los equipos, ni tampoco dar una solución para todas las posibles contingencias que surjan en relación con la instalación, el funcionamiento o el mantenimiento. Si desea obtener más información o si surge algún problema en particular que no se trate con suficiente detalle a los fines del usuario, debe consultar a la Oficina de Ventas local de Siemens. El contenido de este manual de instrucciones no formará parte de ningún acuerdo, compromiso o relación existente o anterior, ni los modificará. El contrato de venta contiene todas las obligaciones de Siemens. La garantía incluida en el contrato entre las partes constituye la totalidad de la garantía de Siemens. Las manifestaciones incluidas en el presente no crean ninguna garantía nueva ni modifican la garantía existente.

Las máquinas de Siemens se fabrican de acuerdo con la última revisión aplicable del Código Eléctrico Nacional (National Electric Code), las Normas y Procedimientos de Underwriters Laboratories y las Normas de la Asociación Nacional de Fabricantes de Productos Eléctricos (National Electrical Manufacturers Association, NEMA). Debe leer atentamente y comprender estas publicaciones y el presente manual de instrucciones, antes de comenzar a trabajar con este equipo.

La intención de la información incluida en el presente es ayudar al personal de operaciones brindando información sobre las características generales del equipo comprado. No exime al usuario de la responsabilidad de usar prácticas de ingeniería aceptadas en lo que respecta a la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento de este equipo.

Si surgiera algún conflicto entre la información general de este manual y el contenido de los dibujos y el material complementario, prevalecerá este último.

Las ilustraciones de este manual corresponden a máquinas típicas. Las características especiales son distintas de las de los gráficos.

## Instalación

Controle la alineación vertical (paralelismo) de la transmisión acoplada de la siguiente forma:

1. Opere la unidad hasta que alcance una temperatura normal (pueden requerirse varias horas).
2. Apague el motor y bloquee el interruptor.
3. Monte el indicador de cuadrante como se indica en la Figura 2.
4. Rote el eje, observando las lecturas a 0°, 90°, 180° y 270° (ambos lados, parte superior y parte inferior). Si la lectura total del indicador se encuentra dentro del límite de 0,0508 mm (0,002 pulgadas) o dentro de otro límite especificado por la fábrica, la unidad es apta para funcionamiento.
5. Si no se encuentra dentro de los límites, agregue o retire cuñas según se requiera para elevar o bajar el motor.
6. Si se cambian las cuñas para que funcione a alta temperatura, repita el procedimiento de alineación en la medida que sea necesario para asegurar una alineación correcta. Documente las lecturas con fines informativos para la garantía.

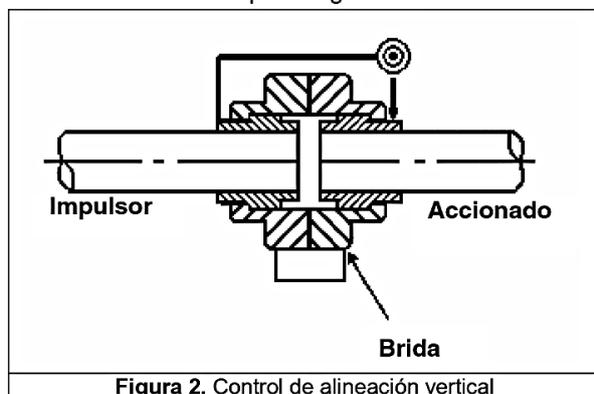


Figura 2. Control de alineación vertical

## Vibración

Los límites estándar de vibración no filtrada del alojamiento medidos sin carga, sin acoplamiento y con montaje rígido, de acuerdo con los requisitos de MG1-7.8 de NEMA, son los siguientes:

Velocidad	Velocidad, pico mm/seg. (pico pulgadas/seg.)
1200 – 3600 RPM	3,048 (0,120)
1000 RPM	2,667 (0,105)
900 RPM	2,4384 (0,096)
750 RPM	2,0066 (0,079)
720 RPM	1,905 (0,075)
600 RPM	1,6002 (0,063)

Una vez que la alineación esté completa y los tornillos de montaje de las patas estén ajustados, ponga el motor en funcionamiento sin carga (o con la mínima carga posible). Controle la vibración. Si hay vibración excesiva y la alineación es aceptable, controle el plano de las patas aflojando un tornillo de montaje del extremo de la transmisión por vez, según se detalla a continuación. Esto se debe documentar con fines informativos para la garantía. Cuando está sobre

montaje elástico, los niveles permitidos son un 25 % más altos.

## Finalización de la instalación mecánica

Después de controlar la holgura axial del rotor y establecer una alineación exacta, se recomienda perforar y escariar la placa soporte y las patas de motor juntas para colocar pasadores guía. (Consulte **Ensamble con pasadores guía**).

Vuelva a controlar la alineación paralela y angular antes de sujetar el acoplamiento con los tornillos. El eje del motor debe estar nivelado dentro de un límite de 0,762 mm (0,03 pulgadas) después de la alineación.

## Ensamble con pasadores guía

Ensamblar el motor (y la unidad accionada) con pasadores guía:

1. Limita el movimiento.
2. Facilita la realineación si se retira el motor de la base.
3. Contiene temporalmente al motor, en caso de que se aflojen los tornillos de montaje.

## Colocación de pasadores guía

Se recomienda realizar el siguiente procedimiento:

- a. Controle la alineación después de que la unidad haya estado en funcionamiento durante aproximadamente una semana. Realice las correcciones necesarias.
- b. Usando los agujeros preperforados para los pasadores en las patas del motor como guías, perfora la base de montaje.
- c. Escarie agujeros en las patas y la base para obtener el diámetro correcto para los pasadores guía ahusados. Limpie las virutas.
- d. Inserte los pasadores guía.

## Lubricación a presión

Si se usa lubricación a presión, lave bien las líneas de lubricación para asegurarse de que estén limpias antes de conectarlas a los alojamientos de cojinetes. Asegúrese de que las cavidades de los cojinetes tengan el nivel de aceite correcto antes de arrancar el motor. Consulte el dibujo esquemático del motor para determinar el nivel de aceite correcto. Asegúrese de que el sistema de suministro proporcione la presión y el flujo de aceite correctos. Verifique que el flujo de drenaje de aceite se adecue a los requisitos de fábrica. No se deben modificar la orientación ni el tamaño de las tuberías de drenaje de aceite provistas con el motor. Las tuberías de drenaje de aceite deben ser de mismo tamaño o más grandes que las tuberías de motor que van al cárter de aceite. Las tuberías deben estar inclinadas hacia abajo. La acumulación de presión en la línea de drenaje entre el cárter de aceite y el alojamiento de cojinete del motor puede causar fugas de aceite. Documente las lecturas con fines informativos para la garantía.

## Instalación

### Parámetros típicos de control del motor

	Alarma	Disparo (apagado)	Parámetros de disparo del temporizador <sup>(1)</sup>
Temperatura del devanado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aislamiento clase B</li> <li>• Aislamiento clase F</li> </ul>	130 °C 155 °C	155 °C 170 °C	
Temperatura de los cojinetes del motor (Termopar o RTD) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cojinete de manguito</li> <li>• Cojinete antifricción</li> </ul>	100 °C 100 °C	105 °C 105 °C	
Falla a tierra	4 amperios <sup>(2)</sup> Circuito primario	8 amperios <sup>(2)</sup> Circuito primario	0,2 seg. <sup>(2)</sup>
Sobrecorriente instantánea <ul style="list-style-type: none"> <li>• Con retardo de ½ ciclo</li> <li>• Sin retardo</li> </ul>	1,8 veces los amperios del rotor bloqueado <sup>(2)</sup> 2,4 veces los amperios del rotor bloqueado <sup>(2)</sup>		
Tensión máxima	110 % de la tensión nominal		10 seg.
Tensión mínima (la tensión mínima también se aplica al arranque, a menos que se especifique lo contrario)	90 % de la tensión nominal		10 seg.
Desviación de frecuencia máxima		±5 %	10 seg.
Tensión más desviación de frecuencia máxima		±10 %	10 seg.
Desequilibrio de tensión máximo <sup>(3)</sup>		1 %	15 seg.
Desequilibrio de corriente máximo <sup>(3)</sup>		8 %	15 seg.

RPM	Límites de vibración sugeridos			
	3600	1800	1200	900 y menos
Eje (milésimas, pico a pico)	3,3	3,7	4,3	5,0
Alojamiento mm/seg. (pulg./seg.)	6,35 (0,25)	6,35 (0,25)	6,35 (0,25)	6,35 (0,25)

<sup>(1)</sup> Tiempo máximo en condiciones máximas antes de que funcione el dispositivo de control.

<sup>(2)</sup> Se debe aumentar según sea necesario para evitar disparos molestos.

<sup>(3)</sup> Es la desviación máxima del promedio de las tres fases.

## Anexo 6      Glosario de términos

**Bobina:** Arrollamiento de un cable conductor alrededor de un cilindro sólido o hueco, con lo cual y debido a la especial geometría obtiene importantes características magnéticas.

**Corriente Eléctrica Alterna:** El flujo de corriente en un circuito que varía periódicamente de sentido. Se le denota como corriente A.C. (Altern Current) o C.A. (Corriente alterna).

**Corriente Eléctrica Continua:** El flujo de corriente en un circuito producido siempre en una dirección. Se le denota como corriente D.C. (Direct current) o C.C. (Corriente continua).

**Corriente Eléctrica:** Es el flujo de electricidad que pasa por un material conductor; siendo su unidad de medida el amperio. y se representan por la letra I.

**Desbalance:** El desbalance mecánico se presenta en elementos rotativos cuando el centro geométrico no coincide con el centro de masa.

**Eje:** Parte del motor de inducción destinado a guiar el movimiento de rotación del rotor.

**Estator:** Parte fija de un motor.

**Inducción Electromagnética:** Es la creación de electricidad en un conductor, debido al movimiento de un campo magnético cerca de este o por el movimiento de él en un campo magnético.

**Inducción:** Producción de corrientes llamadas corrientes inducidas en un circuito bajo la influencia de un imán o de una corriente. Influjo recíproco de las corrientes eléctricas sobre los imanes.

**Interruptor:** Aparato de poder de corte destinado a efectuar la apertura y/o cierre de un circuito que tiene dos posiciones en las que puede permanecer en ausencia de acción exterior y que corresponden una a la apertura y la otra al cierre del circuito. Puede ser unipolar, bipolar, tripolar o tetrapolar.

**Ley de Faraday:** Si un campo magnético variable atraviesa el interior de una espira se obtendrá en esta una corriente eléctrica.

**Motor eléctrico:** El motor eléctrico permite la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, esto se logra, mediante la rotación de un campo magnético alrededor de una espira o bobinado que toma diferentes formas.

**Potencia nominal de un motor:** Es la potencia mecánica disponible sobre su eje, expresada en vatios, kilovatios o megavatios. MTBF. - Tiempo medio entre fallas

**Rendimiento:** Capacidad de producción de un equipo expresado en porcentaje.

**Resistencia Eléctrica:** Se define como la oposición que ofrece un cuerpo a un flujo de corriente que intente pasar a través de sí.

**Rodamiento:** Es un elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este por medio de una rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.

**Rotor:** Parte rotativa de un motor.

**Tierra:** Comprende a toda la conexión metálica directa, la parte estructural carcasa.

**Transmisión:** comprende la interconexión, transformación y transporte de grandes bloques de electricidad, hacia los centros urbanos de distribución, a través de las redes eléctricas y en niveles de tensión que van desde 115.000 Volts, hasta 800.000 Volt.

**Voltio o voltaje:** Es la unidad de fuerza que impulsa a las cargas eléctricas a que puedan moverse a través de un conductor. Su nombre, voltio, es en honor al físico italiano, Alejandro Volta quien descubrió que las reacciones químicas originadas en dos placas de zinc y cobre sumergidas en ácido sulfúrico originaban una fuerza suficiente para producir cargas eléctricas.

**Watt:** Es la unidad de potencia de un elemento receptor de energía (por ejemplo, una radio, un televisor). Es la energía consumida por un elemento y se obtiene de multiplicar voltaje por corriente.

## Anexo 7 Siglas

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
ANSI	American National Standards Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
EASA	Electrical Apparatus Service Association
IEC	International Electrotechnical Commission
UL	Underwriters Laboratories, Inc.
C.A.	Current Altern
C.D.	Current Direct
FFT	Fast Fourier Transform
PSD	Power Spectral Density
VFD	Variable Frequency Drive
SKF	Svenska Kullager Fabriken (fábrica de rodamientos de bola sueca)
LT/MT/HT	Low Tension / Medium Tension / High Tension
DWT	Discrete Wavelet Transform
EMD	Empirical Mode Decomposition
EEMD	Ensemble Empirical Mode Decomposition
STFT	Short-time Fourier transform
TFMS	Time-Frequency Morlet Scalogram
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de normalización)
PI / DA	Polarization Index / Absorption Index
PD	Partial Discharge

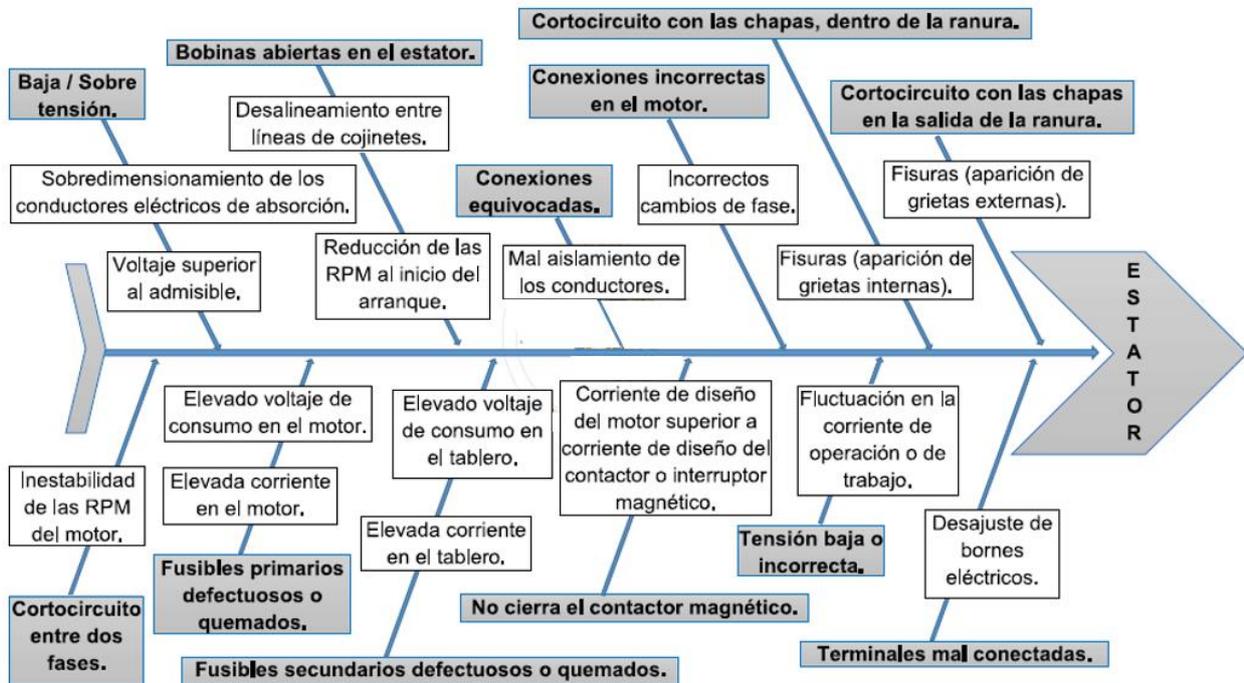
## Anexo 8 Nomenclatura

R	Resistencia	[ $\Omega$ ]
C	Capacitancia	[F]
L	Inductancia	[H]
DF	Factor de Disipación	[%]
F	Frecuencia	[Hz]
I	Corriente	[A]
n'	Numero de Descargas	[#]
P	Potencia	[W]
Q	Carga	[C]
T	Temperatura	[ $^{\circ}$ C]
t	Tiempo	[s]
V	Voltaje	[V]
w	Frecuencia Angular	[rad/s]
X	Reactancia	[ $\Omega$ ]
XL	Reactancia Inductiva	[ $\Omega$ ]
XC	Reactancia Capacitiva	[ $\Omega$ ]
Z	Impedancia	[ $\Omega$ ]
FP	Factor de potencia	[FP < 1]
B	Intensidad de Campo Magnético	[Gauss]
$\emptyset$	Flujo Magnético	[Wb]

## Anexo 9 Diagramas Ishikawa (Causa Efecto)

**Figura 105**

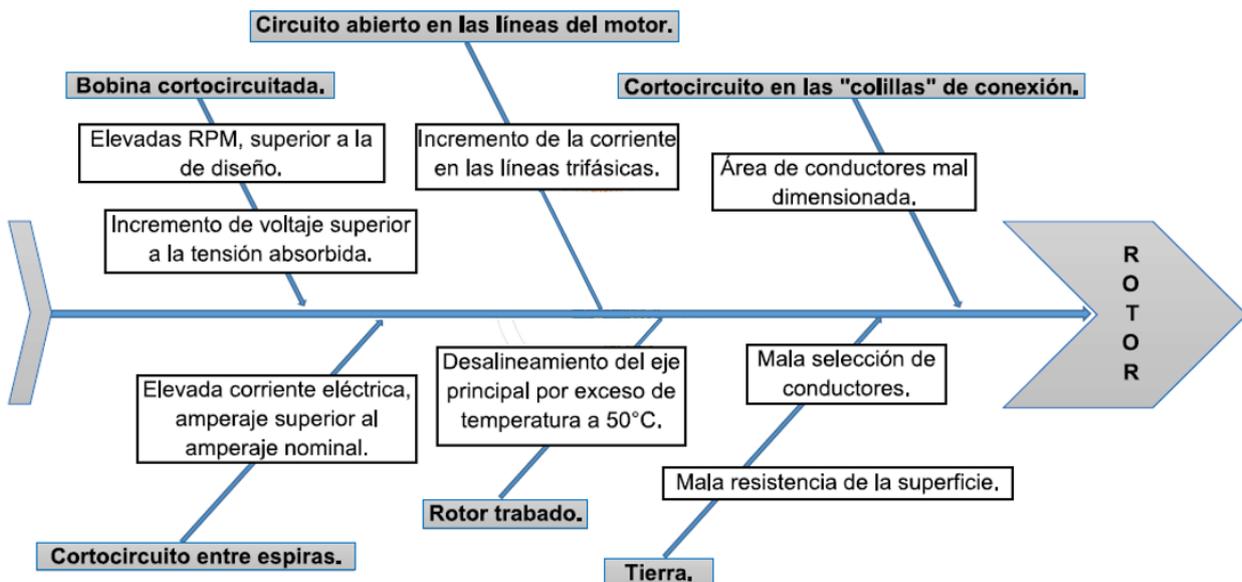
Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) - Estator



Nota. Posibles fallas recurrentes en Estator. Fuente: (Caipo, 2019)

**Figura 104**

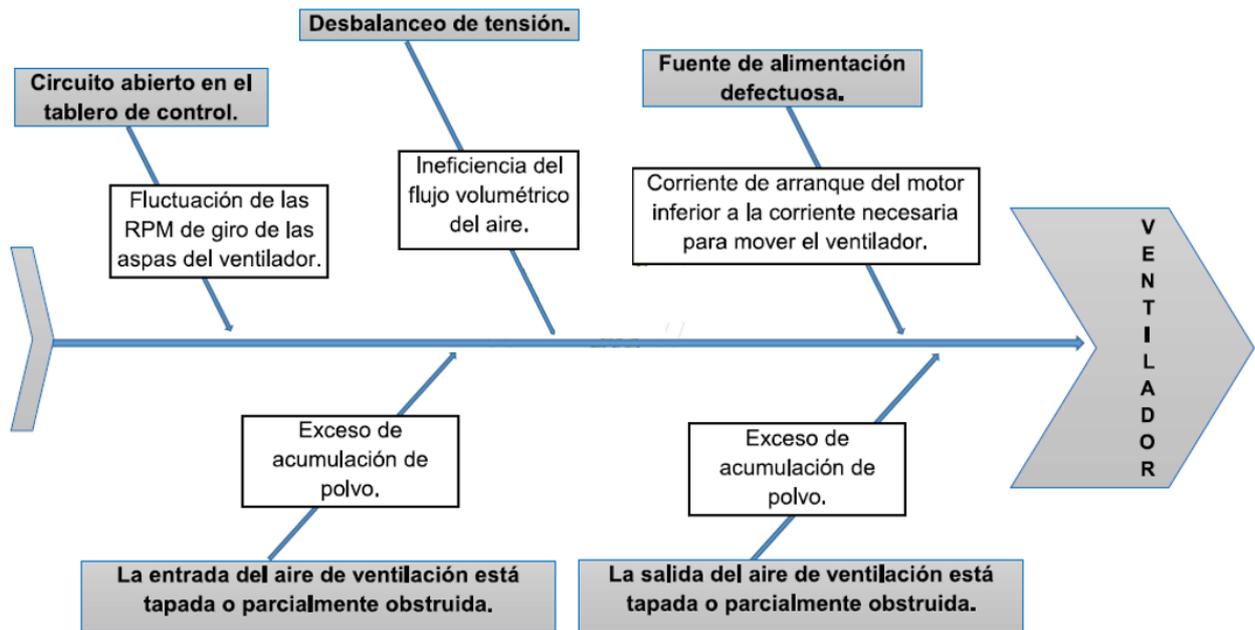
Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) - Rotor.



Nota. Posibles fallas recurrentes en Rotor. Fuente: (Caipo, 2019)

**Figura 106**

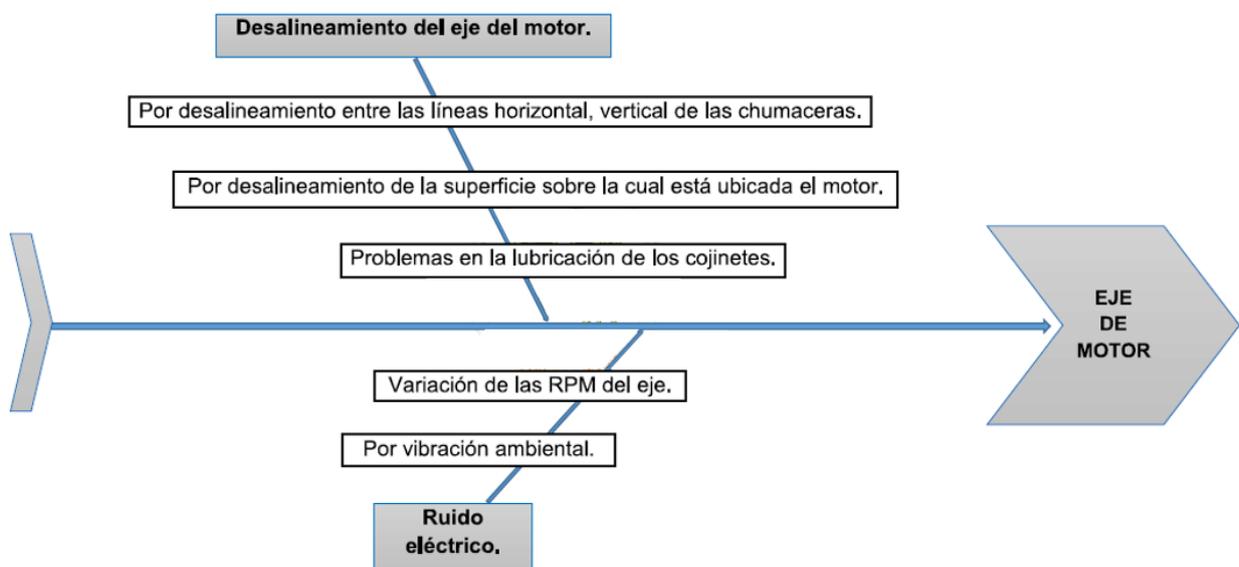
*Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) ventilador.*



*Nota.* Posibles fallas recurrentes en Ventilador. Fuente: (Caipo, 2019)

**Figura 107**

*Diagrama Ishikawa (Causa-Efecto) Eje de Motor.*

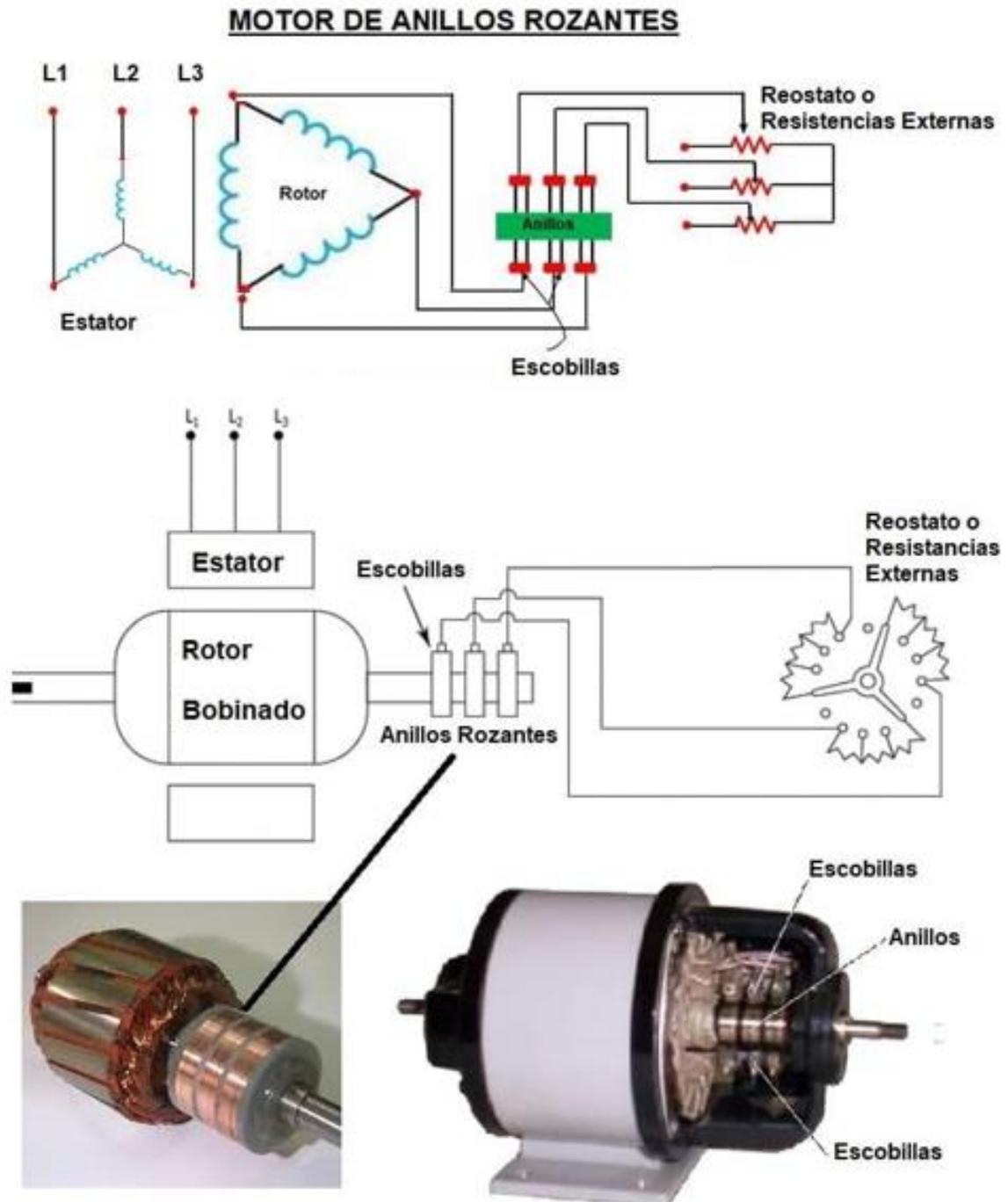


*Nota.* Posibles fallas recurrentes en Eje Rotórico. Fuente: (Caipo, 2019)

Anexo 10 Esquema de motor de anillos rozantes.

Figura 108

Esquema representativo de motor de Anillos Rozantes.



Nota. Diagrama equivalente. Fuente: (Areatecnologia, 2023)

## Anexo 11 Formato de recolección de datos.

### PRUEBAS DE RECEPCION

#### ESTATOR

##### Medida de resistencia de aislamiento

Instrumento: MEGOHMETRO MEGABRAS MD 5060X

V ( ) T ( ) HR ( ) T Bob. ( )

##### Medida De Resistencia Óhmica

Instrumento: MICROOHMIMETRO MPK 253

	BORNES	R [ $\Omega$ ]
POR BOBINA	U1 – U2	
	V1 – V2	
	W1 – W2	
CONEXIÓN (D)	U1 – V1	
	V1 – W1	
	W1 – U1	
CONEXIÓN (Y)	U1 – V1	
	V1 – W1	
	W1 – U1	

##### Medida De Inductancia

Instr.: INDUCTOMETRO BK PRECISION 878B

DESPLAZAMIENTO MECANICO DE ROTOR					
	BORNES	0°	90°	180°	270°
POR BOBINA	U1 – U2				
	V1 – V2				
	W1 – W2				
CONEXIÓN (D)	U1 – V1				
	V1 – W1				
	W1 – U1				
CONEXIÓN (Y)	U1 – V1				
	V1 – W1				
	W1 – U1				

MEDIA ARITMETICA DE DESPLAZAMIENTOS MECANICO			
	BORNES	L [1 KHz]	L [120Hz]
POR BOBINA	U1 – U2		
	V1 – V2		
	W1 – W2		
CONEXIÓN (D)	U1 – V1		
	V1 – W1		
	W1 – U1		
CONEXIÓN (Y)	U1 – V1		
	V1 – W1		
	W1 – U1		

**ROTOR**

**Medida de resistencia de aislamiento**

Instrumento: MEGOHMETRO MEGABRAS MD 5060X

V ( ) T ( ) HR ( ) T<sub>Bob.</sub> ( )

**Medida De Resistencia Óhmica**

Instrumento: MICROOHMMETRO MPK 253

	BORNES	R [Ω]
CONEXIÓN (D)	K – L	
	L – M	
	M – K	
CONEXIÓN (Y)	K – L	
	L – M	
	M – K	

**Medida De Inductancia**

Instr.: INDUCTOMETRO BK PRECISION 878B

DESPLAZAMIENTO MECANICO DE ROTOR					
	BORNES	0°	90°	180°	270°
CONEXIÓN (D)	K – L				
	L – M				
	M – K				
CONEXIÓN (Y)	K – L				
	L – M				
	M – K				

MEDIA ARITMETICA DE DESPLAZAMIENTOS MECANICO			
	BORNES	L [1 KHz]	L [120Hz]
CONEXIÓN (D)	K – L		
	L – M		
	M – K		
CONEXIÓN (Y)	K – L		
	L – M		
	M – K		

## SENSORES BOBINADO

### Medida de resistencia de aislamiento

Instrumento: MEGOHMETRO MEGABRAS MD 5060X

V ( ) T ( ) HR ( ) T Bob. ( )

### Medida De Resistencia Óhmica

Instrumento: MULTIMETRO FLUKE

FASE U			FASE V			FASE W		
	BORNES	R [ $\Omega$ ]		BORNES	R [ $\Omega$ ]		BORNES	R [ $\Omega$ ]
1	R - B		2	R - B		3	R - B	
	R - B			R - B			R - B	
	B - B			B - B			B - B	
4	R - B		5	R - B		6	R - B	
	R - B			R - B			R - B	
	B - B			B - B			B - B	
7	R - B		8	R - B		9	R - B	
	R - B			R - B			R - B	
	B - B			B - B			B - B	

## SENSORES (RODAMIENTOS / CHUMACERAS)

### Medida de resistencia de aislamiento

Instrumento: MEGOHMETRO MEGABRAS MD 5060X

V ( ) T ( ) HR ( ) T Bob. ( )

### Medida De Resistencia Óhmica

Instrumento: MULTIMETRO FLUKE

LADO NO ACOPLA (P1)			LADO ACOPLA (P2)			LADO ACOPLA (P2)		
	BORNES	R [ $\Omega$ ]		BORNES	R [ $\Omega$ ]		BORNES	R [ $\Omega$ ]
1	R - B		2	R - B		3	R - B	
	R - B			R - B			R - B	
	B - B			B - B			B - B	

## HEATER (CALEFACCION)

### Datos de placa

*Instrumento:* inspeccion

DETALLES	HEATER	V <sub>n</sub>	P <sub>n</sub>
SIST. PORTAESCO.	1	1 – 2	
ESTATOR	2	1 – 2	
ESTATOR	3	1 – 2	

### Alimentacion (Energizado)

*Instrumento:* MULTIMETRO FLUKE

DETALLES	HEATER	V <sub>n</sub>	P <sub>n</sub>
SIST. PORTAESCO.	1	1 – 2	
ESTATOR	2	1 – 2	
ESTATOR	3	1 – 2	

### Medida de resistencia de aislamiento

*Instrumento:* MEGOHMETRO MEGABRAS MD

5060X

V ( ) T ( ) HR ( ) T<sub>Bob.</sub> ( )

### Medida De Resistencia Óhmica

*Instrumento:* MULTIMETRO FLUKE

DETALLES	HEATER	BORNES	R [Ω]
SIST. PORTAESCO.	1	1 – 2	
ESTATOR	2	1 – 2	
ESTATOR	3	1 – 2	

**SISTEMA PORTAESCOBILLAS ('Principal)**

SALIDAS + CAJETINES + SIST.  
PORTAESCOBILLA

**Medida de resistencia de aislamiento**

*Instr.:* MEGOHMETRO MEGABRAS MD 5060X  
V( ) T( ) HR ( )

**SISTEMA PORTAESCOBILLAS ('GND)**

SALIDAS + CAJETINES + SIST.  
PORTAESCOBILLA

**Medida de resistencia de aislamiento**

*Instr.:* MEGOHMETRO MEGABRAS MD 5060X  
V( ) T( ) HR ( )

**Inspeccion de sistema block portaescobilla**

*Instr.:* visual

ELEMENTO	FAS E	CTDAD	ESTADO
SALIDAS.	K		
	L		
	M		
CAJETINES	K		
	L		
	M		
FLEJES	K		
	L		
	M		
PIZADORES	K		
	L		
	M		
ESCOBILLAS	K		
	L		
	M		

**Inspección de sistema Porta escobilla**

*Instr.:* visual

ELEMENTO	CTDAD	ESTADO
CAJETINES		
FLEJES		
PIZADORES		
ESCOBILLAS		

ESCOBILLA			
	DETALLES		
GRADO			
DIMENSION	a:	t:	r:
PRESION			

ESCOBILLA			
	DETALLES		
GRADO			
DIMENSION	a:	t:	r:
PRESION			

**Prueba de Relación de Transformación***Instr.:* MULTIMETRO AMPERIMETRO FLUKE

1° ESTATOR (Y)			2° ROTOR (D)			OBSERVACIONES
BORNES	V [V]	I [A]	BORNES	V [V]	R.T.	
U1 – V1			K – L			
V1 – W1			L – M			
W1 – U1			M – K			

**Prueba de Vacío***Instr.:* MULTIMETRO AMPERIMETRO FLUKE

1° ESTATOR (Y)			2° ROTOR (D)			OBSERVACIONES	
BORNES	V [V]	I [A]	BORNES	V [V]	R.T.		
U1 – V1			K – L				RPM:
V1 – W1			L – M				
W1 – U1			M – K				

**Análisis Vibracional***Instr.:* DSP LOGGER

	LADO ACOPLE (P2)			LADO NO ACOPLE (P1)			OBSERVACIONES
V [mm/s]							
a [mm/s <sup>2</sup> ]							

**Curva de temperatura***Instr.:* Controlador RTD

	P2	P1		P2	P1	OBSERVACIONES
t [s]	T[°C]	T[°C]	t [s]	T[°C]	T[°C]	
0			35			
5			40			
10			45			
15			50			
20			55			
25			60			
30						