

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO EN LOS MOTORES PARA TRACCIÓN Y DEL GRUPO MOTOR ALTERNADOR, DE LA C.A. METRO DE CARACAS

PROF. GUÍA: Ing. Nerio Ojeda
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Heriberto Zapata G.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Vespa Aparicio, Giovanni
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2010

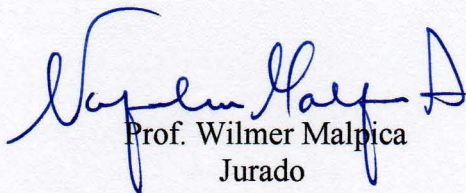
CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 14 de julio de 2010

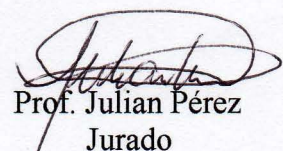
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Giovanni Vespa Aparicio, titulado:

**“ESTUDIO DE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO EN LOS MOTORES
PARA TRACCIÓN Y DEL GRUPO MOTOR ALTERNADOR, DE LA C.A.
METRO DE CARACAS”**

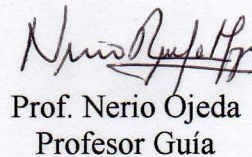
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Wilmer Malpica
Jurado



Prof. Julian Pérez
Jurado



Prof. Nerio Ojeda
Profesor Guía

DEDICATORIA

A Dios...

A mis padres...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a *Dios* quien fue, es y será el Ser que ilumina el camino que El ha dispuesto para mí. A la Santísima Virgen de Coromoto por acompañarme a lo largo de mi vida como estudiante.

A mis padres Nicola Vespa Bigotto y María de los Ángeles Aparicio de Vespa, por sus sacrificios, paciencia y por la educación que me brindaron.

A mi hermana Ángela María, por ser gran confidente en los momentos en los que necesitaba ayuda. A mi sobrino Diego Alessandro, quien trajo de nuevo sonrisa a mi rostro y devolvió felicidad a mi corazón.

A la Universidad Central de Venezuela, particularmente a la Escuela de Ingeniería Eléctrica, por moldear en mi al profesional que soy hoy en día.

A la Compañía Metro de Caracas, por brindarme la oportunidad de trabajar y poder cumplir con éxito mi meta de graduarme.

A mi tutor industrial Ing. Heriberto Zapata, gracias por su guía, apoyo, paciencia y aportes para la realización de este trabajo.

Al personal de taller de motores T.S.U Eduardo Ramírez, T.S.U Fernando Blanco, en especial al Jefe de Taller T.S.U. Alfredo Ruíz.

Al Ing. Luis Carrera, Ing. Jesús Barragan, Ing. Carlos García, Lic. Víctor Moya y a todo el equipo profesional técnico de la U.I.E. de la Gerencia de Material Rodante, así como también a la Unidad de Gestión de Mantenimiento, Ing. Carlos Yajure e Ing. Harold Panza; por facilitarme los datos necesarios para realizar gran parte de este trabajo.

A mi profesor guía Ing. Nerio Ojeda, por su disposición a ayudarme y guiarme.

A mis compañeros de universidad Ing. Carlos Camelo, Víctor Delgado y Daniel Passariello, gracias por el apoyo brindado durante mi carrera y en la realización de este trabajo.

A todos mil gracias...

Vespa A., Giovanni

ESTUDIO DE LOS NIVELES DE AISLAMIENTO EN LOS MOTORES PARA TRACCIÓN Y DEL GRUPO MOTOR ALTERNADOR, DE LA C.A. METRO DE CARACAS.

Prof. Guía: Ing. Nerio Ojeda. **Tutor Industrial:** Ing. Heriberto Zapata. **Tesis.** Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. **Ingeniero Electricista. Opción: Potencia. Institución:** C.A. Metro De Caracas. **2010. 127h. +anexos.**

Palabras claves: Resistencia de aislamiento; Índice de polarización; Descarga dieléctrica; Motor de tracción; Grupo motor alternador.

Resumen. Se hace una revisión de la teoría relacionada y materiales utilizados dentro de los sistemas de aislamientos; descripción de los principales tipos de pruebas que se pueden efectuar a las máquinas eléctricas para evaluar las condiciones del aislamiento eléctrico de las mismas, haciendo hincapié en las pruebas de tipo DC.

Revisión de los procedimientos que dispone el taller de motores de la C.A. Metro de Caracas, en lo que respecta a la medición de resistencia de aislamiento en motores de tracción y en los llamados GMA (grupo motor alternador), con el fin de verificar si se encuentran ajustados a las normas respectivas, exponer nuevos procedimientos de evaluación de aislamiento, que luego se aplicarán a una muestra accidental y no representativa de motores de tracción e inducidos, para corroborar, analizar y contrastar dichos resultados con los valores que se han estado registrando en el taller en estos mismos motores.

Recopilación de valores de resistencia de aislamiento provenientes de los procedimientos de entrada y salida en los motores de tracción y en los GMA, que se han estado tomando durante los últimos años en los talleres de la empresa; para analizarlos y poder reconocer las tendencias que ellas toman y predecir posibles problemas relacionados a la forma como se intervienen estos motores.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|------|
| CONSTANCIA DE APROBACIÓN | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| RESUMEN..... | v |
| ÍNDICE GENERAL | vi |
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| LISTA DE TABLAS | x |
| LISTA DE GRÁFICOS | xiii |
| SIGLAS | xv |
| SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS | xvi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I | 4 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS | |
| 1.1. Planteamiento del problema. | 4 |
| 1.2. Objetivo General. | 5 |
| 1.3. Objetivos Específicos. | 5 |
| 1.4. Metodología..... | 5 |
| 1.5. Limitaciones. | 6 |
| CAPÍTULO II | |
| MARCO REFERENCIAL TEÓRICO | |
| 2.1. Aislamiento en máquinas eléctricas. | 7 |
| 2.2. Tipos de arrollados. | 7 |
| 2.3. Bobinas estatóricas. | 9 |
| 2.3.1. Aislamiento en las bobinas estatóricas..... | 10 |
| 2.4. Bobinas rotóricas. | 11 |
| 2.5. Materiales usados en los sistemas de aislamiento en máquinas rotatorias... 12 | |
| 2.5.1. Materiales naturales. | 12 |
| 2.5.2. Primeros productos sintéticos. | 13 |
| 2.5.3. Películas plásticas..... | 13 |
| 2.5.4. Resinas sintéticas líquidas..... | 13 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.5.5. | Mica..... | 14 |
| 2.5.6. | Fibra de vidrio..... | 14 |
| 2.6. | Clasificación térmica del aislamiento según norma IEEE..... | 14 |
| 2.7. | Factores que influyen en el deterioro del aislamiento..... | 16 |
| 2.8. | Métodos para la evaluación del aislamiento..... | 17 |
| 2.9. | Componentes de corriente presente en pruebas DC..... | 19 |
| 2.10. | Pruebas tipo DC para medición y/o evaluación del aislamiento..... | 21 |
| 2.10.1. | Resistencia de aislamiento “IR”..... | 21 |
| 2.10.2. | Índice de polarización “PI”..... | 23 |
| 2.10.3. | Prueba de voltaje de paso “SV”..... | 26 |
| 2.10.4. | Prueba de descarga dieléctrica “DD”..... | 27 |
| 2.10.5. | Otras pruebas de importancia..... | 29 |
| 2.11. | Factores que afectan las mediciones de aislamiento..... | 29 |
| 2.11.1. | Factor humedad..... | 29 |
| 2.11.2. | Factor condición superficial del material aislante..... | 30 |
| 2.11.3. | Efecto temperatura..... | 30 |
| 2.11.4. | Factor nivel de tensión de prueba..... | 31 |
| 2.11.5. | Efecto de la carga existente en el devanado..... | 31 |
| 2.12. | Condiciones para las pruebas tipo DC en aislamiento..... | 32 |

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE AISLAMINTO EN LOS MOTORES DE TRACCIÓN Y DE LOS GMA.

| | | |
|------|---|----|
| 3.1. | Descripción de los motores de tracción y GMA..... | 33 |
| 3.2. | Procedimiento de intervención a motores de tracción y GMA realizados en la C.A. Metro de Caracas..... | 36 |

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DE MEDICIÓN DE AISLAMINTO EN LOS MOTORES DE TRACCIÓN Y DE LOS GMA.

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1. | Propuesta de medición de aislamiento en motores de tracción y GMA..... | 43 |
| 4.1.1. | Procedimiento de evaluación de aislamiento motores de tracción DC..... | 43 |
| 4.1.2. | Procedimiento de evaluación de aislamiento para los GMA..... | 45 |
| 4.1.3. | Procedimiento evaluación aislamiento motores de tracción asíncronos..... | 47 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.4. Nuevo parámetro para evaluación de aislamiento. | 48 |
| CAPÍTULO V | |
| MEDICIONES EN MOTORES DE TRACCIÓN. | |
| 5.1. Resultados de las mediciones de resistencia de aislamiento. | 49 |
| 5.1.1. Resultados pruebas a motores de tracción DC..... | 50 |
| 5.1.2. Resultados pruebas a inducidos de motores de tracción DC..... | 58 |
| 5.1.3. Resultados obtenidos empleando relación RIR..... | 66 |
| CAPÍTULO VI | |
| ESTUDIO DE VALORES IR RECOLECTADOS POR LA EMPRESA EN MOTORES DE TRACCIÓN Y GMA | |
| 6.1. Resultados de valores IR en motores de tracción de 1 ^{ra} generación..... | 68 |
| 6.1.1. Frecuencias entradas y salidas al taller, motores de tracción de 1 ^{ra} generación. | 69 |
| 6.1.2. Valores de IR en motores de tracción de 1 ^{ra} generación..... | 71 |
| 6.2. Resultados de valores IR en motores de tracción de 2 ^{da} generación. | 80 |
| 6.2.1. Frecuencias entradas y salidas al taller, motores de tracción de 2 ^{da} generación. | 80 |
| 6.2.2. Valores de IR en motores de tracción de 2 ^{da} generación. | 82 |
| 6.3. Resultados de valores IR en GMA de 1 ^{ra} | 90 |
| 6.3.1. Frecuencias de entradas y salidas al taller, de GMA de 1 ^{ra} | 91 |
| 6.3.2. Variación en valores de IR en GMA de 1 ^{da} generación..... | 93 |
| 6.4. Resultados de valores IR en GMA de 2 ^{da} generación. | 103 |
| 6.4.1. Frecuencias entradas y salidas al taller, de GMA de 2 ^{da} generación. . | 103 |
| 6.4.2. Variación en valores de IR en GMA de 2 ^{da} generación..... | 105 |
| CAPÍTULO VII | |
| Posibles causas de fallas en aislamiento en motores de tracción y GMA. Potenciales mejoras..... | 115 |
| CONCLUSIONES | 117 |
| RECOMENDACIONES | 119 |
| BIBLIOGRAFÍAS | 123 |
| ANEXOS | 128 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 2.1: Arrollado aleatorio en el estator. | 8 |
| Figura 2.2: Arrollado rotórico preformado con núcleo multiconductor. | 8 |
| Figura 2.3: Arrollado rotórico preformado con núcleo multiconductor. | 11 |
| Figura 2.4: Circuito equivalente que muestra las cuatro corrientes generadas durante una prueba con tensión DC. | 19 |
| Figura 2.5: Tipos de corriente prueba IR en aislamiento de mica-material asfáltico. | 20 |
| Figura 2.6: Típica mediciones de IR para tres diferentes máquinas. | 25 |
| Figura 2.7: Diagrama de conexión típica para pruebas de alta tensión DC. | 27 |
| Figura 2.8: Patrones de onda para diferentes tipos de falla. | 29 |
| Figura 3.1: Terminales de los motores de tracción de primera generación. | 33 |
| Figura 3.2: Terminales de los motores de tracción de segunda generación. | 29 |
| Figura 3.3: Modelo motor de tracción de 1 ^{ra} y 2 ^{da} generación. | 34 |
| Figura 3.4: Terminales de entrada y salida del GMA 1 ^{ra} generación. | 35 |
| Figura 3.5: Terminales de entrada y salida del GMA 2 ^{da} generación. | 36 |
| Figura 3.6: Modelo motor DC del GMA de 1 ^{ra} y 2 ^{da} generación. | 36 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 2.1: Clasificación AIEE materiales aislantes según temperatura operación.... | 15 |
| Tabla 2.2: Clasificación de materiales aislantes según IEC..... | 15 |
| Tabla 2.3: Voltaje DC a aplicar durante la prueba de resistencia de aislamiento..... | 21 |
| Tabla 2.4: Valores mínimos recomendados de resistencia de aislamiento a 40 °C.. | 22 |
| Tabla 2.5: Observaciones generales sobre cómo interpretar las pruebas periódicas de resistencia de aislamiento..... | 23 |
| Tabla 2.6: Valores recomendados PI para todas las clases de aislamientos, que componen a la máquina eléctrica..... | 25 |
| Tabla 2.7: Valores DAR y su significado..... | 25 |
| Tabla 2.8: Valores recomendados DD en todas las clases de aislamientos..... | 28 |
| Tabla 3.1: Datos de placa motor de tracción 1 ^{ra} generación..... | 35 |
| Tabla 3.2: Datos de placa motor de tracción 2 ^{da} generación..... | 35 |
| Tabla 3.3: Características generales del GMA 1 ^{ra} generación..... | 35 |
| Tabla 3.4: Características generales del GMA 2 ^{da} generación..... | 36 |
| Tabla 3.5: Puntos medidos vs masa en taller en el motor de tracción de 1 ^{ra} y 2 ^{da} generación..... | 40 |
| Tabla 3.6: Puntos medidos vs masa en taller en el GMA de 1 ^{ra} generación..... | 40 |
| Tabla 3.7: Puntos medidos vs masa en taller en el GMA de 2 ^{da} generación..... | 40 |
| Tabla 4.1: Características de voltaje y potencia de motores de tracción y GMA para ambas generaciones..... | 46 |
| Tabla 4.2: Resumen pasos a seguir en pruebas de evaluación de aislamiento..... | 47 |
| Tabla 5.1: Mediciones “IR” y “PI” hechas entre los días 28/7/2009 y 31/7/2009..... | 52 |
| Tabla 5.2: Mediciones de “IR” hechas por la compañía Metro de Caracas..... | 52 |
| Tabla 5.3: Resultados de las mediciones “SV” hechas entre los días 28/7/2009 y 31/7/2009..... | 53 |
| Tabla 5.4: Resumen resultados en pruebas de aislamiento en motores de tracción... | 58 |

| | |
|---|----|
| Tabla 5.5: Mediciones IR y PI hechas el día 4/8/2009, en inducidos de motores de tracción DC. | 59 |
| Tabla 5.6: Mediciones de tensión de paso usando el medidor Megger; hechas el día 4/8/2009, en inducidos de motores de tracción DC. | 59 |
| Tabla 5.7: Mediciones de tensión de paso usando el medidor Metriso; hechas el día 4/8/2009, en inducidos de motores de tracción DC. | 59 |
| Tabla 5.8: Identificación inducidos puestos al horno. | 61 |
| Tabla 5.9: Mediciones de IR y PI hechas el día 5/8/2009, en inducidos recién sacados del horno..... | 61 |
| Tabla 5.10: Resultados de las mediciones de SV, hechas el día 5/8/2009, en inducidos recién sacados del horno..... | 61 |
| Tabla 5.11: Mediciones de IR y PI hechas el día 6/8/2009, en inducidos recién sacados del horno (24 horas después). | 62 |
| Tabla 5.12: Mediciones de IR y PI hechas el día 6/8/2009, en inducidos recién sacados del horno (24 horas después). | 62 |
| Tabla 5.13: Mediciones de IR y PI hechas los días 6/8/2009 y 7/8/2009, en inducidos recién embobinados. | 63 |
| Tabla 5.14: Resultados de las mediciones de SV, hechas los días 6/8/2009 y 7/8/2009, en inducidos recién embobinados. | 64 |
| Tabla 5.15: Resultados de las mediciones de tensión de paso “SV”, hechas a inducidos recién embobinados por parte de empresa externa. | 64 |
| Tabla 5.16: Resultados prueba RIR en motores de tracción DC. | 66 |
| Tabla 5.17: Resultados prueba RIR en inducidos de motor de tracción DC. | 67 |
| Tabla 6.1: Promedio de temperaturas de ambiente y de bobina, tomadas durante las mediciones de resistencia de aislamiento..... | 68 |
| Tabla 6.2: Valor IR recomendado en MΩ. | 69 |
| Tabla 6.3: Valor IR recomendado en GΩ. | 69 |
| Tabla 6.4: Entradas al taller de motores de tracción de 1 ^{ra} generación..... | 69 |
| Tabla 6.5: Salidas al taller de motores de tracción de 1 ^{ra} generación. | 70 |
| Tabla 6. 6: Entrada y salida de motores. | 70 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 6.7: Entradas y salidas al taller de motores 1 ^{ra} generación. | 71 |
| Tabla 6.8: Entrada y salida de motores 1 ^{ra} generación hasta mes de agosto. | 71 |
| Tabla 6.9: Variación porcentual por elemento para el año 2007, motor de tracción 1 ^{ra} generación. | 72 |
| Tabla 6.10: Procedimiento de “Entrada/Salida” de motores por año | 73 |
| Tabla 6.12: Frecuencia de salida al taller de motores de tracción de 2 ^{da} generación. | 81 |
| Tabla 6.13: Entrada y salida de motores de 2 ^{da} generación. | 81 |
| Tabla 6.14: Entrada/Salida motores de 2 ^{da} generación. | 82 |
| Tabla 6.15: Entrada y Salida de motores de 2 ^{da} generación hasta mes de agosto. | 82 |
| Tabla 6.16: Procedimiento “Entrada/Salida” de motores de 2 ^{da} generación por año. | 82 |
| Tabla 6.17: Frecuencia de entrada al taller de GMA de 1 ^{ra} generación. | 91 |
| Tabla 6.18: Frecuencia de salida al taller de GMA de 1 ^{ra} generación. | 91 |
| Tabla 6.19: Entrada y salida de GMA 1 ^{ra} | 92 |
| Tabla 6.20: “Entrada/Salida” de GMA 1 ^{ra} | 92 |
| Tabla 6.21: Procedimientos por año GMA 1 ^{ra} | 93 |
| Tabla 6.22: Procedimiento de “Entrada/Salida” de GMA 1 ^{ra} , por elemento y año. .. | 93 |
| Tabla 6.23: Diferencia en tiempo (mayor a 365 días) entre procedimientos de entrada y de salida en GMA de 1 ^{ra} generación. | 94 |
| Tabla 6.24: Procedimientos de entrada y de salida GMA 1 ^{ra} | 101 |
| Tabla 6.25: Frecuencia de entrada al taller de GMA de 2 ^{da} generación. | 103 |
| Tabla 6.26: Frecuencia de salida al taller de GMA de 2 ^{da} generación. | 103 |
| Tabla 6.27: Entrada y salida de GMA 2 ^{da} generación. | 104 |
| Tabla 6.28: “Entrada/Salida” de GMA 2 ^{da} generación. | 104 |
| Tabla 6.29: Procedimientos por año GMA 2 ^{da} | 105 |
| Tabla 6.30: Procedimiento de “Entrada/Salida” de GMA 2 ^{da} , por elemento y año. | 105 |
| Tabla 6.31: Diferencia en tiempo (mayor a 365 días) entre procedimientos de entrada y de salida en GMA de 2 ^{da} generación. | 106 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | Pág. |
|--|------|
| Gráfico 2.1: IR (100 MΩ, 50 MΩ y 25 MΩ a 40°C) vs temperatura..... | 22 |
| Gráfico 5.1: Resultado prueba SV en motores de tracción DC (Bobinas auxiliar mas compensación)..... | 54 |
| Gráfico 5.2: Resultado prueba SV en motores de tracción DC (Bobina principal)... | 54 |
| Gráfico 5.3: Resultado prueba SV en motores de tracción DC (Bobina A ₁)... .. | 55 |
| Gráfico 5.4: Resultado prueba SV en motores de tracción DC (Inducido)..... | 55 |
| Gráfico 5.5: Resultado prueba SV en motores de tracción DC (Bobinas A ₂ Vs masa en MT2-251 y A ₁ Vs masa MT1934). | 55 |
| Gráfico 5.6: Resultado prueba SV en inducidos con bajo nivel IR. | 59 |
| Gráfico 5.7: Resultado prueba SV en inducidos con bajo nivel IR. | 60 |
| Gráfico 5.8: Resultado prueba SV en inducidos recién salidos del horno..... | 62 |
| Gráfico 5.9: Comparación entre resultados de SV en el inducido 216/485..... | 62 |
| Gráfico 5.10: Comparación entre ensayo SV realizada en el Metro vs la realizada por Sertesa. | 65 |
| Gráfico 6.1: Entradas y salidas al taller de motores 1 ^{ra} generación..... | 70 |
| Gráfico 6.2: Variación entrada/salida en motor de tracción 1 ^{ra} .. | 73 |
| Gráfico 6.3: Variación inducido motor 1 ^{ra} generación. . .. | 75 |
| Gráfico 6.4: Paretto de valores IR del inducido motor de 1 ^{ra} , entrada. | 76 |
| Gráfico 6.5: Paretto de valores IR del inducido motor de 1 ^{ra} , salida. | 76 |
| Gráfico 6.6: Promedio total por año motor de 1 ^{ra} generación. | 77 |
| Gráfico 6.7: Variación IR en bobinas del motor MT1-0249. | 78 |
| Gráfico 6.8: Entradas y salidas exitosas según valor recomendado por IEEE y CAMETRO para motor de tracción 1 ^{ra} | 79 |
| Gráfico 6.9: Entradas y salidas de motores de 2 ^{da} gen en taller..... | 81 |
| Gráfico 6.10: Variación IR en bobinas de motor tracción 2 ^{da} | 83 |
| Gráfico 6.11: Promedio total por año motor de 2 ^{da} generación. | 84 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico 6.12: Variación inducido motor 2 ^{da} generación; por procedimiento, variación y año. | 85 |
| Gráfico 6.13: Paretto de valores IR del inducido motor de 2 ^{da} , entrada. | 86 |
| Gráfico 6.14: Paretto de valores IR del inducido motor de 2 ^{da} , salida. | 86 |
| Gráfico 6.15: Variación IR en bobinas de motor MT2-2166. | 88 |
| Gráfico 6.16: Comparación IEEE y CAMETRO para bobinas motor de tracción 2 ^{da} generación. | 89 |
| Gráfico 6.17: Entradas y salidas de GMA 1 ^{ra} , en taller. | 92 |
| Gráfico 6.18: Variación promedio por máquinas del GMA-1. | 95 |
| Gráfico 6.19: Variación bobina Shunt del GMA 1 ^{ra} generación; por procedimiento, variación y año. | 96 |
| Gráfico 6.20: Variación armadura del GMA 1 ^{ra} generación; por procedimiento, variación y año | 97 |
| Gráfico 6.21: Paretto de valores IR de armadura del GMA 1 ^{ra} , entrada. | 98 |
| Gráfico 6.22: Paretto de valores IR de armadura del GMA 1 ^{ra} , salida. | 98 |
| Gráfico 6.23: Promedio variación total por año GMA 1 ^{ra} generación | 99 |
| Gráfico 6.24: Variación IR bobinas de GMA1-376. | 100 |
| Gráfico 6.25: Comparación IEEE y CAMETRO en GMA-1. | 101 |
| Gráfico 6.26: Comparación IEEE y CAMETRO en GMA-1 (Continuación). | 102 |
| Gráfico 6.27: Entradas y salidas de GMA 2 ^{da} al taller. | 104 |
| Gráfico 6.28: Variación bobinas del GMA-2. | 106 |
| Gráfico 6.29: Variación bobinas del GMA-2 (Continuación). | 107 |
| Gráfico 6.30: Variación promedio total GMA 2 ^{da} generación. | 107 |
| Gráfico 6.31: Variación inducido motor 2 ^{da} generación; por procedimiento, variación y año. | 109 |
| Gráfico 6.32: Paretto de valores IR excitación alternador del GMA 2 ^{da} , entrada. | 110 |
| Gráfico 6.33: Paretto de valores IR excitación alternador del GMA 2 ^{da} , salida. | 110 |
| Gráfico 6.34: Variación IR en bobinas GMA2-073. | 111 |
| Gráfico 6.35: Variación IR en bobinas GMA2-073 (Continuación). | 112 |
| Gráfico 6.36: Comparación IEEE y CAMETRO, GMA-2. | 113 |

SIGLAS

| | |
|----------------|--|
| CAMETRO | Compañía Anónima Metro de Caracas. |
| GMA | Grupo Motor Alternador. |
| SMO | Servicio de Motores. |
| AIEE | American Institute of Electrical Engineers. |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers. |
| IEC | International Electrotechnical Commission. |
| IR | Insulation Resistance. |
| IP | Polarization Index. |
| SV | Step Voltage. |
| DD | Dielectric Discharge. |
| DAR | Dielectric Absorption Ratio. |
| EIM | Electrical Insulating Material. |
| EIS | Electrical Insulation System. |
| IR | Insulation Resistance. |
| VPI | Vacuum Pressure Impregnation. |
| RTE | Relative Thermal Endurance. |
| Hipot | High Potential. |
| EDF | Électricité de France. |
| AFNOR | Association Française de Normalisation. |
| SGM | Sistema de Gestión de Mantenimiento. |

SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS

| | |
|------------|--------------------------|
| km | kilometro. |
| kV | kilo Volt. |
| kΩ | kilo Ohm. |
| MΩ | Mega Ohm. |
| GΩ | Giga Ohm. |
| TΩ | Tera Ohm. |
| kW | kilo Watt. |
| kVA | kilo Volt-Ampere. |
| m | metro. |
| mm | milímetro. |
| HP | Horse Power. |
| rpm | Revoluciones por minuto. |
| Nm | Newton metro. |

INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento de la energía eléctrica, el hombre ha tratado de entender, modelar y controlar este fenómeno de la naturaleza, gracias al desarrollo del método científico y al progreso en las ciencias matemáticas y físicas, se ha logrado sacarle beneficios a las bondades de la electricidad; uno de los inventos más notorios que aprovecha estas características es la máquina eléctrica rotativa.

Las máquinas rotativas eléctricas pueden ser accionadas como generadores o motores, en ambos casos la transformación de energía se realiza con un alto porcentaje de efectividad, para tal efecto, las máquinas rotativas eléctricas poseen una serie de bobinas que permiten la generación del campo magnético, estas bobinas deben estar aisladas entre sí, así como también deben estarlo con respecto a la carcasa que los recubre. De este aislamiento que poseen los motores y generadores, y en general en elementos de transformación de energía eléctrica, se originó el término resistencia de aislamiento, siendo éste un parámetro medible y evaluable.

Dentro de la C.A. Metro de Caracas, lugar donde se desarrollo éste trabajo, existe una cantidad considerable de motores y generadores, siendo los motores de tracción los más importantes dentro del sistema, los cuales en los últimos años han venido presentando problemas de pérdida de aislamiento. Junto a estos motores, se encuentra dentro del vagón el equipo denominado Grupo Motor Alternador (GMA), estos también comienzan a presentar deficiencias de aislamiento. La ocurrencia de estas eventualidades ocasiona retrasos e interrupciones dentro del sistema ferroviario del Metro, afectando su confiabilidad y calidad.

De esta manera, en este trabajo se hace un estudio sobre aislamiento en motores eléctricos: función, características, clasificación, medición y normas más extendidas que abordan el tema. Se realiza una revisión de los procedimientos de

intervención de motores de tracción y GMA, que posee el taller de servicio de motores de la compañía, para sugerir correcciones que ayuden a ajustarlas a las normas sobre aislamiento pertinentes y sugerir nuevos procedimientos, los cuales se aplicaron durante la realización de este trabajo a un grupo de motores de tracción e inducidos.

Para completar este estudio, se hizo una recopilación de valores de resistencia de aislamiento de motores de tracción y GMA que se han estado tomando en el taller, a fin de realizar un análisis estadístico y estudiar el desgaste o fatiga que sufre la resistencia de aislamiento de las distintas máquinas nombradas y comprobar la efectividad de las intervenciones que se les realiza.

El trabajo que se presenta está estructurado en siete capítulos de la siguiente manera:

En el capítulo I se da una presentación formal del tema, informando las características, limitaciones, objetivos y alcances de este trabajo.

En el capítulo II presenta el marco referencial teórico que envuelve el aislamiento, manera correcta de medirlo e interpretar los resultados que se obtengan.

El capítulo III nos da información acerca de los motores de tracción y GMA, y la forma como la empresa C.A. Metro de Caracas, específicamente el taller de servicio de motores, le realizan mediciones de aislamiento.

El capítulo IV se expone una propuesta de procedimiento para mediciones de resistencia de aislamiento ajustado a las normas.

En los capítulos V y VI se presentan los resultados y análisis de las mediciones realizadas a los motores de tracción, el primero en el transcurso de la

realización de este trabajo y el segundo gracias a la compilación de los valores de IR recolectados en el taller en los últimos años.

En el capítulo VII se presenta observaciones que se recogieron durante la realización de este trabajo y que tiene que ver con las posibles causas de fallas del aislamiento en motores de tracción y GMA, y una propuesta de mejoramiento de aislamiento de los mismos.

Finalmente se presentan las conclusiones a las que se llegaron al realizar éste trabajo y las recomendaciones generales. Adicionalmente se muestran los anexos que dan apoyo y permiten dar una mejor comprensión de aspectos tratado en este trabajo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS

1.1. Planteamiento del problema.

En la actualidad en los talleres de motores de la compañía Metro de Caracas, una de las razones de incidencias en fallas en los trenes viene relacionado con problemas en los motores de tracción de primera generación, específicamente por fallas en el aislamiento, máquinas que al salir del taller se verifican que su sistema de aislamiento cumple con valores estándares; en estos talleres, se realiza una serie de evaluaciones a los niveles de aislamiento de los motores ya antes mencionados, los resultados en algunos casos resultan poco confiables debido a que son mediciones que se hacen con pocos controles; además de esto, no se le ha hecho un seguimiento a los resultados de estas mediciones, todo esto permite que muchos motores salgan con visto bueno a operación comercial y regresen presentando fallas, o que no lograron superar estas evaluaciones y sean enviados a mantenimiento mayor. Esto hace necesario recopilar los valores de resistencia de aislamiento, que se han obtenido en el transcurso de estos años en el mantenimiento de estas máquinas, para realizar un levantamiento de datos estadísticos que permita estudiar el desgaste que ha sufrido el aislamiento de las distintas máquinas nombradas y comprobar la efectividad de los procedimientos de intervención en los mismos. También es necesario hacer una revisión sobre la forma en que se ha estado realizando en taller las mediciones de resistencia de aislamiento para, si se llega a dar el caso, corregir y ajustarlo a la norma pertinente. Por las características de intervención existentes, este estudio se realizará para motores de tracción y GMA de 1^{ra} y 2^{da} generación tecnológica.

1.2. Objetivo General.

Estudiar los niveles de resistencia de aislamiento de los motores de tracción DC, AC y GMA de primera y segunda generación tecnológica, recabando información de carácter estadístico de los valores obtenidos de resistencia de aislamiento en las pruebas y ensayos hechos sobre estas máquinas.

1.3. Objetivos Específicos.

1. Analizar la información que se recopile sobre los valores provenientes de las pruebas realizadas en los talleres del Metro, sobre la resistencia de aislamiento de las máquinas.
2. Validar los métodos de medición de resistencia de aislamiento aplicados hasta los momentos a cada máquina.
3. Estudiar la posibilidad de desarrollar y proponer un nuevo esquema de medición de aislamiento dentro del mantenimiento preventivo, aplicable a cada máquina eléctrica estudiada en este trabajo especial de grado.
4. Indagar sobre las causas de fallas del aislamiento en las máquinas durante su funcionamiento en los trenes.
5. Analizar posibles mejoras en el sistema de aislamiento de las máquinas.

1.4. Metodología.

Los objetivos previstos en este trabajo, hacen que el mismo sea abordado en dos partes, en la primera parte se realizó una búsqueda y lectura de información, libros, manuales, normas, estándares, etc. que abordan el tema de aislamiento en máquinas eléctricas rotativas, haciendo énfasis en lo que respecta a lo que es su evolución, clases, tipos de medición y evaluación.

En la segunda parte, se recopiló información en la empresa, sobre las máquinas eléctricas objeto de este estudio, los cuales inicialmente limitan el

desarrollo del tema, es decir, los motores de tracción DC y AC de la compañía Metro de Caracas, y los denominados GMA. La información obtenida fue suficiente para entender su funcionamiento e importancia dentro del sistema Metro, además de conocer las condiciones de trabajo de los mismos. Se investigaron los procedimientos que se realizan, para la medición de aislamiento, dentro del taller de servicio de motores “SMO”, además de reconocer e identificar otros procesos dentro del mismo taller que tuvieran que ver con la intervención de los sistemas de aislamiento presentes en estas máquinas.

Se realizó una investigación de campo, tomando para tal efecto una muestra de motores de tracción y un grupo de inducidos que para la ocasión se encontraban en el taller de servicio de motores. Para ampliar esta investigación de campo, se recopiló la data de las mediciones de aislamiento en motores de tracción y GMA, que se han estado tomando desde el año 2006 hasta el presente, obtenida esta información se procedió a estudiarlas.

1.5. Limitaciones.

El trabajo está limitado a los motores de tracción y al grupo motor alternador para ambas tecnologías, propiedad de la C.A. Metro de Caracas, en específico a los procedimientos/evaluación de aislamiento que el servicio de motores les realiza a estas máquinas. La investigación de las pruebas a desarrollar en este trabajo, estará limitada al alcance de los ensayos que puedan realizarse con los equipos de medición existentes dentro del taller de servicio de motores.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Aislamiento en máquinas eléctricas.

La principal función que cumple el aislamiento en una máquina eléctrica, es el prevenir cortocircuitos entre el conductor que conforma las bobinas y la masa de la máquina, entre conductores que se encuentren dentro de una misma bobina y entre los conductores que se encuentran entre bobinas adyacentes. La ocurrencia de estas contingencias dentro del aislamiento permite que ocurran grandes circulaciones de corrientes dentro de los devanados, que a su vez logran debilitar aun más el aislamiento, logrando progresivamente la destrucción total de los sistemas que conforman la máquina, ya que esta incidencia perturba tanto al sistema mecánico como al sistema eléctrico de la misma.

Siendo una de las tantas variables presentes en una máquina rotativa eléctrica, la resistencia de aislamiento, es un parámetro eléctrico que muchas veces pasa desapercibido ya que el sistema de aislamiento cumple una función prácticamente pasiva, es decir, no produce campo magnético ni ayuda a canalizarla, a diferencia de otros materiales con que está constituido la máquina.

2.2. Tipos de arrollados.

Se puede generalizar los tipos de arrollados, tanto rotóricos como estatóricos, salvando las excepciones del caso que se considerarán más adelante, dependiendo de la forma de su construcción [1]:

- a. Arrollado aleatorio: consiste en conductores aislados, que son enrollados de forma continua a mano o a través de una máquina especial, colocados en ranuras dispuestas para su alojamiento, dentro de la armadura y/o el núcleo del rotor tal como el ejemplo mostrado en la figura 2.1. Cada vuelta o lazo de conductor, es colocado de manera aleatoria contra cualquier otra vuelta de conductor dentro del rollo que conforma la bobina. Es utilizado en máquinas eléctricas rotativas de potencias menores a los 100 HP. [1]



Figura 2.1: Arrollado aleatorio en el estator. [2]

- b. Arrollado preformado con núcleo multiconductor: este tipo de bobinas están conformadas por conductores aislados de cobre, que han sido premoldeados y enrollados en una forma particular, comúnmente en forma de diamante como se ilustra en la figura 2.2, adicionalmente se le coloca una capa de aislante al conjunto. La forma adoptada se realiza de tal manera que acople dentro de las ranuras dispuestas para su ubicación en la máquina. [1]



Figura 2.2: Arrollado rotórico preformado con núcleo multiconductor.[2]

- c. Arrollado preformado macizo con barras tipo Roebel: es básicamente un arrollado preformado, usado en casos donde el gran tamaño de la máquina hacen riesgoso el instalar la bobina, esto ocurre en máquinas donde la potencia manejada sobrepasa los 50MW, por tal razón se divide la bobina permitiendo que su instalación sea más sencilla y sin los problemas que acarrea un devanado preformado convencional, esta bobina dividida es comúnmente llamada barra Roebel y al finalizar su instalación dentro de la máquina, hace que se haga necesario realizar una conexión eléctrica en sus extremos para así convertirlas en bobinas [1].

Para describir los sistemas de aislamiento en las máquinas rotativas, se separará en dos grupos, bobinas estáticas (no expuestas a fuerzas centrífugas) y rotóricas (expuestas a fuerzas centrífugas), el hecho de que la bobina este o no expuesta a fuerzas centrífugas no implica que su constitución aislante sea eléctricamente especial, mas en cambio, su disposición física dentro de la máquina es preponderante para mantener fijo, libre de obstáculos y ventilado, a los distintos embobinados que conforman la máquina.

2.3. Bobinas estáticas.

Los componentes que constituyen al estator son básicamente la coraza estática, los conductores de cobre o aluminio en casos especiales y finalmente el aislamiento de los conductores, que como se mencionó anteriormente, es un elemento que se considera pasivo dentro de la dinámica electromotriz de la máquina. Dada esta característica, los diseñadores de nuevas maquinarias idean la forma de minimizar las dimensiones de los aislamientos de los conductores que conforman las bobinas, para poder disminuir los costos y dimensiones de las máquinas eléctricas.

2.3.1. Aislamiento en las bobinas estáticas.

El sistema de aislamiento que conforma las bobinas estáticas, pudiera estar conformado por tres componentes claramente diferenciable, tal como se muestran en la figura 2.3, las cuales son:

2.3.1.1. Aislamiento del conductor.

Es el aislamiento que recubre por completo el conductor que conforma la bobina, normalmente este aislamiento es del tipo barniz. Es común que el conductor que conforma los devanados de toda máquina eléctrica, tanto del tipo aleatorio como del tipo preformado, este presente este tipo de aislamiento. Su principal función es el de prevenir el efecto pelicular que se pudiera presentar en la periferia de los conductores, sobre todo en conductores de considerable sección transversal. [1] Este aislamiento, por estar unido al conductor, es quien está expuesto directamente a las altas temperaturas que se generan.

2.3.1.2. Aislamiento entre vueltas.

Es el aislamiento que recubre el conjunto de conductores que conforma cada una de las vueltas que forman los arrollados de la máquina, su función es el de evitar que ocurran cortocircuitos entre las vueltas de conductor que constituyen las bobinas. En las bobinas aleatorias el aislamiento del conductor cumple las funciones del aislamiento entre vueltas reforzándose en zonas donde se considera se necesita extra aislamiento. [1]

2.3.1.3. Aislamiento a tierra/masa.

Este aislamiento separa galvánicamente las bobinas a la masa del estator. Su importancia recae en que si existiese una perforación en ella, sobrevendría una falla a

tierra generándose un gran flujo de corriente, trayendo tras de sí la activación de las protecciones asociadas a la máquina.

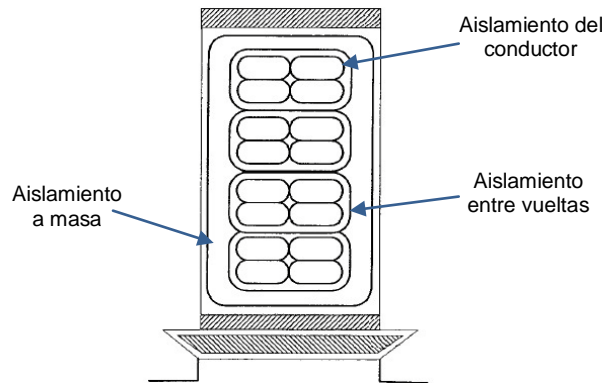


Figura 2.3: Arrollado rotórico preformado con núcleo multiconductor. [1]

2.4. Bobinas rotóricas.

En la mayoría de las máquinas eléctricas rotativas, la composición del inducido es parecido al que posee el estator, salvo algunas excepciones, y es que existen diferencias en el tipo de fuerzas físicas que deben soportar como la centrífuga; esta tiende a comprimir y distorsionar tanto los conductores como al aislamiento que lo recubre.

La mayoría de las veces, el contacto existente entre las bobinas y el núcleo del rotor es mucho mayor que el existente en el estator, esta característica hace que sea crítica la construcción del núcleo; la mayoría de las veces este núcleo es construido con láminas de acero, disminuyendo la posible circulación de corrientes parásitas. La aparición de estas corrientes, por efecto Joule, elevan considerablemente la temperatura dentro de la máquina, este calor hace que las propiedades físicas del aislamiento circundante del conductor cambien [1]; este contacto físico permite que exista constante transferencia térmica entre las bobinas y el núcleo rotórico; es de vital importancia que los devanados mantengan una temperatura de funcionamiento

adecuada y esto se logra cuando el calor generado en los arrollados se redistribuye hacia el núcleo el cual, a groso modo, es el que se encargó de disiparlo.

Las tensiones que se generan o se aplican en los rotores de máquinas síncronas, son de niveles muy bajos a diferencia de los niveles de tensión que se pueden llegar a presentar en el estator, esta particularidad hace que la capa aislante sea ligeramente delgada, si la comparamos con el aislamiento de devanados que poseen otras características eléctricas. En máquinas donde la tensión DC con que se alimenta, proviene de algún circuito que contenga la operación de tiristores, pudiese ocurrir picos de tensión que generan un debilitamiento adicional al sistema de aislamiento [1].

2.5. Materiales usados en los sistemas de aislamiento en máquinas rotatorias.

A través de los años la selección de los materiales usados en el aislamiento, está ligada directamente a la evolución, costo, técnica de obtención, etc. de los mismos. A continuación se enumera una serie de materiales que se han utilizado y que se utilizan en el presente para conformar el sistema de aislamiento.

2.5.1. Materiales naturales.

Al comienzo de la era industrial, las fibras naturales como: seda, lino, asbesto, algodón, lana, fueron los materiales que se usaron para conformar el aislamiento en motores y generadores. Estos materiales unidos con resinas naturales extraídas de plantas, árboles, petróleo, animales e insectos, consiguieron lograr el objetivo de aislar componentes de máquinas eléctricas [1].

Durante el uso de estos materiales, se introdujo la técnica de VPI o impregnación a presión de vacío y que es utilizada aún en día, este proceso permite

aumentar las propiedades dieléctricas del material aislante ya que sella completamente los devanados contra la humedad y las vibraciones.

2.5.2. Primeros productos sintéticos.

Los primeros pasos en el estudio de materiales sintéticos comenzaron en 1908, fecha cuando se comenzaba a desarrollar procesos menos complejos y accesibles desde el punto de vista industrial, para la elaboración de resina sintética. Para 1926 se usaba la resina llamada alquídica, basada en largas cadenas saturadas de ácidos grasos y alcohol. La gran desventaja que poseían estos productos era que contribuían a la contaminación del aire además de ser muy volátiles. Entre los años 1940 a 1950 se introdujeron varios tipos de polímeros sintéticos como el poliéster y el polietileno (1942), fluorocarbono y siliconas (1943), material epóxico, polieretano, polipropileno y policarbonato (1950) [1].

2.5.3. Películas plásticas.

En 1950 se ideó un nuevo material con forma de película y hecho de plástico sintético, luego se logró elaborar un material parecido a éste pero hecho de fibra polimérica; este tipo de tecnología se ofreció, gracias a su maleabilidad, para ser colocada como aislamiento dentro de las ranuras, vueltas y las fases de los motores de inducción [1].

2.5.4. Resinas sintéticas líquidas.

Otro gran avance dentro del campo de los materiales aislantes fue el desarrollo de resinas líquidas no naturales, éstas permitían implementarse como único material aislante alrededor de los conductores logrando soportar la acción de las altas temperaturas o como complemento a otros materiales aislantes, haciendo aumentar la estabilidad térmica y las propiedades físicas dentro de la máquina. Otro atributo de

éste material fue que se eliminó la necesidad de utilizar solventes lo que lo hace un material más amigable hacia al ambiente, además de permitir disminuir la aparición de vacíos en los aislamientos que forma el material dentro de la máquina; esta última característica hace que se use primordialmente en los sistemas de aislamiento conductor–masa [1].

2.5.5. Mica.

El uso de este producto natural se extiende desde tiempos casi prehistóricos y desde entonces su aplicación fue como elemento de ornamentación. Su principal característica es el de soportar altas temperaturas llegando a límites de hasta 550°C y en algunos casos de hasta 980°C, manteniendo sus propiedades físicas intactas, dada esta característica su uso como aislamiento en máquinas eléctricas es muy común [1].

2.5.6. Fibra de vidrio.

Este material tuvo su aparición por el año de 1922, pero fue hasta el año de 1942 que comenzó a usarse en el campo eléctrico como refuerzo en los sistemas de aislamiento, hoy en día su uso es muy extendido en el aislamiento de las máquinas eléctricas, debido a que se ha mejorado significativamente las propiedades dieléctricas que presentaba el material en sus inicios al añadirsele diversos materiales como la mica, diversas láminas de resina, etc [1].

2.6. Clasificación térmica del aislamiento según norma IEEE.

A principios del siglo XX, gracias a un trabajo realizado por la AIEE [3], se pudo reconocer cómo el aislamiento se deteriora cuando éste es expuesto en el tiempo a las altas temperaturas y por primera vez se clasificó a los materiales aislantes en tres grupos de acuerdo a la temperatura que pueden soportar sin comprometer sus propiedades dieléctricas, tal como se expone en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Clasificación AIEE materiales aislantes según temperatura operación. [3]

| Clase | Temperatura | Material |
|-------|-------------------------------------|---|
| A | Hasta 90°C | Sólo materiales orgánicos. |
| B | Hasta 125°C | Materiales orgánicos en combinación con materiales inorgánicos. |
| C | Hasta 150°C hasta la incandescencia | Sólo materiales inorgánicos. |

Con el tiempo se llegó a la conclusión de que los materiales aislantes no podían ser clasificados térmicamente a través del tipo de material que lo constituían, si no que su clasificación debería estar de acuerdo por su desempeño en pruebas de medición de niveles de aislamiento [4]. Hoy en día, el aislamiento de las máquinas eléctricas se clasifica dependiendo sólo de la capacidad de aguante térmico y no por el tipo de materiales que la componen.

Entre las normas americanas IEEE y las europeas IEC, se halla una complementación en cuanto a la categorización de los sistemas de aislamiento; en ambas existe una concertación sobre los estándares de aislamiento, esta confluencia de opiniones o pensamiento en el tema se refleja en trabajos especiales en donde se explica cómo los procedimientos son comunes entre los estándares y que son realizados bajo un formato generalizado [5]. De esta manera se puede decir que en las máquinas eléctricas, existe una clasificación térmica de los materiales aislantes, la cual se presenta en la tabla 2.2 y que es la más extendida en el mundo moderno.

Tabla 2.2: Clasificación de materiales aislantes según IEC. [6]

| RTE | Clase térmica | Designación previa |
|-------------|---------------|--------------------|
| < 90 | 70 | - |
| < 90 – 105 | 90 | Y |
| < 105 – 120 | 105 | A |
| < 120 – 130 | 120 | E |
| < 130 – 155 | 130 | B |
| < 155 – 180 | 155 | F |
| < 180 – 200 | 180 | H |
| < 200 – 220 | 200 | - |
| < 220 – 250 | 220 | - |
| > 250 | 250 | - |

2.7. Factores que influyen en el deterioro del aislamiento.

Existen infinidad de factores externos e internos a las máquinas eléctricas, que producen el debilitamiento y en algunos casos, la destrucción del sistema de aislamiento. Algunos de ellos son:

Efecto temperatura: la temperatura, producida por el funcionamiento normal de los elementos eléctricos y mecánicos que poseen una máquina eléctrica, es decisivo puesto que si éste no se disipa o ventila de manera eficiente puede que se cree un efecto avalancha logrando que la temperatura aumente de forma descontrolada, afectando negativamente todos estos componente, especialmente el aislamiento que, debido a sus características físicas y químicas, es el elemento que menos resiste el ataque de las altas temperaturas, lo cual permite que se presenten excesivas contracciones o expansiones que darán lugar a resquebrajamientos y presencias de grietas que al final se traducen en fallas severas en la máquina.

El efecto temperatura, dentro de los materiales aislantes, se puede considerar una reacción primordialmente química, su deterioro por este efecto se puede modelar por medio la Ley de Rata de Arrhenius [1]; donde la vida útil del aislamiento es función de la temperatura de operación de acuerdo a la expresión 2.1. [1]

$$L = Ae^{\frac{B}{T}} \quad [\text{Ec. 2.1}]$$

donde L: vida útil del aislamiento, en horas.
 A, B: se asumen constantes que dependen del material aislante.
 T: temperatura en K.

De la ecuación 2.1 se deriva la regla “universal” que indica que la vida útil del aislamiento se reduce a la mitad por cada 10 °C de aumento en la temperatura de operación de la misma. [1]

Efectos eléctricos: Es común considerar en máquinas eléctricas de gran envergadura, el efecto de las perturbaciones debidas a sobretensiones transitorias, que pudieran presentarse durante su funcionamiento debido a maniobras de arranque, paradas súbitas, accionamiento de equipos y dispositivos adyacentes, accionamiento de elementos no lineales dentro de las operaciones de la máquina, entre otros. Los picos de tensión que llegan a soportar ciertos tipos de maquinarias eléctricas, pueden debilitar sistemáticamente su aislamiento, llegando a acabar por completo este sistema. [1]

Factores ambientales: dentro de estos factores tenemos: polvo o restos que quedan de procesos industriales, partículas que quedan de la acción de frenos o de la acción del roce de escobillas, humedad condensada en los devanados, radiación, grasa y/o aceite proveniente de los rodamientos de la máquina u otro elemento contigua a ella. Estos agentes ambientales influyen de manera directa sobre las propiedades físicas y químicas del elemento aislante.

Factores mecánicos: las vibraciones y las fuerzas centrífugas que se generan en el funcionamiento de las máquinas eléctricas tienden a resquebrajar y deteriorar el material aislante, si los arrollados no se encuentra firmemente sujetos al estator, o al rotor, pudieran comprometer su buen funcionamiento porque permitirían la ocurrencia de roces en las bobinas, trayendo consigo la presencia de niveles elevados de corrientes y hasta corto circuitos, lo que a su vez representa un aumento de la temperatura de la máquina.

2.8. Métodos para la evaluación del aislamiento.

Se puede dividir en dos grupos: pruebas a corriente alterna y pruebas a corriente continua.

Las pruebas a corriente alterna poseen ventajas sobre las pruebas a corriente continua, con pruebas bajo corriente AC los aislamientos de la máquina no se polarizan ni queda carga residual en sus devanados al finalizar la prueba, además los esfuerzos eléctricos son parecidos a las condiciones de operación de la máquina (para máquinas síncronas y asíncronas). Pero como gran desventaja está que la mayoría de las pruebas bajo corriente alterna se consideran destructivas y los equipos que realizan dichas pruebas son más sofisticados y de tamaño considerable si los comparamos con los de corriente continua [7].

Las pruebas bajo corriente continua son las más usuales para determinar el estado del aislamiento de los devanados, ya que los equipos son muy maniobrables y económicos, otra razón importante es que los esfuerzos eléctricos son menores hasta cierto punto. Como desventaja en este tipo de pruebas tenemos que la misma hace que aparezcan corrientes indeseadas que afectan la calidad de la medición al igual que la carga eléctrica que pueda tener las bobinas originadas por anteriores mediciones o por que la máquina ha estado en operación recientemente. Es por esta razón que las mediciones bajo corriente continua deben hacerse cumpliendo con un mínimo de pautas para obtener una medición o evaluación exacta y representativa [7].

El ensayo AC más típico es el de alto potencial, consiste en aplicar alta tensión por un minuto a los devanados para proceder a medir su IR, otra prueba es la llamada Blackout, consiste en aplicar alta tensión AC y observar, en ausencia de luz, las posibles descargas o efecto corona que pudieran presentarse; en cada una de estas pruebas es necesario la presencia de un transformador especial que permita alcanzar los valores de tensión adecuado además de las protecciones asociadas que permitan proteger los equipos involucrados de cualquier falla debida a un devanado en mal estado [1].

En este trabajo se desarrollarán las pruebas tipo DC en aislamiento, por considerarse como las más comunes de realizar en procedimientos rutinarios de

mantenimiento y tomando en cuenta las limitantes que imponen los equipos de medición del taller SMO, en cuanto a los ensayos que se puedan realizar con ellos.

2.9. Componentes de corriente presente en pruebas DC.

La aplicación de tensión tipo DC en los devanados, permite que circule una pequeña cantidad de corriente, en la literatura se pueden encontrar varios modelos circuitales que tratan de dar razón y forma a esta corriente, la mayoría son arreglos de capacitancias y resistencias en paralelo y en serie; se considerará como modelo de estudio al circuito que modela a esta corriente (Figura 2.4) y que muestra la IEEE 43-2000 [8], el cual toma en consideración las características físicas, eléctricas y moleculares del aislamiento cuando se le excita con tensiones de este tipo.

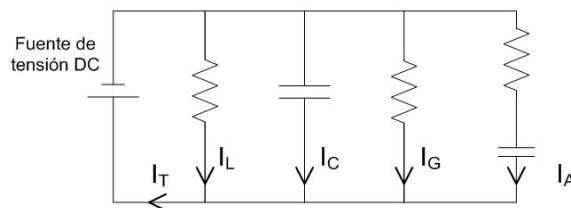


Figura 2.4: Circuito equivalente que muestra las cuatro corrientes generadas durante una prueba con tensión DC. [8]

Este flujo de corriente antes mencionados, se puede modelar por una sumatoria de corrientes que cambian con el tiempo en que se aplica la prueba (Ver figura 2.5).

- a. *Corriente de escape superficial “ I_L ”*: también llamada corriente de fuga. Está presente desde el comienzo de la aplicación de la tensión DC, es constante en el tiempo y es debida a las partículas contaminantes presentes en los aislamientos. [8]
- b. *Corriente de carga capacitiva “ I_C ”*: comienza con un valor alto y decae de forma de exponencial abrupta inversa hasta hacerse nula (se hace cero en

menos de diez segundos), dependiente de las características geométricas de los devanados y de la resistencia interna que posee el equipo de medición. [8]

- c. *Corriente de conductancia “ I_G ”*: se hace presente si el elemento aislante ha absorbido humedad, existe resquebrajamiento, cortes o algún agente contaminante. Ocurre debido a la migración de iones a través del volumen del aislamiento y por la circulación de electrones a través del material aislante, por lo que depende en gran medida de los componentes con que está constituido y de las condiciones en que se encuentren. Esta corriente está presente desde el inicio de la aplicación de la tensión, manteniendo en el tiempo sus características constantes. [8]
- d. *Corriente de absorción “ I_A ”*: llamada también corriente de polarización. Es debida a la reorientación de ciertos tipos de moléculas polares al estar sometidos a un campo eléctrico continuo; todo material aislante posee este tipo de molécula que en estado natural posee un campo eléctrico interno que se alinea en dirección al campo eléctrico aplicado, la realineación permite circulación de corriente, terminada esta alineación la corriente decae. [8]

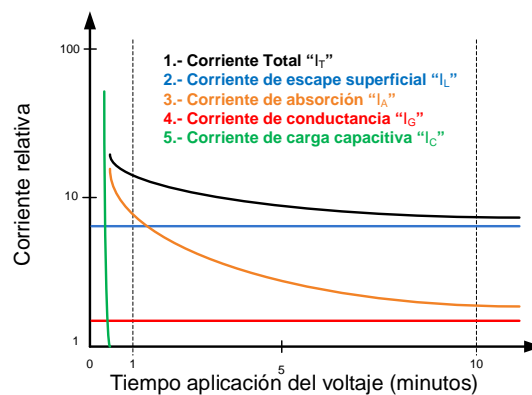


Figura 2.5: Tipos de corriente prueba IR para aislamiento de mica-material asfáltico. [8]

2.10. Pruebas tipo DC para medición y/o evaluación del aislamiento.

Las pruebas DC que estudiadas en este proyecto están limitadas por los equipos de medición que posee la empresa para tal efecto. Otros ensayos de importancia solamente se mostrarán como referencia.

2.10.1. Resistencia de aislamiento “IR”.

Considerada una prueba de bajo voltaje, es la medida más común que se le puede hacer a los sistemas de aislamiento. La prueba IR permite diagnosticar si existen problemas de contaminación o polución en las bobinas. La tensión que se aplica en esta prueba está definida por el estándar IEEE 43-2000 (ver tabla 2.3) y el tiempo de aplicación es de un minuto también definido por esta norma [8].

Tabla 2.3: Voltaje DC a aplicar durante la prueba de resistencia de aislamiento. [8]

| Voltaje nominal de la bobina [V] ¹ | Voltaje DC para la prueba IR [V] |
|---|----------------------------------|
| < 1000 | 500 |
| 1000 – 2500 | 500 – 1000 |
| 2501 – 5000 | 1000 – 2500 |
| 5001 – 12000 | 2500 – 5000 |
| > 12000 | 5000 – 10000 |

La prueba consiste en la aplicación de voltaje sobre el devanado aislado, generándose una corriente y obteniéndose por ley de Ohm la magnitud de resistencia de aislamiento. Se recomienda escalar el valor obtenido a una temperatura de 40°C (ecuaciones 2.2 y 2.3), aunque no está definido la forma de ajustar valores de IR tomados en un amplio rango de temperaturas, por tal razón se recomienda que las mediciones sean realizadas dentro de un mínimo rango de temperatura posible. El escalamiento a 40°C permite comparar valores tomados en distintos momentos y a diferentes temperaturas y poder trazar líneas de tendencias que ayuden a analizar el envejecimiento que estén sufriendo los devanados [8]; asimismo con este

¹ Voltaje nominal línea-línea para máquinas AC trifásicas, voltaje línea-neutro para máquinas monofásicas, y voltaje directo nominal para máquinas DC y devanados de campo.

escalamiento es posible apreciar el efecto que produce la temperatura del devanado al valor de resistencia de aislamiento asociado, tal como se observa en la gráfico 2.1.

El valor de IR no es un valor absoluto, es un valor relativo que aunque sea común en toda máquina eléctrica, no implica que tenga la misma magnitud, aun para equipos de idénticas característica. Aún así, el estándar IEEE 43-2000 [8] indica los valores recomendados de IR para devanados en buenas condiciones.

Tabla 2.4: Valores mínimos recomendados (en MΩ) de resistencia de aislamiento a 40 °C. [8]

| Mínimo valor de resistencia de aislamiento [MΩ] | Tipo de máquina bajo prueba |
|---|---|
| $IR_{1min} = kV + 1$ | Mayoría de los devanados hechos antes de 1970, todos los devanados de campo y otros no descritos en la continuación de esta tabla. |
| $IR_{1min} = 100$ | Para la mayoría de las armaduras tipo DC y arrollados tipo AC construidos después de 1970 (devanados preformados). |
| $IR_{1min} = 5$ | Mayoría de las máquinas construidas en el estator con devanados tipo aleatorios y devanados tipo preformados con tensiones de operación por debajo de 1 kV. |

Donde kV es el valor rms del voltaje terminal a terminal expresado en kV.

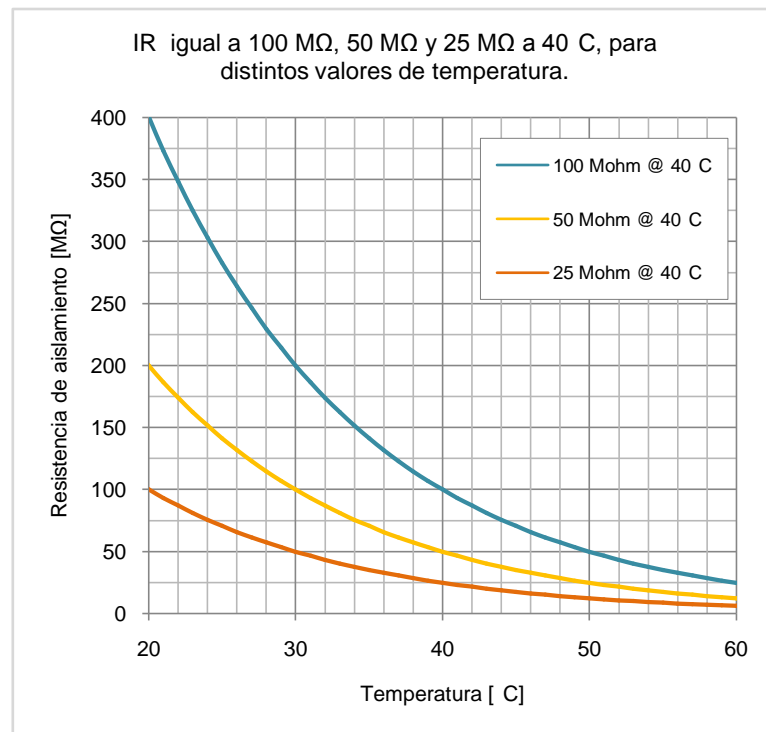


Gráfico 2.1: IR (100 MΩ, 50 MΩ y 25 MΩ a 40°C) vs temperatura. [Fuente: el autor]

Ecuaciones para la corrección por temperatura del valor de IR:

$$R_C = K_T R_T \quad [\text{Ec. 2.2}]$$

$$K_T = (0,5)^{\left(\frac{40-T}{10}\right)} \quad [\text{Ec. 2.3}]$$

donde R_C = valor de IR corregida a 40°C,
 K_T = coeficiente de temperatura de IR para una temperatura “T” en °C,
 R_T = medida de IR tomada a temperatura “T” en °C.

Conociendo los valores de IR que en el tiempo se han tomado a una máquina eléctrica en específico, se puede interpretar las tendencias que dichos valores poseen, para decidir si se debe intervenir o no a la máquina y la forma en que se debe proceder, tal como se indica la tabla 2.5 [9].

Tabla 2.5: Observaciones generales sobre cómo interpretar las pruebas periódicas de resistencia de aislamiento. [9]

| Condición | Procedimiento a seguir |
|---|---|
| Valores altos aceptables y mantenidos. | No es causa de preocupación. |
| Valores altos aceptables pero con tendencia constante a disminuir. | Localizar y si es posible remediar la causa de la tendencia de la disminución del IR. |
| Bajos pero mantenidos. | Se debe discriminar la causa de estos valores ya que pudiera indicar problemas o simplemente se debe al tipo de material usado en el aislamiento. |
| Bajos y con tendencia a descender. | Tratar de elevar los valores de IR antes de colocar el equipo de nuevo en servicio. |
| Valores anteriores de IR altos o aceptables pero con una baja súbita. | Hacer pruebas a intervalos más frecuentes hasta que la causa de los valores bajos se localice y se remedie esperando que los valores se establezcan a un nivel seguro de operación o hasta que los valores sean tan bajos que sea insegura la puesta en funcionamiento del motor. |

2.10.2. Índice de polarización “PI”.

La prueba llamada índice de polarización “PI”, es una variación de la prueba de IR, y como tal se le considera una prueba a baja tensión. Este ensayo consiste en hacer dos mediciones de IR, con un nivel de tensión constante y a dos tiempos, una lectura al minuto de haberse iniciado la prueba y otra a los diez minutos. El resultado

final será el cociente entre el valor de IR tomado a los diez minutos y el valor de IR tomado al minuto (ecuación 2.4), la norma IEEE 43-2000 indica los valores IP recomendados para aislamientos, dependiendo de la clase con que están constituidos, tal como se visualiza en la tabla 2.6. A este resultado se le puede considerar independiente de la temperatura si consideramos que la masa total de la máquina bajo prueba es lo suficientemente grande para suponer que la tasa de cambio de temperatura es despreciable en un tiempo de diez minutos [8].

$$PI = \frac{R_{10\min}}{R_{1\min}} \quad [\text{Ec. 2.4}]$$

De la gráfica de corriente aplicada vs tiempo (figura 2.6), para la prueba de IR y conociendo la ley de ohm, podemos inferir que el valor de resistencia de aislamiento se incrementará con gran rapidez una vez se haya iniciado la aplicación del voltaje de prueba, con el paso del tiempo de la prueba, el valor de la resistencia de aislamiento del devanado se estabilizará a un valor constante. El tiempo en que el valor IR se estabilice dependerá del tipo aislamiento, para aislamientos modernos (construidos después del año 1970) el tiempo de estabilización será de aproximadamente cuatro minutos, para aislamientos de vieja data (anteriores a 1970) este tiempo de estabilización puede estar entre los diez a quince minutos; estos tiempos se cumplen para sistemas de aislamientos en buenas condiciones. Si las condiciones del aislamiento son desfavorables, el valor de IR se estabilizará a un valor bajo en un periodo de tiempo menor a los dos minutos.

La razón principal de la aplicación de la prueba de PI es determinar si el sistema de aislamiento de la máquina está en condiciones para aplicársele una prueba Hipot o simplemente para conocer si la máquina está en condiciones de operación. La desventaja principal de esta prueba es llegar a obtener valores infinitos, esto ocurre cuando tenemos equipos de medición con limitado rango o por diferencias abismales entre los dos valores medidos que involucran a la valor de PI [1].

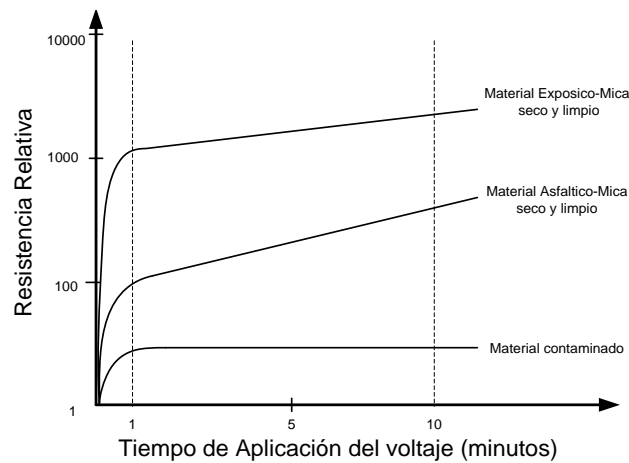


Figura 2.6: Típica mediciones de resistencia de aislamiento para tres diferentes máquinas. [8]

Tabla 2.6: Valores recomendados PI para todas las clases de aislamientos, que componen a la máquina eléctrica. [8]

| Clase de aislamiento | Mínimo valor de P.I. |
|----------------------|----------------------|
| Clase A | 1,5 |
| Clase B | 2,0 |
| Clase F | 2,0 |
| Clase H | 2,0 |

Una variante de esta prueba es el valor DAR, con ella se indica que los intervalos de tiempo de lectura del valor IR son distintos a los indicados en la prueba PI, lecturas de diez y un minuto serán suplantadas por mediciones hechas a distintos valores de tiempo, existiendo distintas variantes en cuanto a los intervalos de tiempo a considerar. La razón de ser del valor DAR consiste en que los sistemas de aislamientos modernos, la corriente de absorción es prácticamente cero al cabo del segundo al tercer minuto de haberse iniciado la prueba; en sistemas de aislamiento de máquinas de vieja data esta corriente se hacía cero al décimo minuto. Los intervalos de tiempo recomendable para esta prueba son de 30 y 60 segundo y el significado de su resultado es el indicado en la tabla 2.7 [7].

Tabla 2.7: Valores DAR y su significado. [7]

| DAR (radio 60s/30s) | Condición del aislamiento |
|---------------------|---------------------------|
| 1,00 a 1,25 | Cuestionable |
| 1,40 a 1,60 | Bueno |

| | |
|--------|-----------|
| > 1,60 | Excelente |
|--------|-----------|

2.10.3. Prueba de voltaje de paso “SV”.

Es considerada una prueba de alta tensión o Hipot, por tal razón las condiciones en que se aplica deberán estar completamente controladas, en especial la escogencia de la tensión de prueba, porque al realizarla pudiera en algún momento perforarse el aislamiento, en algunas situaciones esto no ocurre de manera inmediata si no que el material aislante irá perdiendo sus propiedades dieléctricas cada vez que es aplicada la prueba.

La prueba consiste en la aplicación de una tensión que se incrementa en pasos de voltajes parejos, al final de cada paso de voltaje se realiza la anotación del valor de IR para finalmente graficar los valores de resistencia de aislamiento vs el voltaje aplicado. La duración de cada paso de voltaje de esta prueba está determinado por las características del aislamiento [10], lo usual es un tiempo de cinco minutos con incrementos de tensión a cada minuto, lo cual implica que la tensión de cada paso aumentará un quinto de la tensión final; se escoge un tiempo de un minuto para cada paso por considerarse que es el tiempo suficiente en el cual la corriente capacitiva se habrá hecho cero [9].

El principio de esta prueba se basa en las propiedades que poseen los materiales resistivos, en los cuales su valor permanece constante ante los cambio de tensión, en materiales aislantes que se encuentren en excelentes condiciones el valor de IR presentara una leve variación positiva conforme se vaya aumentando la tensión; si la curva descrita por estas mediciones es casi lineal, se puede afirmar que el aislamiento de la máquina está en buenas condiciones, si la tendencia de estas mediciones es a la baja, la conclusión es que el sistema de aislamiento es pobre y es factible que falle si se pone en servicio [9].

Se puede afirmar, que para realizar de manera segura y confiable los ensayos en alta tensión con tensión DC en máquinas eléctricas AC y DC desde 5 HP hasta 10000 HP, la tensión de prueba será aproximadamente la mostrada en la ecuación 2.5 [11] y la conexión adecuada para tal efecto es la mostrada en la figura 2.7.

$$125\% \cdot 1,7 \cdot E \leq \text{Tensión prueba Hipot} \leq 150\% \cdot 1,7 \cdot E \quad [\text{Ec. 2.5}]$$

donde E: tensión nominal de la máquina

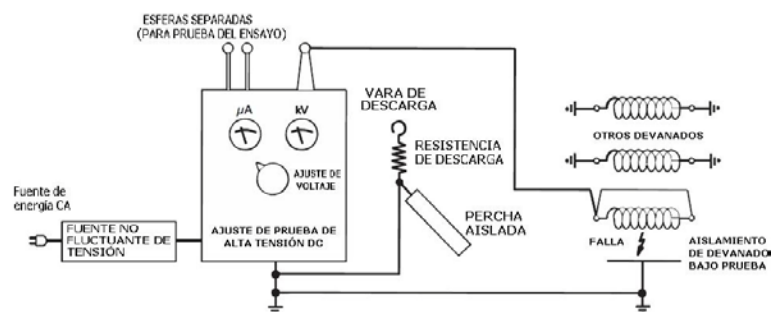


Figura 2.7: Diagrama de conexión típica para pruebas de alta tensión DC. [10]

2.10.4. Prueba de descarga dieléctrica “DD”.

Es una prueba desarrollada por EDF y se considera de alta tensión. Se basa en la medición de la corriente que fluye durante el proceso de descarga, a diferencia de pruebas convencionales que se enfocan en la medición de la corriente de carga. Esta corriente está regida por la cantidad de carga almacenada en el aislamiento y de la resistencia de descarga del equipo de medición; esta corriente disminuye hasta hacerse cero con una constante de tiempo de apenas unos segundos, quedando sólo la corriente de reabsorción, que es la misma corriente de absorción que se genera durante la carga y su constante de tiempo es mucho mayor si se quiere comparar con la de carga [9].

La prueba consiste en la aplicación de una alta tensión al devanado de la máquina, permitiendo su carga por espacio de 10 a 30 minutos, el tiempo optimo se

logra conociendo la forma como se comporta el o los devanados de la máquina durante otras pruebas de evaluación del aislamiento, este tiempo es tal que permite la carga total de las capacitancias internas que poseen los devanados y que haya ocurrido la absorción eléctrica; transcurrido este tiempo, se elimina la tensión para que entre en su lugar las resistencias internas del equipo de medición que permiten la descarga, transcurridos sesenta segundos desde el momento en que comenzó la descarga, se mide el flujo de corriente remanente al igual que la carga almacenada dentro del aislamiento. Estos valores se introducen, junto a la tensión de la prueba, en la expresión 2.6, el resultado indicará la condición en que se encuentra el aislamiento (ver tabla 2.8). [9]

$$DD = \frac{I_{1\min}}{V \cdot C} \quad [\text{Ec. 2.6}]$$

donde $I_{1\min}$: Corriente que fluye después de un minuto [nA]

V: Voltaje de la prueba [V]

C: Capacitancia del devanado [mF]

La forma en que se construye el sistema de aislamiento hace que cada capa presente su capacitancia asociada, dichas capas se construyen de manera pareja permitiendo que la fatiga sea compartida. Cuando exista la presencia de una capa dañada, su resistencia a producir fugas de corrientes disminuirá, no así su capacitancia que se mantendrá invariante, lo que es traducido en que la constante del tiempo de la corriente de descarga aumentará creando un valor de DD mayor indicando problemas en el aislamiento del devanado. [9]

Tabla 2.8: Valores recomendados DD para todas las clases de aislamientos, que componen a la máquina eléctrica. [9]

| Valor DD | Condición del aislamiento |
|----------|---------------------------|
| < 2 | Excelente |
| 2 a 4 | Cuestionable |
| 4 a 7 | Pobre |
| > 7 | Peligroso |

2.10.5. Otras pruebas de importancia.

Prueba de impulso: la prueba hace uso de un impulso de corriente que es inyectado al devanado con un rápido tiempo de alza, la onda que rebota en las bobinas y que regresa al punto donde fue inyectada presentará una forma amortiguada (ver figura 2.8), esta onda reflejada está relacionada con la inductancia de la máquina y la capacitancia del equipo de prueba, su frecuencia natural esta expresada por la ecuación 2.7. [12]

$$\text{Frecuencia patrón de onda} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \quad [\text{Ec. 2.7}]$$

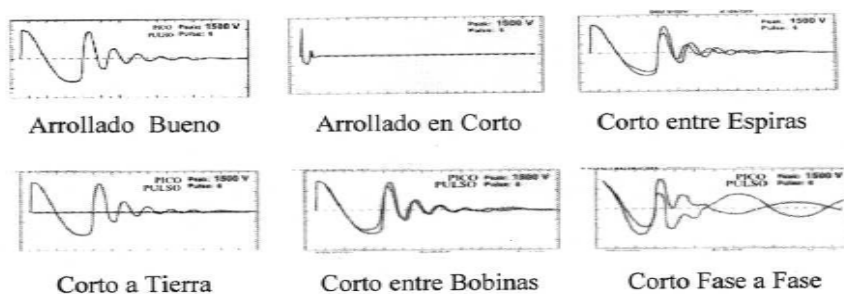


Figura 2.1: Patrones de onda para diferentes tipos de falla. [12]

Prueba de factor de potencia: consiste en la aplicación de una tensión AC en los devanados de la máquina, las características capacitivas del aislamiento permite que la corriente generada presente un desfase con respecto al voltaje de la prueba. De utilidad para determinar la presencia de humedad y otros contaminantes, se recomienda en máquinas de media y alta tensión [13].

2.11. Factores que afectan las mediciones de aislamiento.

2.11.1. Factor humedad.

La presencia de humedad en los devanados permite que el nivel de resistencia de aislamiento disminuya, pronunciándose el efecto si la superficie del

aislante presenta suciedad o existe presencia de fracturas, esta humedad pudiera provenir del ambiente en que regularmente se encuentre en servicio la máquina o del lugar donde se realicen las mediciones. La humedad presente en el ambiente, penetra dentro del material aislante de las bobinas creando un aumento de la corriente de conducción, este efecto se aprecia mayormente en sistemas de aislamiento de vieja data, donde los materiales utilizados tienden a ser higroscópicos² [8].

Para tratar de evitar el efecto adverso de la humedad ambiental, se acostumbra a hacer seguimiento a éste parámetro, de forma que su influencia sea mínima, esto se logra controlando la temperatura de los devanados, es decir, si la temperatura del arrollado está por encima de la temperatura de punto de rocío, se puede afirmar que los efectos higroscópicos del material y la electroendósmosis³ que pudiera presentarse alrededor del material, son despreciables [1].

2.11.2. Factor condición superficial del material aislante.

Este factor permite que la corriente de fuga fluya con mayor facilidad, haciéndola mucho mayor y en algunos casos permitiendo la presencia de arcos, esto hace que el valor de resistencia de aislamiento sea bastante errada. Ocurre cuando los devanados presentan un exceso de suciedad debida a polvo, aceite, grasa, etc. si existe un exceso de estos materiales la resistencia de aislamiento decae admitiendo el paso de corrientes no deseadas entre bobinas o entre bobinas y la masa, aumentando la temperatura de operación de la máquina y circunstancialmente dañando el sistema de aislamiento [8].

2.11.3. Efecto temperatura.

² Higroscópico: material que posee la capacidad de absorber o ceder humedad al medio ambiente.

³ Electroendósmosis: fenómeno que consiste en el movimiento de las moléculas de agua hacia el cátodo cuando se aplica un campo eléctrico a un material.

Como se sabe, la temperatura altera el valor de cualquier resistencia, para la resistencia de aislamiento ocurre lo mismo, la diferencia está en que para materiales netamente resistivos el aumento de la temperatura hace que sus propiedades resistivas aumenten, caso contrario en los materiales aislantes el aumento de la temperatura hace que el valor de IR asociado disminuya. El hecho de que el valor IR cambie con respecto a la temperatura hace que sea necesario registrar tanto el valor de resistencia de aislamiento y la temperatura a la cual se ha hecho la medición, para luego escalarla a una temperatura de 40 °C, tal como se explicó en el punto 2.10.1 de este trabajo.

2.11.4. Factor nivel de tensión de prueba.

Para sistemas de aislamientos en excelentes condiciones, es indiferente el nivel de voltaje aplicado en la prueba, hasta cierto punto, ya que para cualquier tensión empleada tendremos el mismo valor de IR, ahora, si el sistema de aislamiento no está en óptimas condiciones, tendremos distintos valores IR para diferentes niveles de tensión, es así que si encontramos un descenso del valor de resistencia de aislamiento al incrementar el voltaje, estaremos ante un aislamiento con problemas.

2.11.5. Efecto de la carga existente en el devanado.

Cuando a los devanados se le hayan hecho pruebas de medición de aislamiento con anterioridad, o la máquina ha estado largo tiempo sin uso o por el contrario ha estado recientemente en uso, es seguro que ha guardado algún tipo de carga y posiblemente se haya generado una pequeña diferencia de potencial entre los extremos de los devanados que la componen, permitiendo que fluya una cantidad de corriente parecida a la corriente de absorción. Si la carga que origina estos inconvenientes no es eliminada al inicio de cada medición, hace que ésta influya en la medición, puesto que entra dentro de la dinámica de la nueva carga que se está presentando al momento de la prueba. Por tales razones, es importante descargar por un periodo de tiempo considerable a los devanados, antes y después de cada medición. Se aconseja realizarla por un lapso mínimo de cuatro veces el tiempo en

que fue cargada la máquina, a través de una resistencia apropiada o llevando cada uno de los terminales a un punto con potencial nulo. [8]

2.12. Condiciones para las pruebas tipo DC en aislamiento.

Las condiciones que se deben cumplir al momento de realizar cualquier procedimiento que involucre la medición de aislamiento, de bobinas de cualquier máquina rotativa eléctrica, son las indicadas por las normas IEEE 43-2000, IEEE 432-1995 e IEEE 95-2002. Se puede generalizar estas condiciones para pruebas DC, ya sea usando baja tensión o alta tensión, con los siguientes puntos.

- a.** La máquina a evaluar, debe estar desconectada de toda fuente de energía eléctrica y separada de cualquier equipo o elemento externo a ella.
- b.** Tener presente la tensión de alimentación de la máquina, que es la que determinará la máxima tensión que se puede aplicar en la prueba sin comprometer la validez de la medición ni la integridad del aislamiento.
- c.** Cada bobina de la máquina deberá ser probada separadamente, teniendo las otras cortocircuitadas entre si y conectadas a la masa del motor. Para el caso de máquinas polifásicas, cada fase se deberá aislar y probar separadamente. De esta manera, cuando una de las fases esté bajo prueba, las otras fases deben estar al mismo potencial de la masa; así se asegura que el aislamiento entre fase y fase se esté probando, como también el aislamiento entre fase y la masa. [8]
- d.** Se debe descargar las bobinas, antes de ser medida, entre cada medición y al finalizar la totalidad de mediciones involucradas; colocando el terminal asociado a cada elemento directamente a un punto que se encuentre a tierra.
- e.** No debe existir mucha diferencia entre la temperatura de la bobina y la temperatura ambiente de manera de evitar que una posible dinámica térmica entre estos altere la calidad de la medición.
- f.** Tener presente que la temperatura de las bobinas debe ser mayor a la temperatura del punto de rocío.

CAPÍTULO III

PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE AISLAMIENTO EN LOS MOTORES DE TRACCIÓN Y DE LOS GMA.

3.1. Descripción de los motores de tracción y GMA pertenecientes a C.A. Metro de Caracas.

Motor de tracción de 1^{ra} generación: Es un motor de corriente continua, excitación serie, con polos de compensación, polos principales y auxiliares. Es autoventilado y provisto de un filtro de succión. La clase de aislamiento es del tipo F en todas sus bobinas [14]. Se identifica dentro de la empresa con la siguiente nomenclatura MT1-XXX. Sus valores nominales son los indicados en la tabla 3.1, los bornes de conexión se indican en la figura 3.1 y su circuito eléctrico equivalente se muestra en la figura 3.3. El valor IR mínimo para todas sus bobinas según el fabricante del motor es de $1M\Omega$ a 1000 Vcc [15].

Tabla 3.1: Datos de placa motor de tracción 1^{ra} generación. [14]

| Modelo: 4EXH 2522 | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-----|-----|------|
| Tipo: DC, excitación serie. Año: 1983 | | | | | |
| | kW | HP | V | A | rpm |
| Régimen continuo | 122 | 163,5 | 340 | 400 | 1810 |
| Uní-horario | 127,5 | 170 | 340 | 420 | 1764 |
| Valor máximo | | | 428 | 630 | 3082 |

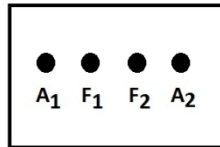


Figura 3.1: Terminales de los motores de tracción de primera generación. [Fuente: el autor]

Motor de tracción de 2^{da} generación: Es un motor de corriente continua, excitación independiente, con polos de compensación, polos principales y auxiliares.

La clase de aislamiento es del tipo F en todas sus bobinas excepto la bobina rotórica cuyo aislamiento es clase 200 [16]. Se identifica dentro de la empresa con la siguiente nomenclatura MT2-XXX. Sus valores nominales se indican en la tabla 3.2, los bornes de conexión se muestran en la figura 3.2 y su circuito equivalente en la figura 3.3.

Tabla 3.2: Datos de placa motor de tracción 2^{da} generación. [16]

| Modelo: 4EXF 2522A | | | | | | |
|---|-------|-------|-----|-----|---------|------|
| Tipo: DC, excitación independiente. Año: 1992 | | | | | | |
| | kW | HP | V | A | A (Exc) | rpm |
| Régimen continuo | 152 | 203,8 | 375 | 440 | 24 | 1965 |
| Uní-horario | 158,5 | 212,5 | 375 | 460 | 25 | 1910 |
| Valor máximo | | | 450 | 600 | 38 | 3082 |

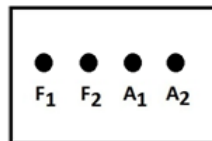


Figura 3.2: Terminales de los motores de tracción de segunda generación. [Fuente: el autor]

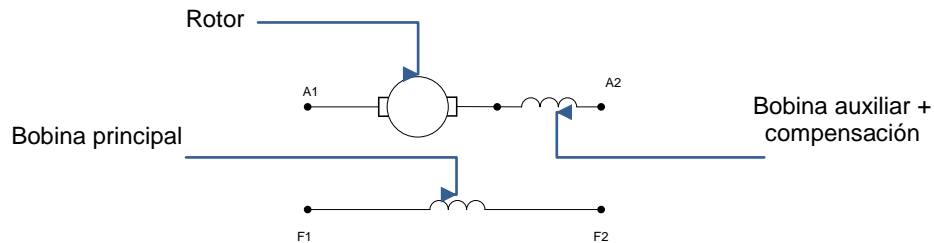


Figura 3.3: Modelo motor de tracción de 1^{ra} y 2^{da} generación. [Fuente: SMO]

Motor de tracción AC: motor asíncrono modelo 4EXA1828, con dos pares de polos, inducido tipo jaula de ardilla, potencia de 150,1 kW con tensión de entrada de 290/502 V, intensidad de corriente nominal de 221,6 A y velocidad nominal de 1800 r.p.m. [17] La información sobre este motor es limitada por ser nueva tecnología, su mantenimiento no está a cargo aún por la compañía. Se identifica dentro de la empresa con la siguiente nomenclatura MT4-XXX.

GMA de 1^{ra} generación: Es un grupo de tres máquinas rotativas eléctricas (motor-generador-excitatriz), unidas de manera tal que conforman un sólo bloque que comparten un mismo eje axial. El sistema convierte 750 Vcc del tercer riel, a una tensión trifásica de 208 Vac @ 60 Hz para alimentar las cargas auxiliares del vagón. El grupo motor alternador de primera generación tecnológica, está conformado por un motor de corriente continua, tipo compensado y de un alternador con excitatriz. La totalidad de las bobinas de esta máquina poseen aislamiento tipo F [18]. Se identifica dentro de la empresa con la siguiente nomenclatura GMA1-XXX. Sus valores de placa así como los bornes de entrada y salida se indican en la tabla 3.3 y figura 3.4 respectivamente.

Tabla 3.3: Características generales del GMA 1^{ra} generación. [18]

| | Motor DC | Alternador | Excitatriz |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------|------------|
| Potencia | 87 kW | 80 kVA | 1,96 kW |
| Voltaje | 750 V | 208 V @ 60 Hz, $fp = 0,8$ | 35 V |
| Corriente | 125 A (Inducido) 2,76 (Inductor) | 222 A | 56 A |

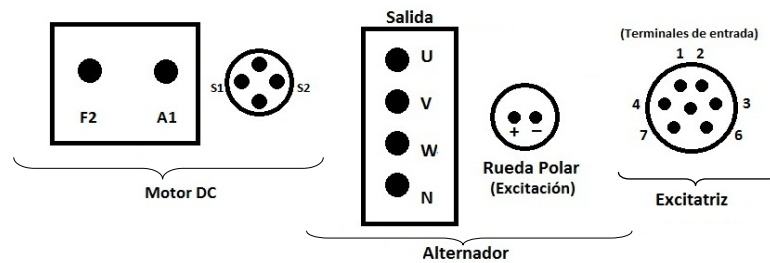


Figura 3.4: Terminales de entrada y salida del GMA 1^{ra} generación.
[Fuente: el autor]

GMA de 2^{da} generación: Al igual que el GMA de 1^{ra} generación, el GMA de 2^{da} generación está compuesto por un motor de corriente continua, tipo compensado, un alternador, una excitatriz y adicionalmente posee una estatodina compuesta a su vez por dos elementos: eje de excitación y eje de baterías. La totalidad de las bobinas de esta máquina poseen aislamiento tipo F [19]. Se identifica dentro de la empresa con la siguiente nomenclatura GMA2-XXX. Sus valores nominales y bornes externos se indican en la tabla 3.4 y figura 3.5 respectivamente. El fabricante del GMA de 1^{ra}

así como para el de 2^{da} generación, indica que el valor mínimo IR será de ~~10~~ 1000 Vcc, sin indicar directamente para que bobinas y/o máquinas este valor aplica [19].

Tabla 3.4: Características generales del GMA 2^{da} generación. [19]

| | Motor DC | Alternador | Excitatriz | Estatodina | |
|-----------|-------------------------------------|----------------------------|------------|------------|---------|
| Potencia | 95 kW | 85 kVA | 1,3 kW | Excitación | Batería |
| Voltaje | 750 V | 208 V @ 60 Hz, $f_p = 0,8$ | 30 V | 200 V | 78 V |
| Corriente | 148 A (Inducido) 5,86 (Inductor) | 236 A | 41,5 A | 18 A | 115 A |

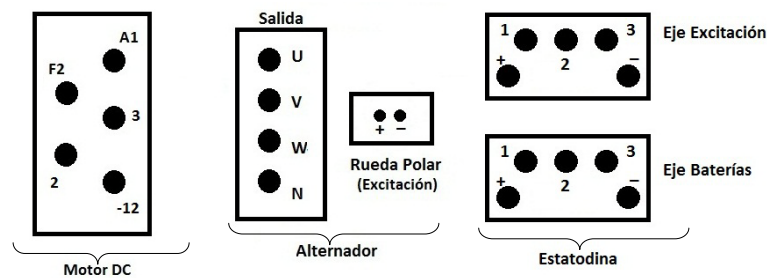


Figura 3.5: Terminales de entrada y salida del GMA 2^{da} generación. [Fuente: el autor]

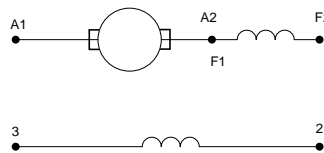


Figura 3.6: Modelo motor DC del GMA de 1^{ra} y 2^{da} generación. (A₁-3 mismo punto y a alta tensión, F₂-2 mismo punto y a baja tensión). [Fuente: SMO]

3.2. Procedimiento de intervención a motores de tracción y GMA realizados en la C.A. Metro de Caracas.

Dentro de la empresa, se realiza el mantenimiento al cuerpo de vagones, trenes y elementos que los conforman, según normas francesas AFNOR, que indica los niveles de mantenimiento, según la profundidad y periodicidad de los mismos.

- Primer nivel: Acciones de mantenimiento simples orientadas a mantener la continuidad durante la explotación comercial del equipo.

- Segundo nivel: Acciones que requieran intervención de personal con habilidades técnicas, en procedimientos y equipos de bajo nivel de complejidad, su frecuencia es de cada 10.000 kms y corresponde a actividades rutinarias de corta duración con el objetivo de garantizar la disponibilidad del equipo intervenido.
- Tercer nivel: Implica operaciones de mantenimiento delicado y sistemático que requieran personal calificado para realizar procedimientos complejos, se realizan para cada tren a los 60.000 kms. Su objetivo es garantizar la confiabilidad.
- Cuarto nivel: Dirigido a equipos o elementos que constituyen al tren. Lo conforman actividades de mantenimiento que requieran el dominio de técnicas especiales, es realizado por profesionales y técnicos especializados con el uso de procedimientos de mantenimiento específicos y equipos de instrumentación especializados, estos procedimientos son realizados para cada tren a cada 300.000 kms. Tiene como finalidad garantizar la vida útil del equipo.
- Quinto nivel: Operaciones que impliquen técnicas y procesos particulares, es efectuado por el constructor o sociedades especializadas externos a la empresa, su objetivo es la renovación y/o reconstrucción de la pieza o equipo.

La intervención directa de los motores de tracción DC y de los GMA, está a cargo del taller SMO, dentro del llamado cuarto nivel de mantenimiento; este taller es el encargado de realizar una rutina de mantenimiento a los equipos motrices mencionados y a otros motores de baja potencia, estas operaciones son de carácter mecánico y eléctrico, lo que permite alargar la vida útil de la máquina.

Existen cuatro fases importantes dentro del proceso realizado a los motores de tracción DC de 1^{ra} y 2^{da} generación en el taller SMO, estas son:

- Fase de entrada: se le realiza al motor una prueba dinámica para poder ejecutar una serie de mediciones y observaciones mecánicas, se efectúa una serie de mediciones eléctricas entre ellas la de IR.

- Fase de despiece: luego de las pruebas de entrada se pasa al despiece del motor, para realizarle una limpieza y seguir indagando sobre posibles fallas mecánicas que pudiera tener.
- Fase de ensamblaje: luego de intervenir individualmente las piezas del motor, se lleva a cabo el proceso de ensamblaje, en este paso se realiza una serie de observaciones mecánicas para corroborar que las piezas presenten las condiciones necesarias de operatividad. En este paso se puede volver a realizar mediciones de IR en los bobinados, sólo si estos vienen de ser intervenidos por empresas externas a la compañía Metro.
- Fase de salida: se efectúa una prueba dinámica al motor para observar su comportamiento, en esta fase se realiza una medición de IR a los devanados del motor.

Para cada fase de intervención del motor de tracción, se llena una planilla que contiene aspectos que se deben abordar en el momento de las pruebas. Estos datos se han estado llevando desde el año 2006 y actualmente se han estado vaciando los contenidos de las mismas en el programa SGM, propiedad de la empresa Metro.

Entre las fases de despiece y armado del motor, se realizan una serie de procedimientos de mantenimiento y en muchos casos de restauración de los elementos y piezas, uno de estos procesos que involucra la intervención en el sistema de aislamiento, consiste en la aplicación de un baño líquido dieléctrico no inflamable, basado en mezclas de solventes clorados y derivados del petróleo que permiten el aumento de las características no conductoras del sistema de aislamiento de las bobinas, luego se aplica aire a presión, permitiendo el secado del líquido dieléctrico y eliminar suciedades de cualquier tipo sobre las bobinas (grasa, aceite, residuos de los carbones, suciedad proveniente de las vías férreas, etc.), adicionalmente se acostumbra a aplicar pintura anti-flash a las bobinas estáticas y rotóricas del motor, esto permite aumentar aún más los niveles de aislamiento eléctrico y observar eventuales arcos eléctricos durante su funcionamiento. Si durante las pruebas de

entrada se encuentra algún defecto en el sistema de aislamiento, que deriva en un nivel bajo de IR, la pieza se aparta para hacerle pruebas más detalladas y decidir si es intervenida nuevamente el taller o si es enviada hacia talleres externos a la compañía.

Las mediciones de aislamiento en el taller se llevan a cabo a una tensión de 1000 V, con un valor de referencia de 1000 M Ω para aislamiento en óptimas condiciones, por debajo de 500 M Ω la empresa sugiere que la bobina posee bajo aislamiento y si está entre 500 M Ω y 1000 M Ω se debe prestar cuidado a la variación que pudiera tener durante la intervención [20]. Dentro de los manuales de procedimiento de motores de tracción se hace referencia a la manera en que se debe llevar a cabo estas mediciones, se indica el voltaje a aplicar pero no se explica de manera convincente el aspecto de la temperatura de las bobinas, en ellas se puede leer “El motor debe estar a temperatura ambiente o a una temperatura recomendada de 40° C. De no cumplirse esta condición, entonces, su temperatura no debe presentar variaciones apreciables en un intervalo de tiempo de 1 a 10 minutos” [20], esta acotación discrepa con lo señalado con la norma IEEE 43-2000 ya que el motor puede estar a cualquier temperatura siempre y cuando esté por encima de la temperatura de punto de rocío y tenga un valor que no permita un intercambio térmico con el ambiente, haciendo posible que exista una variación de temperatura importante en el bobinado en un corto intervalo de tiempo. En los manuales de CAMETRO se indica que las mediciones se deben realizar en 1 minuto para prueba de IR donde luego se debe normalizar a una temperatura de 40° C y 10 minutos para prueba de IP. El tiempo de descarga es señalado y este es de cinco veces el tiempo en el que se realiza la prueba, acción realizada con ayuda del mismo instrumento de medición. [20]

La intervención del GMA de 1^{ra} y 2^{da} generación se realiza de manera similar, en esta máquina existe tres fases: entrada, intervención y salida. En las fases de entrada y salida se le realiza al GMA una prueba dinámica, para corroborar sus características mecánicas y verificar si sus niveles de corriente y tensión de salida con

cargas nominales, son satisfactorios, en ambas fases se realiza mediciones de resistencia de aislamiento a cada una de las bobinas que conforman las máquinas que forman al GMA. En la intervención se aplica al GMA los correctivos específicos por maquina o pieza, que permitan reparar los posibles desperfectos que afecten la operación del conjunto.

Para el GMA, los manuales de procedimiento de CAMETRO indican que la máquina debe estar a la temperatura de operación o en su defecto a la temperatura ambiente al realizar mediciones de aislamiento y que el tiempo de aplicación de la prueba es de 5 segundos sin indicar ni el tiempo ni la manera de proceder en la descarga de las bobinas; este procedimiento es indicado sólo para realizar mediciones de IR en las bobinas del motor DC, salida del alternador y del rotor del motor DC, con un valor de referencia de 1 MΩ a 1000 V para pruebas de entrada o salida y 50 MΩ a 1000 V para la fase de intervención.[21]

Los puntos susceptibles para la medición de aislamiento dentro de las máquinas descritas son los indicados en las tablas 3.5; 3.6 y 3.7.

Tabla 3.5: Puntos medidos vs masa en taller en el motor de tracción de 1^{ra} y 2^{da} generación. [20]-[21]

| Motor DC 1 ^{ra} y 2 ^{da} generación | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------|-------------------------|
| A ₁ | A ₂ | F ₁ | F ₂ | Inducido | Corona porta escobillas |

Tabla 3.6: Puntos medidos vs masa en taller en el GMA de 1^{ra} generación. [SMO]

| Motor DC | | Alternador | | | Excitatriz | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------------|-----|-------------|------------|--|-------------|
| | | Salida | | Rueda polar | | | |
| A ₁ -F ₂ | S ₂ -S ₃ | U-N | V-N | W-N | + - | | 1-2 3-6 4-7 |

Tabla 3.7: Puntos medidos vs masa en taller en el GMA de 2^{da} generación. [SMO]

| Motor DC | | Alternador | | | | Estatodina | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------------|---|---|-------------|-------------|-----|------------|----------------|-----|------------|-----|-----|
| | | Salida | | | Rueda polar | Eje batería | | | Eje excitación | | | | |
| | | | | | | Salida | | Excitación | Salida | | Excitación | | |
| A ₁ -F ₂ | S ₂ -S ₃ | U | V | W | + - | 1-2 | 1-3 | 2-3 | + - | 1-2 | 1-3 | 2-3 | + - |

De esta manera se puede resumir las divergencias y concordancias en los procedimientos de medición de aislamiento de la empresa CAMETRO, con respecto a lo indicado en las normas IEEE correspondientes.

Procedimiento en motores de tracción DC.

Concordancias:

- ✓ Tiempo de aplicación de 1 minuto (caso IR) y de 10 minutos (caso IP).
- ✓ Tiempo de descarga de las bobinas de 5 veces el tiempo de carga.
- ✓ Medición de la temperatura ambiental y de la bobina en cada medición.
- ✓ Escalamiento del valor IR para una temperatura de 40°C.

Discrepancias:

- x No se indica que la descarga de las bobinas se debe realizar antes y después de la medición de aislamiento y a través de un circuito externo al equipo de medición.
- x No es necesario que el motor esté a una temperatura de 40°C.
- x No se hace referencia a la observación que se debe realizar a los bobinados para verificar la presencia de agentes contaminantes.
- x No se hace advertencia sobre el voltaje con la cual se realiza la medición.

Procedimiento en el GMA.

Discrepancias:

- x Se indica que el tiempo de aplicación del ensayo es de 5 segundos.
- x No se indica la necesidad de llevar control en cada medición de la temperatura ambiental ni de la bobina con el correspondiente ajuste a los 40°C.
- x No se hace referencia a la observación que se debe realizar a los bobinados para verificar la presencia de agentes contaminantes.

- x No se hace referencia al tiempo de descarga de las bobinas antes y después de realizar la medición ni se indica que la misma se debe realizar a través de un circuito externo al equipo de medición.
- x Se indica el procedimiento para el motor DC y el alternador, no así para las demás máquinas que posee el GMA.
- x Para el alternador, el nivel de voltaje seleccionado para la medición es demasiado elevado, además no se hace la advertencia sobre el nivel de tensión con la cual se está realizando la misma.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DE MEDICIÓN DE AISLAMINTO EN LOS MOTORES DE TRACCIÓN Y DE LOS GMA.

4.1. Propuesta de medición de aislamiento en motores de tracción y GMA.

Dentro de los objetivos de este trabajo se encuentra el proponer un nuevo esquema de evaluación de aislamiento, se procedió a indagar sobre las oportunidades que ofrece el equipo de medición disponibles en la empresa [ver anexo 2]. Conocidos los tipos de ensayos que se pueden realizar, se procedió a establecer, bajo norma IEEE, los protocolos para realizar tales mediciones en cada una de las máquinas objeto de estudio. Estas pruebas se dividen en: baja tensión (IR y PI) y alta tensión (SV y DD) y presentan idénticas características salvo al nivel de voltaje a emplear y el tipo de conexión en algunas máquinas.

4.1.1. Procedimiento de evaluación de aislamiento en motores de tracción DC.

Observaciones preliminares:

Las conexiones en las mediciones se realizarán colocando el terminal de negativo del equipo de medición en la carcasa del motor; se medirá únicamente uno de los terminales de bobina en los casos donde no se puede acceder a ambos terminales (caso A_1), los bornes de la bobina de campo F_1 - F_2 se cortocircuitarán para tomar una sola medición sobre ella; el tiempo de descarga indicado por la norma es demasiado largo para cumplirlo durante el procedimiento industrial de mantenimiento llevado a cabo en el Metro, en la práctica realizada en este trabajo y en las

condiciones que se describirán en el siguiente capítulo, se concluyó que 30 segundos son suficientes para descargar las bobinas antes y después de cada medición.

A. Pasos previos y condiciones de los ensayos:

1. Anotar la identificación que acompaña a cada motor a ser intervenido.
2. Anotar observaciones sobre el estado en que se encuentra el motor, indicando si existe presencia de grasa, aceite, o cualquier otro material que pudiera permitir fugas de corriente en el momento de realizar las mediciones.
3. Desconectar de cualquier fuente de energía, las conexiones o bornes del motor, separarlas galvánicamente entre ellas mismas a la hora de realizar las mediciones y aislar el equipo de cualquier parte metálica o circuito que permita la aparición de corrientes de fuga durante la medición.
4. Descargar la posible energía eléctrica acumulada en el equipo a ser medido, antes de realizar la totalidad de las mediciones y entre cada medición, colocando el terminal asociado a cada bobina, directamente a un punto que se encuentre conectado a tierra, por un tiempo mínimo de ½ minuto.
5. Registrar la humedad relativa “HR” en el ambiente donde se realizará la prueba, para corroborar que la temperatura de punto de rocío esté por debajo a la temperatura de la bobina.
6. Anotar la temperatura ambiente y la temperatura de las bobinas de las máquinas, se debe hacer seguimiento a la temperatura del motor previniendo que no ocurra un cambio significativo que perjudique las mediciones que se vayan a realizar.
7. Probar cada bobina separadamente, teniendo las otras cortocircuitadas entre si y conectadas a la masa del motor.
8. Siempre colocar el terminal negativo del equipo de medición a la masa del motor en cada medida a realizar.

9. Anotar la lectura de IR_{1min} , IR_{10min} , SV o DD hecha por el equipo de medición.
10. Descargar la bobina terminada la medición.
11. Referir el valor obtenido de IR, a la temperatura de 40 °C.
12. El voltaje para la pruebas de baja y alta tensión para el motor de tracción DC será el indicado en la tabla 4.1.
13. Los puntos a medir serán los indicados por la tabla 3.5.

4.1.2. Procedimiento de evaluación de aislamiento para los GMA.

Para el caso del GMA, tanto de primera como de segunda generación, es necesario separar las máquinas eléctricas que conforman el grupo, según la magnitud de potencia que maneja, para conocer cuál de ellas se le puede aplicar los ensayos (ver tabla 4,1). De esta manera se tiene que las pruebas de baja tensión se pueden realizar a todas las bobinas que conforman los GMA de primera y segunda generación, conociendo que las pruebas son aplicables a máquinas que manejen potencia superiores a 1 hp [8].

En principio, las pruebas tipo Hipot no se le pueden realizar a los devanados que conforman la excitatriz de los GMA de ambas generaciones, dado que las potencias que manejan están por debajo del intervalo de validez de la norma. [10]-[11]. A la estatodina del GMA de segunda generación pudiera hacerse el test Hipot pero la tensión recomendada coincide o está por debajo de la tensión recomendada por la norma IEEE 43-2000 (caso eje de excitación y eje de baterías respectivamente), de igual manera ocurre con el alternador en ambas generaciones del GMA.

Tabla 4.1: Características de voltaje y potencia de motores de tracción y GMA para ambas generaciones; tensión de pruebas para cada. [Fuente: el autor]

| | | Voltaje | Potencia | Voltaje test baja tensión | Máximo voltaje test Hipot | |
|-------------------------------------|------------|----------------|----------|---------------------------|---------------------------|-------|
| Motor DC 1 ^{ra} Generación | | 340 V | 122 kW | 500 V | 1000 V | |
| Motor DC 2 ^{da} Generación | | 375 V | 152 kW | " | 1000 V | |
| GMA 1 ^{ra} Generación | Motor DC | 750 V | 87 kW | " | 1900 V | |
| | Alternador | 208 V | 80 kVA | " | 500 V | |
| | Excitatriz | 35 V | 1,96 kW | " | NO | |
| GMA 2 ^{da} Generación | Motor DC | 750 V | 95 kW | " | 1900 V | |
| | Alternador | 208 V | 85 kVA | " | 500 V | |
| | Excitatriz | 30 V | 1,3 kW | " | NO | |
| | Estatodina | Eje Excitación | 200 V | 3,6 kW | " | 500 V |
| | | Eje Baterías | 78 V | 9 kW | " | 500 V |

Observaciones preliminares:

Las conexiones en las mediciones se realizarán colocando el terminal negativo del equipo de medición en la carcasa del motor; se medirá únicamente en uno de los terminales de la bobina en los casos donde no se puede acceder a ambos terminales (caso motor DC bobina de campo F_1), los bornes de la bobina shunt del motor DC (puntos S_1 - S_2) se cortocircuitarán para tomar una sola medición sobre ella; las bobinas de salida del alternador se medirán colocando el terminal negativo en la masa del GMA y el positivo en cada una de las salidas U, V, W tomando una medida para cada uno; los terminales de la rueda polar del alternador se cortocircuitarán y se medirá con respecto a la masa del GMA; los terminales de la excitatriz se cortocircuitarán según sea el caso 1-2, 3-6 y 4-7 respectivamente y se medirán con respecto a la masa; para los ejes de excitación y eje de baterías ubicados en la estatodina se cortocircuitarán los terminales de sus respectivos ejes de excitación para medir con respecto a la masa; los terminales de salida de cada uno de los ejes de la estatodina se medirán colocando el terminal negativo a la masa del GMA y el positivo en cada una de las salidas 1, 2, 3 tomando una medida para cada uno. El tiempo de descarga será el mismo que se consideró para el caso del motor de tracción (½ minuto).

Pasos previos y condiciones de los ensayos:

Son exactamente los mismos indicados en el punto “A” de este capítulo, cambiando únicamente el valor de voltaje en alguna prueba y el hecho de que no se realizará medición Hipot en alguna de las máquinas que conforman al GMA (ver tabla 4.1).

4.1.3. Procedimiento de evaluación de aislamiento en los motores de tracción asíncronos.

Para este tipo de motor, las mediciones de aislamiento se simplifican al tener que evaluar las bobinas estatóricas U, V y W; de igual forma como se procedió a medir el aislamiento en el generador del GM. El procedimiento a seguir es exactamente el mismo considerado en el generador del GMA, incluyendo los valores de tensión para pruebas de bajo y alto voltaje.

Tabla 4.2: Resumen de pasos a seguir en las distintas pruebas de evaluación de aislamiento. [Fuente: el autor]

| Prueba | IR | PI | SV | DD |
|----------------|--|---|---|---|
| Pasos a seguir | <ul style="list-style-type: none"> · Descargar la bobina. · Tomar medición IR al minuto. · Escalar valor IR a 40°C. · Descargar la bobina. | <ul style="list-style-type: none"> · Descargar la bobina. · Tomar medición IR al minuto, tomar medición IR a los 10 minutos. · Realizar el cociente IR_{10min} entre IR_{1min}. · Descargar la bobina | <ul style="list-style-type: none"> · Descargar la bobina. · Tomar medición IR cada minuto e incrementar el valor de tensión 1/5 de la tensión final en cada paso. · Graficar los valores obtenidos. · Descargar la bobina | <ul style="list-style-type: none"> · Descargar la bobina · Aplicar tensión por espacio de 10 minutos. · Eliminar la fuente de voltaje aplicada y pasado 1 minuto medir la corriente remanente y la capacitancia de la bobina. · Aplicar la fórmula de DD. · Descargar la bobina. |

4.1.4. Nuevo parámetro para evaluación de aislamiento.

Durante las pruebas realizadas a un grupo de motores e inducidos en el transcurso de la elaboración de este trabajo, se construyó un nuevo tipo de medida de aislamiento, el cual se pudiera considerar como la unión de las pruebas más difundidas en este aspecto, los cuales son el IR, el PI y el SV. Es así que se realizaron dos medidas de aislamiento con tensiones de 500 V y 1000 V, para una bobina en específico y en un tiempo de 1 minuto cada una, el cociente de estas dos medidas, que se llamará RIR, dará un valor que siguiendo la lógica del PI y del SV, será inferior a 1 para sistemas de aislamiento deficientes y superior o igual a 1 para el caso contrario. Este valor bien podría llamarse indicador, por cumplir con el criterio de evaluar la condición del aislamiento de la máquina. Los resultados recabados usando este indicador se presentan en el capítulo 5.

$$RIR = \frac{IR_{1000V}}{IR_{500V}} \quad [\text{Ec. 4.1}]$$

CAPÍTULO V

MEDICIONES EN MOTORES DE TRACCIÓN.

5.1. Resultados de las mediciones de resistencia de aislamiento.

A continuación se presenta los resultados que se obtuvieron en mediciones de aislamiento en un grupo de motores de tracción que se encontraban en taller para realizarle mantenimiento y un grupo de inducidos de motores de tracción DC que presentaban distintas condiciones de aislamiento. Las mediciones en motores se realizaron durante los días 28 de julio de 2009 hasta el viernes 31 de julio de 2009 mientras que los inducidos fueron medidos entre los días 4 de agosto de 2009 hasta el viernes 7 de agosto de 2009.

Para hacer seguimiento a la humedad relativa y por no disponer en el taller del equipo de medición de este parámetro, se vio en la necesidad de buscar esta información por otros medios, es así como los valores de humedad relativa se obtuvieron vía web, se escogió para tal fin la estación meteorológica IDCCARAC3⁴ por ser la más cercana al punto geográfico donde se llevaron a cabo las mediciones de aislamiento en los talleres de la empresa.

Las pruebas DD no se pudieron realizar a causa de que el equipo de medición no estaba en las condiciones para realizarlo, se presume que el circuito encargado de realizar la descarga se encontraba en malas condiciones, imposibilitando la realización del ensayo.

⁴ IDCCARAC3: nombre de una estación meteorológica dispuesta en la dirección de internet <http://www.wunderground.com>

Se identifican a continuación los materiales y equipos utilizados en las pruebas de aislamiento:

1. Medidor de aislamiento marca Megger, modelo MIT-520, serial Metro: 52861.
2. Medidor de aislamiento Metrisko, modelo 5000A, s/s.
3. Termómetro marca SKF, modelo TMTL-500 Thermo Laser, serial C0605015831.
4. Cable tipo TWH, calibre 14, para la conexión a tierra. (El punto de tierra se tomó conectando el cable al riel de la vía férrea)
5. Cable tipo MTW, calibre 14, para cortocircuitar bobinas.

5.1.1. Resultados pruebas a motores de tracción DC.

Se describe las condiciones en que se encontraban los motores sujetos a las mediciones de aislamiento:

Motor MT1-508: Entra con orden de trabajo correctivo OTC: 15825-09, fue desmontado el día 27-7-09, procedente del tren número 6, vagón 11006, bogie 28. Presenta bajo aislamiento en el inducido. Se observa que internamente se encuentra con sucio característico (leve capa de polvo en los devanados), externamente existe presencia de grasa del eje y en los tornillos frontales existe presencia de limaduras de hierro procedentes de las líneas férreas. El motor posee 470.333 km de recorrido desde el último mantenimiento que fue hecho el 2 de diciembre de 2005.

Motor MT1-511: Entra con orden de trabajo correctivo OTC: 15825-09. Fue desmontado el día 27-07-2009 del tren 6, vagón 11006, bogie 128. Presenta el zuncho abierto. Comparado con el motor MT1-508, intervenido el día anterior; éste presenta más sucio, es decir, posee una capa mucho más densa y extensa, exteriormente se observa como la capa de pintura esta cuarteada, debido a la temperatura que ha alcanzado el motor durante su operación; interiormente, el sucio hace que no se

observe fácilmente la pintura antiflash de los devanados. Se observa la presencia de polvo y grasa en el aislamiento de los portaescobillas. El motor posee 562.000 km de recorrido desde el último mantenimiento que fue hecho el 27 de enero de 2005.

Motor MT1-198: Fue desmontado el día 28-7-2009 del tren 26, vagón 12128, bogie 72. Entra por problemas mecánicos (tornillos de la base rotor). Poca presencia de grasa y aceite, se supone que posee buen aislamiento. Se observa, por la pintura que lo cubre, que no ha sufrido por temperaturas extremas. El motor posee 110.333 km de recorrido desde el último mantenimiento que fue hecho el 4 de diciembre de 2008.

Motor MT1-934: Fue desmontado el día 28-7-2009 del tren 49, vagón 21002, bogie 389, con orden de trabajo OTC: 16097-09. El motor posee visibles daños en la pintura por efecto de las altas temperaturas, se observó grasa y aceite en la parte del acople de tracción. El motor posee 1.051.667 km de recorrido desde el último mantenimiento que fue hecho el 31 de enero de 2001.

Motor MT2-251: En este motor, se observa poca cantidad de grasa y aceite en el exterior del mismo, no se observó fisura o resquebrajamiento en la pintura, es decir, el motor no sufrió por altas temperaturas durante su servicio luego de la última intervención en el taller; poco material ferromagnético en los tornillos. Entra al taller por tener los tornillos de la base rotos, además se indica que hay que realizar cambio del TLC. El motor posee 303.333 km de recorrido desde el último mantenimiento que fue hecho el 03 de mayo de 2007.

Los resultados de las pruebas IR, para cada uno de estos motores, se presentan en las tablas 5.1 y 5.3. En la tabla 5.2 se expone los valores de IR recolectados con anterioridad por la empresa Metro para dos de estos motores, con ella se puede comparar con los valores recolectados en este trabajo y observar como distan mucho de ser semejantes entre sí.

Tabla 5.1: Mediciones de “IR” e índice de polarización “PI” hechas entre los días 28/7/2009 y 31/7/2009, en motores de tracción del Metro de Caracas, C.A. [Fuente: el autor]

| Motor | A ₂ vs. Masa | | | | F ₁ (F ₂) vs. Masa | | | | A ₁ vs. Masa | | | | Inducido vs. Masa | | | |
|---------|-------------------------|--------------------|------|------------------|---|--------------------|------|------------------|-------------------------|--------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------|------|------------------|
| | IR _{T.bob.} | IR _{40°C} | PI | T _{bob} | IR _{T.bob.} | IR _{40°C} | PI | T _{bob} | IR _{T.bob.} | IR _{40°C} | PI | T _{bob} | IR _{T.bob.} | IR _{40°C} | PI | T _{bob} |
| MT1-508 | 3,81 GΩ | 1,42 GΩ | 1,15 | 26°C | 120 GΩ | 45,2 GΩ | 3,84 | 26°C | 241 MΩ | 90,1 MΩ | 1,28 | 27°C | 125 GΩ | 47,4 GΩ | 3,78 | 27°C |
| MT1-511 | 364 MΩ | 141,8 MΩ | 0,93 | 26°C | 71,8 GΩ | 28,0 GΩ | 5,45 | 26°C | 416 MΩ | 166,6 MΩ | 1,07 | 27°C | 105 GΩ | 40,1 GΩ | 1,35 | 26°C |
| MT1-198 | 2,09 GΩ | 0,79 GΩ | 1,14 | 26°C | 41,4 GΩ | 15,8 GΩ | 1,84 | 26°C | 35,9 MΩ | 13,0 MΩ | 1,25 | 25°C | 189 GΩ | 70,1 GΩ | 3,26 | 26°C |
| MT1-934 | 236 MΩ | 87,6 MΩ | 0,90 | 26°C | 199 GΩ | 73,3 GΩ | 3,64 | 26°C | 3,53 GΩ | 1,32 GΩ | 1,03 | 26°C | No se pudo realizar la prueba | | | |
| MT2-251 | 15,5 GΩ | 5,79 GΩ | 4,36 | 26°C | 93,1 GΩ | 33,1 GΩ | 3,76 | 25°C | 41,9 MΩ | 15,6 MΩ | 0,93 | 26°C | 88,3 GΩ | 32,1 GΩ | 1,47 | 25°C |

Leyenda cromática: bobina con buenos valores IR y PI, bobina con valor IR o PI bajos, bobina con valores IR y PI bajos.

Tabla 5.2: Mediciones de resistencia “IR” hechas por la compañía Metro de Caracas, C.A. a los motores de tracción MT1-198 y MT2-251. [Fuente: SMO]

| Nº Motor | Procedimiento | Fecha | A ₂ vs. Masa [GΩ] | A ₁ vs. Masa [GΩ] | F ₂ v. Masa [GΩ] | F ₁ vs. Masa [GΩ] | Inducido vs Masa [GΩ] | Corona vs. Masa [GΩ] |
|----------|---------------|----------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------|
| MT1-198 | Entrada | 01/06/07 | 50 | 50 | 10 | 10 | 0 | 2 |
| MT1-198 | Salida | 01/06/07 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| MT2-251 | Entrada | 24/04/07 | 5 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| MT2-251 | Salida | 24/04/07 | 10 | 10 | 20 | 20 | 10 | 20 |

Tabla 5.3: Resultados de las mediciones de tensión de paso “SV” hechas entre los días 28/7/2009 y 31/7/2009, en motores de tracción del Metro de Caracas, C.A. [Fuente: el autor]

| | | 200 V | 400 V | 600 V | 800 V | 1000 V |
|---------|---|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| MT1-508 | A ₂ vs. masa | 4,57 GΩ | 4,46 GΩ | 4,37 GΩ | 4,29 GΩ | 4,24 GΩ |
| | (F ₂) F ₁ vs. masa | 235 GΩ | 238 GΩ | 251 GΩ | 221 GΩ | 187 GΩ |
| | A ₁ vs. masa | 539 MΩ | 494 MΩ | 468 MΩ | 453 MΩ | 441 MΩ |
| | Inducido vs. masa | 191 GΩ | 218 GΩ | 212 GΩ | 148 GΩ | 4,53 GΩ |
| MT1-511 | A ₂ vs. masa | 389 MΩ | 375 MΩ | 362 MΩ | 345 MΩ | 328 MΩ |
| | (F ₂) F ₁ vs. masa | 131 GΩ | 137 GΩ | 145 GΩ | 155 GΩ | 167 GΩ |
| | A ₁ vs. masa | 545 MΩ | 507 MΩ | 488 MΩ | 466 MΩ | 449 MΩ |
| | Inducido vs. masa | 71,4 GΩ | 76,4 GΩ | 81,7 GΩ | 93,6 GΩ | 92,3 GΩ |
| MT1-198 | A ₂ vs. masa | 2,64 GΩ | 2,54 GΩ | 2,45 GΩ | 2,30 GΩ | 2,18 GΩ |
| | (F ₂) F ₁ vs. masa | 37,6 GΩ | 39,8 GΩ | 37,6 GΩ | 32,5 GΩ | 30,2 GΩ |
| | A ₁ vs. masa | 54,1 MΩ | 58,8 MΩ | 55,0 MΩ | 51,2 MΩ | 48,9 MΩ |
| | Inducido vs. masa | 219 GΩ | 250 GΩ | 265 GΩ | 276 GΩ | 102 GΩ |
| MT1-934 | A ₂ vs. masa | 367 MΩ | 294 MΩ | 256 MΩ | 231 MΩ | 210 MΩ |
| | (F ₂) F ₁ vs. masa | 169 GΩ | 212 GΩ | 245 GΩ | 260 GΩ | 264 GΩ |
| | A ₁ vs. masa | 4,12 GΩ | 4,06 GΩ | 3,99 GΩ | 3,94 GΩ | 3,89 GΩ |
| | Inducido vs. masa | No se pudo realizar la prueba | | | | |
| MT2-251 | A ₂ vs. masa | 19,7 GΩ | 22,5 GΩ | 25,6 GΩ | 28,1 GΩ | 29,4 GΩ |
| | (F ₂) F ₁ vs. masa | 109 GΩ | 126 GΩ | 139 GΩ | 149 GΩ | 155 GΩ |
| | A ₁ vs. masa | 70,4 MΩ | 64,0 MΩ | 60,4 MΩ | 56,1 MΩ | 52,8 MΩ |
| | Inducido vs. masa | 92,5 GΩ | 62,3 GΩ | 68,3 GΩ | 61,9 GΩ | 65,6 GΩ |

Se resolvió realizar la prueba SV, a todas las bobinas de los motores intervenidos en este trabajo, ya que según se observa en la tabla 5.1, existían bobinas que no cumplían con la condición de poseer el valor mínimo indicados por la norma para este tipo de bobina ($IR \geq 100 \text{ M}\Omega @ 40^\circ\text{C}$ y $PI \geq 2$), aun así estos valores estaban muy cercanos a los recomendados, en otras bobinas donde se cumplía una sola condición se tenía que las mismas poseían un valor IR elevado con respecto al recomendado junto a un valor de PI por debajo del recomendado y en otros casos ocurría lo contrario, se tenía un valor IR bajo pero cercano al recomendado junto a un valor de PI superior al indicado en la norma para este tipo de devanados.

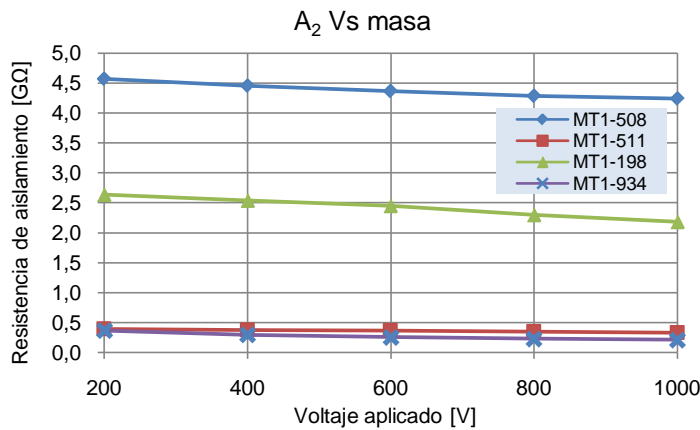


Gráfico 5.1: Resultado prueba SV en motores de tracción DC (Bobinas auxiliar mas compensación). [Fuente: el autor]

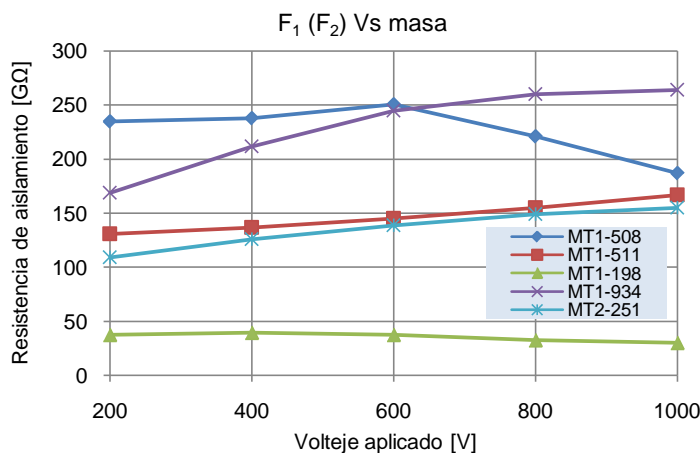


Gráfico 5.2: Resultado prueba SV en motores de tracción DC (Bobina principal). [Fuente: el autor]

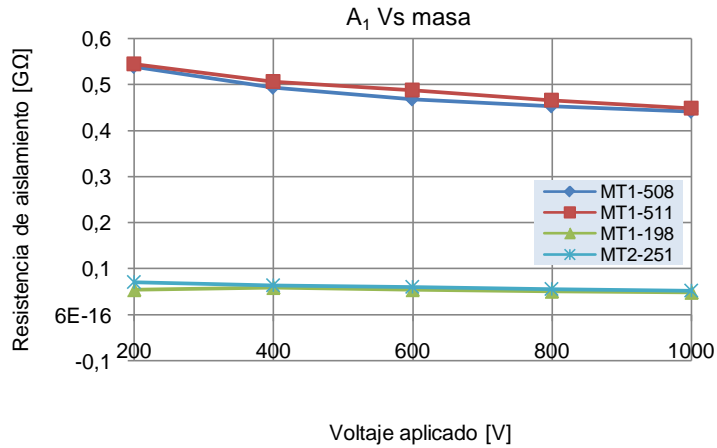


Gráfico 5.3: Resultado prueba SV en motores de tracción DC (Bobina A₁).
[Fuente: el autor]

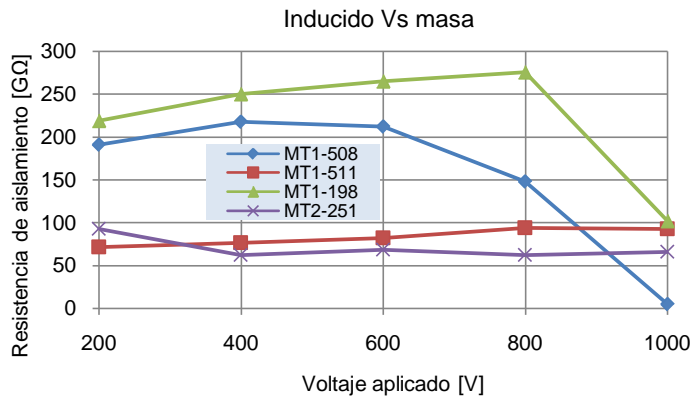


Gráfico 5.4: Resultado prueba SV en motores de tracción DC (Inducido).
[Fuente: el autor]

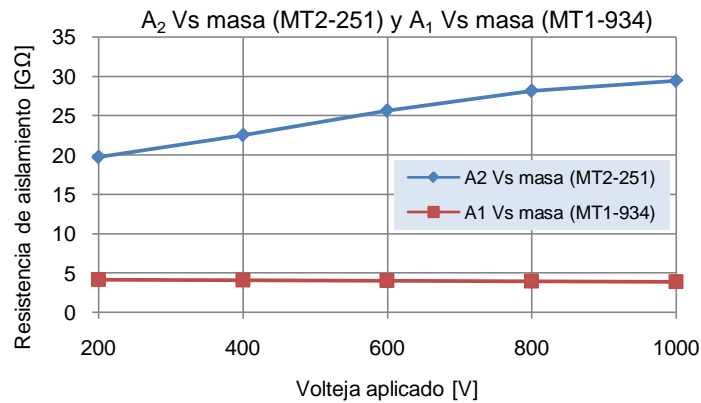


Gráfico 5.5: Resultado prueba SV en motores de tracción DC (Bobinas A₂ Vs masa en MT2-251 y A₁ Vs masa MT1934). [Fuente: el autor]

Observando en las gráficas 5.1 a la 5.5, y comparándolos con los resultados presentados en las tablas 5.2 y 5.4, se puede hacer un resumen por cada motor.

Motor MT1-508: Sólo el inducido y la bobina principal poseen valores de IR y PI aceptables, sin embargo, ninguna de las dos logran pasar la prueba de tensión de paso, siendo el inducido el que muestra una tendencia más abrupta, lo que indica que el sistema de aislamiento de este elemento no se encuentra en condiciones de operación y es necesario su intervención, la bobina principal tiene una tendencia regular al principio del ensayo de tensión de paso pero decae con una tendencia importante justo después de aplicársele una tensión superior a los 600 V, pero con un valor final de resistencia de aislamiento considerable. En las bobinas restantes, aunque no hayan superado la prueba de PI pero teniendo un aceptable valor de IR (caso bobina auxiliar + compensación) o no superado los valores recomendados tanto de IR y PI (caso A₁), superaron eficientemente la prueba de tensión de paso y con valores superiores a los 100 Ω , indicativo de que estas bobinas se encuentran en buenas condiciones.

Motor MT1-511: En este motor, sólo la bobina principal superó las pruebas de baja tensión, las restantes presentaron un valor de IR superior al recomendado, en la prueba de alta tensión la bobina principal y el inducido presentaban una tendencia óptima, en las restantes se le puede considerar aceptable, en conclusión se puede afirmar que el sistema de aislamiento de este motor está en buenas condiciones.

Motor MT1-198: En este motor, si bien los valores obtenidos en el inducido en pruebas de baja tensión son completamente aceptables, se observa cómo no pasa la prueba de tensión de paso, la curva descrita por dicha medición decae significativamente luego de superar los 800 V, esto da pie a inferir que este inducido necesita de una intervención que permita limpiar de posibles elementos contaminantes que estén provocando una disminución significativa de los valores de IR a tensiones superiores a la nominal del motor. Otro resultado importante es el que

se observa en la bobina con terminal A_1 , ésta no logra superar ni la prueba de IR ni la PI aunque la prueba SV la supera, esto es debido a la configuración de la conexión del motor y que se mantuvo durante la prueba, es decir, en esta conexión se está midiendo el aislamiento de el cable que une el borne identificado como A_1 junto a la corona porta-escobillas, muchas veces dicha corona se impregna de aceite o grasa que arroja el eje del motor, así como también de residuos de carbón de escobillas; estas condiciones permiten que la medición realizada sobre este punto arroje valores por debajo de los 100 M Ω .

Motor MT1-934: En este motor, sólo la bobina principal logró pasar las pruebas de baja tensión y la prueba de alta tensión. La bobina auxiliar + compensación, aunque presenta un valor de resistencia de aislamiento muy cercana a la recomendada, no logró pasar las pruebas de IR y PI, sin embargo, la prueba SV la supera de manera aceptable.

Motor MT2-251: Este motor presenta excelentes valores de IR y de PI en todas sus bobinas, a excepción del punto A_1 , una vez realizado los ensayos de SV se verifica que todas las bobinas que conforman a este motor se encuentran en buen estado y por lo tanto el mismo puede prestar servicio.

En resumen (ver tabla 5.4), los resultados obtenidos de estos cinco motores medidos indican que la prueba IP no permite concluir apropiadamente sobre la condición del aislamiento porque no concuerda la condición resultante con la mostrada por otra prueba, como la observada en el valor IR o la tendencia mostrada en la prueba SV; el valor IR da indicio del nivel de aislamiento pero no da suficientes luces sobre su condición y es sólo comparándolo junto a los resultados de la prueba de SV que se puede diagnosticar la posible condición del material aislante de la máquina.

Tabla 5.4: Resumen de resultados en pruebas de aislamiento en motores de tracción.

[Fuente: el autor]

| Motor | A ₂ vs masa | | | F ₁ vs masa | | | A ₁ vs masa | | | Inducido vs masa | | |
|---------|------------------------|----|----|------------------------|----|----|------------------------|----|----|------------------|----|----|
| | IR | IP | SV | IR | IP | SV | IR | IP | SV | IR | IP | SV |
| MT1-508 | B | M | R | B | B | M | R | M | R | B | B | M |
| MT1-511 | B | M | R | B | B | B | B | M | R | B | M | B |
| MT1-198 | B | M | R | B | R | R | M | M | R | B | B | M |
| MT1-934 | M | M | R | B | B | B | B | M | R | M | M | M |
| MT2-251 | B | B | B | B | B | B | M | M | R | B | M | B |

Leyenda: B = bueno; R = regular; M = malo.

5.1.2. Resultados pruebas a inducidos de motores de tracción DC.

Lo que sigue, son resultados de mediciones de resistencia de aislamiento en algunos inducidos de motores de tracción que se encontraban disponibles en el taller. Los inducidos de los motores de tracción poseen su propia identificación, ésta se encuentra troquelada o en la parte frontal del eje o en la parte posterior, existiendo dos números, uno con formato grande y otro de formato pequeño. Se utilizó el medidor de aislamiento marca Megger y el equipo de medición marca Metrigo, para comparar ambos resultados y verificar la existencia de dificultades al utilizar un equipo sencillo en pruebas que demandan cierta complejidad. Como el equipo Metrigo posee cuatro niveles de tensión antes de llegar a 1 kV, se resolvió hacer el ensayo de SV a 4 minutos en segmentos de 1 minuto cada uno y en cada paso colocar una tensión de 100, 250, 500 y 1000 V respectivamente.

5.1.2.1. Ensayos a inducidos con bajo nivel de aislamiento.

Se realizaron los ensayos indicados, a dos inducidos identificados en el taller como elementos que presentan bajo nivel de aislamiento, los resultados son presentados en las tablas 5.5, 5.6 y 5.7 junto a las gráficas 5.6 y 5.7.

Tabla 5.5: Mediciones IR y PI hechas el día 4/8/2009, en inducidos de motores de tracción DC. [Fuente: el autor]

| N° Inducido | Medido con equipo Megger | | | | Medido con equipo Metrigo | | | |
|-------------|--------------------------|--------------------|------|------------------|---------------------------|--------------------|-----|------------------|
| | IR _{T.bob.} | IR _{40°C} | PI | T _{bob} | IR _{T.bob.} | IR _{40°C} | PI | T _{bob} |
| 322 / 870 | 81,5 GΩ | 33,8 GΩ | 3,84 | 27,3 °C | 50 GΩ | 20,7 GΩ | 4 | 27,3 °C |
| 1308 | 310 kΩ | 121 kΩ | 0,10 | 26,4 °C | 200 kΩ | 40 kΩ | 0,2 | 27,2 °C |

Tabla 5.6: Mediciones de tensión de paso usando el medidor Megger; hechas el día 4/8/2009, en inducidos de motores de tracción DC. [Fuente: el autor]

| N° Inducido | 200 V | 400 V | 600 V | 800 V | 1000 V |
|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 322 / 870 | 189 GΩ | 71,9 GΩ | 64,8 GΩ | 64,2 GΩ | 62,3 GΩ |
| 1308 | 110 kΩ | 60,0 kΩ | 45,0 kΩ | 46,0 kΩ | 22,0 kΩ |

Tabla 5.7: Mediciones de tensión de paso usando el medidor Metrigo; hechas el día 4/8/2009, en inducidos de motores de tracción DC. [Fuente: el autor]

| N° Inducido | 100 V | 250 V | 500 V | 1000 V |
|-------------|-------|--------|-------|--------|
| 322 / 870 | 5 GΩ | 100 GΩ | 70 GΩ | 60 GΩ |
| 1308 | 40 kΩ | 50 kΩ | 50 kΩ | 30 kΩ |

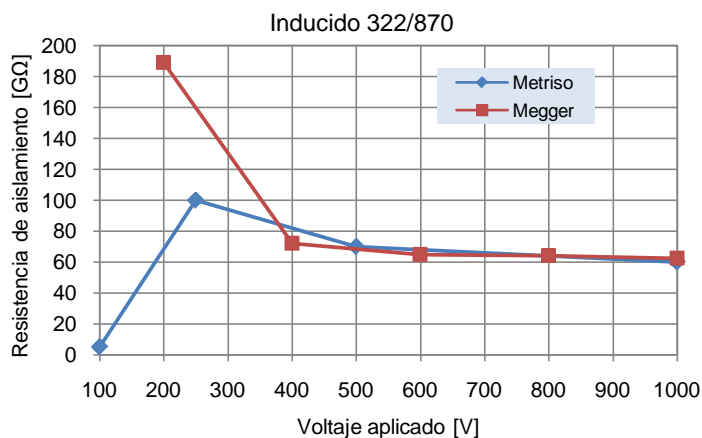


Gráfico 5.6: Resultado prueba SV en inducidos con bajo nivel IR, utilizando el medidor Megger y Metrigo. [Fuente: el autor]

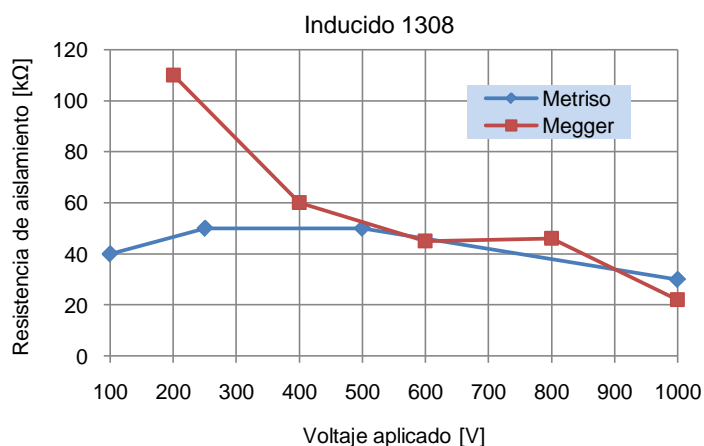


Gráfico 5.7: Resultado prueba SV en inducidos con bajo nivel IR, utilizando el medidor Megger y Metrisko. [Fuente: el autor]

De estos dos inducidos apartados por presentar bajo nivel de aislamiento, sólo el inducido # 1308 presenta dicha característica como se ve reflejado en las primeras pruebas realizadas al mismo, los valores de IR y PI están muy por debajo de los valores recomendados, al igual que la tendencia de la curva de la prueba de SV, realizada con el equipo de medición Megger, en la que se muestra como a medida que se aumenta la tensión de la prueba el valor de resistencia de aislamiento disminuye.

Caso contrario al anterior es el mostrado por el inducido # 322/870, de las tres pruebas realizadas sólo supera los valores de IR y PI recomendados, más sin embargo muestra al principio un apreciable decaimiento en la prueba de SV, esto es indicativo de que el sistema de aislamiento de este inducido presenta problemas que pudieran rectificarse al realizársele una intervención al mismo.

En cuanto a la comparación de los resultados obtenidos con los equipos de medición digital Megger y el analógico Metrisko, se puede observar como existe correspondencia entre ambos, es decir, se sabe que no se encontrarán exactamente los mismos resultados de IR en una misma bobina en distintos momentos, más aún utilizando distintos equipos de medición, pero se demostró que los resultados

obtenidos en estas circunstancias y ambas en condiciones controladas, son completamente correctas.

5.1.2.2. Ensayos a inducidos secados al horno.

Se realizaron los ensayos indicados a tres inducidos identificados en el taller como elementos que presentan problemas de aislamiento y que fueron colocados a 120°C por un tiempo óptimo de 18 horas, para secarlos y tratar de aumentar sus propiedades aislantes. Se realizó la medición en dos ocasiones, poco tiempo después de haber sido sacados de dicho horno y 24 horas después de ocurrir esto. Los resultados son mostrados en las tablas 5.8 al 5.12 y en las gráficas 5.8 y 5.9.

Tabla 5.8: Identificación inducidos puestos al horno. [Fuente: el autor]

| No. de Inducido | Identificado con nivel de aislamiento de: |
|-----------------|---|
| 467 / 596 | 100 kΩ @ 1000 V |
| 324 / 337 | 100 kΩ @ 1000 V |
| 216 / 485 | Sin identificación |

Tabla 5.9: Mediciones de IR y PI hechas el día 5/8/2009, en inducidos recién sacados del horno. [Fuente: el autor]

| Nº Inducido | IR _{T.bob.} | IR _{40°C} | PI | T _{bob} |
|-------------|----------------------|--------------------|------|------------------|
| 467 / 596 | 39,3 MΩ | 50,4 MΩ | 69,0 | 43,6 °C |
| 324 / 337 | 63,0 MΩ | 87,9 MΩ | 11,7 | 44,8 °C |
| 216 / 485 | 1,96 GΩ | 3,30 GΩ | 5,32 | 47,5 °C |

Tabla 5.10: Resultados de las mediciones de SV, hechas el día 5/8/2009, en inducidos recién sacados del horno. [Fuente: el autor]

| Nº Inducido | 200 V | 400 V | 600 V | 800 V | 1000 V |
|-------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| 467 / 596 | 78,5 GΩ | 27,7 GΩ | 2,00 GΩ | 418 MΩ | 1,08 GΩ |
| 324 / 337 | 2,31 GΩ | 1,42 GΩ | 696 MΩ | 110 kΩ | 50 kΩ |
| 216 / 485 | 237 GΩ | 134 GΩ | br.d | br.d | br.d |

La indicación “br.d” mostrada en el Megger y visualizada en las tablas 5.10 y 5.12, indica que el sistema de aislamiento del inducido está próximo a la ruptura y por precaución el equipo de medición paraliza la prueba. Pasadas veinticuatro horas se les volvió a realizar, a estos tres inducidos, las pruebas de IR, PI y SV.

Tabla 5.11: Mediciones de IR y PI hechas el día 6/8/2009, en inducidos recién sacados del horno (24 horas después). [Fuente: el autor]

| N° Inducido | IR _{T.bob.} | IR _{40°C} | PI | T _{bob} |
|-------------|---|--------------------|------|------------------|
| 467 / 596 | No alcanzó el voltaje de prueba, el inducido se encuentra en corto franco | | | |
| 324 / 337 | No alcanzó el voltaje de prueba, el inducido se encuentra en corto franco | | | |
| 216 / 485 | 1,09 GΩ | 0,41 GΩ | 6,52 | 25,8 °C |

Tabla 5.12: Mediciones de IR y PI hechas el día 6/8/2009, en inducidos recién sacados del horno (24 horas después). [Fuente: el autor]

| N° Inducido | 200 V | 400 V | 600 V | 800 V | 1000 V |
|-------------|---|---------|---------|-------|--------|
| 467 / 596 | No alcanzó el voltaje de prueba, el inducido se encuentra en corto franco | | | | |
| 324 / 337 | No alcanzó el voltaje de prueba, el inducido se encuentra en corto franco | | | | |
| 216 / 485 | 82,9 GΩ | 36,7 GΩ | 61,4 GΩ | br.d | br.d |

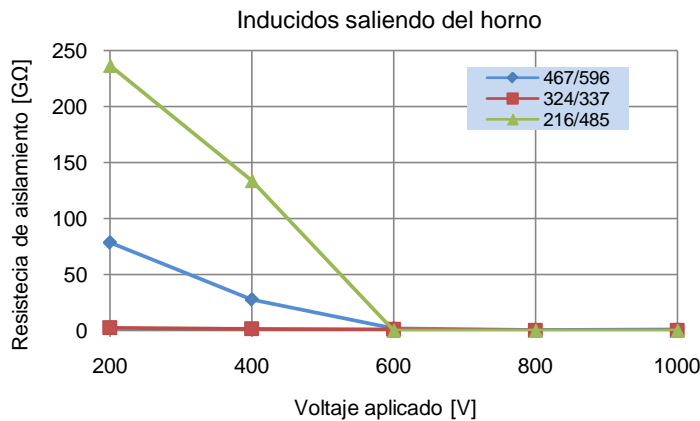


Gráfico 5.8: Resultado prueba SV en inducidos recién salidos del horno. [Fuente: el autor]

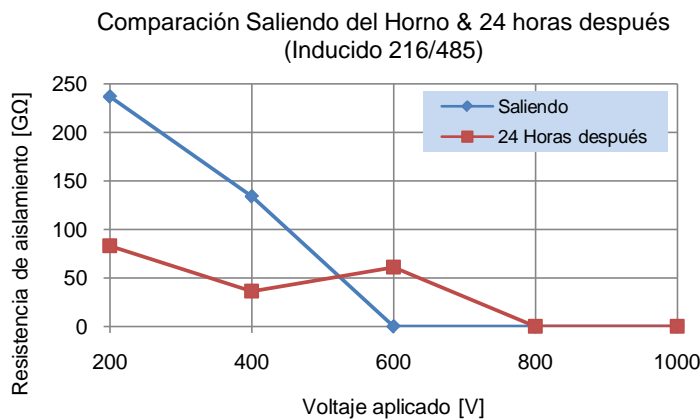


Gráfico 5.9: Comparación entre resultados de SV en el inducido 216/485. [Fuente: el autor]

De los resultados anteriores (gráficos 5.8 y 5.9) se observa como los inducidos secados en el horno no lograron recuperar sus niveles de aislamiento, esto es indicativo de que los materiales que los conforman se encuentran dañados, haciéndose más evidente en los inducidos #467/596 y #324/337 los cuales se encuentran en corto franco, el inducido restante #216/485 posee buenos valores IR y PI pero al efectuársele la prueba SV se observó cómo después de aplicársele 600 V pierde propiedades dieléctricas, lo que muestra que el mismo no podrá aguantar las exigencias propias de funcionamiento.

5.1.2.3. Ensayos a inducidos recién intervenidos (rebobinados).

Se aprovechó la oportunidad de la llegada al taller de SMO de un lote de siete inducidos que habían sido enviados a una empresa externa para rebobinarlos. Estos inducidos fueron desarmados, limpiados, balanceados, rebobinados, moldeados con capa de fibra de vidrio clase “H”, se les aplicó tratamiento de VPI con resina de polyester modificado clase “H”, pintado con pintura anti-flash y secado al horno a 150 °C por cinco horas, según consta en la información suministrada por la empresa rebobinadora y en la cual también se indica en detalle el tipo de prueba eléctrica que se les realizó a estos inducidos, siendo ésta una prueba de tensión de paso a 2500 V, la cual se presenta en la tabla 5.15 y el gráfico 5.10. Los resultados de las pruebas hechas durante la realización de este trabajo son mostrados en las tablas 5.13 y 5.14.

Tabla 5.13: Mediciones de IR y PI hechas los días 6/8/2009 y 7/8/2009, en inducidos recién embobinados. [Fuente: el autor]

| N° Inducido | IR _{T.bob.} | IR _{40°C} | PI | T _{bob} |
|-------------|----------------------|--------------------|------|------------------|
| 513 / 1410 | 40,2 GΩ | 14,5 GΩ | 3,40 | 25,3 °C |
| 503 / 823 | 32,8 GΩ | 11,3 GΩ | 3,48 | 24,6 °C |
| 61 / 57 | 28,9 GΩ | 10,4 GΩ | 4,60 | 25,3 °C |
| 268 / 243 | 41,1 GΩ | 16,8 GΩ | 3,89 | 27,1 °C |
| 442 / 744 | 61,0 GΩ | 22,8 GΩ | 3,32 | 25,8 °C |
| 300A / 614 | 33,9 GΩ | 12,7 GΩ | 3,09 | 25,8 °C |
| 511 / 847 | 40,8 GΩ | 15,5 GΩ | 3,16 | 26,0 °C |

Tabla 5.14: Resultados de las mediciones de SV, hechas los días 6/8/2009 y 7/8/2009, en inducidos recién embobinados. [Fuente: el autor]

| N° Inducido | 200 V | 400 V | 600 V | 800 V | 1000 V |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 513 / 1410 | 100 GΩ | 72,4 GΩ | 65,9 GΩ | 68,1 GΩ | 70,5 GΩ |
| 503 / 823 | 51,6 GΩ | 49,0 GΩ | 51,2 GΩ | 53,2 GΩ | 57,9 GΩ |
| 61 / 57 | 50,5 GΩ | 44,6 GΩ | 46,1 GΩ | 49,3 GΩ | 51,9 GΩ |
| 268 / 243 | 75,9 GΩ | 64,2 GΩ | 66,6 GΩ | 69,0 GΩ | 73,7 GΩ |
| 442 / 744 | 149 GΩ | 101 GΩ | 103 GΩ | 108 GΩ | 115 GΩ |
| 300A / 614 | 51,3 GΩ | 48,9 GΩ | 50,7 GΩ | 54,0 GΩ | 56,7 GΩ |
| 511 / 847 | 106 GΩ | 65,5 GΩ | 64,8 GΩ | 67,6 GΩ | 70,4 GΩ |

Tabla 5.15: Resultados de las mediciones de tensión de paso “SV”, hechas a inducidos recién embobinados por parte de empresa externa. [Fuente: el autor]

| N° de Inducido | 1 min | 2 min | 3 min | 4 min | 5 min |
|----------------|---------|----------|---------|---------|---------|
| | 500 V | 1000 V | 1500 V | 2000 V | 2500 V |
| 513 / 1410 | 12,2 GΩ | 14,2 GΩ | 15,7 GΩ | 16,9 GΩ | 17,8 GΩ |
| 503 / 823 | 19,8 GΩ | 22,2 GΩ | 24,0 GΩ | 25,6 GΩ | 26,6 GΩ |
| 61 / 57 | 21,4 GΩ | 26,0 GΩ | 29,8 GΩ | 32,2 GΩ | 33,2 GΩ |
| 268 / 243 | 52,0 GΩ | 54,5 GΩ | 56,5 GΩ | 58,5 GΩ | 60,0 GΩ |
| 442 / 744 | 41,0 GΩ | 46,8 GΩ | 52,8 GΩ | 56,5 GΩ | 59,5 GΩ |
| 300A / 614 | 17,7 GΩ | 19,05 GΩ | 21 GΩ | 22,2 GΩ | 23 GΩ |
| 511 / 847 | 18,8 GΩ | 20,8 GΩ | 22,8 GΩ | 24,2 GΩ | 25,4 GΩ |

Si se compara los resultados obtenidos en el taller de motores con los que presenta la empresa interventora y nos enfocamos solamente en el nivel de tensión común para ambos (entre 500 V y 1000 V), se visualiza como la tendencia es prácticamente la misma, es decir, creciente en todo momento (ver gráfico 5.10); los niveles de aislamiento, expresados en Ω en ambos resultados, nos indica que las condiciones de aplicación de la prueba no fueron las mismas no queriendo decir que alguna de ellas no hayan sido realizadas adecuadamente.

En resumen, para los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a este grupo de inducidos, se observa la concordancia y complementación de las pruebas de IR y SV, tal como se observó en las pruebas realizadas al grupo de motores medidos y que se presentaron anteriormente (tabla 5.1); en cuanto al valor IP medido a este grupo de elementos, se puede indicar que los resultados concuerdan con la condición revelada por las otras pruebas pero contrastan con lo visualizado en el caso de los motores.

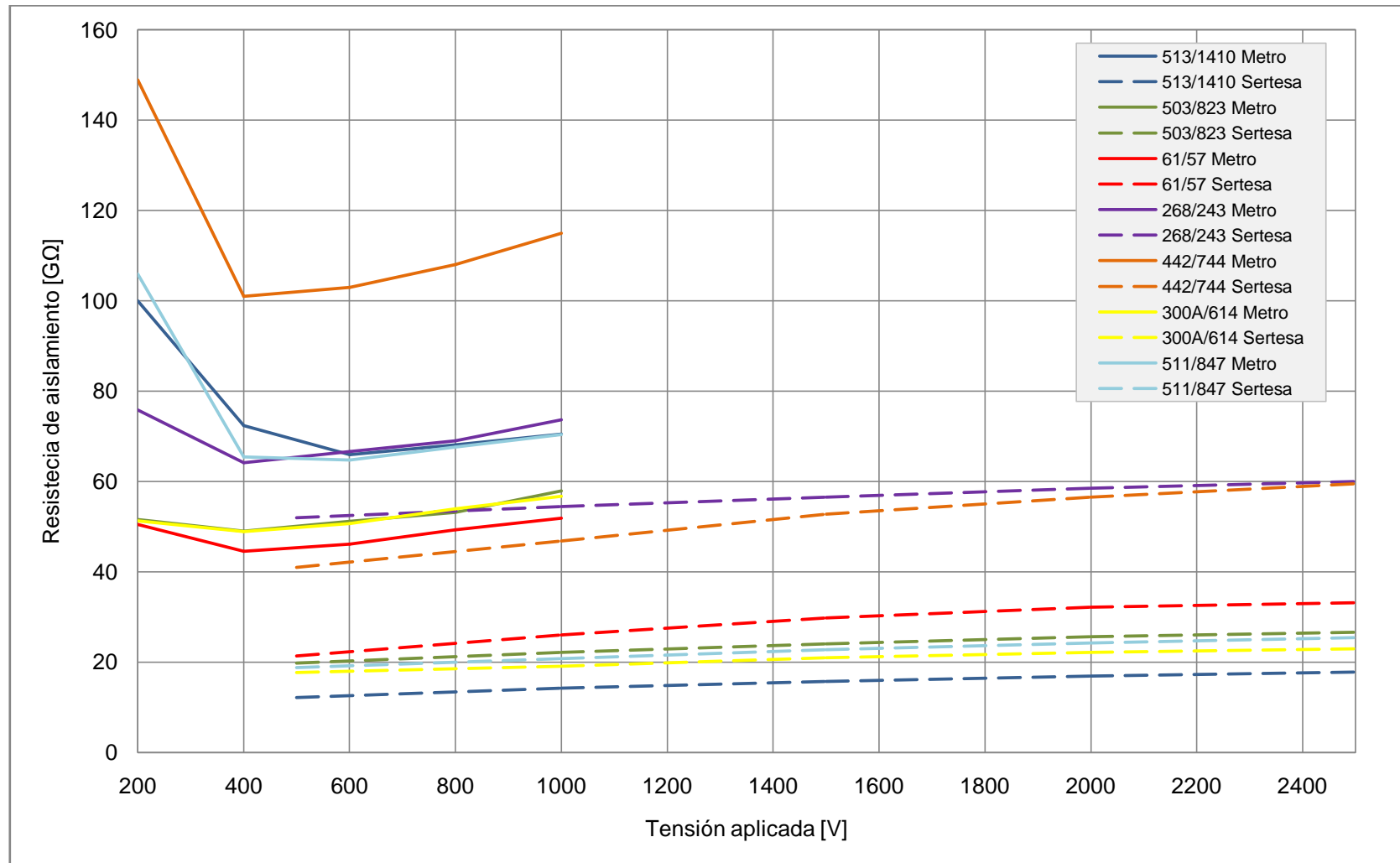


Gráfico 5.10: Comparación entre ensayo SV realizada en el Metro vs la realizada por Sertesa. [Fuente: el autor]

5.1.3. Resultados obtenidos empleando relación RIR.

Aprovechando las condiciones de medición de resistencia de aislamiento, se logró realizar dos mediciones a distintos voltajes, obteniéndose dos valores de IR que al final se convierten en un valor resultante del cociente de ambos según se indica en la ecuación 4.1. El procedimiento se llevó a cabo en todos los elementos evaluados anteriormente y que fueron presentados en el transcurso de este capítulo.

Tabla 5.16: Resultados prueba RIR en motores de tracción DC. [Fuente: el autor]

| Motor | Elemento | 500 V | 1000 V | RIR |
|---------|-------------------|-----------|-----------|------|
| MT1-508 | A2 vs. Masa | 3,81 GΩ | 5,2 GΩ | 1,36 |
| | (F2) F1 vs. Masa | 120 GΩ | 210 GΩ | 1,75 |
| | A1 vs. Masa | 0,241 GΩ | 0,503 GΩ | 2,09 |
| | Inducido vs. Masa | 125 GΩ | 5,02 GΩ | 0,04 |
| MT1-511 | A2 vs. Masa | 0,364 GΩ | 0,381 GΩ | 1,05 |
| | (F2) F1 vs. Masa | 71,8 GΩ | 165 GΩ | 2,30 |
| | A1 vs. Masa | 0,416 GΩ | 0,596 GΩ | 1,43 |
| | Inducido vs. Masa | 105 GΩ | 93,4 GΩ | 0,89 |
| MT1-198 | A2 vs. Masa | 2,09 GΩ | 2,6 GΩ | 1,24 |
| | (F2) F1 vs. Masa | 41,4 GΩ | 36,2 GΩ | 0,87 |
| | A1 vs. Masa | 0,0359 GΩ | 0,0534 GΩ | 1,49 |
| | Inducido vs. Masa | 189 GΩ | 92,6 GΩ | 0,49 |
| MT1-934 | A2 vs. Masa | 0,236 GΩ | 0,24 GΩ | 1,02 |
| | (F2) F1 vs. Masa | 199 GΩ | 268 GΩ | 1,35 |
| | A1 vs. Masa | 3,53 GΩ | 4,01 GΩ | 1,14 |
| | Inducido vs. Masa | - | - | - |
| MT2-251 | A2 vs. Masa | 15,5 GΩ | 31 GΩ | 2,00 |
| | (F2) F1 vs. Masa | 93,1 GΩ | 163 GΩ | 1,75 |
| | A1 vs. Masa | 0,0419 GΩ | 0,065 GΩ | 1,55 |
| | Inducido vs. Masa | 88,3 GΩ | 78,5 GΩ | 0,89 |

Tabla 5.17: Resultados prueba RIR en inducidos de motor de tracción DC.

[Fuente: el autor]

| Condición | N° Inducido | 500 V | 1000 V | RIR |
|-------------|-------------|------------|-------------|--------|
| dañados | 322 / 870 | 81,5 GΩ | 71 GΩ | 0,87 |
| | 1308 | 0,00031 GΩ | 0,000026 GΩ | 0,08 |
| horno | 467 / 596 | 0,0393 GΩ | 1,12 GΩ | 28,50 |
| | 324 / 337 | 0,063 GΩ | 0,00005 GΩ | 0,0008 |
| | 216 / 485 | 1,96 GΩ | 0 GΩ | 0,00 |
| Rebobinados | 513 / 1410 | 40,2 GΩ | 71,6 GΩ | 1,78 |
| | 503 / 823 | 32,8 GΩ | 56,9 GΩ | 1,73 |
| | 61 / 57 | 28,9 GΩ | 52,1 GΩ | 1,80 |
| | 268 / 243 | 41,1 GΩ | 73,5 GΩ | 1,79 |
| | 442 / 744 | 61 GΩ | 115 GΩ | 1,89 |
| | 300A / 614 | 33,9 GΩ | 59 GΩ | 1,74 |
| | 511 / 847 | 40,8 GΩ | 78,1 GΩ | 1,91 |

Los datos presentados en las tablas 5.16 y 5.17 se obtuvieron siguiendo cada una de las pautas de temperatura, humedad, descarga eléctrica, etc. indicadas en los procedimientos de medición de resistencia de aislamiento, para cada medida se constató que la temperatura de la bobina no hubiese cambiado para poder así realizar el cociente de ambas mediciones.

De los resultados se observa cómo los valores obtenidos son superiores a la unidad en la mayoría de las bobinas evaluadas, existiendo casos como los observados en los inducidos recién salidos del horno o en los inducidos que poseían algunos de los motores medidos, casos como los motores MT1-508 y MT1-198 que presentaban un valor IR superior a 1GΩ y no superaron esta prueba, este resultado concuerda con el mostrado en la prueba SV y sin necesidad de esperar los 5 minutos que dura la misma. Se puede concluir que este procedimiento pudiera servir de respaldo en las evaluaciones de aislamiento de bobinas, ya que sólo con este indicador o como complemento del valor IR, nos indicará las condiciones del aislamiento y comparándolo con los resultados de la prueba IP medidos en este trabajo, se puede afirmar que el mismo es más eficaz a la hora de comprobar la confiabilidad del elemento evaluado.

CAPÍTULO VI

ESTUDIO DE VALORES IR RECOLECTADOS POR LA EMPRESA EN MOTORES DE TRACCIÓN Y GMA.

6.1. Resultados de valores IR en motores de tracción de 1^{ra} generación.

Se presenta a continuación una serie de tablas y gráficas, con datos provenientes de los valores de resistencia de aislamiento en motores de tracción de primera generación, recolectados desde la primera quincena de enero de 2006 hasta la primera quincena de agosto de 2009. Estos valores se han tomado sin considerar la temperatura que presentaban las distintas bobinas en el momento de la medición, por lo tanto, se tomará como referencia el promedio de temperatura de las bobinas medidas durante la elaboración de este trabajo y que se encontraban en condiciones normales, dichos promedios se presentan en la tabla 6.1; en dicha tabla se observa que la temperatura de la bobina está 2°C por debajo de la temperatura ambiental lo cual corresponde con las anotaciones hechas de ambas temperaturas (ver anexo 3) en donde la temperatura de la bobina estaba siempre entre 1 a 2 °C por debajo de la temperatura ambiente, este hecho puede deberse a algunos factores como el color de la bobina o por la ubicación de la misma dentro del motor.

Tabla 6.1: Promedio de temperaturas de ambiente y de bobina, tomadas durante las mediciones de resistencia de aislamiento. [Fuente: el autor]

| Temperatura ambiente promedio | Temperatura de la bobina |
|-------------------------------|--------------------------|
| 28,0 °C | 26,0 °C |

Para facilitar el análisis, se tomará el valor de IR a 40 °C recomendado por la norma IEEE y se escalará a una temperatura de 26 °C (ver tablas 6.2 y 6.3).

Tabla 6.2: Valor IR recomendado en MΩ. [Fuente: CAMETRO, IEEE].

| | | Resistencia de aislamiento @ 40 °C | Resistencia de aislamiento @ 26 °C |
|-------------------------------|------|------------------------------------|------------------------------------|
| Valor referencia IEEE | | 100 MΩ | 263,90 MΩ |
| Valor referencia para CAMETRO | O.K. | ≥ 378,93 MΩ | ≥ 1000 MΩ |
| | Ojo | 189,46 MΩ < IR < 378,93 MΩ | 500 MΩ < IR < 1000 MΩ |
| | Bajo | ≤ 189,46 MΩ | ≤ 500 MΩ |

Tabla 6.3: Valor IR recomendado en GΩ. [Fuente: CAMETRO, IEEE].

| | | Resistencia de aislamiento @ 40 °C | Resistencia de aislamiento @ 26 °C |
|-------------------------------|------|------------------------------------|------------------------------------|
| Valor referencia IEEE | | 0,1 GΩ | 0,26 GΩ |
| Valor referencia para CAMETRO | O.K. | ≥ 0,38 GΩ | ≥ 1 GΩ |
| | Ojo | 0,19 GΩ < IR < 0,38 GΩ | 0,5 GΩ < IR < 1 GΩ |
| | Bajo | ≤ 0,19 GΩ | ≤ 0,5 GΩ |

6.1.1. Frecuencias de entradas y salidas al taller, de motores de tracción de 1^{ra} generación.

Para conocer las características de los valores que se tienen, se empezará por identificar las cantidades de procedimientos y motores que se han ejecutado en el transcurso del tiempo establecido. Los motores que no aparecen en las tablas 6.4 y 6.5 poseen dos, una o ninguna entradas o salidas en el taller.

Tabla 6.4: Entradas al taller de motores de tracción de 1^{ra} generación. [Fuente: CAMETRO].

| # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas |
|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|
| 249 | 7 | 1577 | 4 | 628 | 3 | 1244 | 3 |
| 21 | 5 | 22 | 3 | 639 | 3 | 1286 | 3 |
| 223 | 5 | 58 | 3 | 666 | 3 | 1299 | 3 |
| 96 | 4 | 68 | 3 | 681 | 3 | 1320 | 3 |
| 143 | 4 | 153 | 3 | 757 | 3 | 1378 | 3 |
| 262 | 4 | 200 | 3 | 849 | 3 | 1402 | 3 |
| 489 | 4 | 267 | 3 | 893 | 3 | 1405 | 3 |
| 495 | 4 | 272 | 3 | 904 | 3 | 1428 | 3 |
| 721 | 4 | 341 | 3 | 928 | 3 | 1501 | 3 |
| 741 | 4 | 371 | 3 | 1021 | 3 | 1521 | 3 |
| 828 | 4 | 389 | 3 | 1032 | 3 | 1564 | 3 |
| 864 | 4 | 439 | 3 | 1124 | 3 | | |
| 1271 | 4 | 525 | 3 | 1147 | 3 | | |
| 1334 | 4 | 528 | 3 | 1197 | 3 | | |

Tabla 6.5: Salidas al taller de motores de tracción de 1^{ra} generación.
[Fuente: CAMETRO].

| # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas |
|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| 249 | 7 | 196 | 3 | 681 | 3 | 1320 | 3 |
| 21 | 5 | 200 | 3 | 721 | 3 | 1378 | 3 |
| 1577 | 5 | 267 | 3 | 757 | 3 | 1402 | 3 |
| 96 | 4 | 272 | 3 | 828 | 3 | 1405 | 3 |
| 143 | 4 | 341 | 3 | 849 | 3 | 1428 | 3 |
| 223 | 4 | 371 | 3 | 882 | 3 | 1501 | 3 |
| 262 | 4 | 389 | 3 | 893 | 3 | 1521 | 3 |
| 495 | 4 | 409 | 3 | 904 | 3 | 1540 | 3 |
| 741 | 4 | 439 | 3 | 928 | 3 | 1564 | 3 |
| 864 | 4 | 481 | 3 | 953 | 3 | 1405 | 3 |
| 1271 | 4 | 489 | 3 | 1021 | 3 | 1428 | 3 |
| 1334 | 4 | 521 | 3 | 1032 | 3 | 1501 | 3 |
| 22 | 3 | 525 | 3 | 1124 | 3 | 1521 | 3 |
| 58 | 3 | 528 | 3 | 1232 | 3 | 1540 | 3 |
| 68 | 3 | 628 | 3 | 1244 | 3 | 1564 | 3 |
| 72 | 3 | 639 | 3 | 1286 | 3 | | |
| 153 | 3 | 666 | 3 | 1299 | 3 | | |

Tabla 6.6: Entrada y salida de motores. [Fuente: CAMETRO].

| No. de motores por número de entradas | | | No. de motores por número de salidas | | |
|---------------------------------------|---------|-------------|--------------------------------------|---------|-------------|
| Entradas | Motores | % del total | Salidas | Motores | % del total |
| 0 | 708 | 44,58 | 0 | 689 | 43,39 |
| 1 | 624 | 39,29 | 1 | 635 | 39,99 |
| 2 | 203 | 12,78 | 2 | 204 | 12,85 |
| 3 | 38 | 2,39 | 3 | 48 | 3,02 |
| 4 | 12 | 0,76 | 4 | 9 | 0,57 |
| 5 | 2 | 0,13 | 5 | 2 | 0,13 |
| 7 | 1 | 0,06 | 7 | 1 | 0,06 |
| Total | 1588 | 100 | Total | 1588 | 100 |

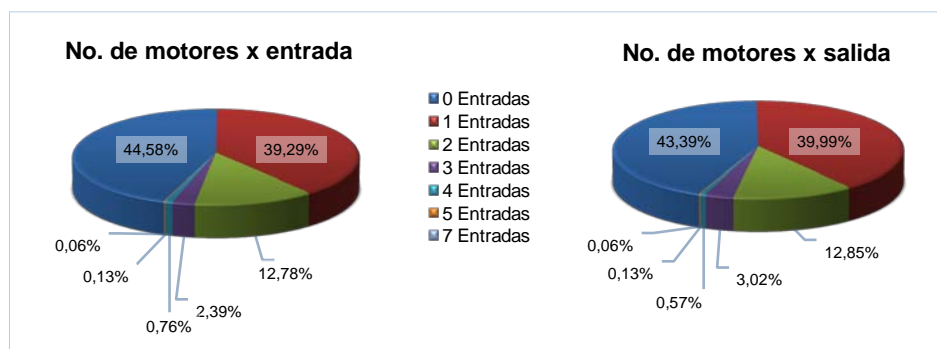


Gráfico 6.1: Entradas y salidas al taller de motores 1^{ra} generación.
[Fuente: CAMETRO].

La cantidad de procesos de entrada y salida realizados en el taller a los motores de tracción de 1^{ra} generación, en el intervalo de tiempo descrito al inicio de este capítulo, se muestran en las tablas 6.7 y 6.8.

Tabla 6.7: Entradas y salidas al taller de motores 1^{ra} generación.
[Fuente: CAMETRO]

| Año 2006 | | | Año 2007 | | |
|---------------|-----------|--------|---------------|-----------|--------|
| Procedimiento | # Motores | % | Procedimiento | # Motores | % |
| Entrada | 232 | 50,54 | Entrada | 291 | 48,91 |
| Salida | 227 | 49,46 | Salida | 304 | 51,09 |
| Total | 459 | 100,00 | Total | 595 | 100,00 |

| Año 2008 | | | Año 2009 | | |
|---------------|-----------|--------|---------------|-----------|--------|
| Procedimiento | # Motores | % | Procedimiento | # Motores | % |
| Entrada | 527 | 49,34 | Entrada | 159 | 48,62 |
| Salida | 541 | 50,66 | Salida | 168 | 51,38 |
| Total | 1068 | 100,00 | Total | 327 | 100,00 |

Tabla 6.8: Entrada y salida de motores 1^{ra} generación hasta mes de agosto.
[Fuente: CAMETRO].

| Año | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|----------|------|------|------|------|
| Entradas | 155 | 162 | 410 | 159 |
| Salidas | 154 | 173 | 425 | 168 |
| Total | 309 | 335 | 835 | 327 |

En la tabla 6.8 se presenta la totalidad de procedimientos considerando los meses desde enero hasta agosto para cada año, en ésta se observa cómo el 2008 fue un año especial pues se realizaron alrededor de dos veces más procedimientos en motores DC de 1^{ra}, que en años regulares; en cuanto al año 2009, a la fecha de este trabajo presentaba la tendencia natural de años precedentes.

6.1.2. Valores de IR en motores de tracción de 1^{ra} generación.

Se procede a discriminar las entradas y salidas de cada motor, de manera de tener por cada intervención de entrada su respectiva intervención de salida, eliminando entradas o salidas repetidas, procedimientos de entrada sin reporte de salida y viceversa, y así evaluar el comportamiento de la variación del valor de

resistencia de aislamiento en cada uno de los elementos o bobinas que conforman al motor de tracción. Para tal fin se utilizará el concepto de variación porcentual a través de la ecuación 6.1.

$$\Delta IR\% = \left(\frac{IR_{Salida} - IR_{Entrada}}{IR_{Entrada}} \right) 100\% \quad [\text{Ec. 6.1}]$$

Con esta ecuación se analizará la variación que presentó a la salida el valor IR con respecto al que poseía al momento de entrar a taller, esto tiene como objetivo el evaluar la eficacia de las intervenciones que se realizan a los motores de tracción en el taller. De este modo se tendrán tres grupos: elementos que no reportaron ni aumento ni disminución en sus valores de IR, elementos que aumentaron su valor de IR a la salida, y por último elementos que disminuyeron su valor de IR a la salida. Todos los motores de tracción de 1^{ra} generación poseían un intervalo de tiempo, entre el procedimiento de entrada y el de salida, inferior al año. Como ejemplo (ver tabla 6.9) para el año 2007 se efectuaron en promedio 277 procedimientos de entrada con su respectivo procedimiento de salida. Las líneas de tendencias por elemento y por año se presentan en la gráfica 6.2.

Tabla 6.9: Variación porcentual por elemento para el año 2007, motor de tracción 1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

| A ₂ | | | A ₁ | | | F ₂ | | |
|----------------|----------------------------|------------|----------------|----------------------------|------------|----------------|----------------------------|------------|
| Variación | Cantidad de procedimientos | Porcentaje | Variación | Cantidad de procedimientos | Porcentaje | Variación | Cantidad de procedimientos | Porcentaje |
| Negativa | 149 | 53,79% | Negativa | 198 | 71,74% | Negativa | 143 | 51,62% |
| Nula | 60 | 21,66% | Nula | 43 | 15,58% | Nula | 67 | 24,19% |
| Positiva | 68 | 24,55% | Positiva | 35 | 12,68% | Positiva | 67 | 24,19% |
| Total | 277 | 100,0% | Total | 276 | 100,0% | Total | 277 | 100,0% |
| F ₁ | | | Inducido | | | Corona | | |
| Variación | Cantidad de procedimientos | Porcentaje | Variación | Cantidad de procedimientos | Porcentaje | Variación | Cantidad de procedimientos | Porcentaje |
| Negativa | 140 | 50,54% | Negativa | 113 | 43,30% | Negativa | 168 | 60,65% |
| Nula | 67 | 24,19% | Nula | 47 | 18,01% | Nula | 48 | 17,33% |
| Positiva | 70 | 25,27% | Positiva | 101 | 38,70% | Positiva | 61 | 22,02% |
| Total | 277 | 100,0% | Total | 261 | 100,0% | Total | 277 | 100,0% |

Tabla 6.10: Procedimiento de “Entrada/Salida” de motores por año
 [Fuente: CAMETRO]

| Año | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|------------------|------|------|------|------|
| “Entrada/Salida” | 216 | 277 | 506 | 152 |

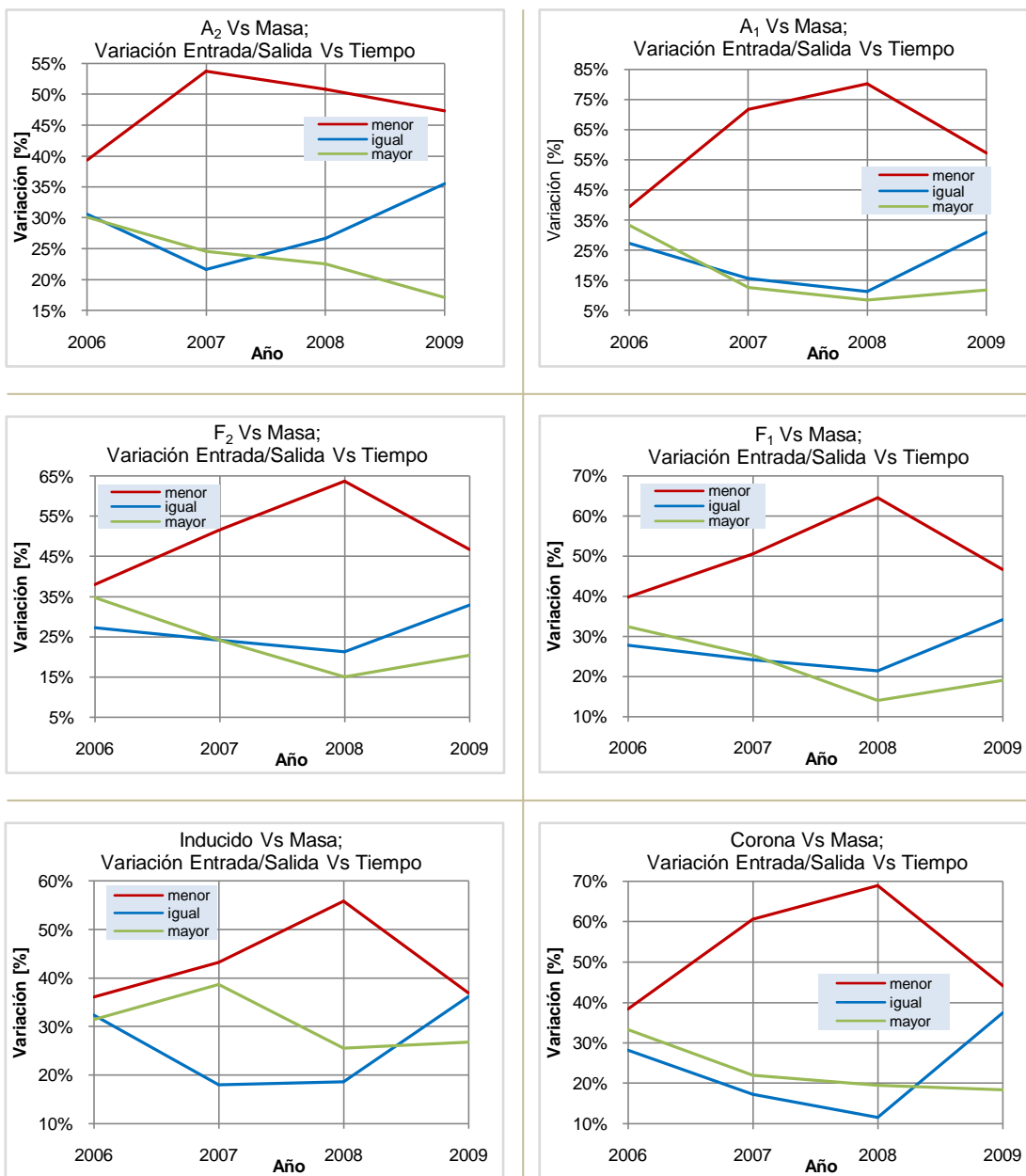


Gráfico 6.2: Variación entrada/salida en motor de tracción 1^{ra}. [Fuente: el autor]

Se observa en el gráfico 6.2, que los procedimientos donde se obtiene una mejora en los niveles de aislamiento en los elementos del motor, presentan una tendencia negativa desde el comienzo de la recolección de los datos y sólo a partir del año 2008 (2007 para valores de A_2 vs masa) esta tendencia comienza a revertirse y a acercarse al porcentaje de intervenciones donde se recupera o mantiene los niveles de aislamiento. Los resultados de los procedimientos en los cuales se mantienen o se mejoran los valores de IR en los distintos elementos del motor, presentaban al principio una tendencia a alejarse negativamente de los niveles porcentuales de intervenciones con variaciones negativa, teniéndose así un año como el 2008 con casi un 70% de intervenciones con variaciones negativas, superado ese año las tendencias se han revertido, hasta la fecha son más los motores que salen con valores de IR menores que cuando entraron.

La siguiente gráfica (gráfico 6.3), se obtienen al discriminar aún más los resultados anteriores y sólo para el inducido del motor de tracción el cual es el elemento que presenta más problemas en el taller, de esta forma se diferenciarán y agruparán los valores de IR que se obtuvieron en la entrada y a la salida en este elemento y por año, apoyándose en los valores recomendados por la empresa según se presentó en la tabla 6.3.

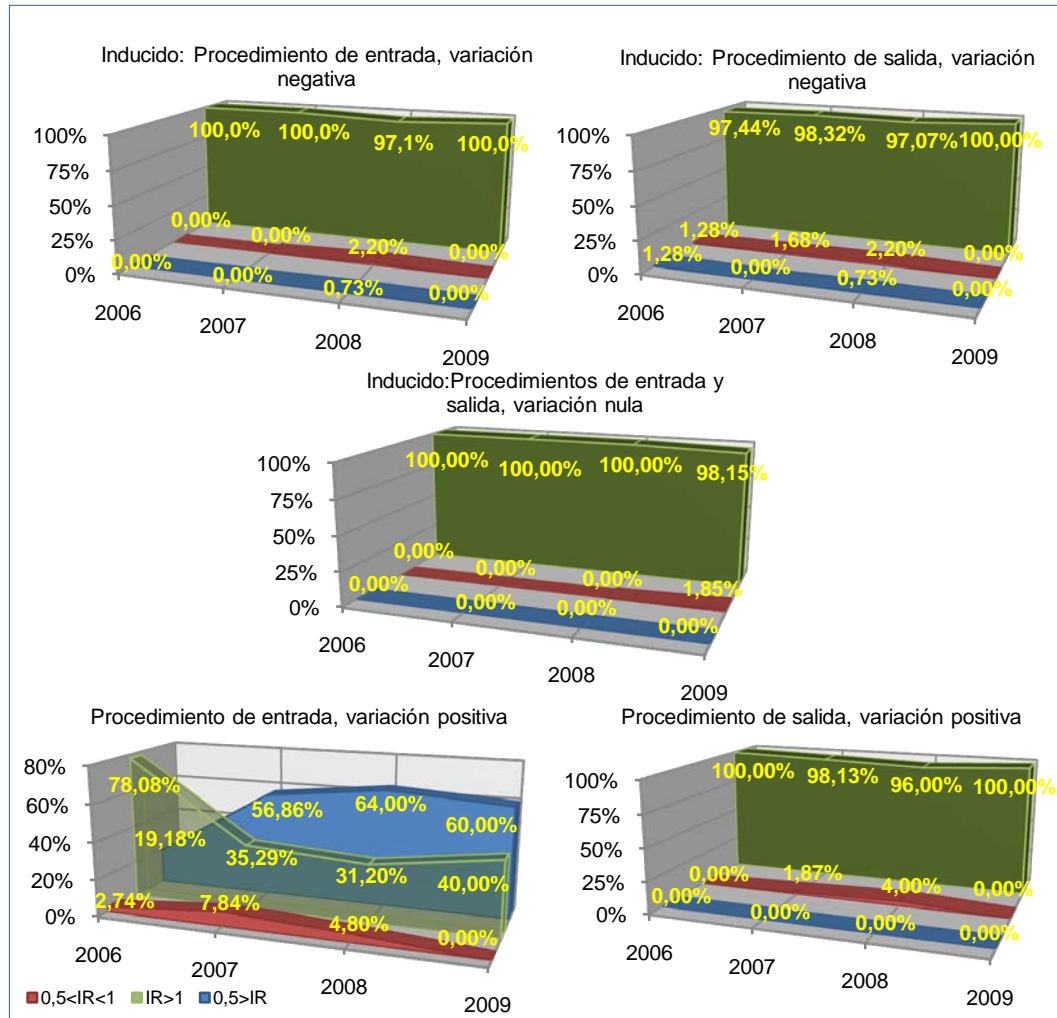


Gráfico 6.3: Variación inducido motor 1ª generación. [Fuente: el autor]

Del gráfico 6.3 se observa que en los procedimientos de salida, los valores de IR en los inducidos iguales o inferiores a los obtenidos en los procedimientos de entrada, más del 95% de estos valores fueron superiores a los 1Ω . Sólo cuando la variación es positiva se tiene un porcentaje importante de inducidos con niveles de aislamientos en procedimientos de entrada inferiores a los 500 M ; este porcentaje ha ido aumentando desde 2006 y se ha estabilizado en los últimos dos años en un 60%; aún con este resultado, los niveles de aislamiento de salida de este elemento son superiores al $1 \text{ G}\Omega$ recomendado, teniéndose para este caso una porción mayor al 95% de los casos. Estas afirmaciones se refuerzan al observar los gráficos 6.4 y 6.5 que

muestran los valores de IR en el inducido obtenidos desde 2006 hasta la fecha, y la frecuencia que poseen.

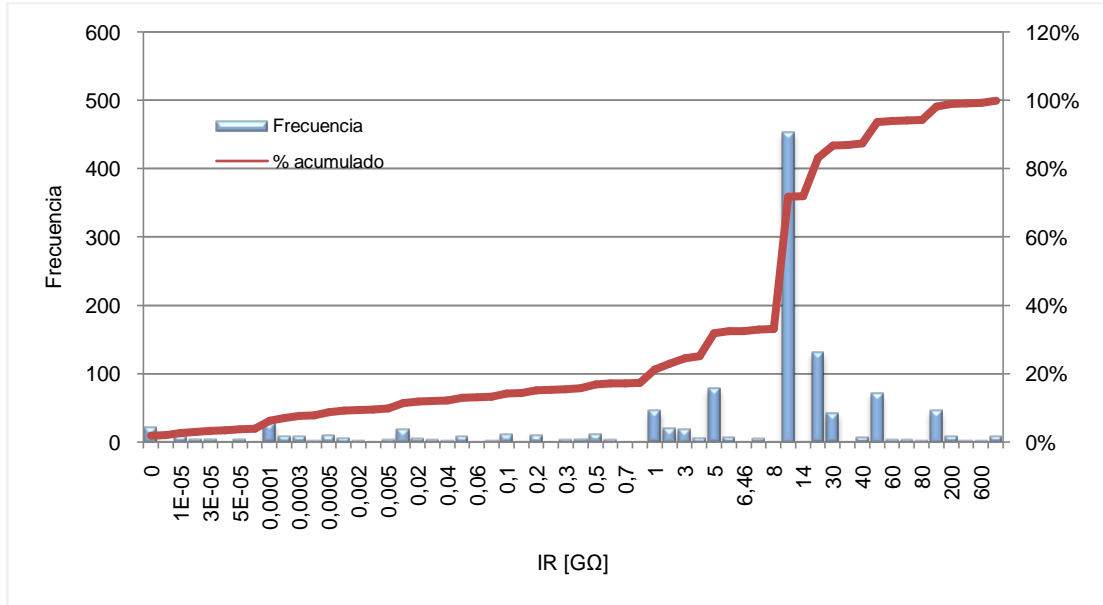


Gráfico 6.4: Pareto de valores IR del inducido motor de 1ª generación en procedimientos de entrada. [Fuente: el autor].

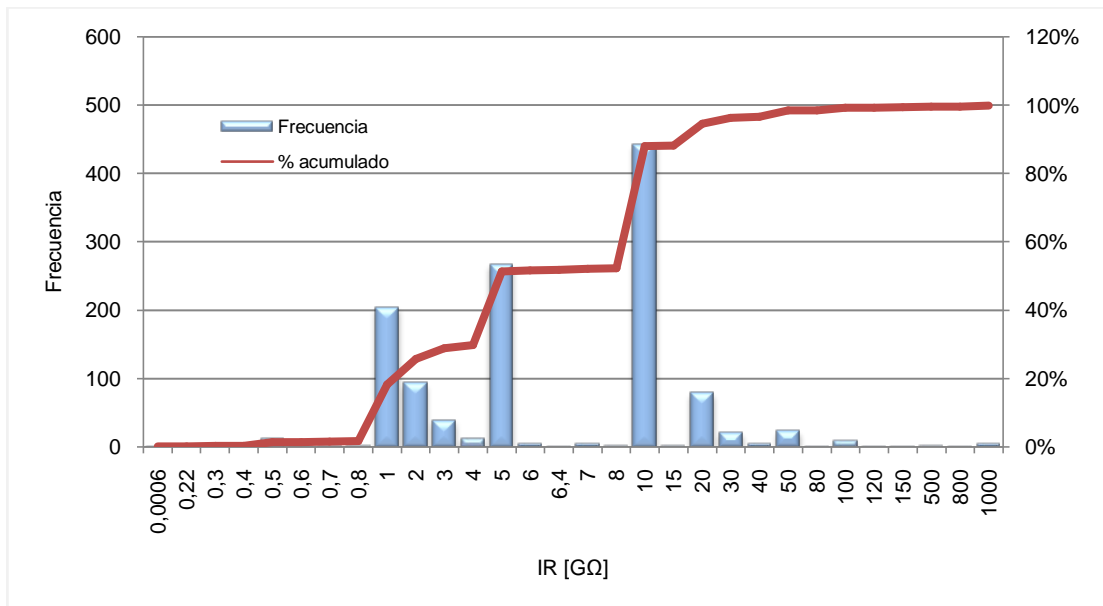


Gráfico 6.5: Pareto de valores IR del inducido motor de 1ª generación en procedimientos de salida. [Fuente: el autor].

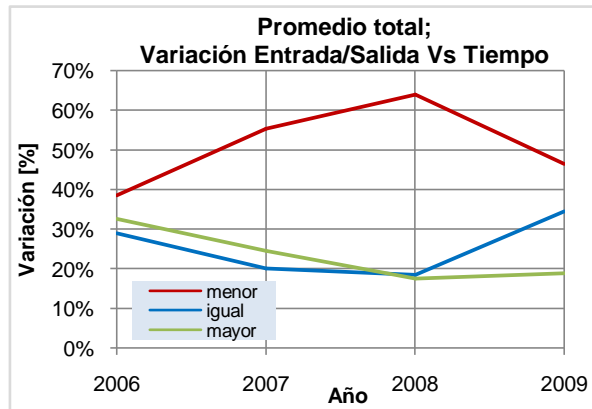


Gráfico 6.6: Promedio total por año motor de 1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

De estos resultados se desprende que las intervenciones realizadas a estos motores no han logrado aumentar de manera satisfactoria los niveles de aislamiento en sus elementos si comparamos las mediciones IR de entrada y salida, aunque en la mayoría de los casos los valores de salida han superado los niveles de referencia, resulta incongruente que luego de realizar una labor efectiva de restauración en los elementos del motor, encontrarse que los valores de IR de salida sean inferiores a los de la entrada, esta tendencia de encontrar resultados negativos se ha invertido este último año 2009, luego de alcanzar un pico en el 2008 según se puede observar en el gráfico 6.6, de proseguir esto se conseguirá que los niveles IR a la salida serán iguales o superiores a los medidos en la entrada, que es lo más lógico de encontrarse.

Como ejemplo de los cambios en los niveles de aislamiento sufridos en los motores de tracción de primera generación, se graficará los valores de IR del motor que posee más entradas y salidas al taller SMO, este motor es el MT1-0249 (gráfico 6.7).

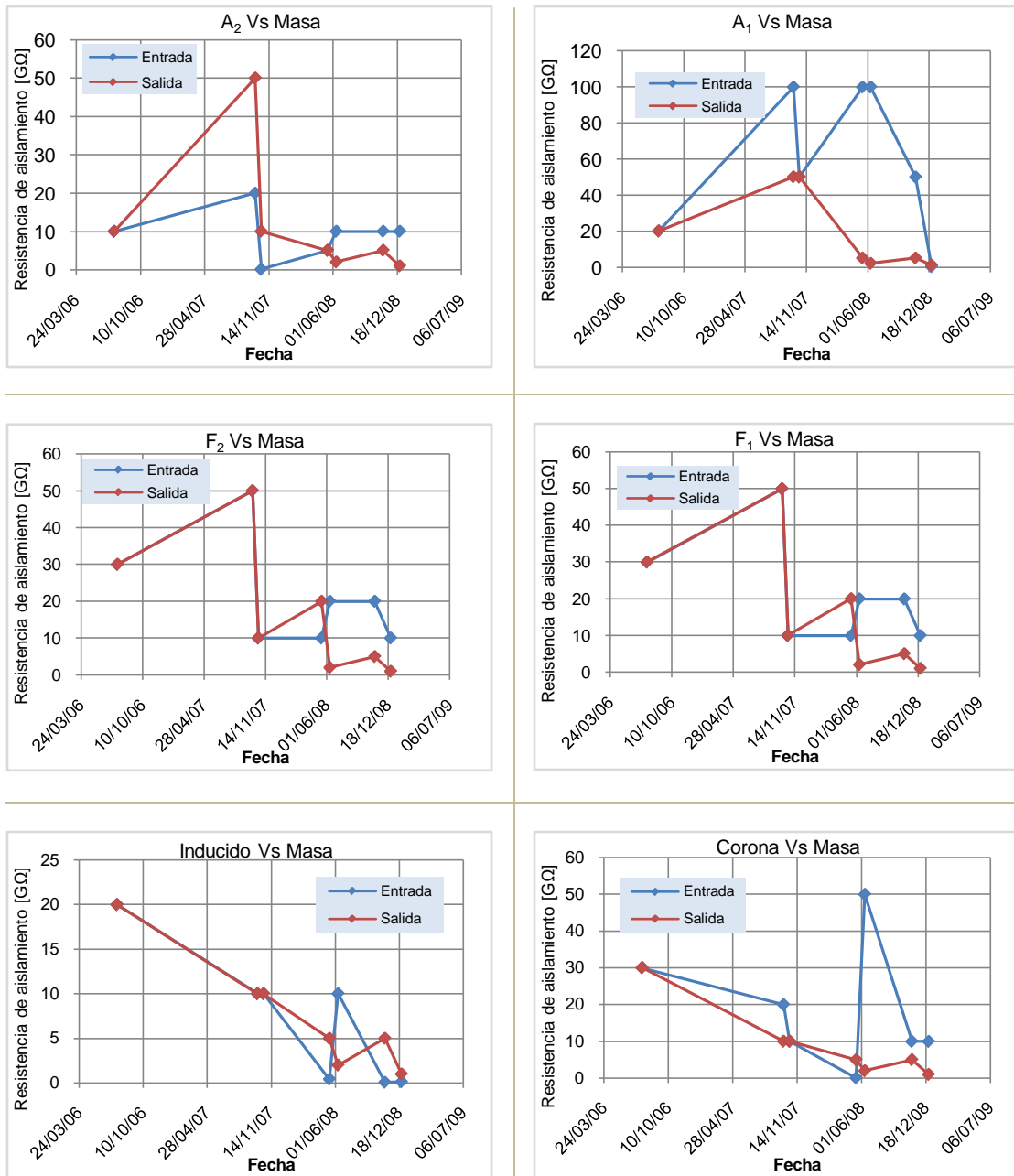


Gráfico 6.7: Variación IR en bobinas del motor MT1-0249. [Fuente: CAMETRO]

De estas gráficas, se puede visualizar lo comentado anteriormente cuando se hablaba de la variación porcentual “ ΔIR ”, para las mediciones de A₂, F₂, F₁ y corona versus masa, a partir del 2008 los valores de salida son menores que los de entrada y con una marcada tendencia a la disminución de sus valores de IR, en cuanto al

inducido también se observa una marcada tendencia a la disminución, cuando en el año 2006 se tenía un nivel de 20 GΩ para 2008 ya poseía un valor menor a los 1 GΩ. Por último se verificó para cada elemento, el porcentaje de valores IR por elemento cuyo valor fuese superior al valor recomendado por la norma IEEE y por las normas de CAMETRO, para una temperatura de 26°C (tabla 6.3).

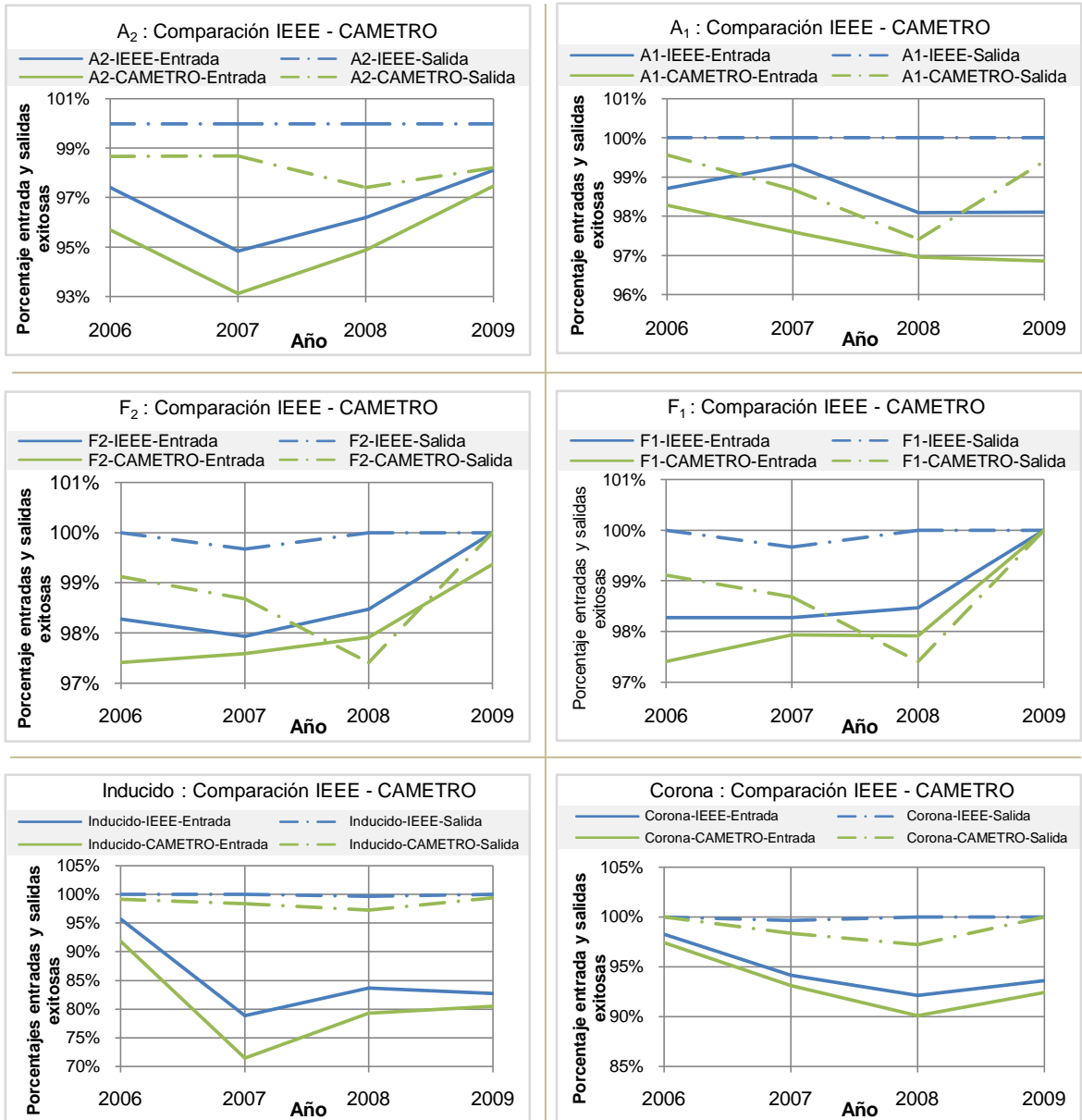


Gráfico 6.8: Entradas y salidas exitosas según valor recomendado por IEEE y CAMETRO para motor de tracción 1^{ra}. [Fuente: el autor]

Al analizar el gráfico 6.8 y comparar los datos de IR bajo las premisas del normas IEEE 43-2000 y las de la empresa CAMETRO, se evidencia que las tendencias son prácticamente las mismas, salvo alguna excepción en algún elemento y año específico (A_1 , F_1 y F_2 año 2008), la diferencia entre ellas son de no muchos puntos porcentuales; además de esto, se puede afirmar que la cantidad de elementos evaluados que superaron los valores recomendados por ambas consideraciones se han mantenido desde el principio de la recolección formal de datos en el taller.

Un dato curioso se desprenden de las evaluaciones a estas gráficas, y es que en todos los elementos importantes, desde el punto de vista de su intervención, como lo son los puntos A_2 , F_1 y F_2 presentan una tendencia a entrar a taller con niveles de resistencia de aislamiento mayores tal que superan a los niveles recomendados por las normas, ahora en el caso del inducido los niveles de aislamiento tomados en procedimientos de entrada, han ido disminuyendo paulatinamente en el transcurso de los años.

6.2. Resultados de valores IR en motores de tracción de 2^{da} generación.

Estos valores también se han estado tomado obviando la temperatura que poseían las bobinas en el momento de la medición, por tal razón se tomará las mismas consideraciones hechas para los motores de 1^{ra} generación. Estas mediciones se han estado recolectando desde marzo de 2006 hasta la primera quincena de agosto de 2009, en los talleres de la compañía Metro de Caracas.

6.2.1. Frecuencias de entradas y salidas al taller, de motores de tracción de 2^{da} generación.

Las tablas 6.11 y 6.12 muestran las frecuencias de entrada y de salida ocurridas en taller para motores de tracción de segunda generación.

Tabla 6.11: Frecuencia de entrada al taller de motores de tracción de 2^{da} generación.

[Fuente: CAMETRO]

| # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas |
|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|
| 2166 | 3 | 2076 | 2 | 2117 | 2 | 2193 | 2 |
| 2394 | 3 | 2079 | 2 | 2121 | 2 | 2195 | 2 |
| 2006 | 2 | 2088 | 2 | 2129 | 2 | 2196 | 2 |
| 2020 | 2 | 2100 | 2 | 2154 | 2 | 2220 | 2 |
| 2053 | 2 | 2110 | 2 | 2190 | 2 | 2262 | 2 |
| 2297 | 2 | 2343 | 2 | 2418 | 2 | | |

Tabla 6.12: Frecuencia de salida al taller de motores de tracción de 2^{da} generación.

[Fuente: CAMETRO]

| # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas |
|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| 2166 | 3 | 2100 | 2 | 2141 | 2 | 2200 | 2 |
| 2006 | 2 | 2110 | 2 | 2154 | 2 | 2220 | 2 |
| 2020 | 2 | 2117 | 2 | 2165 | 2 | 2262 | 2 |
| 2076 | 2 | 2121 | 2 | 2192 | 2 | 2297 | 2 |
| 2079 | 2 | 2129 | 2 | 2193 | 2 | 2343 | 2 |
| 2088 | 2 | 2133 | 2 | 2195 | 2 | | |
| 2418 | 2 | 2420 | 2 | 2196 | 2 | | |

Los motores que no aparecen en las tablas anteriores poseen una o ninguna entrada o salida en el taller.

Tabla 6.13: Entrada y salida de motores de 2^{da} generación. [Fuente: CAMETRO]

| No. de motores por número de entradas | | | No. de motores por número de salidas | | |
|---------------------------------------|---------|-------------|--------------------------------------|---------|-------------|
| Entradas | Motores | % del total | Salidas | Motores | % del total |
| 0 | 311 | 59,58 | 0 | 291 | 55,75 |
| 1 | 188 | 36,02 | 1 | 205 | 39,27 |
| 2 | 21 | 4,02 | 2 | 25 | 4,79 |
| 3 | 2 | 0,38 | 3 | 1 | 0,19 |
| Total | 522 | 100 | Total | 522 | 100 |

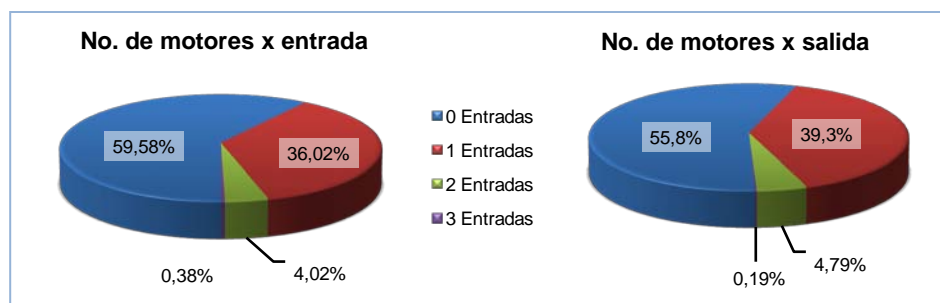


Gráfico 6.9: Entradas y salidas de motores de 2^{da} gen en taller.

[Fuente: CAMETRO]

Tabla 6.14: Entrada/Salida motores de 2^{da} generación. [Fuente: CAMETRO]

| Año 2006 | | | Año 2007 | | |
|---------------|-----------|--------|---------------|-----------|--------|
| Procedimiento | # Motores | % | Procedimiento | # Motores | % |
| Entrada | 95 | 44,19 | Entrada | 95 | 50,26 |
| Salida | 120 | 55,81 | Salida | 94 | 49,74 |
| Total | 215 | 100,00 | Total | 189 | 100,00 |

| Año 2008 | | | Año 2009 | | |
|---------------|-----------|--------|---------------|-----------|--------|
| Procedimiento | # Motores | % | Procedimiento | # Motores | % |
| Entrada | 17 | 51,52 | Entrada | 28 | 50,91 |
| Salida | 16 | 48,48 | Salida | 27 | 49,09 |
| Total | 33 | 100,00 | Total | 55 | 100,00 |

Tabla 6.15: Entrada y Salida de motores de 2^{da} generación hasta mes de agosto.

[Fuente: CAMETRO]

| Año | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|---------|------|------|------|------|
| Entrada | 60 | 70 | 16 | 28 |
| Salida | 81 | 69 | 15 | 27 |
| Total | 141 | 139 | 31 | 55 |

De las tablas 6.14 y 6.15 se observa como el año 2008 ocurrió lo contrario a lo ocurrido en motores de tracción de 1^{ra} generación, el cual es mostrado en la tabla 6.8; es decir, en el año 2008 existió en la C.A. Metro de Caracas, la prioridad en intervenir motores de tracción de 1^{ra} generación.

6.2.2. Valores de IR en motores de tracción de 2^{da} generación.

Utilizando el mismo concepto aplicado el apartado 6.1.2; se procedió a examinar los datos proporcionados para esta generación de motor. El intervalo de tiempo fue inferior al año entre el procedimiento de entrada y el de salida, para cada uno de los procedimientos de “entrada/salida” para este tipo de motor.

Tabla 6.16: Procedimiento “Entrada/Salida” de motores de 2^{da} generación por año.

[Fuente: SMO]

| Año | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|------------------|------|------|------|------|
| “Entrada/Salida” | 91 | 92 | 16 | 26 |

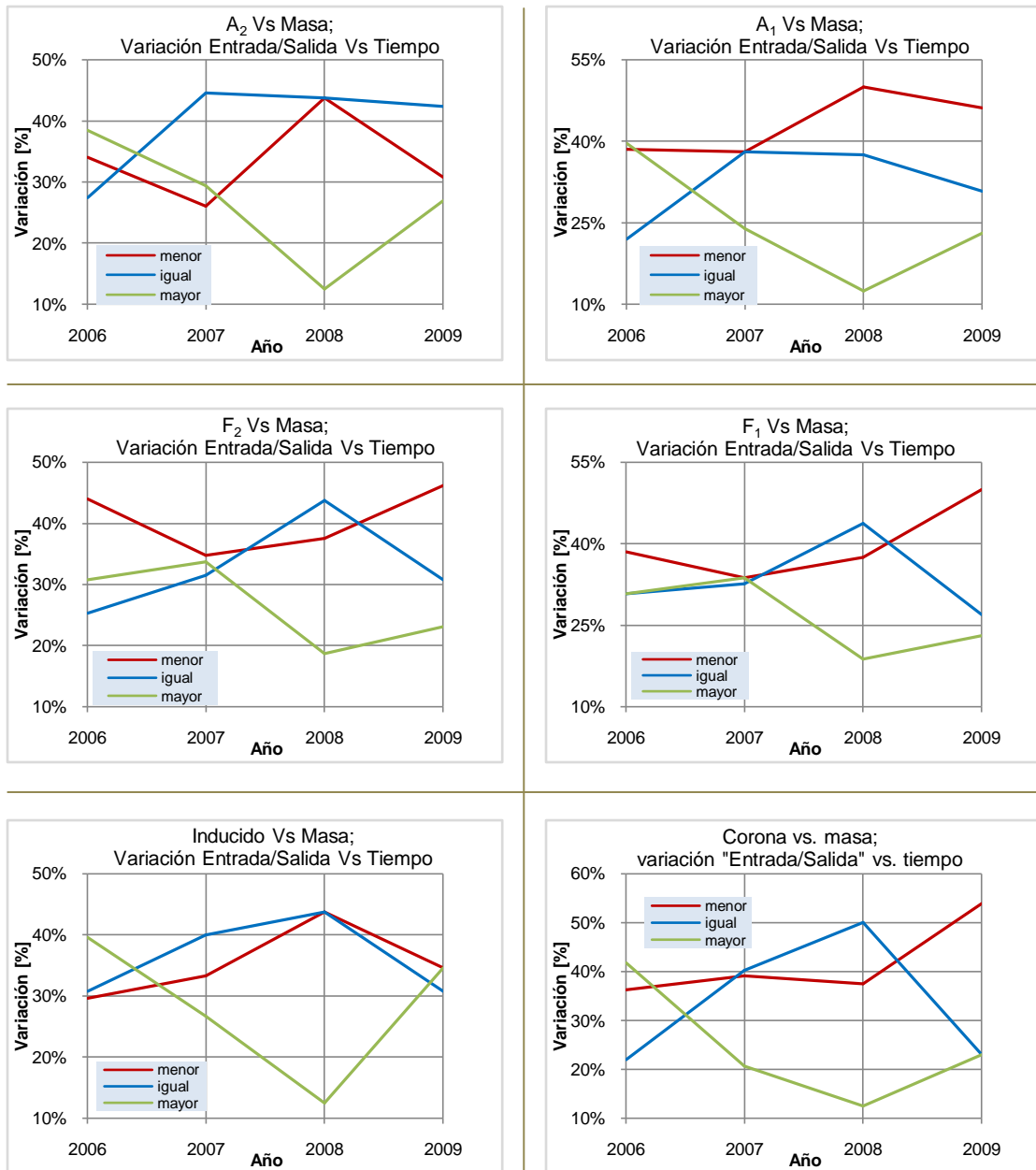


Gráfico 6.10: Variación IR en bobinas de motor tracción 2^{da}. [Fuente: el autor]

En general para esta generación de motores, el comportamiento que presentan las tendencias de variación positiva, negativa y variación nula, son completamente dispersas, ninguna es igual o semejante a las demás, según se observa en el gráfico 6.11, a excepción de los puntos F₁ y F₂. Lo que sí es recurrente en éste último gráfico 6.10 es el hecho de que la variación positiva fue decreciendo desde el

comienzo de las tomas de valores IR en motores, en el año 2008 comienza a aumentar el número de elementos que aumentan sus niveles de aislamiento luego de ser intervenidos.

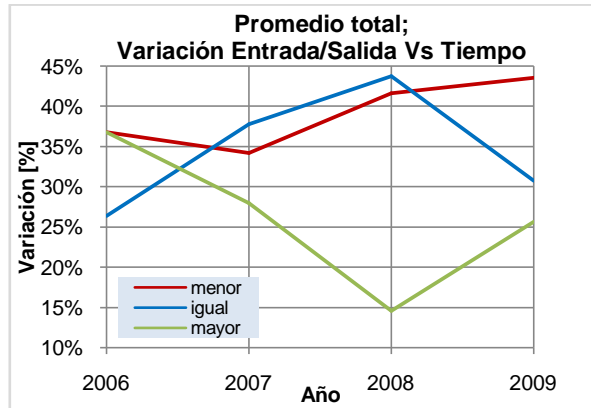


Gráfico 6.11: Promedio total por año motor de 2^{da} generación. [Fuente: el autor]

Al analizar sobre los resultados obtenidos anteriormente, sólo para el inducido del motor, se observa la distribución de casos al clasificarlo según los valores de IR recomendados por las normas del Metro de Caracas (tabla 6.2 y 6.3).

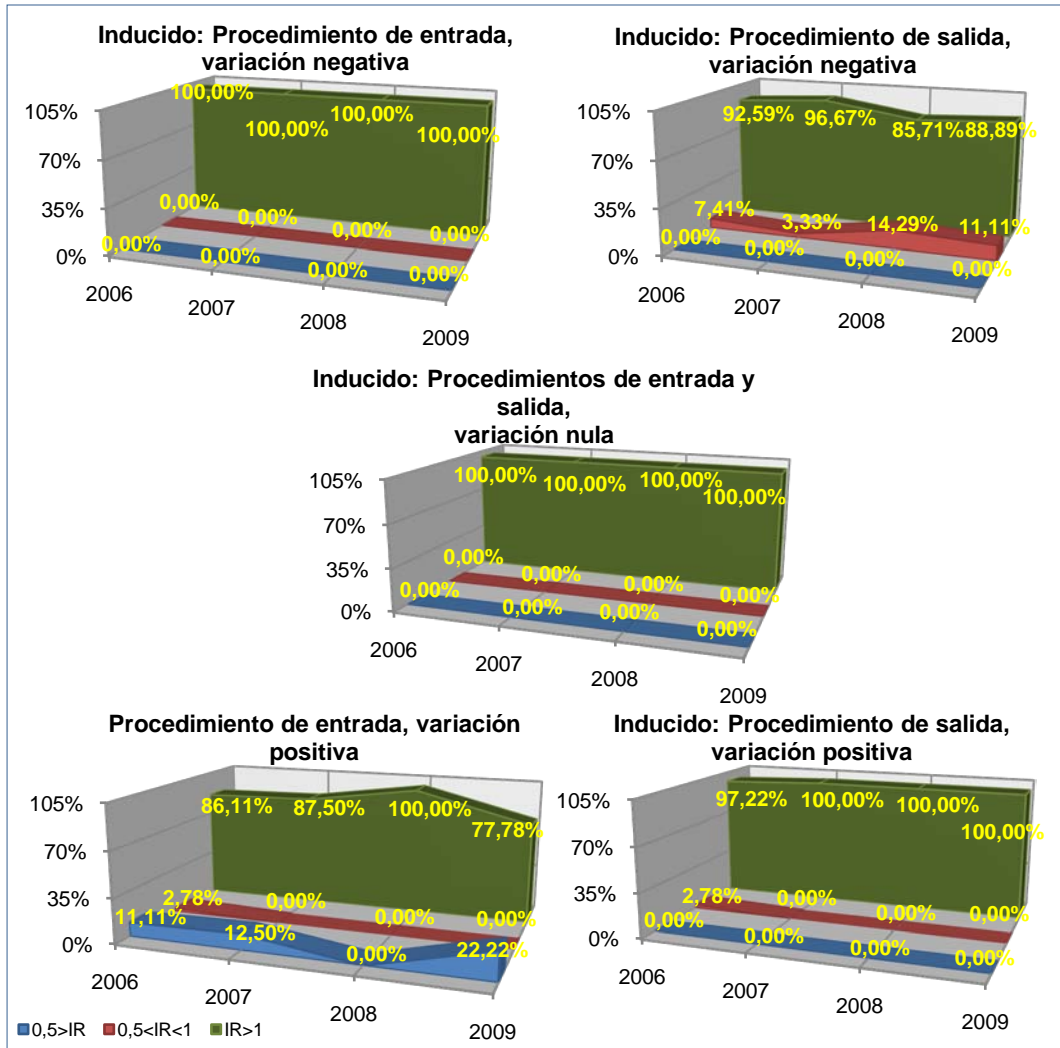


Gráfico 6.12: Variación inducido motor 2^{da} generación; por procedimiento, variación y año. [Fuente: el autor]

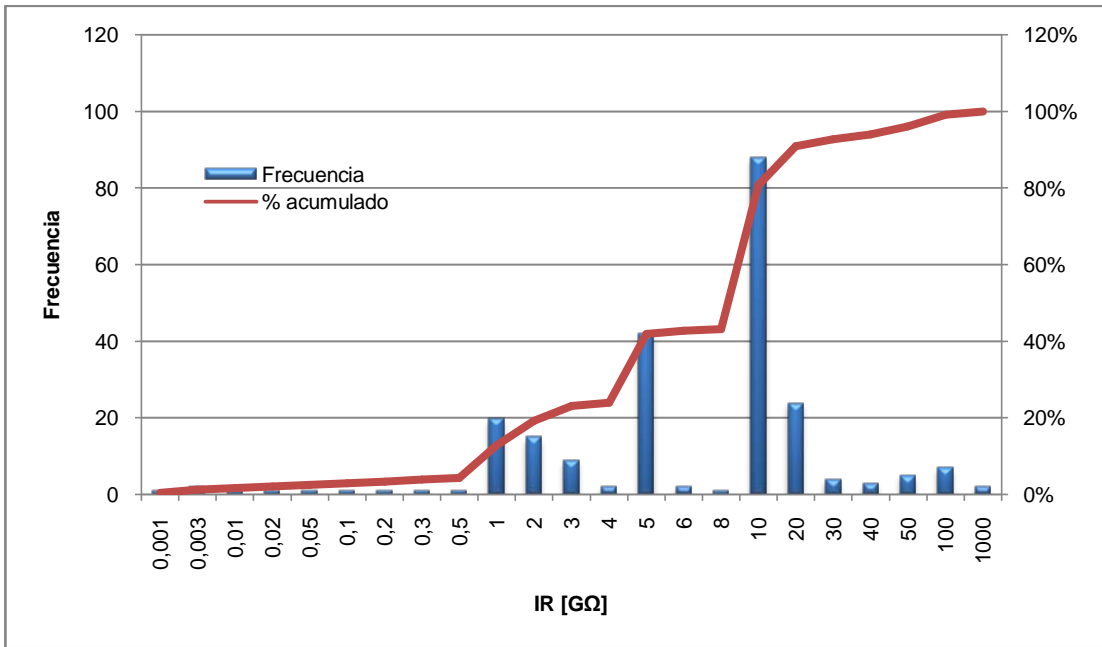


Gráfico 6.13: Pareto de valores IR del inducido motor de 2^{da} generación, en procedimientos de entrada. [Fuente: el autor]

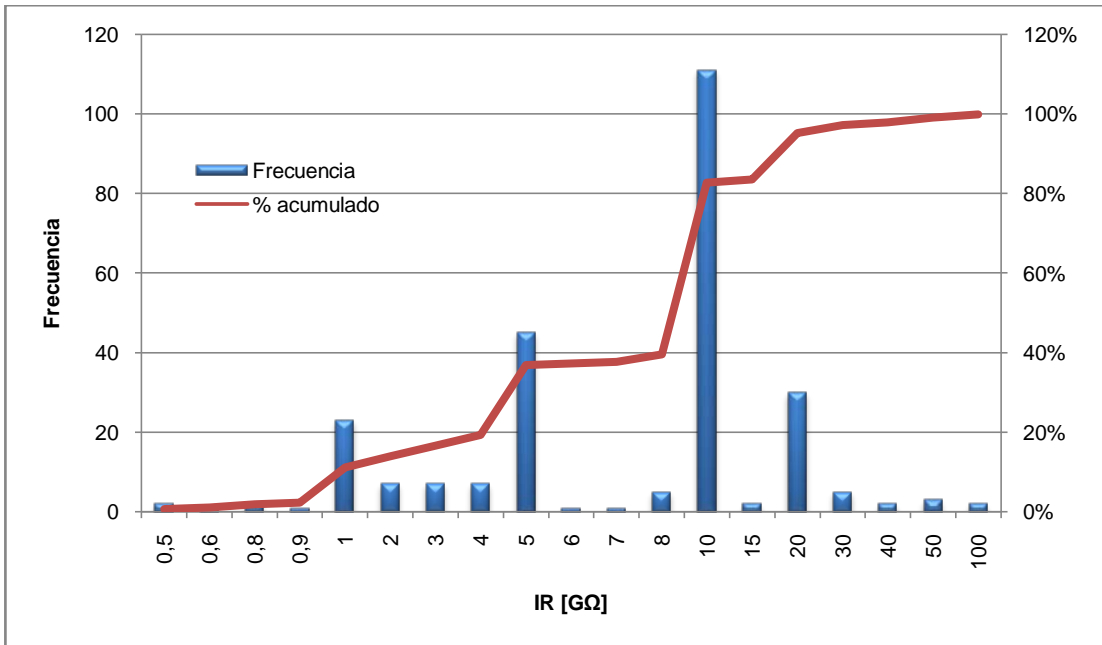


Gráfico 6.14: Pareto de valores IR del inducido motor de 2^{da} generación, en procedimientos de salida. [Fuente: el autor]

Del gráfico 6.12 se observa como para variaciones nulas, el 100% de los valores de IR de entrada y de salida son superiores a $0,5 \text{ } \Omega$. Cuando se tiene variaciones positivas en los niveles de entrada existe un importante porcentaje de inducidos (alrededor del 10 al 20%) que entran dentro de la categoría que la empresa CAMETRO cataloga como elementos a los que se le debe hacer seguimiento cuidadoso por presentar bajo aislamiento, todos estos elementos que se describen salen por completo con niveles superiores a $1 \text{ } \Omega$; en el caso donde se observa una tendencia preocupante es cuando se obtienen variaciones negativas, en ellas el 100% de los elementos entran con niveles superiores al $1 \text{ } \Omega$ y en estos últimos dos años (2008 y 2009) han salido menos del 90% con nivel igual o superior, aunque no hayan salido con valores inferiores a los $500 \text{ } \Omega$, este particular hace necesario tomar acciones que permitan identificar claramente las causas de este problema y proponer propuestas validas para su solución.

Las gráficas 6.13 y 6.14, nos muestran algo de lo comentado en el párrafo anterior, donde se observa como a la entrada se tiene niveles de IR de hasta $0,5 \text{ } \Omega$ con un porcentaje acumulado de 4% aproximadamente y de $1 \text{ } \Omega$ con un 12% acumulado y niveles de aislamiento de hasta $1000 \text{ } \Omega$, en la salida si bien se observa como en $0,5 \text{ } \Omega$ se tiene un acumulado de menos de 1% y de $1 \text{ } \Omega$ con un 11% acumulado, los niveles de aislamiento no sobrepasan los $100 \text{ } \Omega$. Entre las dos se observa cómo es un hecho común el que los procedimientos con variación positiva, porcentualmente comenzaron y continúan estando por debajo de los procedimientos cuya variación es negativa, siempre con una tendencia de disminución de este valor porcentual, aunque en el año 2009 esto pareciera revertirse ya que se observa un aumento en este particular.

Ahora, se pasa a observar los cambios que experimenta la resistencia de aislamiento en uno de los motores de tracción de segunda generación, específicamente en el motor identificado como MT2-2166 (gráfico 6.15) el cual es el que posee la mayor cantidad de entradas y salidas al taller.

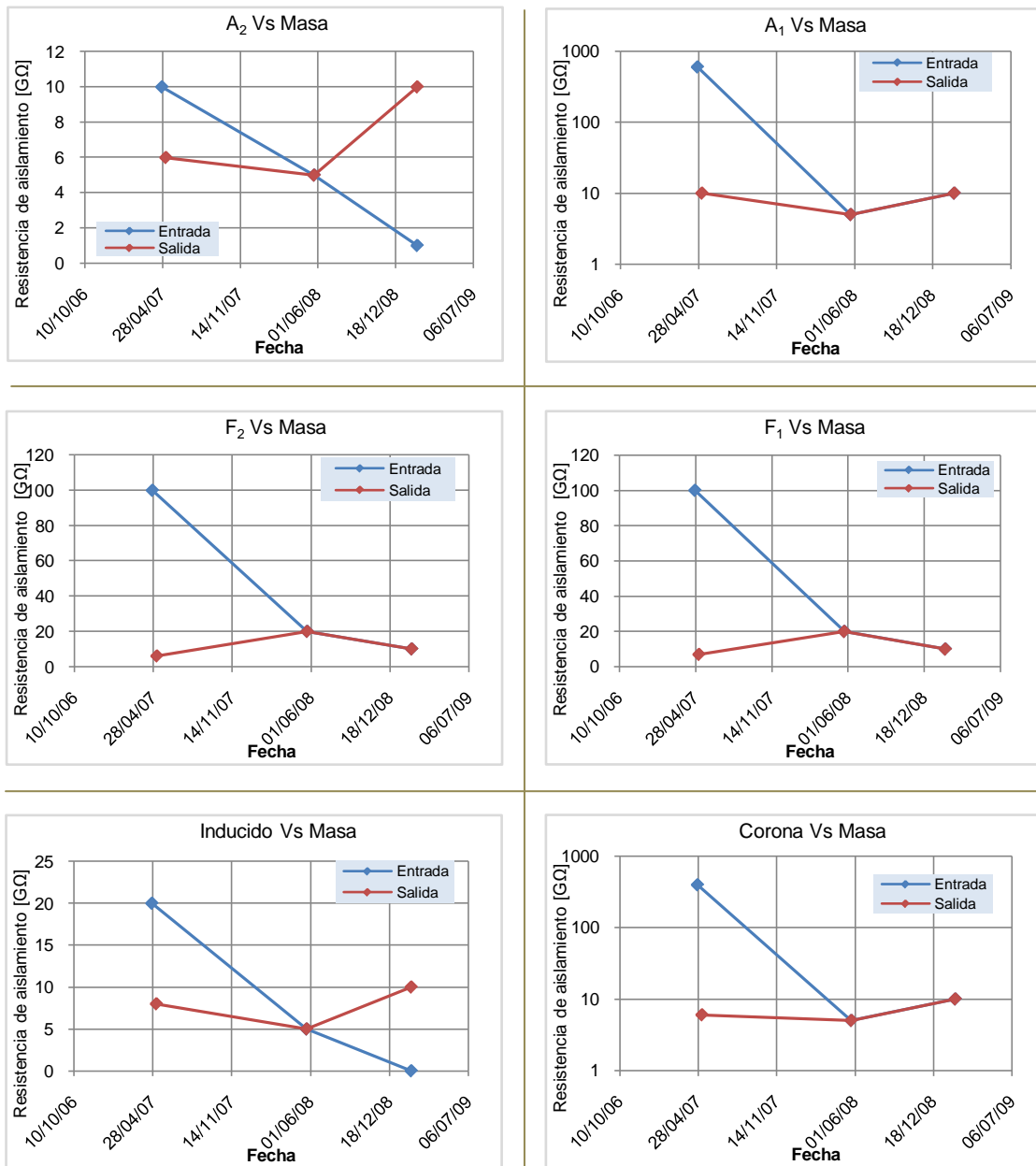


Gráfico 6.15: Variación IR en bobinas de motor MT2-2166. [Fuente: CAMETRO]

Del gráfico 6.15, se observa cómo en cada uno de los elementos, los valores IR con que el motor MT2-2166 entra al taller van disminuyendo y como los valores obtenidos en procedimientos de salida han estado por debajo de los niveles de entrada, es a partir de 2008 que esto deja de ocurrir y comienza a tener los mismos valores de IR en el procedimiento de entrada y de salida, a excepción de A₂ y el inducido los cuales presentaron niveles de aislamiento en la salida superiores a los de

la entrada. Por último se verificó el porcentaje de valores de IR por cada elemento, que se encuentran dentro del rango indicado en es estándar IEEE y dentro del rango indicado en las normas del Metro, para una temperatura de 26°C tal como se realizó para el motor de tracción de 1^{ra} generación.

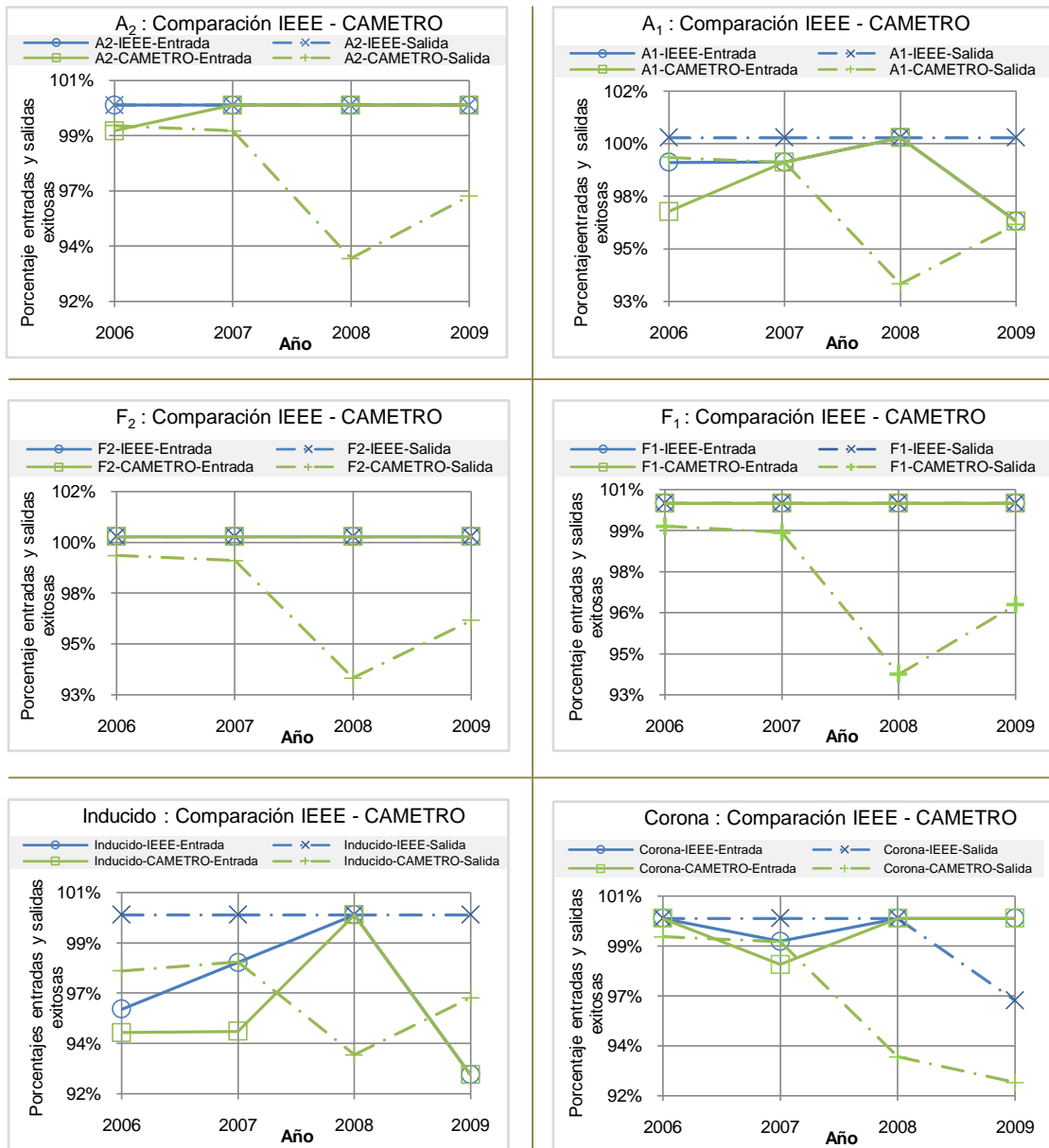


Gráfico 6.16: Comparación IEEE y CAMETRO para bobinas motor de tracción 2^{da} generación. [Fuente: el autor]

En gráfico 6.16, se observa como persiste el comportamiento casi caótico de los resultados al compararlos con los obtenidos al analizarlos utilizando la teoría de la variación porcentual, más específicamente en el punto A_1 , en la corona y en el inducido del motor, aun así se puede apreciar como en A_1 , F_1 y en F_2 los valores de IR obtenidos a lo largo del tiempo en procedimientos de entrada son superiores a los logrados a la salida aunque por un margen muy estrecho que no llega a ser superior al 5% y es sólo superado por lo obtenido en el año 2009 en la corona donde la diferencia supera el 7%. Aun así y comparándolos con los resultados obtenidos en el mismo análisis hecho a los motores de primera generación, se aprecia que el porcentaje de elementos que salen por año con un nivel superior al indicado por la norma IEEE, presenta una tendencia similar y con una diferencia de pocos puntos porcentuales con el porcentaje por año de elementos que salen con aislamiento superior al valor indicado por las normas del Metro.

Es importante señalar que de este análisis realizado a este tipo de motor, se logra observar como para los elementos A_2 , A_1 y F_1 , el porcentaje de procedimientos de salida en donde el nivel de IR supera los valores recomendados por ambas normas, es inferior al de la entrada, no así el punto A_1 y al inducido donde ocurre lo contrario, exceptuando al año 2008.

6.3. Resultados de valores IR en GMA de 1^{ra}.

Se presenta a continuación el estudio realizado a los datos de resistencia de aislamiento de los GMA de 1^{ra} generación tecnológica, recolectados en las mediciones hechas en taller desde finales de enero de 2003 hasta la primera quincena de agosto de 2009, en los talleres de la compañía Metro de Caracas.

Estos valores también se han estado tomado obviando la temperatura que poseían las bobinas en el momento de la medición, por tal razón se tomará las mismas consideraciones hechas para los motores de 1^{ra} y 2^{da} generación.

6.3.1. Frecuencias de entradas y salidas al taller, de GMA de 1^{ra}.

Las tablas 6.17 y 6.18 muestran la distribución de entradas y salidas de esta generación de GMA, las tablas 6.19 y 6.20 nos indican las cantidades de motores discriminados por el número de entradas y salidas.

Tabla 6.17: Frecuencia de entrada al taller de GMA de 1^{ra} generación.
[Fuente: CAMETRO]

| # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas |
|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|
| 145 | 3 | 92 | 2 | 218 | 2 | 274 | 2 |
| 276 | 3 | 93 | 2 | 219 | 2 | 282 | 2 |
| 376 | 3 | 99 | 2 | 222 | 2 | 283 | 2 |
| 23 | 2 | 106 | 2 | 223 | 2 | 301 | 2 |
| 25 | 2 | 113 | 2 | 225 | 2 | 321 | 2 |
| 26 | 2 | 164 | 2 | 228 | 2 | 314 | 2 |
| 36 | 2 | 178 | 2 | 239 | 2 | 361 | 2 |
| 49 | 2 | 185 | 2 | 243 | 2 | | |
| 58 | 2 | 211 | 2 | 265 | 2 | | |

Tabla 6.18: Frecuencia de salida al taller de GMA de 1^{ra} generación.
[Fuente: CAMETRO]

| # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas |
|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| 7 | 4 | 4 | 2 | 131 | 2 | 248 | 2 |
| 81 | 4 | 20 | 2 | 132 | 2 | 256 | 2 |
| 361 | 4 | 23 | 2 | 139 | 2 | 264 | 2 |
| 376 | 4 | 25 | 2 | 164 | 2 | 276 | 2 |
| 10 | 3 | 26 | 2 | 165 | 2 | 279 | 2 |
| 99 | 3 | 36 | 2 | 171 | 2 | 294 | 2 |
| 145 | 3 | 62 | 2 | 192 | 2 | 301 | 2 |
| 189 | 3 | 66 | 2 | 193 | 2 | 314 | 2 |
| 211 | 3 | 79 | 2 | 198 | 2 | 320 | 2 |
| 223 | 3 | 80 | 2 | 203 | 2 | 331 | 2 |
| 265 | 3 | 92 | 2 | 207 | 2 | 353 | 2 |
| 283 | 3 | 93 | 2 | 219 | 2 | 371 | 2 |
| 321 | 3 | 113 | 2 | 243 | 2 | | |

Los GMA que no aparecen en las tablas anteriores poseen una o ninguna entrada o salida en el taller. Dentro de los procedimientos que se les realiza a los GMA de 1^{ra} generación como a los de 2^{da} generación, existe un procedimiento

llamado de “Entrada/Salida”, dichas intervenciones se obviarán para GMA de 1^{ra}, en futuros análisis dentro de este trabajo.

Tabla 6.19: Entrada y salida de GMA 1^{ra}. [Fuente: CAMETRO]

| No. de motores por número de entradas | | | No. de motores por número de salidas | | |
|---------------------------------------|---------|-------------|--------------------------------------|---------|-------------|
| Entradas | Motores | % del total | Salidas | Motores | % del total |
| 0 | 214 | 54,18% | 0 | 193 | 48,86% |
| 1 | 147 | 37,22% | 1 | 151 | 38,23% |
| 2 | 31 | 7,85% | 2 | 38 | 9,62% |
| 3 | 3 | 0,76% | 3 | 9 | 2,28% |
| 4 | 0 | 0,00% | 4 | 4 | 1,01% |
| Total | 395 | 100,00% | Total | 395 | 100,00% |

Tabla 6.20: “Entrada/Salida” de GMA 1^{ra}. [Fuente: CAMETRO]

| No. de motores por número de entradas | | |
|---------------------------------------|---------|-------------|
| Entradas | Motores | % del total |
| 0 | 381 | 96,46% |
| 1 | 13 | 3,29% |
| 2 | 1 | 0,25% |
| 3 | 0 | 0,00% |
| 4 | 0 | 0,00% |
| Total | 395 | 100,00% |

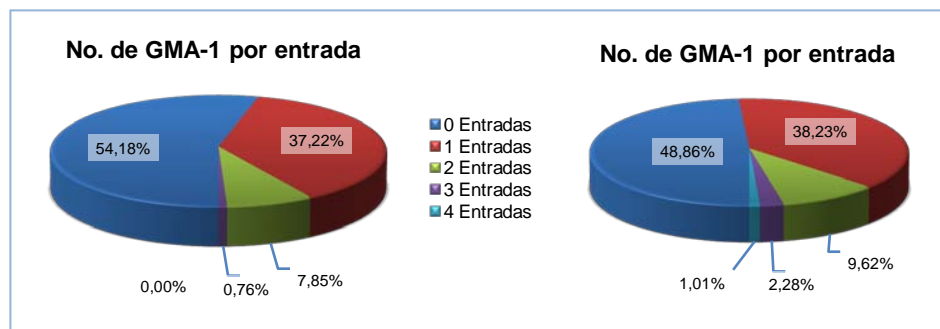


Gráfico 6.17: Entradas y salidas de GMA 1^{ra}, en taller. [Fuente: CAMETRO]

La totalidad de procesos de entrada y de salida realizados en el taller a los GMA de 1^{ra} generación, en el intervalo de tiempo indicado con anterioridad y divididos por años se indican en la tabla 6.21.

Tabla 6.21: Procedimientos por año GMA 1^{ra}. [Fuente: CAMETRO]

| Año 2003 | | | Año 2004 | | |
|----------------------|------------------|----------|----------------------|------------------|----------|
| <i>Procedimiento</i> | <i># Motores</i> | <i>%</i> | <i>Procedimiento</i> | <i># Motores</i> | <i>%</i> |
| Entrada | 1 | 100,00% | Entrada | 1 | 100,00% |
| Entrada/Salida | 0 | 0,00% | Entrada/Salida | 0 | 0,00% |
| Salida | 0 | 0,00% | Salida | 0 | 0,00% |
| Total | 1 | 100,00% | Total | 1 | 100,00% |

| Año 2005 | | | Año 2006 | | |
|----------------------|------------------|----------|----------------------|------------------|----------|
| <i>Procedimiento</i> | <i># Motores</i> | <i>%</i> | <i>Procedimiento</i> | <i># Motores</i> | <i>%</i> |
| Entrada | 5 | 20,83% | Entrada | 54 | 44,26% |
| Entrada/Salida | 1 | 4,17% | Entrada/Salida | 8 | 6,56% |
| Salida | 18 | 75,00% | Salida | 60 | 49,18% |
| Total | 24 | 100,00% | Total | 122 | 100,00% |

| Año 2007 | | | Año 2008 | | |
|----------------------|------------------|----------|----------------------|------------------|----------|
| <i>Procedimiento</i> | <i># Motores</i> | <i>%</i> | <i>Procedimiento</i> | <i># Motores</i> | <i>%</i> |
| Entrada | 49 | 46,67% | Entrada | 83 | 42,13% |
| Entrada/Salida | 2 | 1,90% | Entrada/Salida | 2 | 1,02% |
| Salida | 54 | 51,43% | Salida | 112 | 56,85% |
| Total | 105 | 100,00% | Total | 197 | 100,00% |

| Año 2009 | | |
|----------------------|------------------|----------|
| <i>Procedimiento</i> | <i># Motores</i> | <i>%</i> |
| Entrada | 25 | 47,17% |
| Entrada/Salida | 2 | 3,77% |
| Salida | 26 | 49,06% |
| Total | 53 | 100,00% |

6.3.2. Variación en valores de IR en GMA de 1^{da} generación.

Usando el concepto aplicado el punto 6.1.2 de variación porcentual, específicamente utilizando la ecuación 6.1; pero aplicándolo a los GMA de 1^{ra} generación.

Tabla 6.22: Procedimiento de “Entrada/Salida” de GMA 1^{ra}, por elemento y año. [Fuente: CAMETRO]

| Año | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Excitatriz | 1-2 | 5 | 46 | 39 | 54 | 22 |
| | 3-6 | 5 | 46 | 39 | 54 | 22 |
| | 4-7 | 5 | 46 | 39 | 54 | 22 |
| Motor DC | Shunt | 5 | 46 | 39 | 55 | 22 |
| | Armadura | 5 | 47 | 39 | 54 | 22 |
| Alternador | Rueda polar | 0 | 0 | 3 | 34 | 18 |
| | U-N | 5 | 45 | 38 | 54 | 21 |
| | V-N | 5 | 45 | 38 | 54 | 21 |
| | W-N | 5 | 45 | 38 | 54 | 21 |

Se consideró conveniente reunir los resultados obtenidos por los elementos que conforman cada una de las máquinas que a su vez forman al GMA de 1^{ra}, es decir: para la excitatriz se promediará los resultados por año de sus salidas 1-2, 3-6 y 4-7; del motor DC se promediarán los resultados de los valores de las bobinas de armadura y Shunt, del alternador se promediarán los resultados obtenidos de sus salidas U, V y W mas no de la rueda polar. Este procedimiento de promediar resultados por año entre distintas bobinas de una misma máquina del GMA se realizará dado a que sus valores porcentuales son prácticamente los mismos (ver anexos N° 4), por tal razón no se promediará los resultados de la rueda polar del alternador junto a los valores que presentan sus salidas, ya que al no tener valores similares no se visualizaría posibles problemas o incertidumbres de estas.

En la mayoría de los procedimientos de entrada y salida hechos al GMA, se realizaron con un intervalo de diferencia de menos de un año, salvo algunas excepciones (tabla 6.23), en donde la fecha de intervención de entrada y de salida presentan una diferencia de más de un año, en esos casos se dividió el procedimiento en sí, es decir, se trajo el procedimiento de salida al año en donde ocurrió el procedimiento de entrada y viceversa. Este mismo modo se realizó para los GMA cuyos procedimientos de entrada se llevaron a cabo en los meses finales de un año en particular y que sus respectivos procedimientos de salida se realizaron en el siguiente año de los mismos. La cantidad de procesos de “entrada/salida” a las que se les hizo esta adaptación fueron en total 18, que representan casi el 10% de todos los procedimientos de esta naturaleza.

Tabla 6.23: Diferencia en tiempo (mayor a 365 días) entre procedimientos de entrada y de salida en GMA de 1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

| No. de GMA | Diferencia en días | Diferencia en años |
|------------|--------------------|--------------------|
| GMA1-349 | 889 | 2,44 |
| GMA1-130 | 417 | 1,14 |
| GMA1-308 | 399 | 1,09 |
| GMA1-304 | 379 | 1,04 |

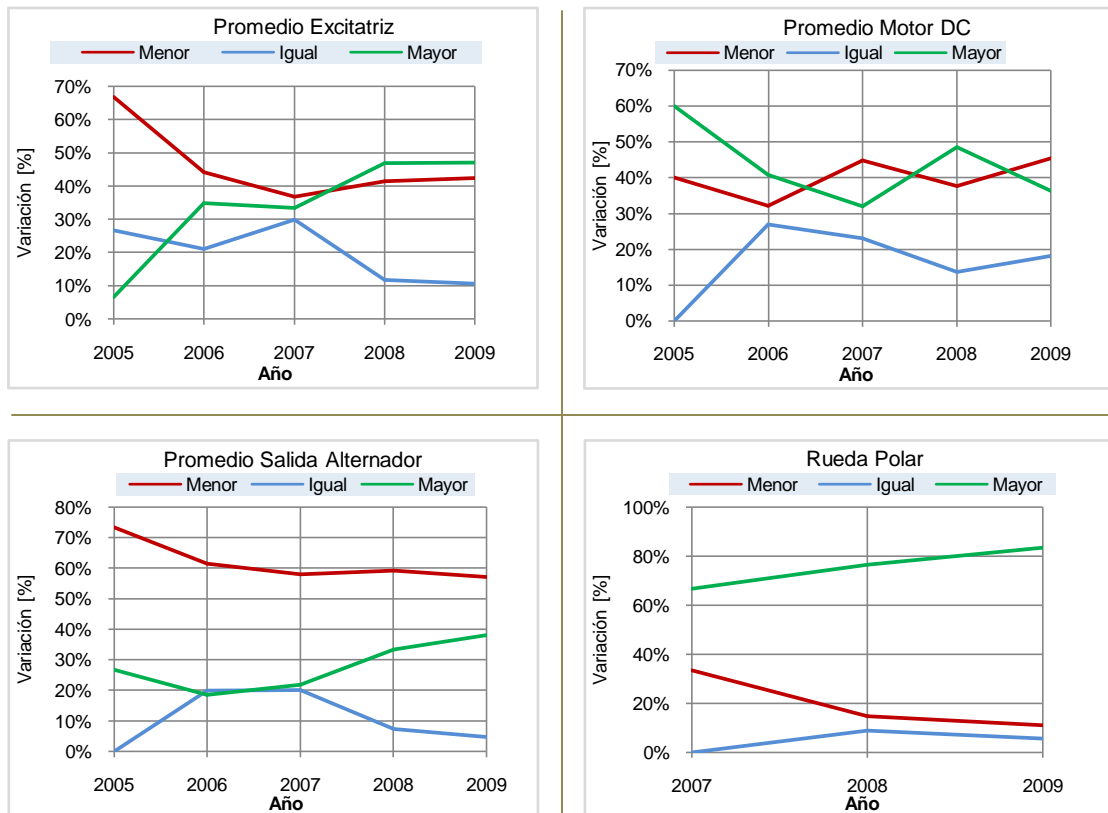


Gráfico 6.18: Variación promedio por máquinas del GMA-1. [Fuente: el autor]

Del gráfico 6.18 se observa como las intervenciones con variación positiva, realizadas a la excitatriz y al alternador (rueda polar y bobinas de salidas) de esta tecnología de GMA, presenta una tendencia creciente, aún cuando existan casos donde la cantidad de elementos que salen con niveles de aislamiento inferiores a como entraron, la brecha existente entre el número de salidas no exitosas contra las salidas satisfactorias, ha ido disminuyendo el transcurso de los años.

Para el motor DC que conforma al GMA 1^{ra}, los resultados no son del todo satisfactorio puesto que la cantidad de procedimientos en los cuales ha disminuido el nivel de aislamiento han tenido una relativa tendencia al aumento, caso contrario a lo observado en los procedimientos donde se obtienen una renovación del nivel IR de las bobinas del motor DC.

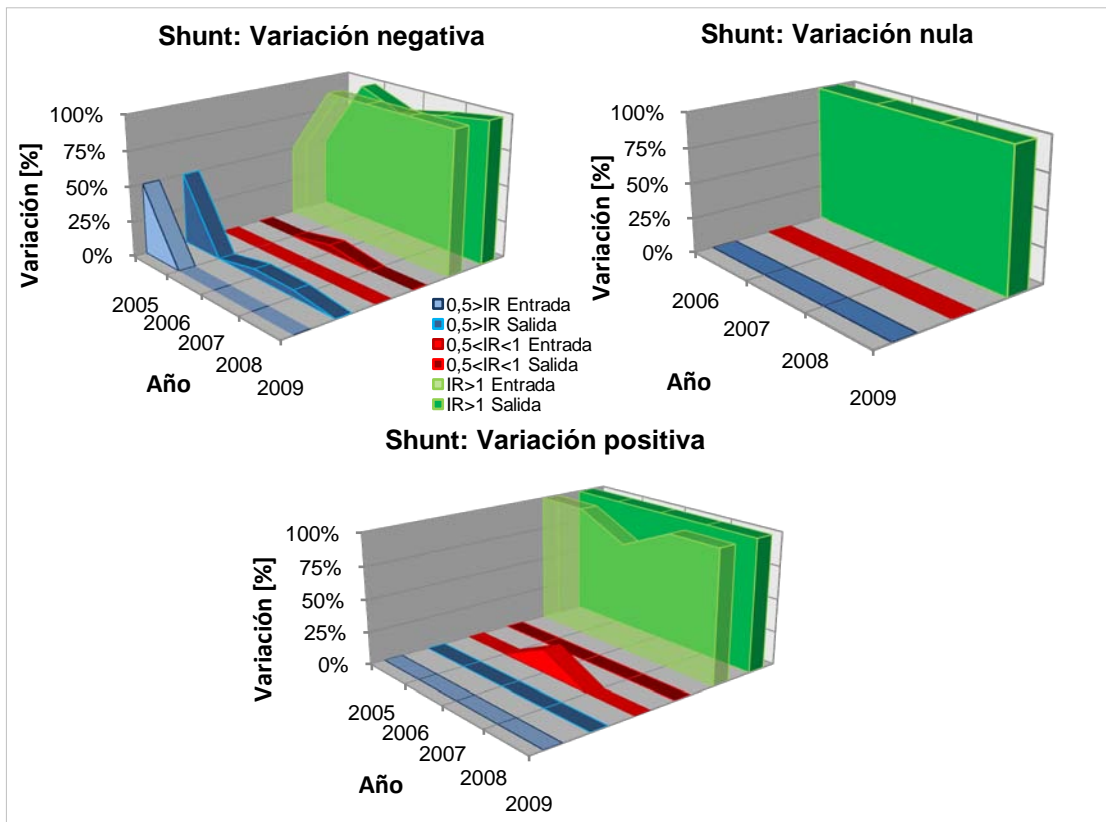


Gráfico 6.19: Variación bobina Shunt del GMA 1^{ra} generación; por procedimiento, variación y año [Fuente: el autor]

Del gráfico 6.19 se observa como para cualquier tipo de variación, positiva, nula o negativa, los niveles de aislamiento para la bobina Shunt no presentan debilidades en ninguno de los años considerados, únicamente en el año 2005 y 2007 para variaciones negativa y positiva respectivamente, pero se observa como mas del 95% de los casos los valores de salida los valores obtenidos superan al valor recomendando en los manuales de la compañía CAMETRO.

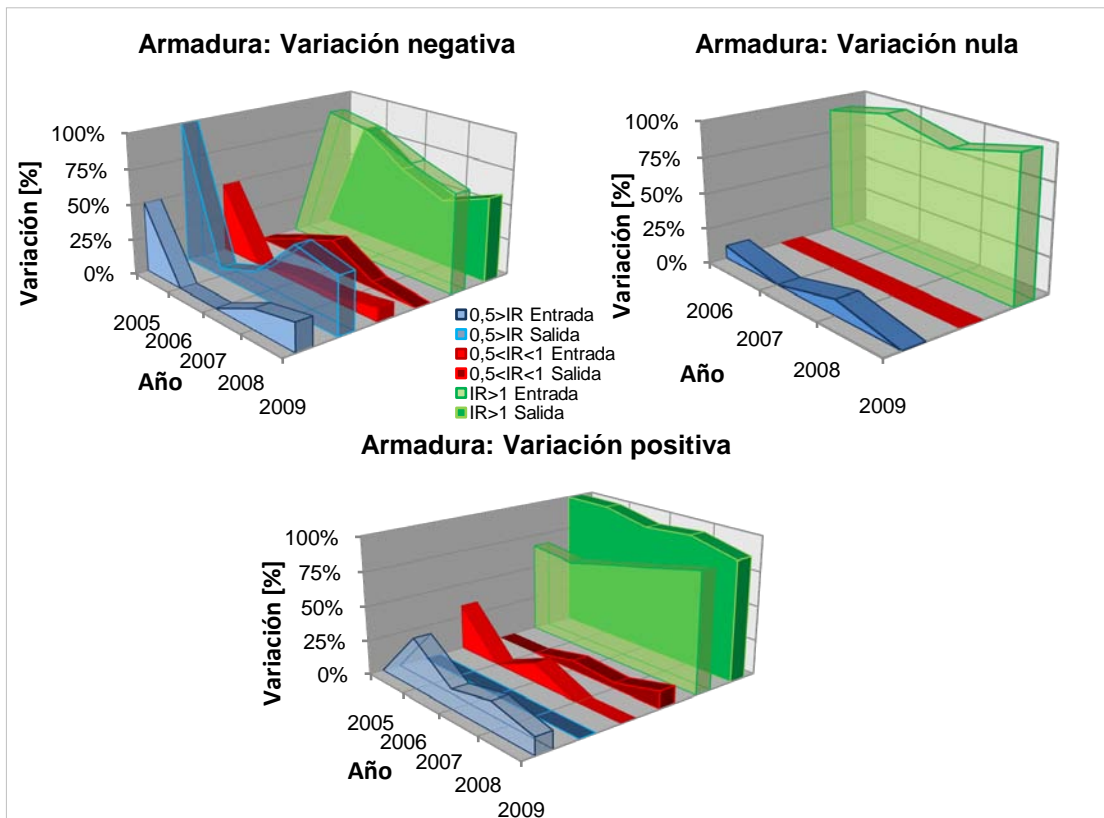


Gráfico 6.20: Variación armadura del GMA 1^{ra} generación; por procedimiento, variación y año [Fuente: el autor]

En el gráfico 6.20 se observa una situación completamente distinta al gráfico 6.19, en ella se observa que para variaciones nulas no existe problemas evidentes, puesto que entran casi un 90% de los casos con niveles óptimos de aislamientos los cuales se conservan a la hora de la salida de la intervención; para variaciones positivas se empieza a observar un leve decaimiento en el porcentaje de elementos que salen con un nivel de aislamiento recomendado por la empresa pasando de un 100% de los casos en el año 2005 a un 80% de los casos para el último año evaluado como lo es el 2009; finalmente para variaciones negativas ocurre algo alarmante, el porcentaje de elementos que entran y que salen con un nivel por debajo al recomendado, ha ido aumentando constantemente desde el año 2007, llegando a casi al 40% de los casos, y luego de venir en claro descenso desde el 2005.

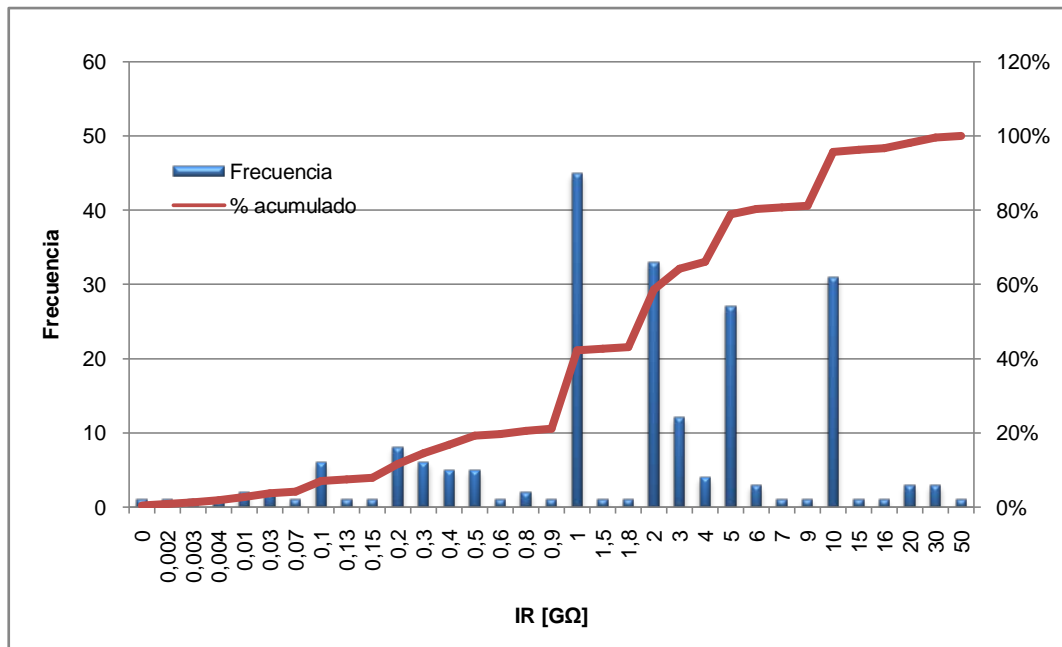


Gráfico 6.21: Pareto de valores IR de armadura del GMA 1^{ra} generación, en procedimientos de entrada. [Fuente: el autor]

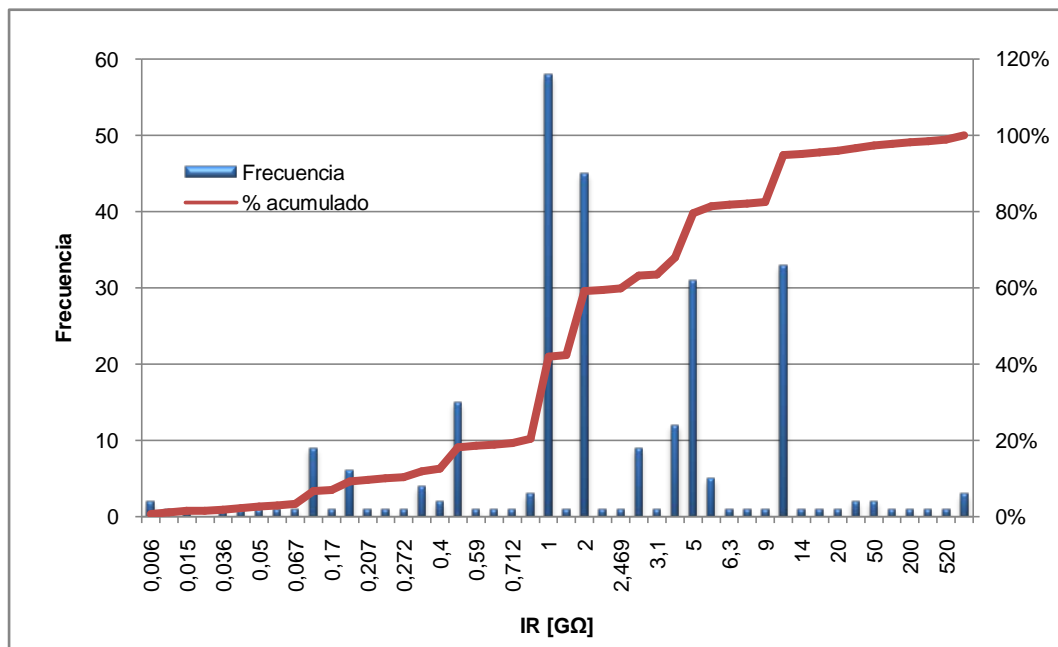


Gráfico 6.22: Pareto de valores IR de armadura del GMA 1^{ra} generación, en procedimientos de salida. [Fuente: el autor]

En los gráficos 6.21 y 6.22, se observa cierta similitud entre los valores obtenidos en la entrada y los valores obtenidos a la salida en la armadura del motor DC del GMA 1^{ra} generación, sólo hasta valores de IR igual a 1 GΩ teniendo un porcentaje acumulado de aproximadamente 40%, sobrepasado este valor, los datos restantes (aproximadamente 60% en valores de entrada y salida), se distribuyen entre 1 GΩ y 50 GΩ para la entrada y 1 GΩ e infinito para la salida, esto refuerza la idea de que no necesariamente existió una mejora en los niveles de aislamiento para este elemento.

Ahora, para conocer la variación de la totalidad del procedimiento “entrada/salida”, se promedia por año los resultados porcentuales de los tres grupos considerados (gráfico 6.23).

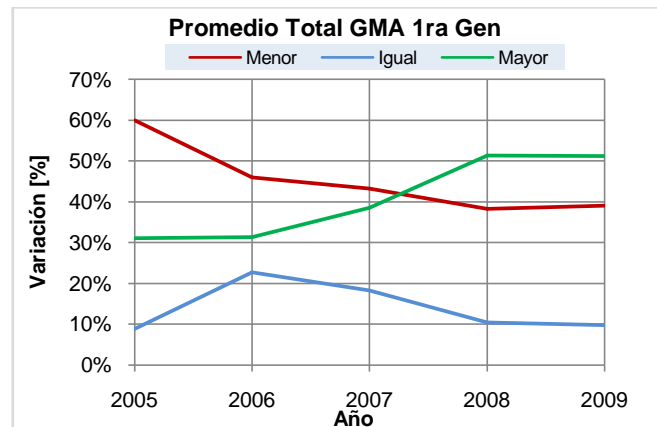


Gráfico 6.23: Promedio variación total por año GMA 1^{ra} generación [Fuente: el autor]

Ahora, se pasa a observar los cambios que experimenta la resistencia de aislamiento en los elementos que conforman al GMA de 1^{ra} generación con más cantidad de entradas y salidas al taller, este GMA es el identificado como GMA1-376.

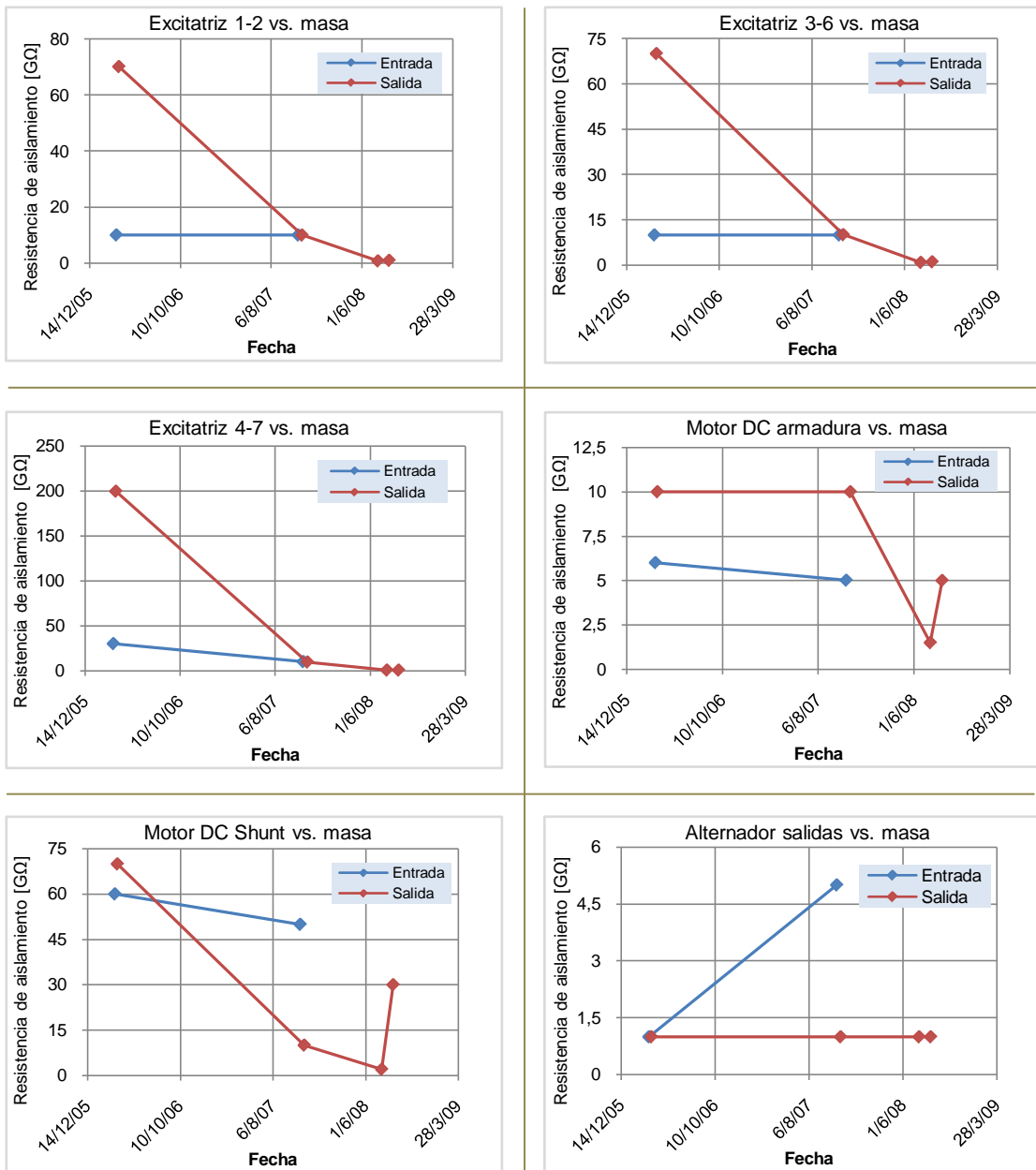


Gráfico 6.24: Variación IR bobinas de GMA1-376. [Fuente: CAMETRO]

Del gráfico 6.24 se observa cómo los niveles IR van disminuyendo en cada uno de los elementos del GMA, exceptuando la salida del alternador que ha aumentado su valor de aislamiento en los procedimientos de entrada y ha mantenido su valor de aislamiento en los de salida, también se puede ver el pequeño repunte que

aparece en el valor de aislamiento del motor DC ocurrido en la última intervención hecha a este GMA.

Por último, se verificó el porcentaje de valores de IR, por elemento, que se encuentran dentro del rango indicado por la norma IEEE 43-2000 y dentro del rango indicado en las normas del Metro, conociendo la cantidad de procedimientos de entrada y de salida por elemento y año (tabla 6.24).

Tabla 6.24: Procedimientos de entrada y de salida GMA 1^{ra}. [Fuente: CAMETRO]

| Año | Excitatriz | | | Motor DC | | Alternador | | | |
|------|------------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|----------|
| | 1-2 | 3-6 | 4-7 | 2-3 | A1-F2 | Rueda Polar | U-N | V-N | W-N |
| 2005 | 5 / 18 | 5 / 18 | 5 / 16 | 5 / 18 | 5 / 18 | 0 / 1 | 5 / 18 | 5 / 18 | 5 / 18 |
| 2006 | 54 / 60 | 54 / 60 | 54 / 59 | 54 / 60 | 54 / 60 | 3 / 4 | 52 / 60 | 52 / 60 | 52 / 60 |
| 2007 | 49 / 54 | 49 / 54 | 49 / 54 | 46 / 54 | 45 / 54 | 13 / 19 | 49 / 53 | 49 / 53 | 49 / 53 |
| 2008 | 81 / 112 | 81 / 112 | 81 / 112 | 82 / 112 | 82 / 111 | 70 / 89 | 82 / 112 | 82 / 112 | 82 / 112 |
| 2009 | 24 / 26 | 24 / 26 | 24 / 26 | 25 / 26 | 25 / 26 | 23 / 25 | 24 / 26 | 24 / 26 | 24 / 26 |

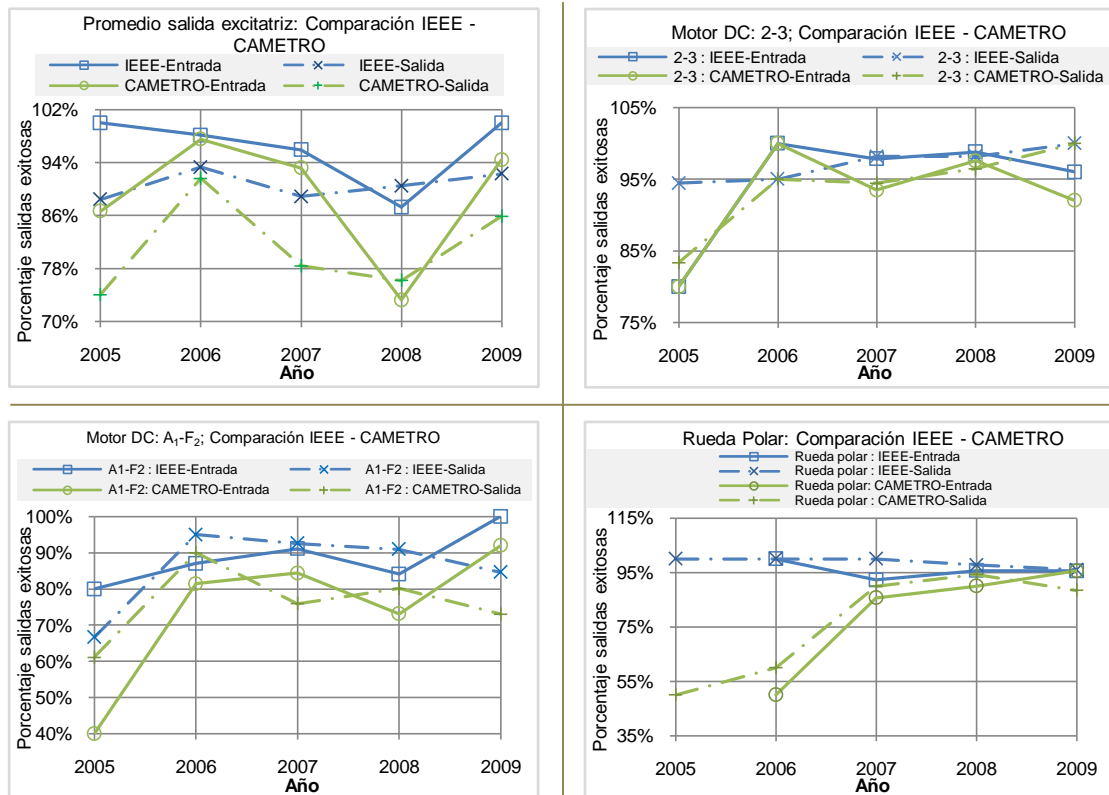


Gráfico 6.25: Comparación IEEE y CAMETRO en GMA-1. [Fuente: el autor]

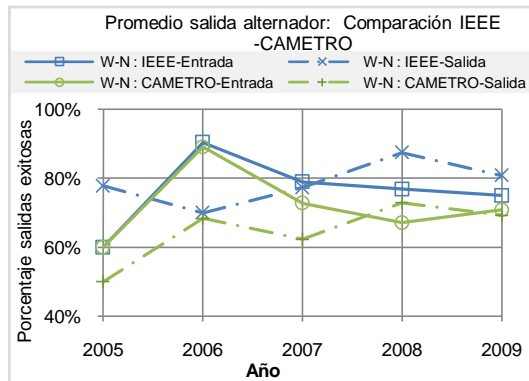


Gráfico 6.26: Comparación IEEE y CAMETRO en GMA-1 (Continuación).
[Fuente: el autor]

De este último análisis a esta tecnología de GMA, se repite lo que en motor de tracción también ocurría, el porcentaje de valores agrupados según el valor recomendado por el estándar IEEE 43-2000, esta siempre por encima del valor indicado por las normativas de la empresa CAMETRO, esta diferencia va desde casos extremos de 40 puntos porcentuales hasta una diferencia prácticamente nula, la diferencia común observada en los gráficos 6.25 y 6.26 es de 5 puntos.

Algo importante se desprende al observar en los últimos gráficos, es que los niveles de aislamiento a la entrada están por encima del valor que presentaba la bobina respectiva al momento de realizársele el procedimiento de salida, esto para los elementos excitatriz salidas 1-2, 3-6 y 4-7 y las bobinas de salida del alternador, aunque para esta última la tendencia ha cambiado los últimos 2 años; los demás elementos como bobina Shunt y armadura del motor DC y rueda polar, no se observa una tendencia clara de que ocurra esto o lo contrario, ya que las diferencias existentes entre ambos resultados son mínimos. En general se puede afirmar que todos estos resultados, en todos los elementos involucrados, no se observa una predisposición o tendencia a que los resultados a través de los años hayan ido en descenso o en aumento.

6.4. Resultados de valores IR en GMA de 2^{da} generación.

Se presenta a continuación el estudio realizado a los valores IR de los GMA de 2^{da} generación tecnológica, recolectados en las mediciones hechas en taller desde los primeros días de enero de 2005 hasta la primera quincena de agosto de 2009, en los talleres de la compañía Metro de Caracas. Se tomo en cuenta las mismas consideraciones hechas sobre los motores de tracción y sobre el GMA de 1^{ra} generación, sobre la temperatura de las bobinas.

6.4.1. Frecuencias de entradas y salidas al taller, de GMA de 2^{da} generación.

La frecuencias de procedimientos de entrada y salida por año para esta generación de GMA se presenta en las tablas 6.25 y 6.26.

Tabla 6.25: Frecuencia de entrada al taller de GMA de 2^{da} generación.
[Fuente: CAMETRO]

| # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas | # Motor | # Entradas |
|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|
| 73 | 5 | 50 | 3 | 21 | 2 | 61 | 2 |
| 2 | 4 | 60 | 3 | 32 | 2 | 63 | 2 |
| 71 | 4 | 66 | 3 | 33 | 2 | 67 | 2 |
| 5 | 3 | 10 | 2 | 46 | 2 | 69 | 2 |
| 9 | 3 | 16 | 2 | 47 | 2 | 72 | 2 |
| 44 | 3 | 18 | 2 | 58 | 2 | 75 | 2 |

Tabla 6.26: Frecuencia de salida al taller de GMA de 2^{da} generación.
[Fuente: CAMETRO]

| # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas | # Motor | # Salidas |
|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| 73 | 5 | 71 | 3 | 21 | 2 | 58 | 2 |
| 2 | 3 | 3 | 2 | 30 | 2 | 60 | 2 |
| 5 | 3 | 4 | 2 | 46 | 2 | 63 | 2 |
| 44 | 3 | 9 | 2 | 47 | 2 | 67 | 2 |
| 50 | 3 | 14 | 2 | 53 | 2 | 72 | 2 |
| 66 | 3 | 16 | 2 | 54 | 2 | 75 | 2 |
| 69 | 3 | 18 | 2 | 56 | 2 | | |

Los GMA que no aparecen en las tablas anteriores poseen una o ninguna entrada o salida en el taller. De la misma manera como ocurría con los GMA de 1^{ra} generación, dentro de los procedimientos que se llevan a cabo a los GMA existe una intervención llamada de “Entrada/Salida”, dichas intervenciones se obviarán para futuros análisis dentro de este trabajo.

Tabla 6.27: Entrada y salida de GMA 2^{da} generación. [Fuente: CAMETRO]

| No. de motores por número de entradas | | | No. de motores por número de salidas | | |
|---------------------------------------|-----------|-------------|--------------------------------------|-----------|-------------|
| Entradas | # Motores | % del total | Salidas | # Motores | % del total |
| 0 | 19 | 23,46% | 0 | 14 | 17,28% |
| 1 | 38 | 46,91% | 1 | 40 | 49,38% |
| 2 | 15 | 18,52% | 2 | 19 | 23,46% |
| 3 | 6 | 7,41% | 3 | 7 | 8,64% |
| 4 | 2 | 2,47% | 4 | 0 | 0,00% |
| 5 | 1 | 1,23% | 5 | 1 | 1,23% |
| Total | 81 | 100,00% | Total | 81 | 100,00% |

Tabla 6.28: “Entrada/Salida” de GMA 2^{da} generación. [Fuente: CAMETRO]

| No. de motores por número de entradas | | |
|---------------------------------------|-----------|-------------|
| Entradas | # Motores | % del total |
| 0 | 56 | 69,14% |
| 1 | 20 | 24,69% |
| 2 | 5 | 6,17% |
| 3 | 0 | 0,00% |
| 4 | 0 | 0,00% |
| 5 | 0 | 0,00% |
| Total | 81 | 100,00% |

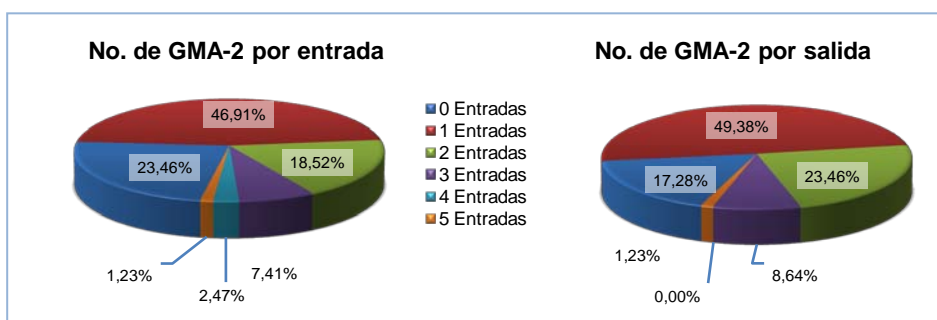


Gráfico 6.27: Entradas y salidas de GMA 2^{da} al taller. [Fuente: CAMETRO]

La totalidad de procesos de entrada y de salida realizados en el taller a los GMA de 2^{da} generación, en el intervalo de tiempo indicado con anterioridad y divididos por años se indican en las siguientes tablas.

Tabla 6.29: Procedimientos por año GMA 2^{da}. [Fuente: CAMETRO]

| Año 2005 | | | Año 2006 | | |
|----------------|-----------|---------|----------------|-----------|---------|
| Procedimiento | # Motores | % | Procedimiento | # Motores | % |
| Entrada | 5 | 38,46% | Entrada | 44 | 44,44% |
| Entrada/Salida | 1 | 7,69% | Entrada/Salida | 10 | 10,10% |
| Salida | 7 | 53,85% | Salida | 45 | 45,45% |
| Total | 13 | 100,00% | Total | 99 | 100,00% |

| Año 2007 | | | Año 2008 | | |
|----------------|-----------|---------|----------------|-----------|---------|
| Procedimiento | # Motores | % | Procedimiento | # Motores | % |
| Entrada | 22 | 45,83% | Entrada | 17 | 36,96% |
| Entrada/Salida | 6 | 12,50% | Entrada/Salida | 7 | 15,22% |
| Salida | 20 | 41,67% | Salida | 22 | 47,83% |
| Total | 48 | 100,00% | Total | 46 | 100,00% |

| Año 2009 | | |
|----------------|-----------|---------|
| Procedimiento | # Motores | % |
| Entrada | 11 | 40,74% |
| Entrada/Salida | 6 | 22,22% |
| Salida | 10 | 37,04% |
| Total | 27 | 100,00% |

6.4.2. Variación en valores de IR en GMA de 2^{da} generación.

Con el mismo concepto del apartado 6.1.2, de variación porcentual en procedimientos de entrada y salida; se filtró los valores IR en este tipo de máquina teniendo en cuenta la cantidad de procedimientos por elemento y año (tabla 6.30).

Tabla 6.30: Procedimiento de “Entrada/Salida” de GMA 2^{da}, por elemento y año. [Fuente: CAMETRO]

| Año | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | |
|------------|----------------------|------|------|------|------|------|----|
| Motor DC | Campo armadura serie | 3 | 39 | 19 | 14 | 10 | |
| | Camp. Shunt | 3 | 39 | 20 | 15 | 10 | |
| Estatodina | Eje Excitación | 1-2 | 3 | 39 | 20 | 15 | 10 |
| | | 1-3 | 3 | 39 | 20 | 15 | 10 |
| | | 2-3 | 3 | 39 | 20 | 15 | 10 |
| | | + - | 3 | 38 | 20 | 15 | 10 |
| | Eje Baterías | 1-2 | 3 | 38 | 20 | 15 | 10 |
| | | 1-3 | 3 | 38 | 20 | 15 | 10 |
| | | 2-3 | 3 | 38 | 20 | 15 | 10 |
| | | + - | 3 | 38 | 20 | 15 | 10 |
| Alternador | Alternador | 2-1 | 3 | 35 | 19 | 14 | 9 |
| | | U-N | 3 | 38 | 20 | 15 | 10 |
| | | V-N | 3 | 38 | 20 | 15 | 10 |
| | | W-N | 3 | 38 | 20 | 15 | 10 |

Como ocurría con los GMA de 1^{ra} generación, la mayoría de los procedimientos de entrada y salida hechos al GMA, se realizaron con un intervalo de diferencia de menos de un año, salvo en algunos casos como se enumerarán en la tabla 6.31.

Tabla 6.31: Diferencia en tiempo (mayor a 365 días) entre procedimientos de entrada y de salida en GMA de 2^{da} generación. [Fuente: el autor]

| No. de GMA | Diferencia en días | Diferencia en años |
|------------|--------------------|--------------------|
| GMA2-32 | 894 | 2,45 |
| GMA2-78 | 564 | 1,55 |
| GMA2-66 | 393 | 1,08 |

Para esta tecnología de GMA se procedió a discriminar según la fecha tal cual se hizo con los GMA de 1^{ra} generación.

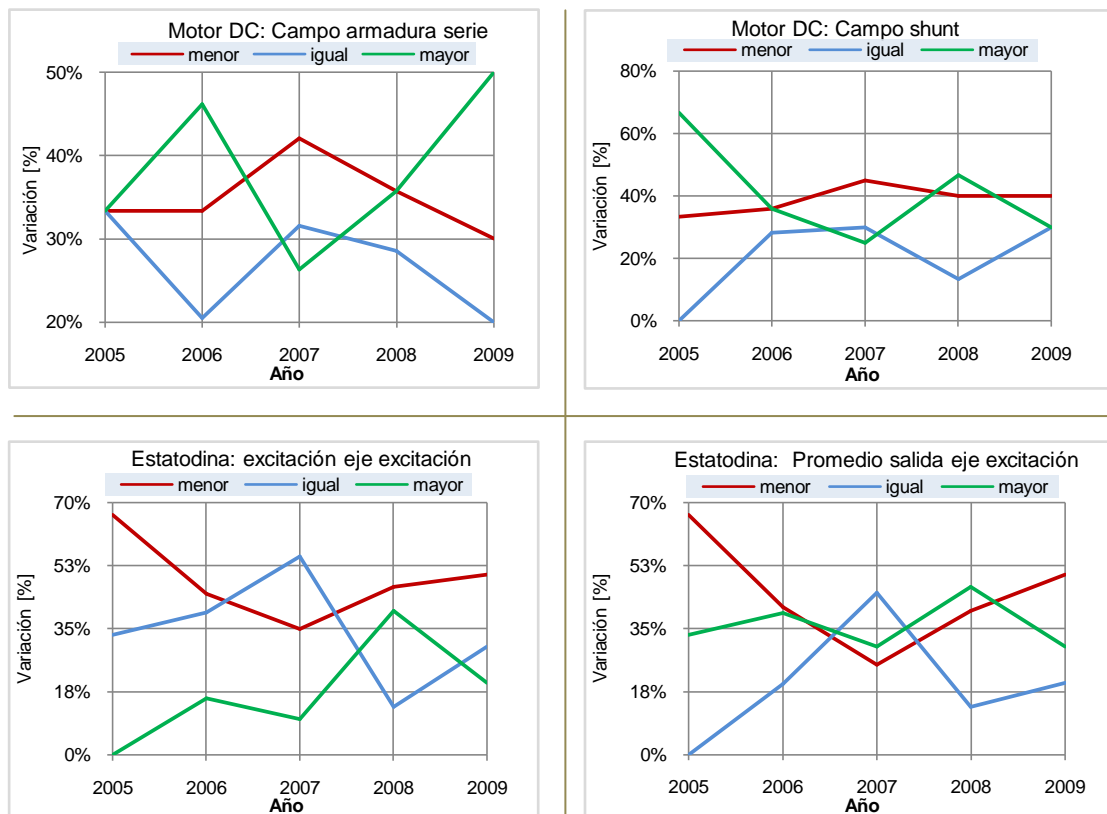


Gráfico 6.28: Variación bobinas del GMA-2. [Fuente: el autor]

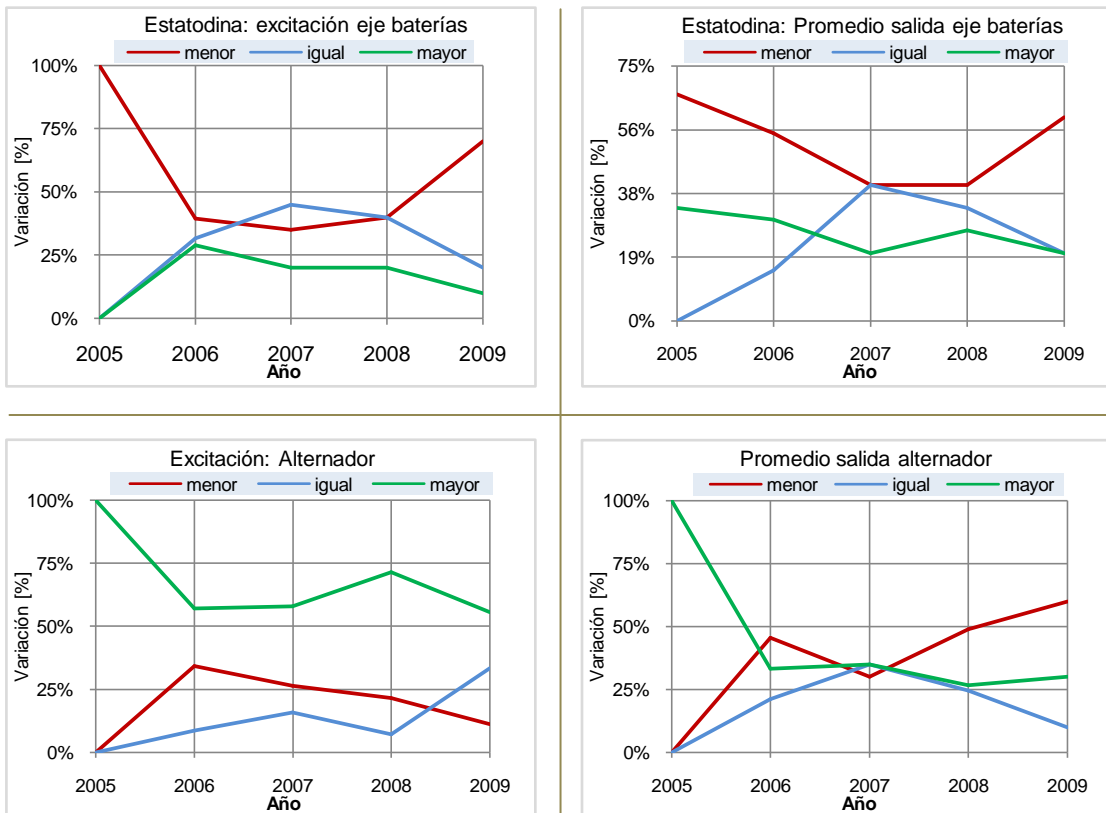


Gráfico 6.29: Variación bobinas del GMA-2 (Continuación). [Fuente: el autor]

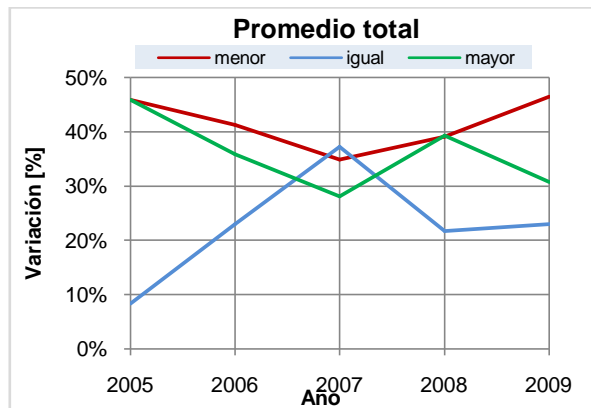


Gráfico 6.30: Variación promedio total GMA 2^{da} generación. [Fuente: el autor]

De las gráficas 6.28, 6.29 y 6.30, se extrae que para los elementos armadura, devanado shunt del motor DC y excitación del eje de excitación de la estatodina se observan tendencias apreciables positivas y constantes en resultados donde se obtienen mejoras en el valor de resistencia de aislamiento respectivo; caso contrario

ocurre en la salida del eje de baterías de la estatodina, en la excitación del alternador y en las bobinas de salida del alternador, en donde las variaciones positivas presentan una clara tendencia a disminuir y a su vez sus variaciones negativas han aumentado en el tiempo, tal es el caso más abrupto visualizado en las salidas del alternador donde se observa una relación en el último año de 30% a 60% para variaciones positivas y negativas respectivamente. Aunque esta diferencia se puede observar en otros elementos, como es el caso del eje de baterías, el caso del alternador es fuente de inquietud puesto que es la máquina dentro del GMA que maneja más cantidad de potencia.

Como se puede observar en el gráfico 6.30, la cantidad de procedimientos donde se mejora el nivel de aislamiento y en los que no se logra este cometido, han mantenido similares valores porcentuales en el transcurso del tiempo y siempre en un rango de entre 30% a 50% y en el último año, y desde el año 2007, se observa un repunte en los procedimientos en los que los niveles IR de salida son inferiores a los de entrada, no así para los procedimientos con variación positiva, cuyo porcentaje se redujo en el año 2009.

Como se comentó, la salida del alternador posee una tendencia clara en la disminución de los niveles de aislamiento en el procedimiento de salida con respecto al que poseía en la entrada, por tal razón pareció conveniente verificar en profundidad los tipos de valores que poseen las bobinas de salida del alternador.

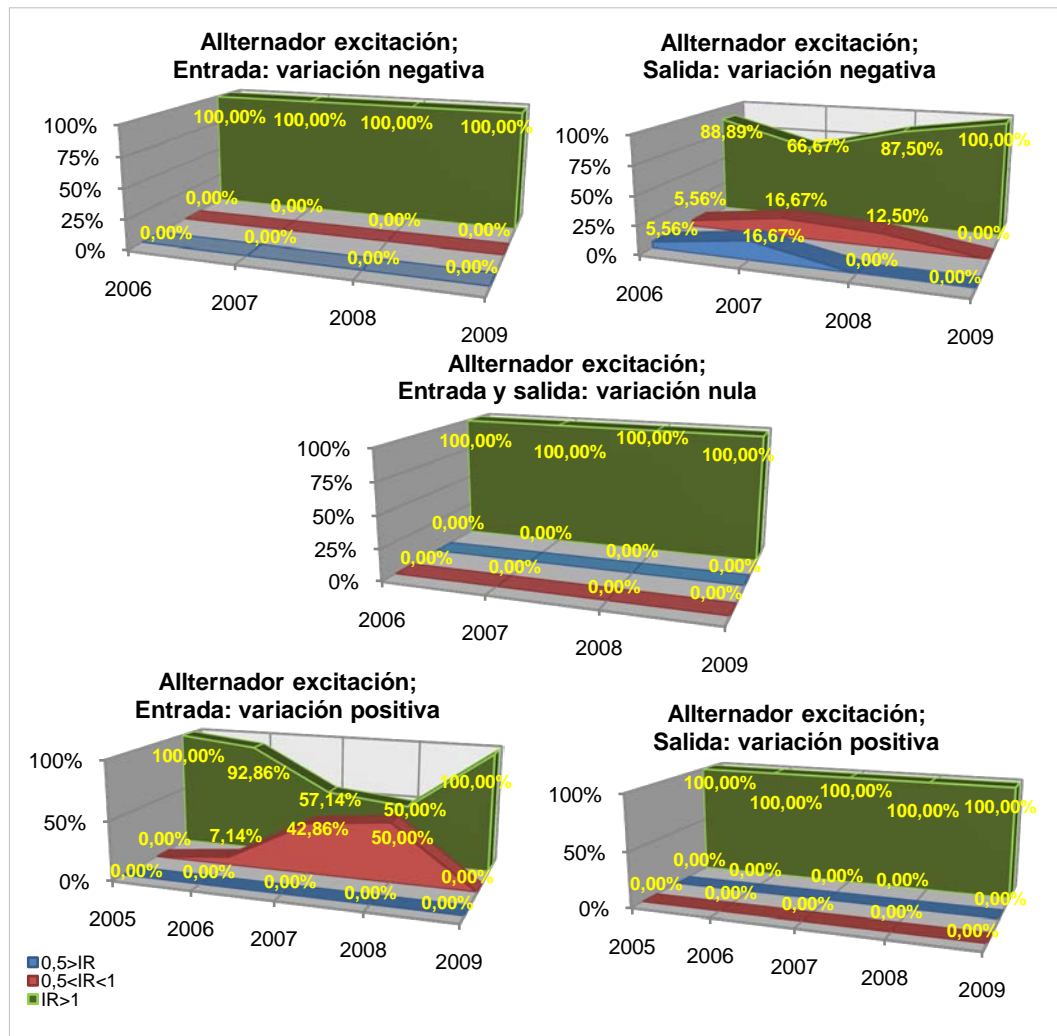


Gráfico 6.31: Variación inducido motor 2^{da} generación; por procedimiento, variación y año. [Fuente: el autor]

Del gráfico 6.31 se desprende la conclusión de que los resultados, para las tres variaciones, son satisfactorios; los valores medidos a la salida normalmente están por encima del valor de referencia de 1Ω usado por la compañía, únicamente en variaciones negativas se observó cómo en 2006 hasta un 66% de los casos estuvo por encima del valor de referencia, luego de ese año los resultados con esta características fueron aumentando hasta la fecha que se desarrollo este trabajo, en donde se tiene un total del 100% de los casos con valores superiores al valor de referencia.

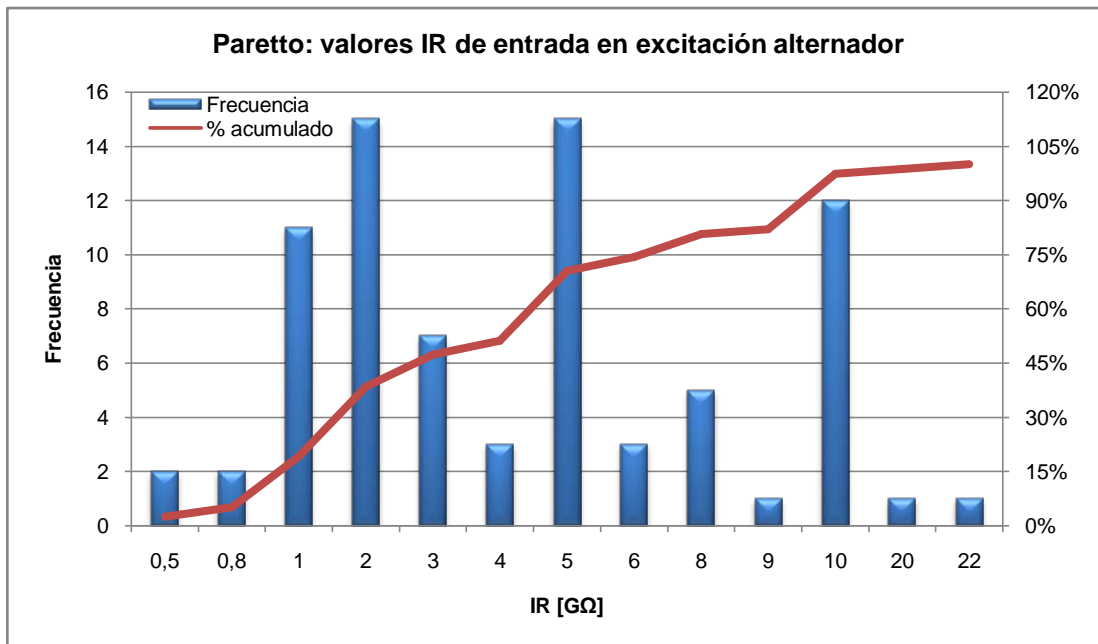


Gráfico 6.32: Pareto de valores IR en excitación alternador del GMA 2^{da} generación, en procedimientos de entrada. [Fuente: el autor]

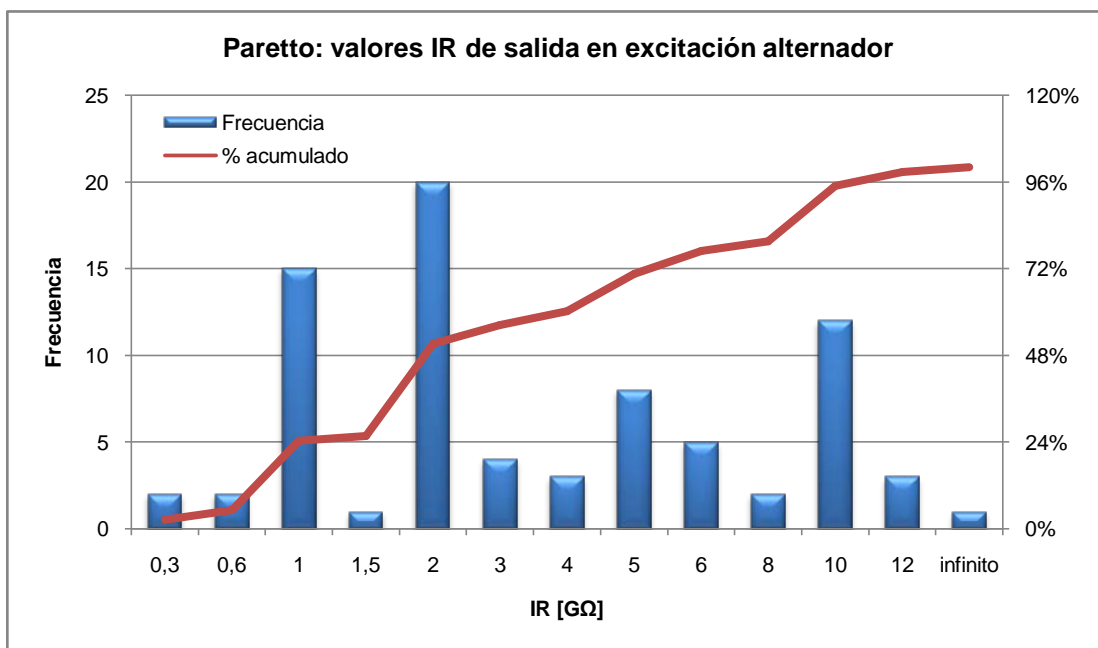


Gráfico 6.33: Pareto de valores IR en excitación alternador del GMA 2^{da} generación, en procedimientos de salida. [Fuente: el autor]

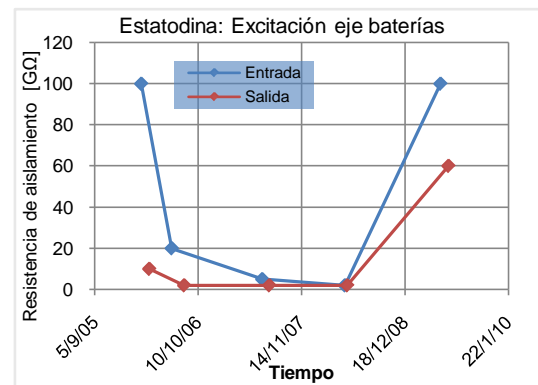
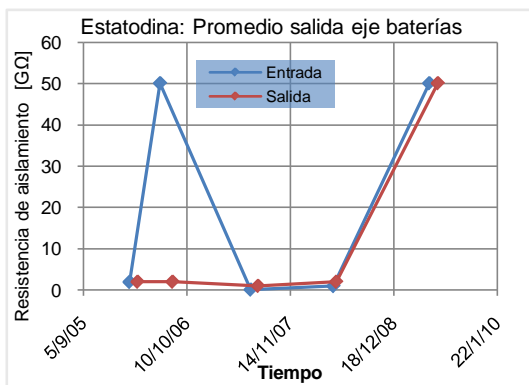
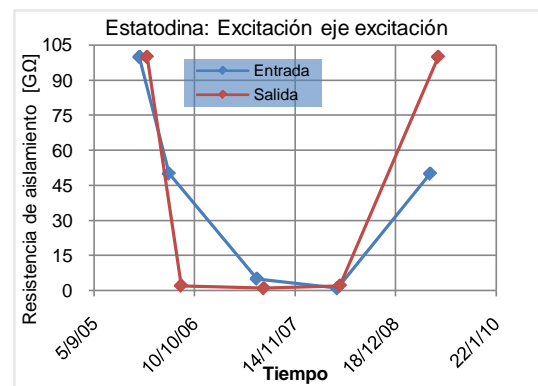
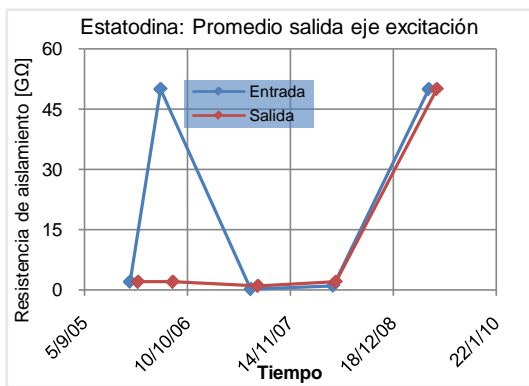
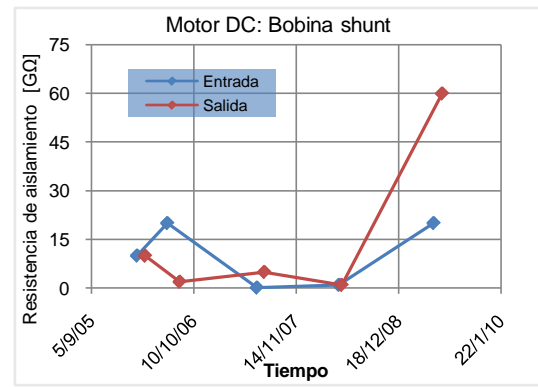
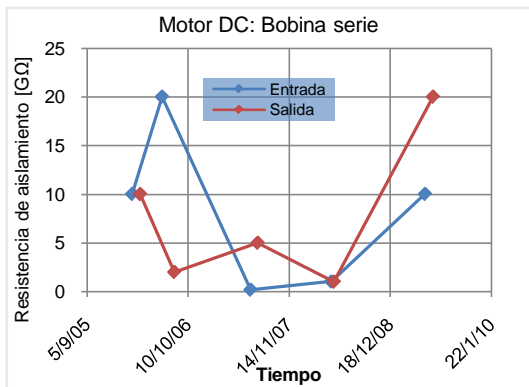


Gráfico 6.34: Variación IR en bobinas GMA2-073. [Fuente: el autor]

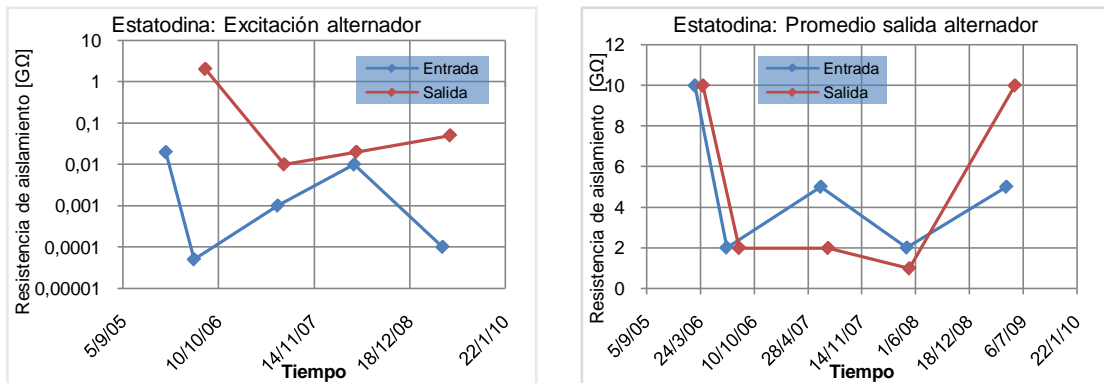


Gráfico 6.35: Variación IR en bobinas GMA2-073 (Continuación). [Fuente: el autor]

En los gráficos 6.34 y 6.35, donde se aprecia la variación del nivel de aislamiento en las distintas bobinas que conforman a las máquinas que a su vez forman al GMA número GMA2-073, se visualiza como entre los años 2007 y 2008 los niveles de IR en las bobinas shunt y serie del motor DC, excitación del eje de excitación y excitación del alternador, estuvieron por debajo de $1\text{ G}\Omega$, recuperándose el nivel de aislamiento para los tres elementos indicados en el año 2009, mas no para la excitación del alternador cuyo sistema de aislamiento presenta niveles inferiores a los $100\text{ M}\Omega$, aunque se observa que siempre sus valores de salida son superiores a los de entrada. Para las demás bobinas se verifica que los niveles de entrada y salida se asemejan y se invierte la relación, salida mayor a la entrada y viceversa, notándose que para la última intervención realizada el año 2009 los niveles a la salida fueron superiores a los de entrada y con valores superiores a los que presentaban en años anteriores para bobinas shunt y serie del motor DC, excitación y salida del alternador y excitación del eje de excitación; para las demás bobinas de este GMA los valores de salida estuvieron por debajo y por poca diferencia a los de entrada.

Por último se verificó el porcentaje de valores de IR por cada elemento y de la totalidad de los procedimientos de entrada y los procedimientos de salida, que se encuentran dentro del rango indicado por la IEEE 43-2000 y dentro del rango indicado en las normas del Metro, para una temperatura de 26°C tal como se realizó a los GMA de 1^{ra} tecnología.

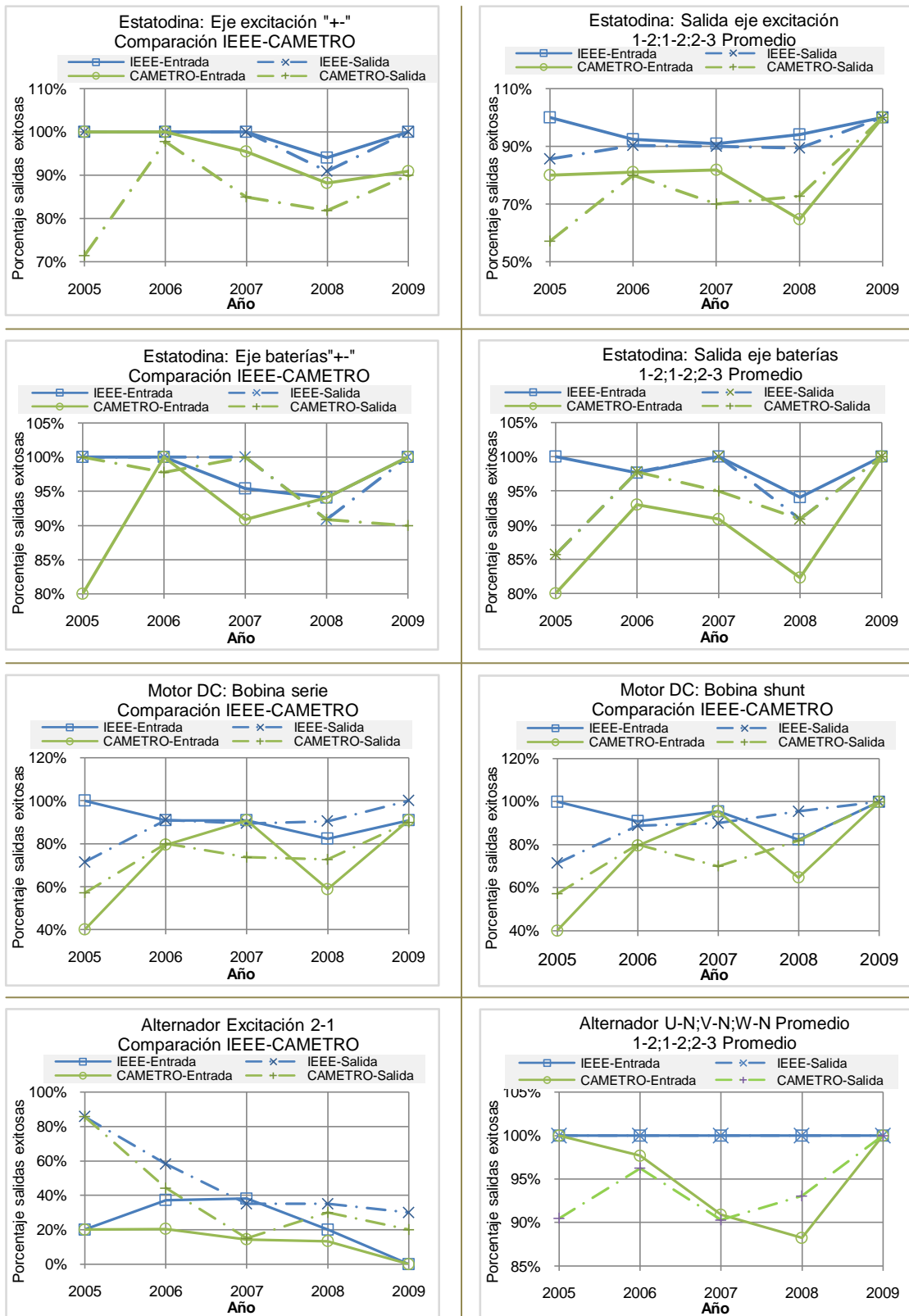


Gráfico 6.36: Comparación IEEE y CAMETRO, GMA-2. [Fuente: el autor]

De estas comparaciones, se observa que siempre se obtienen mayor número de salidas exitosas al diferenciar los resultados según los valores de aislamiento recomendados por la norma IEEE 43-2000 y las diferencias porcentuales existentes entre este y el realizado usando los valores indicados por la compañía CAMETRO van desde un 30%; que es el caso más extremo para el año 2005 en la excitación y en la salida del eje de excitación, hasta un 0%; lo común es encontrarse con diferencias de 10 puntos porcentuales. En todas se observa como existe variedad de resultados en cuanto a si los valores de salida son o no superiores a los de entrada, en algunos casos como en el motor DC, existen años en donde el nivel IR en procedimientos de salida superan a los valores de IR encontrados en los procedimientos de entrada, en otros años ocurre lo contrario y la diferencia entre estos resultados no supera el 20%. En otras ocasiones es evidente que los niveles en los valores de entrada son superiores a los de salida como es el caso de la excitación del eje de excitación, en otras bobinas la tendencia se invierte y es la salida quien supera a los valores de entrada como ocurre con la bobina de campo del alternador.

CAPÍTULO VII

POSIBLES CAUSAS DE FALLAS DE AISLAMIENTO EN MOTORES DE TRACCIÓN Y GMA. POTENCIALES MEJORAS.

Uno de los tantos problemas que poseen los motores de tracción, es el envejecimiento que sufre su aislamiento. Como se sabe, en general existen muchos factores que afectan la vida útil de los EIM, dentro de estos factores que día tras día los motores de tracción deben soportar constantemente, tenemos.

- Grasa y aceites provenientes de sistemas mecánicos aledaños a la máquina, que se acumulan por fuera de la carcasa del motor y en algunos casos logran introducirse dentro del mismo, depositándose sobre los devanados y creando la aparición de corrientes de fuga o escape superficial.
- Efecto de sobretensiones transitorias provenientes del accionamiento de los tiristores del circuito de control tracción/frenado; esta característica, unida a factores como la cantidad de años prestando servicio comercial y el esfuerzo que estos últimos años se le ha impuesto al sistema, hace que la vida útil del EIS decrezca considerablemente.
- La característica principal que se observa en los motores de tracción que llegan al taller, luego de transcurrir el kilometraje requerido para su intervención, es el estado en que se encuentra la pintura que lo recubre, indicativo de que la maquinaria ha sufrido por altas temperaturas; por otra parte, los filtros de aire del mismo se encuentran completamente obstruidos permitiendo que exista una acumulación de calor considerable dentro del motor al no ser éste capaz de permitir la entrada y salida de aire que refresque los elementos. Esta obstrucción en los filtros es debido a la cantidad de polvo, restos de carbón, material ferroso, grasa y aceite del medio en que se encuentra el motor.

En los motores de tracción de segunda generación, se presentan problemas semejantes a los de la generación que lo precede, mas sin embargo no ocurren con tanta frecuencia, debido a que estos poseen menor cantidad de años, mejor ventilación y un mejor sistema de aislamiento.

En los GMA, la historia es distinta, puesto que la excitación, de las máquinas que lo conforma, es más estable; no sufren de cambios bruscos de corriente o voltaje y su sistema de filtros de aire no sufre las obstrucciones que pudiera sufrir el motor de tracción. La posición en que se encuentra el GMA, un poco más elevado del suelo en comparación con la posición del motor de tracción, hace que este recoja menor cantidad de polvo, restos de material ferroso, etc. también éste se encuentra más alejado de los elementos que despiden grasa y aceite.

Es muy difícil proponer un EIM o EIS que mejore sustancialmente la operación de la maquinaria estudiada, puesto a que este tema se adentra en las propiedades químicas y térmicas de los materiales, pero una solución inmediata se encuentra en el traslado de la clasificación térmica del aislamiento, como se conoce, la totalidad del aislamiento, de los motores de tracción y de los GMA para ambas generaciones tecnológicas, es de clase F a excepción del inducido del motor de tracción de segunda generación el cual es de clase H.

Un posible cambio de clase de aislamiento no garantizará que los problemas existentes sobre este tópico desaparezcan, la solución final dependerá de llevar a cabo mediciones eficaces que permitan dictaminar cuando se está frente a un elemento con aislamiento deficiente.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizó de manera general, una recopilación de información concerniente a ese parámetro eléctrico presente en toda máquina rotativa, el cual es el aislamiento eléctrico. Este estudio tuvo como objetivo el conocer su naturaleza, función y principales procedimientos de evaluación; para luego enfocarse dentro de este mismo contexto en los motores de tracción y GMA de la C.A. Metro de Caracas y en la problemática planteada al comienzo del trabajo para establecer las posibles soluciones.

A continuación se presentan las conclusiones a las que se llegaron en la realización de este proyecto, tomando en consideración tanto el objetivo principal como los objetivos específicos estipulados al comienzo del mismo.

- ✓ De acuerdo a las publicaciones y normas evaluadas, existe una serie de ajustes y pasos que permiten evaluar a los sistemas aislantes sin alterar las condiciones dieléctricas de los mismos ni afectar el resultado de las medición en sí, entre estas consideraciones se tiene la temperatura de la bobina y del ambiente, la descarga de la bobina y la tensión de la prueba.
- ✓ El hecho de que la C.A. Metro de Caracas utilice una tensión superior al doble del voltaje nominal del motor de tracción, se debe a que es imperioso para la empresa el conocer de manera inmediata la condición de aislamiento de la máquina, este valor de potencial permite “sobredimensionar” la prueba. Los problemas comienzan cuando se hace un uso sin control del test a tan alto voltaje ya que si se realiza de manera muy repetitiva sobre un devanado se podría estar dañando sin intención al EIM, o si no se hace una verdadera descarga de los devanados antes de la medición o a una temperatura de devanado alta se perdería el sentido de la prueba al obtenerse valores de IR alejados de la realidad.

- ✓ El valor de referencia de IR sugerido para estas máquinas en la empresa, no garantiza que posean aislamiento en condiciones adecuadas para prestar servicio.
- ✓ No existen puntos de tierra adecuados en los puestos de trabajo del taller que permitan realizar la descarga efectiva de las bobinas.
- ✓ Dentro de las normas y guías de la compañía, existen ideas dispersas y consideraciones inexistentes sobre mediciones de aislamiento en motores y GMA, y en algunos casos los procedimientos existentes son obviados dentro de talleres, esto hace necesario adecuar los procedimientos según los lineamientos indicados por las normas e instruir al capital humano que realiza este tipo de intervenciones para llevarlas a cabo.
- ✓ Con el procedimiento de medición de IR propuesto en este trabajo, se pudo evaluar el aislamiento a un conjunto de motores e inducidos, lográndose unos resultados conformes a las condiciones que estos presentaban. Para esta población evaluada, se determinó que el tiempo de descarga razonable es de 30 segundos, también se pudo comprobar que la temperatura de punto de rocío esta siempre por debajo del valor de la temperatura ambiente, esto fue validado sólo para la zona de talleres y en época de invierno
- ✓ El análisis realizado se comprobó con dos observaciones, la primera es que las tendencias que toman los valores se infiere lo que se afirmó con anterioridad en la forma inadecuada de tomar las mediciones. Como segunda observación tenemos que en el taller de motores se esmeran en recuperar a los sistemas mecánicos y eléctricos de las maquinarias que están a su cargo, obviando la importancia de considerar al registro de aislamiento que indique las condiciones previas de los máquinas que entran al servicio, lo cual sería muy efectivo para la evaluación, lamentablemente no se dispone de una estadística que dé información adecuada al respecto.

RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones a la empresa se pueden enumerar los siguientes puntos:

- ✓ Estandarizar los procedimientos que posee la C.A. Metro de Caracas relacionados con la evaluación de aislamiento en motores de tracción DC de 1^{ra} y 2^{da} generación, motores de tracción AC, máquinas que constituyen al GMA de 1^{ra} y 2^{da} generación, siguiendo las recomendaciones dadas por este trabajo.
- ✓ Estudiar la posibilidad de integrar el indicador RIR, recomendado por este trabajo, dentro del proceso industrial de mantenimiento de motores que se lleva a cabo dentro del taller.
- ✓ Disponer en cada puesto o mesa de trabajo donde se realice la intervención de la máquina, un punto que se encuentre aterrado, para utilizarlo como punto para descargar las bobinas antes y después de las mediciones.
- ✓ Solicitar que para toda anotación de IR hechas a las máquinas intervenidas en el taller, se anote el valor de la temperatura de la bobina asociado a la medición.
- ✓ Cuidar que las condiciones necesarias establecidas en los procedimientos para llevar a cabo las mediciones de aislamiento, se cumplan dentro del taller.
- ✓ Agregar al sistema SGM una secuencia en la que al ingresar el valor de IR de la bobina, este pida al usuario la temperatura a la cual se realizó la medición de aislamiento y que de forma automática el programa haga la corrección a la temperatura de 40°C.

- ✓ Examinar la posibilidad de tener a disposición información sobre aislamiento de la máquina precedentes de evaluaciones anteriores para poder cotejarlas de forma inmediata y realizar un mejor dictamen de su condición.
- ✓ Hacer seguimiento por separado de los inducidos de motores de tracción de corriente continua, es decir, diseñar una hoja aparte de control para este elemento en específico, para llevar una data similar a la que se le hace al motor y poder llevar una data estadística que permita conocer el desgaste de este elemento en el tiempo.
- ✓ Una vez se hayan cumplido las recomendaciones anteriores, se puede hacer un estudio anual sobre aislamiento, tal cual se realizó en este trabajo, añadiéndole nuevas y mejores maneras de analizar estadísticamente a este parámetro.
- ✓ Explorar la posibilidad de mejorar la rutina de limpieza y mantenimiento (en todos los niveles de mantenimiento) de los filtros de aire para ventilación de los motores de tracción de corriente continua, a fin de mantener el libre desplazamiento de aire hacia los devanados rotóricos y estáticos de esta máquina.
- ✓ Instar a las empresas externas que realizan el rebobinado de las máquinas (mantenimiento de quinto nivel), pruebas de IR para cada bobina indicando su respectivo valor de tensión aplicado y la temperatura ambiental y de bobina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Stone, Greg C.; Boulter, Edward A.; Culbert, Ian y Dhirani, Hussein. *Electrical insulation for rotating machines*, (Libro).--Nueva Jersey, Estados Unidos: IEEE Press, 2004.
- [2] De Swardt, Henk; Wedge Failures: Electric Motor Failure Prevention, (Paper). Journal Energizer, 2003.
- [3] C. P. Steinmetz; B. G. Lamme. *Temperature and Electrical Insulation*, (Paper).--Nueva York, Estados Unidos: IEEE Press, 1913.
- [4] IEC 60034.18.34. *Rotating electrical machines – Functional evaluation of insulation systems – Test procedure for form-wound windings – Evaluation of thermomechanical endurance of insulation systems*, (Norma).--Ginebra, Suiza, 2000.
- [5] R. William, Simpson Jr. *Harmonizing U.S. and IEC insulation standards*, (Paper-Resumen).-- Estados Unidos: Barks Publications, 2000.
- [6] IEC 60085:2004. *Electrical insulation – Thermal classification*, (Norma).-- Ginebra, Suiza, 2004.
- [7] A Stitch in Time...The complete guide to electrical insulation testing, (Guía).-- Estados Unidos: Megger, 2006.
- [8] IEEE Std 43-2000. *IEEE Recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery*, (Norma).--Nueva York, Estados Unidos, 2000.
- [9] Jones, David O.; Jowerr, Jeffrey R; Thomson, S. Graeme y Danner, David S. *Guía para pruebas de diagnóstico de aislamiento*, (Guía).-- Estados Unidos: Megger, 2002.
- [10] IEEE Std 95-2002. *IEEE Recommended practice for insulation testing of AC electric machinery (2300 V and Above) with high direct voltage*, (Norma).-- Nueva York, Estados Unidos, 2002.

- [11] IEEE Std 432-1992. *Guide for insulation maintenance for rotating electrical machinery*, (Norma).--Nueva York, Estados Unidos, 2002.
- [12] Documento resumen sobre aislamiento en motores eléctricos: conceptos, mantenimiento y pruebas. (Guía).-- Caracas, Venezuela: CAMETRO. s/f.
- [13] IEEE Std 286-2000. *IEEE Recommended practice for measurement of power factor Tip-Up of electric machinery stator coil insulation*, (Norma).--Nueva York, Estados Unidos, 2000.
- [14] Procedimiento estator motor tracción, revisión general y mantenimiento mayor media-vida, (Guía de mantenimiento).--Caracas, Venezuela: CAMETRO, 1998.
- [15] P., Gaillard. Manual del sistema – Motor de tracción, (Guía de mantenimiento).--Caracas, Venezuela: FRAMECA, 1987.
- [16] Piguel, L. *Ficha técnica del motor de tracción 4EXF 2522A*, (Guía).--Caracas, Venezuela: FRAMECA, 1991.
- [17] Vernerey, M.C. *Instruction de maintenance, Moteur de traction 4 EXA 1828*, (Guía de mantenimiento).-- Ornans, Francia: ALSTOM, 2006.
- [18] Niño, Jorge. *Grupo Motor-Alternador*, (Tesis).--Caracas, Venezuela: Gerencia de mantenimiento CAMETRO, sin año.
- [19] Grupo motor-alternador y regulación – cursos de adiestramiento, (Guía).-- Caracas, Venezuela: Gerencia de mantenimiento FRAMECA, sin año.
- [20] Ramos, Armando; Nieto, Nelly. *Procedimiento de mantenimiento mayor del motor de tracción 4EXH 2522 (Pruebas de entrada)*, (Manual).-- Caracas, Venezuela: UIE CAMETRO, 2007.
- [21] Bozo, Luis. *Procedimiento R.G. Intervención del grupo motor alternador 4EUD2533*, (Manual).-- Caracas, Venezuela: Alsthom, 2000.

BIBLIOGRAFÍAS

Libros

CHAPMAN, STEPHEN J. Máquinas Eléctricas. 4^{ta} edición. Mcgraw-Hill. México. 2005.

FITZGERALD, ARTHUR E. Máquinas Eléctricas. 6^{ta} edición. Mcgraw-Hill. España. 2004.

STONE, GREG C.; Boulter, Edward A.; Culbert, Ian y Dhirani, Hussein. Electrical insulation for rotating machines. IEEE Press, Estados Unidos. 2004

RAMIREZ VÁZQUES, JOSÉ. Talleres Electro-mecánicos bobinados. 3^{ra} Edición. CEAC S.A. España. 1980.

Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales, (Manual).--Caracas, Venezuela: UPEL, 2008.

Normas

IEEE Std 4-1995 Standard Techniques for High-Voltage Testing. New York: Estados Unidos. 1995.

IEEE Std 43-2000 Recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery. New York: Estados Unidos. 2000.

IEEE Std 56-1997 Guide for insulation maintenance of large alternating-current rotating machinery 10,000 kVA and larger. New York: Estados Unidos. 1997.

IEEE Std 95-2002 Recommended practice for insulation testing of ac electric machinery (2300 V and above) with high direct voltage. New York: Estados Unidos. 2002.

IEEE Std 117-1974 Standard Test Procedure for Evaluation of Systems of Insulating Materials for Random-Wound AC Electric Machinery. New York: Estados Unidos. 1974.

IEEE Std 286-2000 Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation. New York: Estados Unidos. 2000.

IEEE Std 432-1992 Guide for insulation maintenance for rotating electrical machinery. New York: Estados Unidos. 1992.

IEEE Std 433-1974 Recommended practice for insulation testing of large AC rotating machinery with high voltage at very low frequency. New York: Estados Unidos. 1979.

IEEE Std 522-2004 Guide for testing turn insulation of form-wound stator coils for alternating-current electric machines. New York: Estados Unidos. 2004.

IEEE Std 930-1987 Guide for the statistical analysis of electrical insulation voltage endurance data. New York: Estados Unidos. 1987.

IEC 61857-1 (2004) Electrical insulation systems. Procedures for thermal evaluation Part 1: General requirements – Low-voltage. Ginebra: International Electro technical Commission, 2004.

IEC 60085 (2004) Electrical insulation – Thermal classification. Ginebra: International Electro technical Commission, 2004.

NEMA MG-1. Part 1-23. Classification of insulation system. National Electrical Manufacturers Association. Virginia: Estados Unidos. 2004.

NEMA MG-1. Part 18-26. Insulation testing, test conditions and methods. National Electrical Manufacturers Association. Virginia: Estados Unidos. 2004.

Manuales, guías e informes

Especificaciones técnicas del inducido del motor de tracción de primera generación 4EXH2522. División de ingeniería de material rodante, CAMETRO. Caracas: Venezuela, s/f.

Procedimiento estator motor tracción, revisión general y mantenimiento mayor vida-media. Alsthom. Caracas: Venezuela, 1998.

Especificaciones técnicas inducidos motores de tracción 4EXH2522. CAMETRO. Caracas: Venezuela, 1996.

Reparación inducidos motor de tracción, trabajos adicionales JRIF, intervención bajo colector. JRIF. Caracas: Venezuela, 1997.

Mantenimiento de motores de tracción. CAMETRO. Caracas: Venezuela, 1985.

Procedimiento nivel 5, inducido motor de tracción 4EXH 2522 especificaciones técnicas. Oficina de gestión de material rodante. Caracas: Venezuela, 1999.

Procedimiento R.G. intervención del motor de tracción 4EXH2522. Alsthom. Caracas: Venezuela, 1998.

Grupo motor alternador (1^{era} Generación tecnológica), (Guía).—Caracas, Venezuela: Gerencia de material rodante, UIE, CAMETRO, 2003.

Briceño, William. *Mantenimiento de motores de tracción*, (Guía de mantenimiento).-- Caracas, Venezuela: FRAMECA, 1985.

Masson, Didier. *Metro de Caracas Línea 3 extensión, especificación técnica de la cadena de tracción*, (Guía).-- Francia: ALSTOM, 2006.

Informe del proceso, reparación de inducidos de motores de tracción 4EXH-2522. Gerencia mantenimiento, CAMETRO. Caracas: Venezuela, 1997

Metro de Caracas Línea 3 - Ficha técnica del motor de tracción 4EXF 2522A. FRAMECA. Caracas: Venezuela, 1991.

Inducción a material rodante – Gerencia de material rodante. (Presentación PowerPoint).--Caracas, Venezuela: Gerencia. de Informática y org. CAMETRO, 2001.

Visita a la planta de Alsthom en Ornans (Francia) y Preston (Inglaterra) – Fabricación de los motores de tracción 4EXF2522B. CAMETRO. Caracas: Venezuela, 2002.

Vásquez, Manuel; Chacón, Jesús, otros. *Introducción al grupo motor alternador N.G.*, (Guía).--Caracas, Venezuela: Gerencia de mantenimiento FRAMECA, 1993.

Hoja técnica medidor Metriso 5000A., (Manual).--Nürnberg, Alemania: Gossen-Metrawatt GMBH, 1997.

MIT520/2 5kV Digital insulation tester - User manual, (Manual).-- Dover Kent, Reino Unido: Megger Limited, sin año.

Jones, David O. A guide to diagnostic insulation testing above 1 kV. Estados Unidos: Megger, 2002.

Advanced Insulation Analysis Using Megger Insulation Testers. AVO Training institute. Estados Unidos. s/f.

Dielectric Discharge (DD) Testing. AEMC Instrument, Foxborough: Estados Unidos. 2002.

The Lowdown on high-voltage DC testing. Megger Instrument, Valley Forge: Estados Unidos. 2002.

Entrevistas

Entrevista realizada al Ing. Luis Carrera en CAMETRO, Mayo 2009.

Entrevista realizada al Ing. José Manuel Aller vía email y telefónica, Junio 2009.

Entrevista realizada al Ing. Heriberto Zapata en CAMETRO, Julio 2009.

Entrevista realizada al Sr. Ray Brady. Cía. AEMC Instrument, vía email, Julio 2009.

Entrevista realizada al T.S.U. Alfredo Ruíz en CAMETRO, Julio 2009.

Entrevista realizada al T.S.U. Eduardo Ramírez en CAMETRO, Julio 2009.

Entrevista realizada al T.S.U. Fernando Blanco en CAMETRO, Julio 2009.

Entrevista realizada al Ing. Jharold Panza en CAMETRO, Agosto 2009.

Entrevista realizada al Ing. Carlos Yajure en CAMETRO, Septiembre 2009.

Internet

C.A. Metro de Caracas [en línea]. <www.metrodecaracas.com.ve> [Consulta: 2009]

Previsión del tiempo para E.E.U.U. y el resto del mundo [en línea]. <www.wunderground.com> [Consulta: 2009]

Wikipedia, La enciclopedia libre [en línea]. <www.wikipedia.com> [Consulta: 2009]

Diccionario de La Real Academia Española [en línea]. <<http://buscon.rae.es/draeI/html/cabecera.htm>> [Consulta: 2010]

ANEXOS

| | Pág. |
|--|------|
| [ANEXO N°1] | |
| Información sobre la empresa | 129 |
| [ANEXO N°2] | |
| Descripción de la población estudiada..... | 141 |
| [ANEXO N°3] | |
| Mediciones realizadas en el taller durante el proyecto | 161 |
| [ANEXO N°4] | |
| Resumen tablas análisis estadístico..... | 182 |
| [ANEXO N°5] | |
| Fotografías varias | 199 |
| [ANEXO N°6] | |
| Inducido del motor de tracción de 1 ^{ra} generación..... | 203 |
| [ANEXO N°7] | |
| Configuración bobinas motor de tracción de 1 ^{ra} generación..... | 205 |

[ANEXO N°1]

INFORMACIÓN SOBRE LA EMPRESA

A.1.1 Nombre y ubicación de la empresa.

Nombre: Compañía Anónima Metro de Caracas, CAMETRO.

Dirección: Av. Simón Bolívar. Propatria. Patios y Talleres del Metro. Mezzanina Norte, Unidad de Ingeniería y Estadística “U.I.E.”.

A.1.2 Reseña histórica de la C.A. Metro de Caracas.

Para el año de 1936 el sistema de transporte en Caracas estaba compuesto por una red de tranvías eléctricos, cuyas líneas se encontraban en la Plaza Bolívar y se extendían a Catia, El Paraíso, El Valle, San Martín y la antigua estación del ferrocarril en Santa Rosa, algunas áreas residenciales eran atendidas por empresas autobuseras privadas.

Para el año 1947 la capital acogía a poco más de medio millón de habitantes, en ese entonces las autoridades consideraban la idea de construir un sistema de transporte rápido masivo para la ciudad de Caracas, fue entonces cuando dos empresas francesas presentaron al Concejo Municipal de Caracas proposiciones para estudios, proyectos, construcción y explotación de un sistema Metro, durante un número de años con garantía de interés sobre el capital invertido.

Estas proposiciones fueron rechazadas por una Comisión nombrada a tal efecto, la cual recomendó que se debiera proceder al estudio y proyecto de un sistema Metro de transporte rápido masivo para la ciudad que incluyera los tramos Santa Rosa – Petare, Santa Inés – Catia y Santa Inés – Antímano, a cielo abierto. Las recomendaciones también señalaban un tramo subterráneo entre Santa Rosa y Santa Inés, esto no se concretó.

En 1948, Caracas atravesaba una de sus peores crisis en materia de transporte, la población creció, el sistema de tranvías fue remplazado por 43 líneas de

autobuses, con una flota de 533 unidades que transportaban 350 mil personas diariamente, la congestión vial adquiría niveles críticos.

En 1961 una misión de las Naciones Unidas, a petición del gobierno, realizó un estudio del problema del transporte en Caracas en el cual se recomendaba un sistema de movilización rápida desde Catia hasta Petare.

Oficina Ministerial de Transporte.

En el año 1963 el Ministerio de Obras Públicas (M.O.P.), responsable en esos años de las construcciones viales en el Área Metropolitana de Caracas, empezó a tomar conciencia de que era necesaria y apremiante la realización de estudios de planificación y mejoras del transporte de la ciudad. A fines de 1963, en Consejo de Ministros resolvió responsabilizar al Ministerio de Obras Públicas de la realización de los estudios y planes en referencia.

Esta resolución generó una serie de consideraciones preliminares para la conducción de estos estudios, se evaluaron dos alternativas: contratación directa con firmas de experiencia internacional en la materia o la ejecución, creando una oficina especializada para tal fin, debidamente asesorada.

La segunda alternativa fue la más valedera. A finales de 1964, se comienza a instalar esta dependencia, bajo la dirección del ingeniero Antonio Boccalandro, la cual tomó el nombre de Oficina Ministerial del Transporte, quedando adscrita directamente al despacho del Ministro de Obras Públicas, habiéndose determinado tres objetivos fundamentales: primero, el desarrollo de un plan integral de transporte para el área Metropolitana de Caracas; segundo, el estudio de un sistema de tránsito rápido como parte fundamental del primero y, finalmente, el desarrollo de un programa de vialidad urbana.

En los años 1965, 1966 y 1967 se realizaron los estudios integrales del transporte, incorporando todas las técnicas modernas especializadas que ofrecía la metodología en la materia. Estas investigaciones demostraron que el problema no podía ser resuelto sin la incorporación de un nuevo sistema de transporte masivo.

En 1966 el ingeniero José González Lander es designado Director de la Oficina Ministerial de Transporte. En 1968 se comenzó a elaborar el proyecto del Metro de Caracas, seleccionándose para ello al consorcio internacional formado por las empresas Parsons, Brinckerhoff, Quade & Douglas de Nueva York y Alan M. Voorhees de Washington. En julio de ese mismo año se somete a consideración del Congreso Nacional el proyecto de ley que autorizaría las operaciones de crédito público para financiar la construcción de la Línea 1 (Catia – Petare).

En diciembre de 1968 se promulgó el decreto de expropiaciones de los inmuebles afectados por la construcción del tramo Catia – El Silencio. Las actividades del proyecto abarcaron todo 1969 y los primeros seis meses de 1970, habiéndose concluido totalmente todos los planos y especificaciones necesarios para su construcción.

Durante 1972 y 1973 se avanzó en el anteproyecto de la primera línea, desde La Hoyada hacia el este, y a mediados de 1973 se licita entre 7 empresas previamente seleccionadas las obras civiles de la estación Agua Salud. A principios de 1972 se inició la construcción del tramo superficial desde Agua Salud hasta Caño Amarillo y las obras civiles de la estación Agua Salud en 1973. En 1974 se concluye el anteproyecto desde La Hoyada hasta Chacaíto y se contrata el proyecto correspondiente con dos firmas venezolanas: La Oficina Consultora de Ingeniería y Desarrollo S.A. (OCOIDES) y el consorcio GRID – APM, contando ambas con la asesoría de la firma inglesa Mott, Hay & Anderson, de amplia experiencia en proyectos de Metro.

En 1975 comenzaron las licitaciones de las obras civiles y un año después arrancó en firme la construcción del Metro. El 12 de marzo de 1975 el presidente de la República ante el Congreso Nacional anuncia la construcción de línea Propatria-Petare del Metro, comenzando por el extremo oeste.

La Oficina de Proyectos y Obras del Metro de Caracas.

En 1976, una vez encauzado el proyecto y la construcción del Metro de Caracas, el Ministerio de Obras Publicas resuelve eliminar la Oficina Ministerial del

Transporte, dada la especialización y la magnitud de las obra a emprender y crea dentro de la Dirección General de Vialidad la Oficina de Proyectos y Obras del Metro de Caracas, dirigida por José González Lander. Esta inició sus actividades en 1976 con la apertura de la licitación pública internacional de los equipos para la línea Propatria–Palo Verde, comprendiendo el material rodante, el sistema de electrificación para tracción, el sistema de control de trenes y comunicaciones, la vía férrea, las escaleras mecánicas, los equipos mecánicos de ventilación y las plantas de refrigeración para el aire acondicionado de las estaciones.

En marzo de 1976, se dicta el Decreto de Expropiación de los inmuebles afectados por la construcción de los tramos La Hoyada – Chacaíto y Chacaíto – Palo Verde de la Línea Catia – Petare del Metro de Caracas. En ese mismo año se da inicio a la licitación de las obras civiles del tramo La Hoyada – Chacaíto. En agosto de 1976 el Congreso de la República aprueba la Ley de Inversiones en Sectores Básicos de la producción, en la cual se incluye la previsión de los fondos para la construcción del Metro, durante un lapso de 5 años.

La C.A. Metro de Caracas.

En abril de 1977 la Oficina de Proyectos y Obras del Metro pasa a depender del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (M.T.C.) y cuatro meses más tarde, el 8 de agosto de ese mismo año se funda la Compañía Anónima Metro de Caracas, adscrita a dicho ministerio cuya dirección es presidida por el Ing. José González Lander. El objeto principal de la compañía es “la construcción e instalación de las obras y equipos, tanto de infraestructura como de superestructura del Metro de Caracas, el mantenimiento de sus equipos, instalaciones y la operación, administración y explotación de dicho sistema de transporte, así como la construcción, dotación, operación y explotación de otras instalaciones y sistemas complementarios y auxiliares del subterráneo, tales como estacionamientos, sistemas superficiales, elevados, subterráneos de transporte urbano y suburbano”.

Cronología.

El 28 de agosto de 1977 se inicia la perforación de túneles, desde la trinchera situada en Gato Negro, en ruta hacia el oeste por debajo de las avenidas: Sucre, España y El Atlántico. En octubre de 1977 el Ejecutivo Nacional le dio prioridad a la Línea 2 (Caricuao – El Silencio), iniciándose los estudios y proyectos de este ramal. Durante ese año se concluye el proyecto del tramo La Hoyada – Chacaíto y se inicia el correspondiente al tramo Chacaíto – Los Dos Caminos.

El 18 de abril de 1978 se procedió a la demolición del Cuartel Urdaneta, ubicado en Propatria, para dar paso a la construcción de los Patios y Talleres de la línea Catia – Petare. Durante el mismo año, se comienza a organizar las Gerencias de Operación y Mantenimiento de la C.A. Metro de Caracas.

Para el año 1979, se concluyen las estaciones Propatria, Pérez Bonalde, Plaza Sucre, Gato Negro y Colegio de Ingenieros. Igualmente se inicia la renovación urbana en el Boulevard de Sabana Grande, también se licita para la construcción de la fuente luminosa de la Plaza Venezuela. También en ese año, llegó desde Francia el primer cargamento de rieles para ser instalados en el tramo Propatria – Chacaíto. Arribaron al país 300 toneladas de vías férreas y escaleras. En Francia se fabrica el vagón prototipo para el Metro de Caracas.

En 1980 se inaugura el Boulevard de Sabana Grande y para 1981 se concluyen 12 estaciones de la Línea 1. Finaliza la construcción de 6.896 metros de túneles gemelos de los tramos Propatria – La Hoyada y La Hoyada – Chacaíto, así como 2.100 metros de vías a nivel y 464 metros elevados. Igualmente, se fabricaron 86 escaleras mecánicas de las 119 previstas y se instalaron 55, también se fabricaron 99 ventiladores, instalándose 39.

En el año 1981 se fabrican 33 vagones, en Francia, de los cuales arriban al país los 3 primeros el 12 de octubre de ese mismo año. En el transcurso de 1982, se finalizan las dos últimas estaciones de las catorce del tramo Propatria – Chacaíto, se termina la colocación de todas las vías férreas, se empieza la construcción del boulevard de Caricuao y se completa el Boulevard de Sabana Grande, con la Plaza Brión en Chacaíto. Los trabajos de construcción, suministros, instalaciones y pruebas

de los equipos progresaron con toda normalidad, permitiendo la puesta en operación, el 2 enero de 1983, de la primera etapa de la Línea 1 desde Propatria hasta La Hoyada, con ocho estaciones.

El horario inicial fue de 10:00 a.m., hasta las 4:00 p.m. Ese mismo año, se concluye el edificio Centro Control de Operaciones (CCO), iniciado en 1979, ubicado en La Hoyada. En marzo de 1983, se inaugura el Tramo La Hoyada – Chacaíto, con seis estaciones más. El 30 de mayo se establece el horario de 6:00 a.m. a 9:00 p.m., de lunes a sábado y el 9 de noviembre se extiende el horario de operación hasta el día domingo.

El tendido de rieles en el Patio de Las Adjuntas, de la Línea 2 Caricuao – El Silencio, se inicia en 1984. En enero de ese mismo año, se inicia la construcción del segundo tramo de la Línea 1 Chacaíto – Los Dos Caminos y la expropiación y demolición de inmuebles del tramo La Paz – El Silencio de la Línea 2. El 4 de octubre de 1987 comenzó a funcionar la primera etapa de la Línea 2, Las Adjuntas – Zoológico – La Paz, con 16,3 kilómetros de red férrea y 9 estaciones.

Mientras se ejecutaban los difíciles trabajos subterráneos de la Línea 2, el Metro creó un sistema de transporte superficial, para que miles de usuarios provenientes de las parroquias Caricuao y Las Adjuntas, pudiesen proseguir su viaje para conectarse con la Línea 1.

En los años siguientes el Metro continuó su expansión hasta finalizar completamente los 20,36 Kilómetros de la Línea 1, con el tramo Los Dos Caminos – Palo Verde, inaugurado el 19 de noviembre de 1989. El avance no se detuvo y el Metro se expandió hacia la parte sur de la ciudad; el 18 de diciembre de 1994 entró en funcionamiento el tramo Plaza Venezuela – El Valle, de la Línea 3.

El 18 de julio de 2006 fue inaugurada la Línea 4, tramo Capuchinos – Zona Rental y el 15 de octubre de ese mismo año inició operación comercial la primera fase el segundo tramo de la Línea 3, El Valle – La Rinconada.

Actualmente la red del subterráneo cuenta con 53,9 kilómetros de extensión y 44 estaciones, que movilizan diariamente más de un millón ochocientos mil beneficiarios.

Sistema Metrobús.

En 1985 se crea la Gerencia Ejecutiva de Transporte Superficial con la función principal de asegurar la prestación del transporte público en la superficie en forma segura, eficiente y confortable mediante la planificación, organización, dirección y control de la operación del sistema denominado Metrobús.

El Sistema Metrobús inicio operaciones en octubre de 1987, con un servicio de transferencia entre la estación La Paz y la estación Capitolio de la Línea 1. Un año después, el 6 de noviembre de 1988 arranca el tramo La Paz – El Silencio de la Línea 2, se inicia su operación.

A.1.3 Características del sistema por línea.

1.3.1. Línea 1 Propatria – Palo Verde.

Es la Línea más antigua del Sistema Metro de Caracas, inaugurada el 02 de enero de 1983, posee una extensión de 20,36 kilómetros, atraviesa la ciudad del Oeste al Este, cuenta con 22 estaciones. Transporta diariamente 1.200.000 pasajeros, aproximadamente.

1.3.2. Línea 2 Las Adjuntas – Zoológico – El Silencio.

Esta Línea inició sus operaciones comerciales el 4 de octubre de 1987, cuenta con 17,81 kilómetros de longitud y 13 estaciones. Transporta aproximadamente 250 mil pasajeros diarios.

1.3.3. Línea 3 Plaza Venezuela – El Valle.

Esta Línea del Metro comenzó su operación el 18 de diciembre de 1994, tiene 4,38 kilómetros de extensión y 4 estaciones, transporta aproximadamente 120 mil pasajeros diarios.

1.3.4. Línea 3 (Tramo 2 – Fase 1) El Valle – La Rinconada.

La primera fase del tramo El Valle – La Rinconada de la Línea 3, es inaugurada el 15 de octubre de 2006, permitiendo integrar a los habitantes de los Valles del Tuy con el Metro de Caracas. Tiene una extensión de 5,97 kilómetros

desde la actual estación El Valle hasta terrenos del Hipódromo, donde se conecta con la estación “Simón Bolívar” del Ferrocarril hacia los Valles del Tuy.

1.3.5. Línea 4 (Extensión de la Línea 2) Capuchinos – Zona Rental.

El tramo Capuchinos – Zona Rental, fue inaugurado el 18 de julio de 2006. Tiene una extensión de 5,5 kilómetros con 4 estaciones: Teatros, Nuevo Circo, Parque Central y Zona Rental, todas subterráneas. Este ramal opera como una extensión de la Línea 2 y transporta aproximadamente 40 mil pasajeros diariamente.

1.3.6. Metro Los Teques (Fase 1).

La primera etapa de Metro Los Teques, desde el sector El Tambor, hasta la estación Las Adjuntas de la Línea 2, del Metro de Caracas, fue inaugurada el 3 de noviembre de 2006. Tiene una extensión de 9,5 kilómetros y transporta 20 mil pasajeros diarios aproximadamente.

A.1.4 La Misión de la C.A. Metro de Caracas.

Transportar ciudadanos y ciudadanas, a través de un Sistema Metropolitano de Transporte conformado por el Sistema Ferroviario Metropolitano (Metro), el Sistema de Transporte Superficial (Metrobús), el Sistema Teleférico (Metrocable) o cualquier otra modalidad, con una organización apegada a los principios de la nueva sociedad socialista, prestando un servicio integrado, solidario y de calidad, que considere el respeto a la dignidad del ser humano y contribuya a elevar la calidad de vida de los habitantes de la Gran Caracas.

A.1.5 La Visión.

Ser la empresa socialista de servicio público ejemplar en el país, a través de la prestación de un servicio integrado en la Gran Caracas, solidario y de calidad, con un alto grado de sensibilidad social.

A.1.6 Los Valores.

Solidaridad: principio básico en sus relaciones con la comunidad regional y nacional.

Honestidad: en todas sus acciones y con todos los ciudadanos y ciudadanas.

Respeto: a los derechos humanos y al medio ambiente.

Sensibilidad: para considerar la dignidad de las personas en todos sus ámbitos de actuación.

Disciplina: para brindar un elevado nivel de calidad de servicio.

Capacidad Técnica: para ampliar, innovar, operar y mantener el Sistema de Transporte.

Consideración: de la creatividad y del esfuerzo de sus trabajadores.

Pertenencia o identificación profunda: de los trabajadores con la Empresa.

Tradicón e Historia: como referente continuo de nuestra acción.

Responsabilidad: asumida como parte inherente de la gestión.

Integridad: en la gestión garantizando coherencia entre lo que se dice y se hace.

A.1.7 Organigrama empresarial.

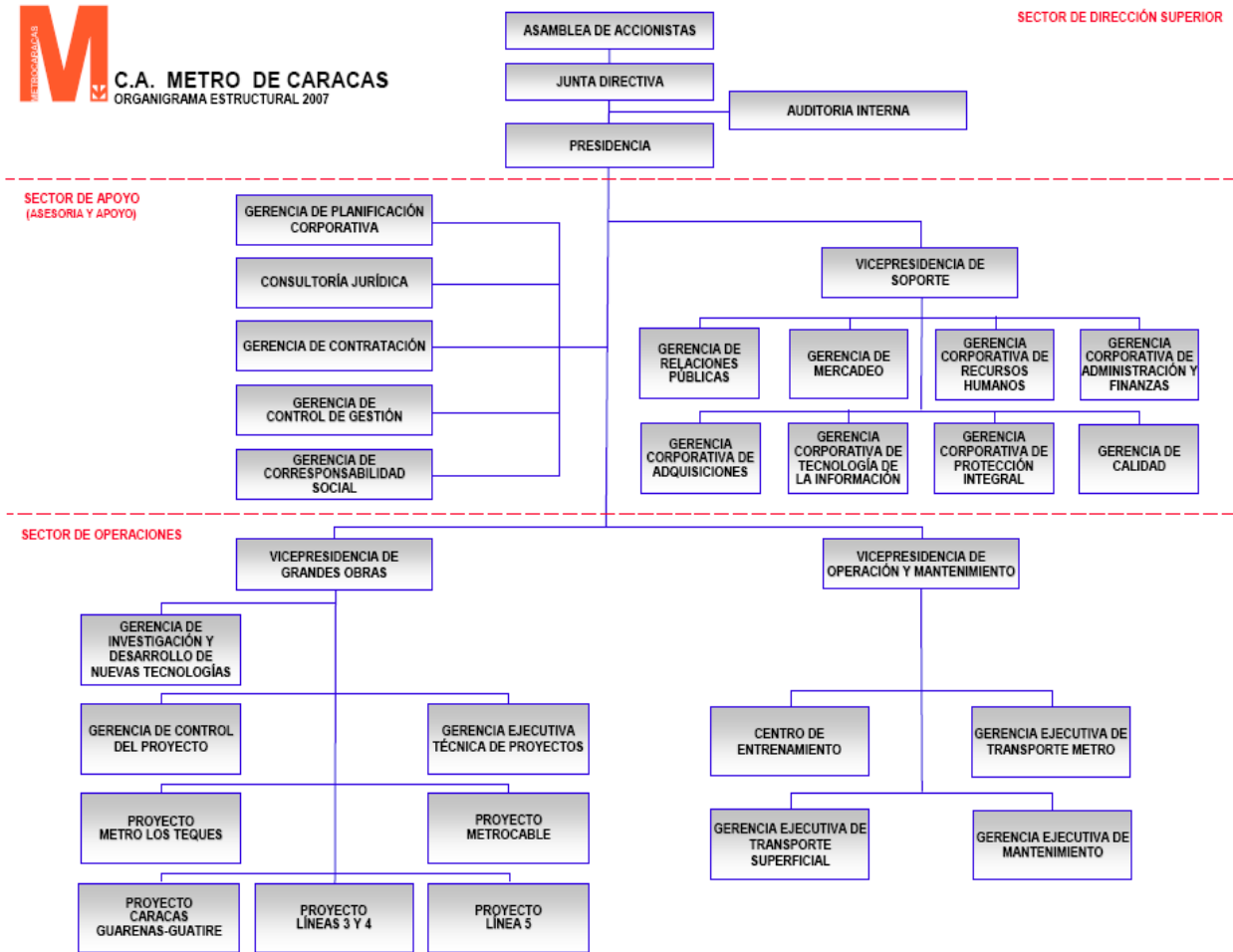


Figura A.1: Estructura organizativa aprobada por Junta Directiva en reunión N° 1.259 de fecha 13/12/2006.

A.1.8 Descripción de la Unidad de Ingeniería y Estadística (U.I.E.).

Esta unidad está adscrita a la Gerencia de Material Rodante (G.M.R.), gerencia que posee como misión el planificar, dirigir y ejecutar el mantenimiento en sus distintos niveles al material rodante, pilotaje automático, equipos de soporte e instrumentación electrónica de las instalaciones fijas y de transporte superficial del Sistema Metro, para preservarlos en buenas condiciones de funcionamiento y apariencia en las condiciones de disponibilidad, seguridad, confiabilidad y confort,

de acuerdo al costo más favorable para la empresa, cónsono con el nivel y la calidad del servicio que se desea y siguiendo las políticas y lineamientos de la empresa.

La función de la Unidad de Ingeniería y Estadística es el de analizar y evaluar permanentemente el desempeño del material rodante con el fin de mejorarlo a través del análisis estadístico, mediante la planificación y la aplicación de estrategias, producto de las herramientas de la ingeniería de mantenimiento. Se estructuran de acuerdo a su especialización cumpliendo funciones de soporte técnico, tecnológico y gestión del mantenimiento. Estas unidades dentro de la Gerencia de Material Rodante tiene el mismo peso desde el punto de vista organizacional, ya que son el soporte de los procesos medulares de la organización. Por lo tanto, cuando se definan las responsabilidades y cargos de los jefes de las mismas tienen que estar al mismo nivel que los de las Divisiones de Línea.

La Unidad de Ingeniería y Estadística, se estructura en unidades independientes e interrelacionadas, donde cada una de ellas abarca las distintas áreas de los procesos de Ingeniería de Mantenimiento. Estas son:

- **Área de Ingeniería:** Se encarga de resolver los problemas de orden técnicos asociados a equipos de alta tecnología como los que componen los sistemas ferroviarios. Todo esto bajo un enfoque de interface directa y constante con las unidades de mantenimiento. También, abordar los cambios tecnológicos que surjan en materia de equipos, estudiando la conveniencia de adoptar modificaciones para optimizar el funcionamiento de los sistemas del Material Rodante.
- **Área de Métodos:** Abarca toda el área metodológica de los procesos de mantenimiento: procedimientos de mantenimiento, organización y planificación de actividades de mantenimiento, documentación técnica y formación. Todo enmarcado bajo un enfoque de Gestión de Calidad.
- **Área de Estadística:** Tiene como función la de generar todos los indicadores técnicos y de gestión de la Gerencia de Material Rodante. Esto abarca informe Semanal, Mensual y Calidad de Servicio de la GMR. También, aborda los problemas de gestión de Información de las unidades operativas. Aplicación de

modelos de análisis estadísticos al comportamiento de los sistemas del material rodante.

- **Área de Mediciones Especiales:** Se encarga del manejo de equipos de Medición Especializados para resolver los problemas de orden técnicos que surjan en los Sistemas del Material Rodante. Además, coordina y gestiona la calibración periódica de instrumentos de medición.
- **Área de Planificación:** su ocupación es el diseño de los planes a mediano y largo plazo de la Gerencia de Material Rodante de acuerdo a los lineamientos corporativos de la Gerencia Ejecutiva de Mantenimiento. Estos planes comprenden los operativos o anuales y los tácticos a mediano plazo.
- **Área de Proyectos Especiales:** se ocupa de apoyar en la definición de las especificaciones técnicas tanto de los trenes con nuevas tecnologías como de los equipos de las nuevas modalidades de transporte. Estas especificaciones también abarca los nuevos esquemas de mantenimiento (procesos, infraestructura y formación del personal de mantenimiento) e inspecciones en las etapas de implantación de los mismos.

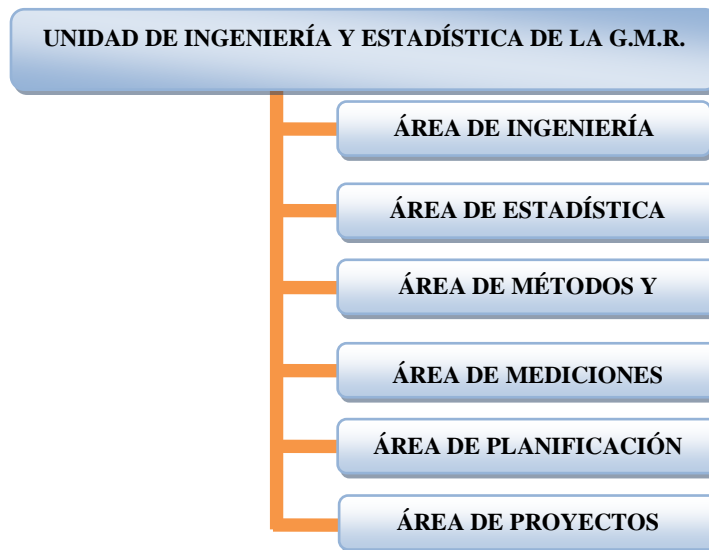


Figura A.2: Organigrama de la Unidad de Ingeniería y Estadística de la Gerencia de Material Rodante.

[ANEXO N°2]

DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN ESTUDIADA

A.2.1 Motor de tracción DC.

El motor de tracción es pieza fundamental dentro del sistema Metro, su función es el mover y frenar la carga que conforman los vagones. Cada vagón tipo tracción, posee cuatro motores, dos por cada bogie¹, los cuales se encuentran conectados en serie y a su vez estos se encuentran conectados en paralelo con los dos restantes, el accionamiento de estos motores es realizado por un sistema de control eléctrico de potencia. La tracción generada por estos motores es llevada a las ruedas del bogie a través de una caja reductora.

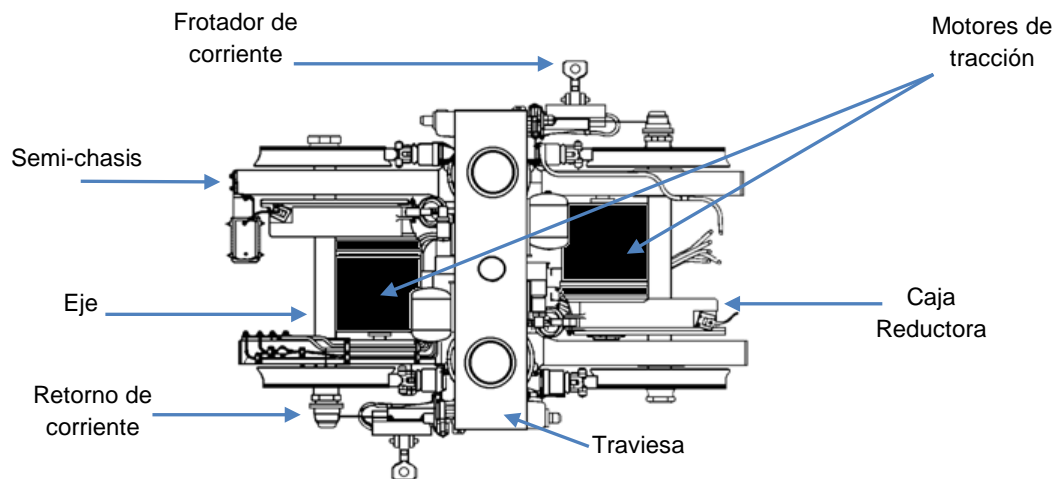


Figura A2.1: Conjunto bogie-motor, vista superior.

A.2.1.1 Motor tracción de primera generación.

Identificado con el número de modelo 4EXH2522. Es un motor de corriente continua, excitación serie, con polos de compensación, polos principales y auxiliares.

¹ Bogie: conjunto de dos o más pares de ruedas, montadas sobre ejes próximos, paralelos y solidarios entre sí, que se utilizan en ambos extremos en vehículos de gran longitud destinados a circular sobre rieles.

Está diseñado para obtener un óptimo funcionamiento durante su uso como freno eléctrico regenerativo. Es autoventilado y provisto de un filtro de succión.

Dentro de la empresa Metro, estos motores están identificados según la siguiente nomenclatura: MT1-XXXX, este número va desde el MT1-0001 hasta el MT1-1588, es decir, existen 1588 motores de tracción DC de primera generación. Estos motores prestan servicio en los trenes de Línea 1 y Línea 2, específicamente en vagones cuya identificación comiencen por 11 o 21 (vagones con cabina de conducción o tipo A) y en los vagones con número de identificación comenzados por 12 o 22 (vagones sin cabina o tipo B). [14] La alimentación de estos motores se realiza por medio de la toma del tercer riel, a tensión continua de 750 V y a través del sistema chopper.

Tabla A2.1: Régimen garantizado motor de tracción 1^{ra} generación.

| | |
|-----------------------|--------------|
| Régimen continuo | 340 V |
| Potencia continua | 122 kW |
| Intensidad nominal | 400 A |
| Tensión nominal | 340 V |
| Velocidad de rotación | 1800 ±60 rpm |
| Par motor | 645 ± Nm |

Tabla A2.2: Datos de construcción de las bobinas estáticas del motor de tracción 1^{ra} generación.

| | Polos Principales | Polos Auxiliares | Polos de compensación |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| No. de polos | 4 | 4 | 4 |
| Espiras por polo | 18 | 12 | 6 |
| Acoplamiento de bobinas | Serie | Serie | Serie |
| Largo medio de la espira | 0,79 m | 0,412 m | 0,95 m |
| Masa de cobre (4 bobinas) | 45 kg | 17,5 kg | 13,2 kg |
| Clase de aislamiento | F | F | F |
| Tipo de material aislante | Polytermaleze + Daglas | Polytermaleze + Daglas | Polytermaleze + Daglas |

Tabla A2.3: Datos de construcción de las bobinas rotórica del motor de tracción 1^{ra} generación.

| | |
|-------------------------------------|------------------------|
| No. de ranuras | 39 |
| Tipo de arrollamiento | Serie |
| No. de conductores por ranura | 6 |
| No. total de conductores | 234 |
| Paso del devanado sobre el inducido | 1 a 11 |
| Masa de cobre | 34 kg |
| Clase de aislamiento | F |
| Tipo de material aislante | Polytermaleze + Daglas |
| Aislación de las ranuras | Cinta Samicacé epóxica |

Constitución de las bobinas estáticas.

Bobina principal: está formada por un conductor en forma de pletina, arrollada en dos niveles de 10 y 8 espiras cada uno. El conductor desnudo es de 6,3 mm x 14 mm, quedando con aislamiento con 6,62 mm x 14,47 mm aproximadamente.

Bobina auxiliar: formada por un conductor en forma de pletina, arrollada en dos niveles de 6 espiras cada uno. El conductor desnudo es de 3,55 mm x 28 mm aproximadamente.

Bobina de compensación: constituida por dos conductores en paralelo, con forma de pletina y dimensiones de 3,35 mm x 10 mm para el conductor desnudo y 6,62 mm x 3,47 mm para el conductor aislado.

Bobina rotórica: el devanado rotórico es del tipo ondulado simple, está conformado por espiras de tres conductores cada una, las dimensiones del conductor desnudo es de 2,24 x 7,1 mm y para el conductor aislando de 2,545 x 7,13 mm, el colector posee 117 delgas con espesor del aislante entre delgas es de 1,3 mm; el rotor posee 39 ranuras en las cuales se alojan 6 conductores por ranura, en decir, se dispone de 234 conductores, el paso polar (paso de devanado) sobre el inducido es de 1-11, el paso de devanado a nivel del colector es de 1-60. Todas estas bobinas poseen, en principio el mismo tipo de material aislante, “Polytermaleze + Daglas”. El aislamiento Polytermaleze es un tipo de esmalte que recubre a los conductores de cobre de las bobinas, consiste en una capa de esmalte oscuro compuesto por un barniz

de tipo reticulado y otro de tipo lineal. El aislamiento Daglas es una combinación de fibra de vidrio y fibra de poliéster.

Inicialmente, este motor trajo consigo aislamiento tipo F, últimamente a las empresas que le realizan mantenimiento de quinto nivel a los componentes de estos motores, se les ha encomendado la tarea de cambiar el tipo de aislamiento de los mismos, de tipo F a tipo H, inicialmente este proceso de cambio en la clase de aislamiento fue realizado en los inducidos de estos los motores, que son los elementos que poseen mayor índice de degradación del aislante, a la fecha, se están haciendo gestiones para hacer lo mismo en las bobinas estáticas de la máquina.

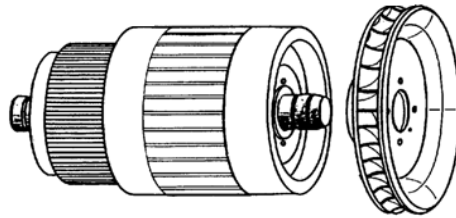


Figura A2.2: Inducido del motor de tracción de 1^{ra} generación.

A.2.1.2 Motor tracción de segunda generación.

Identificado con el número de modelo 4EXF-2522A. Es un motor de corriente continua, excitación independiente, con polos de compensación, polos principales y auxiliares. Este motor presenta características similares con respecto al motor de tracción de primera generación, su cambio significativo, se encuentra en la potencia que maneja que es de 152 kW, esta mejora se logró al cambiar el tipo de material aislante en el inducido de la máquina, usándose resina de silicona para tal efecto, ésta hace que la clase térmica del aislante pase a ser clase 200. Adicionalmente se aumentó la sección transversal de cobre de las bobinas del inducido, lo cual permite que aumente la capacidad de corriente del circuito.

Estos motores están identificados, dentro de la empresa Metro, según la siguiente nomenclatura: MT2-2XXX, número que va desde el MT2-2001 hasta el MT2-2522, es decir, existen 522 motores de tracción DC de segunda generación. Estos motores prestan servicio en los trenes de Línea 2 y algunos en la Línea 3, específicamente en vagones cuya identificación comiencen por 31 o 41 (vagones con

cabina de conducción o tipo C) y en los vagones con número de identificación comenzados por 12 o 22 (vagones motrices sin cabina o tipo B), existiendo un tipo de vagón sin motor de tracción con identificación iniciados por 33 o 43.

Tabla A2.4: Comparación entre motor de tracción 1^{ra} y 2^{da} generación.

| Características | Motor de tracción | |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 1 ^{ra} generación | 2 ^{da} generación |
| Tipo | Serie | Independiente |
| Diámetro del colector | 260 mm | 250 mm |
| Diámetro pista del colector | 76 mm | 85 mm |
| Bobina principal | 18 espiras (6,3 x 14 mm) | 228 espiras (1,12 x 5,6) |
| Bobina de compensación | 6 espiras (3,35 x 10) | 6 espiras (7,1 x 4,75) |
| Potencia régimen continuo | 122 kW | 152 kW |
| Peso | 665 kg | 720 kg |

Al igual que el motor de primera generación, el motor de segunda generación presenta la misma configuración de bobinas dentro del estator, y posee el mismo modelo circuital que el motor de 1^{ra} generación.

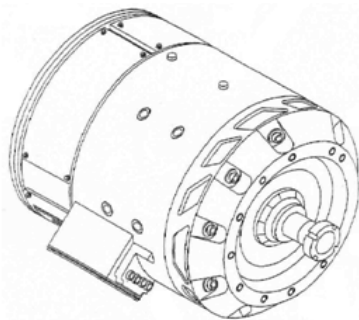


Figura A2.3: Motor de tracción DC de 2^{da} generación. [Fuente: MSO]

A.2.1.3 Motor de tracción AC.

El control de la velocidad de rotación en los motores de tracción es factor preponderante dentro de cualquier sistema de transporte masivo ferroviario, por tal razón, en un principio los motores de corriente continua constituía la pieza fundamental en el sistema de tracción/frenado del sistema Metro, debido a que el circuito asociado al control de velocidad del mismo, es sencillo. Con el surgimiento de equipos de control que permiten accionar de manera eficiente a los motores asíncronos, el controlar la velocidad de rotación en un motor AC se convirtió en

algo que no representaba complejidad alguna. De esta manera, este tipo de motor representa la nueva tecnología de motores para tracción en los vagones del sistema Metro. Por ser equipos con muy poco tiempo en servicio, su mantenimiento preventivo y correctivo no está a cargo de la compañía Metro de Caracas, pero por estar por cumplirse la fecha de culminación de la garantía, la compañía CAMETRO se encuentra preparándose para efectuarle el mantenimiento respectivo a este motor.

Debido a todo esto, la cantidad de información relacionada a éste motor, es limitada por los momentos y no se conoce la clase y tipo de aislamiento que posee. Aún así se conoce que se trata de un motor asincrónico modelo 4EXA1828, posee dos pares de polos, el inducido es del tipo jaula de ardilla, la potencia que maneja es de 150,1 kW con tensión de entrada de 290 / 502 V (fase-neutro/ fase-fase), la intensidad de corriente en régimen continuo es de 221,6 A; con una velocidad nominal de 1800 r.p.m. teniendo una franja de velocidad de 0 a 3081 r.p.m.; es autoventilado y la alimentación eléctrica es realizada por tres cables conectados a una caja de bornes, la conexión del neutro se encuentra dispuesto directamente en la carcasa estatórica del motor y la medida de aislamiento de las bobinas estatóricas debe ser mayor a 5 M . Como a todas la tecnologías precedentes de motores de tracción, a este motor se le tiene asignado un número de identificación dentro de la empresa, este número posee el siguiente formato: MT4-XXX, y va desde el MT4-001 hasta el MT4-200.



Figura A2.4: Motor de tracción asincrónico.

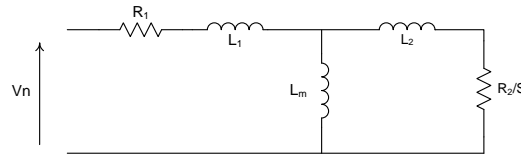


Figura A2.5: Circuito equivalente monofásico del motor de tracción asincrónico.

Con $R_1 = 0,0168 \Omega$ a 20°C
 $R_2 = 0,0253 \Omega$ a 20°C
 $L_1 = 0,5698 \text{ mH}$
 $L_2 = 0,3799 \text{ mH}$
 $L_m =$ (en mH) varía en función de E/f (V/Hz) [19], ver gráfico A8.1

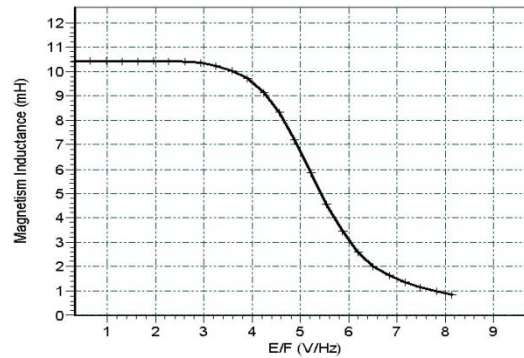


Gráfico A2.1: Inductancia L_m (mH) en función del valor E/F (V/Hz).

A.2.2 Grupo Motor Alternador (GMA).

Es un grupo de tres máquinas rotativas eléctricas (motor-generador-excitatriz), unidas de manera tal que conforman un solo bloque por lo que comparten un mismo eje axial. Este sistema convierte 750 Vcc del tercer riel, a una tensión alterna trifásica de 208 Vac @ 60 Hz para alimentar las cargas auxiliares del vagón, tales como: aire acondicionado, compresor de aire, convertidor estático, motoventiladores del chopper, compresor del sistema neumático, el cofre de resistencia de frenado eléctrico, entre otros.

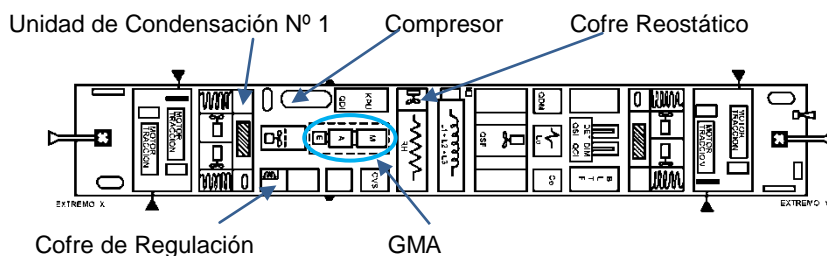


Figura A2.6: Vista inferior del vagón, situación del GMA.

A.2.2.1 GMA 1^{ra} generación.

Está conformado por un motor de corriente continua, tipo compensado, cuya identificación es 4EUD2523 y de un alternador con excitatriz con denominación 4EUS2534 y E160SP respectivamente. El conjunto completo pesa 1490 kg.

Tabla A2.5: Características generales del GMA 1^{ra} generación.

| | |
|--------------------------------|--------------------|
| Potencia Continua | 100 kVA |
| Factor de potencia | 0,8 en atraso |
| Tensión nominal alternador | 208 V |
| Corriente nominal de fase | 278 A |
| Frecuencia | 60 Hz \pm 5% |
| Tensión motor | 750 V |
| Corriente nominal del inducido | 125 A (para 750 V) |
| Corriente nominal del inductor | 276 A (para 750 V) |
| Velocidad de rotación | 1800 rpm \pm 5% |

Esta tecnología de GMA están identificadas, dentro de la empresa Metro, según la siguiente nomenclatura: GMA1-XXX, este número va desde el GMA1-001 hasta el GMA1-395. Cumplen funciones dentro de los vagones y trenes de la línea 1 y 2, específicamente en vagones con identificación 11XXX y 12XXX (tipo A y B respectivamente) y vagones con numeración 21XXX y 22XXX (tipo A y B respectivamente). [14]

El funcionamiento del GMA comienza cuando el sistema toma energía eléctrica del tercer riel de 750 Vcc, voltaje que alimenta al motor de corriente continua del grupo motor-alternador, que hace las veces de primo motor del generador sincrónico, dentro de la excitatriz se encuentra un imán permanente que

con el movimiento rotatorio, induce una pequeña cantidad de corriente dentro de su circuito, esta corriente es inyectada a la rueda polar del generador que genera un bajo nivel de voltaje a la salida del alternador, un circuito externo al GMA se encarga de monitorear y regular la tensión de salida del alternador, una vez que exista presencia de tensión en los terminales de salida del alternador el circuito se encargará de controlar los niveles de corriente que la excitatriz aportará a la rueda polar para poder mantener dentro del rango al voltaje de salida del generador.

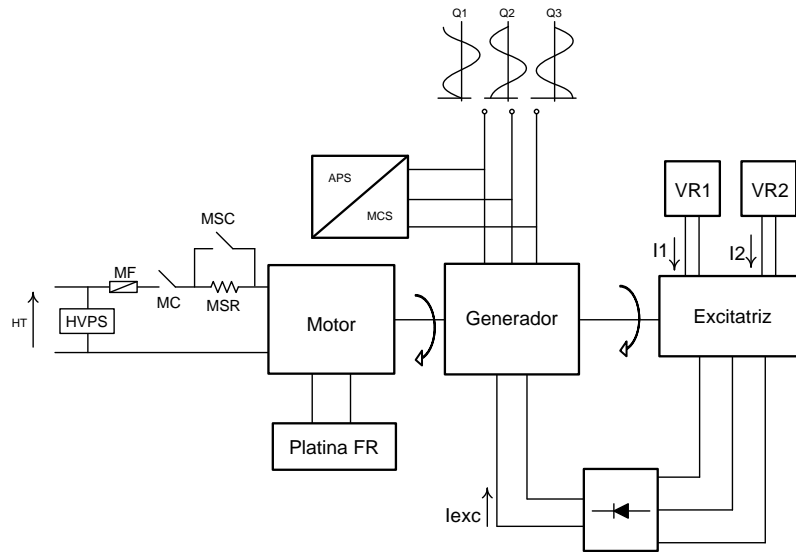


Figura A2.7: Esquema de funcionamiento del GMA.

Descripción por elementos.

Motor DC (4EUD2533): motor de corriente continua, autoventilado, excitación “coumpound”, constituido por cuatro polos principales y cuatro polos auxiliares, de construcción laminada y de carcasa compacta. Dentro del conjunto GMA, esta máquina eléctrica se encarga de transformar energía eléctrica de alta tensión de 750 Vcc en energía mecánica para el eje de rotación del alternador y la excitatriz.

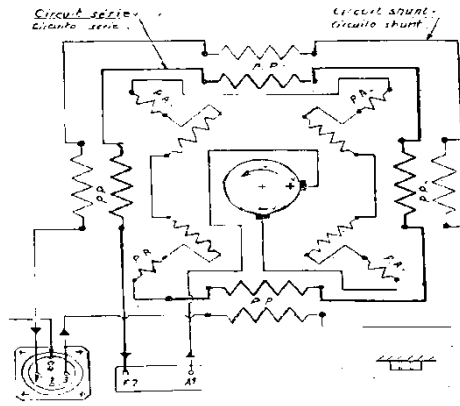


Figura A2.8: Esquema eléctrico del motor 4EUD 2533.

Tabla A2.6: Características eléctricas del motor 4EUD 2533.

| | |
|--|--------|
| Potencia | 87 kW |
| Condiciones de tensión | |
| Tensión nominal de entrada | 750 V |
| Tensión máxima permanente | 1035 V |
| Tensión mínima permanente | 600 V |
| Tensión mínima permanente en régimen degradado | 450 V |
| Condiciones de corriente | |
| Corriente del inducido nominal | 125 A |
| Corriente del inducido máxima | 160 A |
| Corriente del inductor nominal | 2,76 A |
| Corriente del inductor máxima | 5,61 A |

La clase de aislamiento utilizada en este motor es de tipo F en todas sus bobinas, para tal efecto se utilizan la combinación de productos secos con base de sámica unida a material de fibra de vidrio. Todo el conjunto es montado en seco sobre la carcasa con las conexiones respectivas, donde se le aplica el proceso de VPI con una resina tipo expósica de clase F.

El inducido de este motor posee 43 ranuras con dimensiones de 10,15 mm x 25,5 mm, el conductor que conforman las espiras de este inducido poseen forma rectangular de 9 mm x 1,4 mm, estos están aislados entre sí y respecto al núcleo, el número de conductores por ranura es de diez y el tipo de bobinado es serie. El colector posee 215 delgas teniendo un espacio de 1mm entre delga y delga.

Alternador (4EUS2534): Tiene como función el de transformar la energía mecánica proveniente del motor de corriente continua 4EUD2533 que se le entrega a

través de su eje, en energía eléctrica alterna trifásica. La tensión de salida del alternador está regulada por un equipo electrónico y electromecánico, que registra las variaciones de la carga dentro de la red trifásica.

Tabla A2.7: Características generales del alternador 4EUD 2534.

| | |
|--|----------------|
| Potencia | 100 kVA |
| Condición de tensión y corriente de salida | |
| Tensión nominal de salida | 208 V \pm 5% |
| Corriente nominal | 273 A |
| Corriente máxima | 500 A |

El estator posee 48 ranuras con dimensiones de 12,45 mm x 10,45 x 190 mm; en donde están alojados los arrollados del inducido, el bobinado es del tipo ondulado de doble capa, conformado por hilos de cobre de 2,12 mm de diámetro; aislado en clase F. El rotor es de cuatro polos, del tipo polo salientes; las cuatro bobinas polares están conformadas por conductores de cobre, de sección rectangular de 2,24 mm x 6,3 mm; conectadas en serie en número de 90 espiras por polo y aisladas en clase F. El rotor posee un arrollado denominado amortiguador el cual asegura la estabilidad eléctrica de la máquina, está ubicado sobre los polos inductores y está formado por barras de cobre que atraviesan las chapas magnéticas, en número de seis por polos, estas se cierran en cortocircuito a través de la rueda polar en forma de anillos, cada barra posee una sección transversal de 50,26 mm² y la sección del anillo de cortocircuito posee una sección de 210 mm².

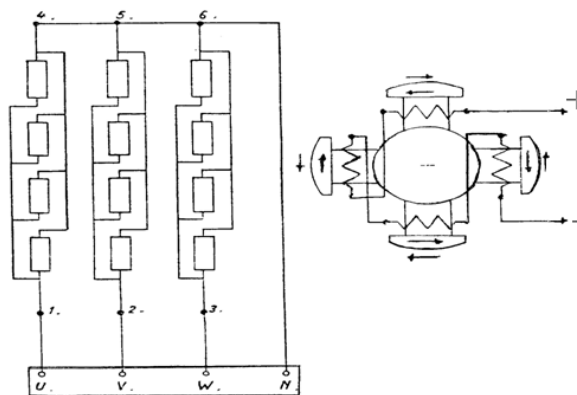


Figura A2.9: Esquema eléctrico del alternador 4EUD 2534.

Excitatriz (E160SP): es un alternador donde el inducido se encuentra sujeto al eje de rotación, en el existen dos arrollados de excitación, los cuales tienen como función el mantener un adecuado nivel de corriente en el eje polar del alternador en condiciones normales de funcionamiento o bajo cambios bruscos de carga, la misma es a su vez controlada por el sub-sistema de regulación. Antes de suplir a la rueda polar, la corriente generada por la excitatriz es rectificadora a través de un puente de seis diodos giratorios conectados entre la salida trifásica de la excitatriz y la alimentación del alternador. El estator de la excitatriz está compuesta por tres arrollados, uno que cumple función de imán permanente el cual se puede reimantar una vez que pierda sus propiedades magnéticas, un arrollado que permite el ajuste grueso de la tensión de salida del alternador, y por último un arrollado que ajusta de manera fina la tensión de salida del generador síncrono. El inducido de la excitatriz posee 24 ranuras, el arrollado es de tipo distribuido con cinco conductores por ranura y con clase de aislamiento F. El inductor, posee 3 bobinas: bobina principal (ajuste grueso) con un número de 285 espiras, bobina auxiliar (ajuste fino) de 66 espiras y la bobina de reimantación 70 espiras; el aislamiento de los bobinados es del tipo clase F.

Tabla A2.8: Características generales de la excitatriz (E160SP).

| Potencia | 2 kW |
|--|-------|
| Condición de tensión y corriente de salida | |
| Tensión nominal rectificadora | 35 V |
| Tensión máxima rectificadora | 70 V |
| Corriente nominal rectificadora | 56 A |
| Corriente máxima rectificadora | 112 A |

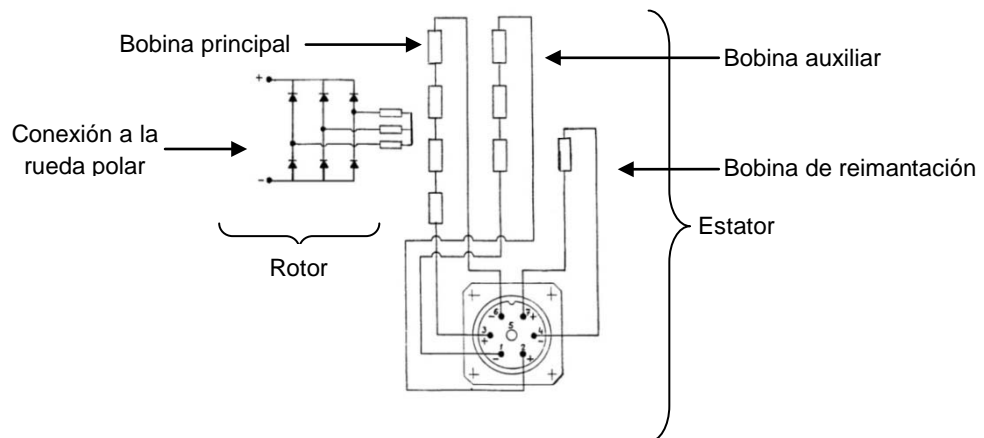


Figura A2.10: Esquema eléctrico de la excitatriz (E160SP).

Dentro de los dispositivos externos al GMA 1^{ra} generación se tiene: la platina HVPS, protección encargada de supervisar la tensión de entrada al sistema; fusible MF que protege contra sobre corrientes en la entrada del sistema; contactor MC que se encarga se conectar al GMA a la red de 750 Vcc cuando se cumple las condiciones iniciales para el caso; resistencia MSR que limita la corriente de arranque del motor de corriente continua durante el arranque; contactor MSC que cortocircuita a la resistencia MSR cuando el motor de corriente continua haya concluido el arranque y se encuentra en condiciones estables; platina FR mantiene al motor girando a 1800 rpm \pm 5%; platina de protección APS y microdisyuntor MSC los cuales desconectan al GMA si se llega a presentar alguna condición anormal en su salida; por último se tiene las platinas VR1 y VR2 encargados de mantener los límites de tensión de salida del alternador en 208 Vac \pm 5%.

Tabla A2.9: Condición nominal de tensión del GMA 1^{ra} generación.

| Magnitudes de tensión de entrada de las distintas máquinas que conforman el GMA 1 ^{ra} generación | | |
|--|--------------------------------|---------------------|
| Máquina / Elemento | Terminales | Condiciones nominal |
| Motor DC | F ₂ -A ₁ | 750 V |
| | S ₃ -S ₂ | 750 V |
| Alternador | U-V, U-W, V-W | 208 V |
| | Rueda polar | 30 V |
| Excitatriz | 3-6 (Ajuste Grueso) | 30 V |
| | 1-2 (Ajuste fino) | 5 V |
| | 4-7 (Re-ímantación) | 12 V |

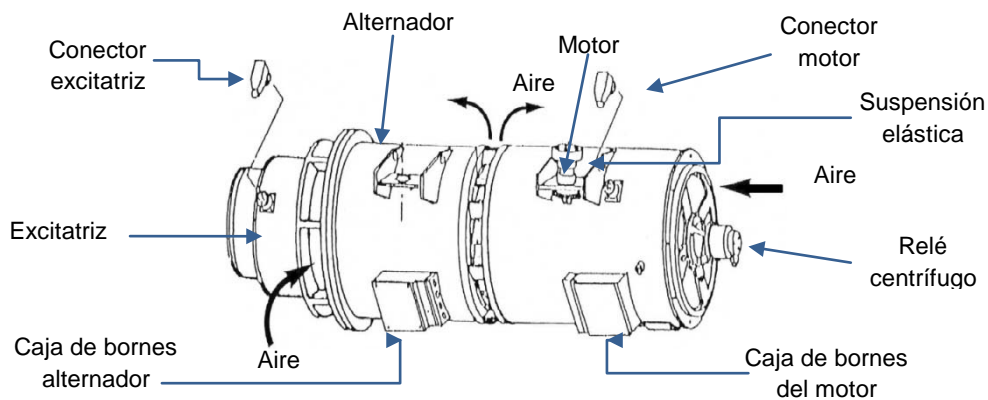


Figura A2.11: Identificación de las piezas del GMA 1^{ra} Generación.

A.2.2.2 GMA 2^{da} generación.

Al igual que el GMA de primera generación, el GMA de segunda generación está compuesto por un motor de corriente continua, tipo compensado, cuya identificación es 4EUD2533B, un alternador con denominación 4EUS3125, una excitatriz identificada como 8T1301 y una estatodina registrada con el número 12KSX1530 compuesta a su vez por dos elementos: eje de excitación y eje de baterías. El sistema es autoventilado, las tomas de aire de enfriamiento del motor y del alternador se hacen por medio de un sistema llamado "VORTEX", que consta de un filtro centrifugo que expulsa el polvo y el agua.

Tabla A2.10: Características generales del GMA 2^{da} generación.

| | |
|--------------------------------|-------------------|
| Potencia Continua | 85 kVA |
| Factor de potencia | 0,81 en atraso |
| Tensión nominal alternador | 208 V \pm 5% |
| Corriente nominal de fase | 148 A |
| Frecuencia | 60 Hz \pm 3Hz |
| Tensión motor | 750 V |
| Corriente nominal del inducido | 148 A |
| Velocidad de rotación | 1800 rpm \pm 5% |

Esta tecnología de GMA están identificadas, dentro de la empresa Metro, según la siguiente nomenclatura: GMA2-XX, este número va desde el GMA2-01 hasta el GMA2-81. Se encuentran prestando funciones dentro de los vagones y trenes de la línea 2 y 3, específicamente en vagones con identificación 31XXX y 32XXX, tipo C y D respectivamente.

El funcionamiento de esta tecnología de GMA es equivalente al de primera generación, su única variante está en la aparición de la estatodina dentro del conjunto, además de que para este GMA la resistencia de arranque para el motor DC, se encuentra unida al conjunto en su parte superior.

Descripción por elementos:

Motor DC (4EUD2533B): Este motor de corriente continua posee cuatro polos laminados, es compensado, autoventilado y utiliza dos escobillas para hacer

más sencillas las intervenciones del mantenimiento. Su excitación, al igual que el GMA de 1^{ra} generación, es “compound” lo que garantiza mayor estabilidad y poder de recuperación durante el funcionamiento del sistema en régimen transitorio. Su función es la de generar energía mecánica al conjunto.

Tabla A2.11: Características generales del motor DC 4EUD2533B.

| | |
|--|-------|
| Potencia | 95 kW |
| Condiciones de tensión | |
| Tensión nominal de entrada | 750 V |
| Tensión máxima permanente | 950 V |
| Tensión mínima permanente | 600 V |
| Tensión mínima permanente en régimen degradado | 450 V |
| Condiciones de corriente | |
| Corriente del inducido nominal | 148 A |
| Corriente del inducido máxima | 186 A |
| Corriente inducida shunt nominal | 5,8 A |
| Corriente inducida shunt máxima | 11 A |

Las bobinas estáticas y las bobinas rotóricas de este motor, poseen aislamiento tipo F, sin tener conocimiento específico del material utilizado para tal efecto, sin embargo, visualmente se puede inferir que posee los mismos materiales de aislamiento que se utiliza en el GMA de 1^{ra} generación, es decir, productos secos con base de sámica unida a material de fibra de vidrio.

El núcleo del inducido de este motor posee 39 ranuras con dimensiones de 9,4 mm x 26,9 mm, el conductor que conforman las espiras de este inducido poseen forma rectangular de 10 mm x 1,32 mm, estos están aislados entre sí y respecto al núcleo, el número de conductores por ranura es de diez y el tipo de bobinado es serie. El colector posee 195 delgas teniendo un espacio de 1mm entre delga y delga.

Alternador (4EUS3125): Su función es el de transformar la energía mecánica proveniente del motor de corriente continua 4EUD2533B en energía eléctrica alterna trifásica. La tensión de salida del alternador está regulada por un equipo electrónico y electromecánico, que registra las variaciones de la carga dentro de la red trifásica.

Tabla A2.12: Características generales del alternador 4EUS3125.

| | |
|---------------------------|----------------|
| Potencia | 85 kVA |
| Tensión nominal de salida | 208 V \pm 5% |
| Corriente nominal | 236 A |
| Corriente máxima | 500 A |

El estator posee 48 ranuras con dimensiones de 22,6 mm x 13,4 mm; donde están alojados los arrollados del inducido, el tipo de bobinado es de una capa con pliegue bilateral, conformado por hilos de cobre de diámetro 1,4 mm; dispuestos de a cinco hilos por capa y aisladas en clase F. El rotor es de cuatro polos salientes; las cuatro bobinas polares están conformadas por conductores de cobre, de sección rectangular de 7,5 mm x 1,9 mm, conectadas en serie y aisladas en clase F.

Excitatriz (8T1301): Al igual que la excitatriz del GMA 1^{ra} generación, ésta es un alternador que alimenta a la rueda polar del alternador. Está colocada sobre el mismo eje del motor y el alterador; su estator hace carcasa común con el alterador. La entrega de corriente a la rueda polar se efectúa por medio de un puente de diodos giratorios necesaria para llevar la corriente de características trifásicas alternas a corriente DC, esta entrega de corriente se hace de manera inmediata ya que la salida de la excitatriz está unida a la rueda polar.

El inducido de la excitatriz de 2^{da} generación es de polos consecuentes, con 24 ranuras con un número de 6 conductores por cada ranura, la dimensión de la ranura es de 12,6 mm x 19 mm; el conductor está conformado por 6 hilos de cobre de 1,32 mm de diámetro haciendo que el conductor posea una sección de 8,21 mm². El inductor posee 285 espiras, los conductores que conforman estas espiras poseen un diámetro de 1,25 mm². Tanto las bobinas del inducido como las bobinas del inductor poseen aislamiento clase F.

Tabla A2.13: Características generales de la excitatriz (8T1301).

| | |
|--|--------|
| Potencia | 1,3 kW |
| Condición de tensión y corriente de salida | |
| Tensión nominal rectificada | 30 V |
| Tensión máxima rectificada | 70 V |
| Corriente nominal rectificada | 41,5 A |
| Corriente máxima rectificada | 50,6 A |

Estatodina (12KSX1530): viene a sustituir al convertidor estático CVS que se venía utilizando en los vagones de la línea 1 y 2 junto al GMA de 1^{ra} generación. Es una máquina eléctrica rotativa sin bobinados giratorios ni contactos frotantes, el inductor y el inducido se encuentran ubicados en el estator. Posee dos ejes, el eje de excitación (200 V, 18 A) que regula la velocidad de rotación del sistema, al ajustar la corriente del arrollado shunt del motor, y el eje de batería (78 V, 115 A) que se encarga de suministrar la corriente necesaria para cargar el grupo de baterías del vagón y alimentar el bus de baja tensión del tren. El principio de funcionamiento de esta máquina se basa en que la corriente que circula por el inductor, situado en el estator, genera un campo magnético constante, este campo magnético que se genera rebota en la masa del rotor de la máquina, distorsionándose debido a la forma que posee ésta masa rotórica y por la velocidad de rotación, este campo magnético se deforma de tal manera que permite que se generen tensiones de características alternas en los devanados del inducido de la máquina, que se encuentran también fijos y ubicados dentro del estator de la misma.

En el eje de baterías, el inducido presenta un acoplamiento estrella-serie con tres conductores por ranura, cada conductor posee 10 hilos de cobre con diámetro de 1,25 mm haciendo que el conductor tenga una sección de 12,27 mm²; el inductor posee 235 espiras donde el conductor que la conforma posee un diámetro de 1,6 mm. En el eje de excitación, el inducido presenta un acoplamiento estrella-serie con 10 conductores por ranura, cada conductor posee 3 hilos de cobre con diámetro de 1,12 mm haciendo que el conductor tenga una sección de 2,96 mm²; el inductor posee 117 espiras donde el conductor que la conforma posee un diámetro de 1,18 mm.

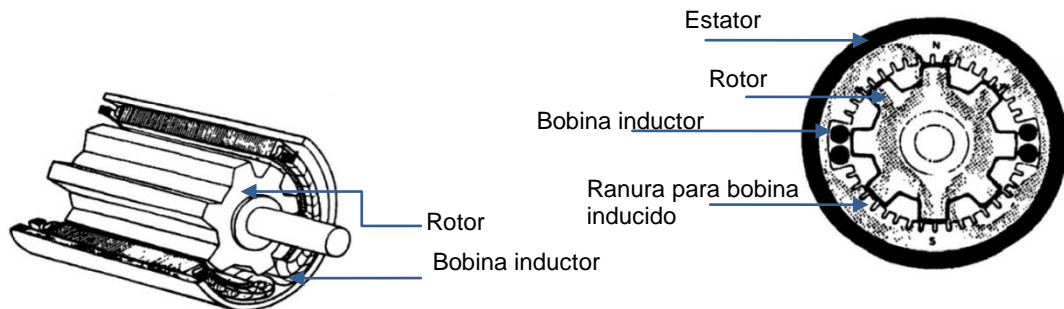


Figura A2.12: Identificación de la estatodina del GMA 2^{da} generación.

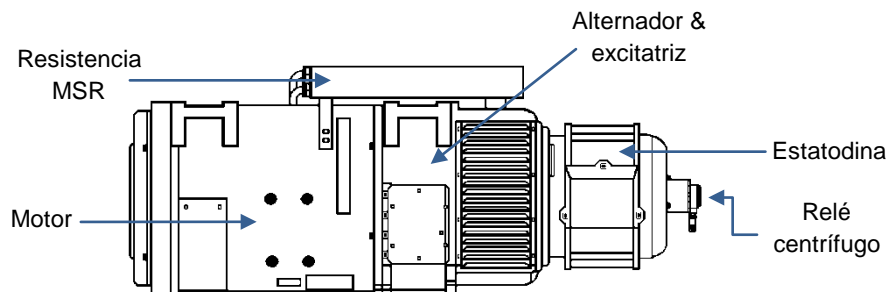


Figura A2.13: Identificación de las piezas del GMA 2^{da} generación.

Tabla A2.14: Disposición de los motores de tracción y GMA dentro de las líneas operativas de la empresa Metro de Caracas.

| Línea | L-1 y L-2 | L-2 y L-3 | L2 (L-4) | L-3.2 | MLT |
|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| Vagón | A(11xxx, 21xxx) B(12xxx, 22xxx) | C(31xxx) D(32xxx) R(33xxx) | C(41xxx) D(42xxx) R(43xxx) | E(51xxx) F(52xxx) T(53xxx) | E(81xxx) F(83xxx) |
| Tecnología motor de tracción | CC (122Kw) | CC (152Kw) | CC (152Kw) | Asíncronos (150Kw) | Asíncronos (150Kw) |
| Tecnología de GMA | GMA 1 ^{ra} Generación | GMA 2 ^{da} generación | Ondulados (CVS) | Ondulados (CVS) | Ondulados (CVS) |

Tabla A2.15: Condición nominal de tensión del GMA 2^{da} generación.

| Magnitudes de tensión de entrada de las distintas máquinas que conforman el GMA 2 ^{da} generación | | | |
|--|--------------------------------|------------------------------|------|
| Máquina / Elemento | Terminales | Condición nominal de tensión | |
| Motor DC | F ₂ -A ₁ | 750 V | |
| | 3-2 (Shunt) | 750 V | |
| Alternador | U-V, U-W, V-W | 208 V | |
| | Rueda polar | 30 V | |
| Estatodina | Eje Baterías | 1-2, 2-3, 1-3 | 55 V |
| | | + - | 10 V |
| | Eje Excitación | 1-2, 2-3, 1-3 | 90 V |
| | | + - | 10 V |

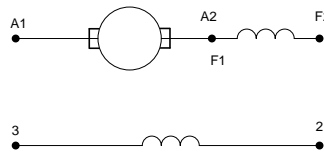


Figura A2.14: Principio de conexión del GMA de 1^{ra} y 2^{da} generación. (A₁-3 mismo punto y a alta tensión, F₂-2 mismo punto y a baja tensión).

1.1. Equipos disponibles en talleres para mediciones de aislamiento.

El equipo común dentro de los talleres del Metro en Propatria, es el Metrismo 5000A. En cada puesto de trabajo del taller de motores se dispone de este equipo de medición, con el se puede realizar mediciones de IR en un rango de 10 Ω hasta 1 T Ω y es mostrado dentro del dial del equipo de medición en escala logarítmica. La tensiones de la prueba son seleccionables las cuales son: 100 V, 250 V, 500 V, 1000 V, 1500 V, 2000 V, 2500 V y 5000 V.

Además de medir IR, el Metrismo puede realizar mediciones de tensiones continuas y alternas senoidales con frecuencias entre los 15 y 500 Hz. Permitiendo comprobar la ausencia o presencia de tensiones que puedan influir negativamente en el resultado de la medición, Al medir tensiones continuas la desviación de la aguja del instrumento es siempre positiva independientemente de la polaridad de la conexión. Otra función que posee el medidor de IR, es el de descargar los objetos de prueba de posibles cargas capacitivas, que pudieran contener los mismos debido pruebas hechas con anterioridad.

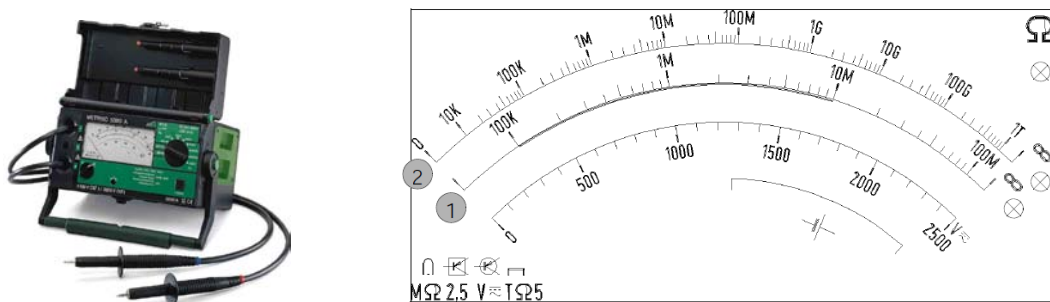


Figura A2.15: Metrismo 5000A y detalle de su pantalla de visualización.

Otro medidor de aislamiento, un poco más sofisticado que el anterior, es el Megger MIT520/2, en el taller de motores MSO sólo se encuentra uno disponible. Con este equipo de medición se pueden realizar cuatro distintas pruebas para evaluar el sistema de aislamiento de una máquina eléctrica, estas pruebas son: IR, IP, SV, DAR y DD. En cada prueba muestra el valor de capacitancia intrínseca del aislamiento y el tiempo TC asociado a este valor, según la fórmula A.2.1.

$$TC = R_{ins} \cdot C_{ins} \quad [\text{Ec. A.2.1}]$$

El medidor posee un display digital donde indica las características de la prueba que se está realizando, además posee un dial digital que muestra la manera en que va cambiando el valor de IR a lo largo de la prueba. El voltaje de la prueba se puede seleccionar entre 250 V, 500 V, 1000 V, 2500 V y 5000 V. también se puede seleccionar voltajes de prueba entre 50 V hasta 5kV en pasos de 50 V, 25 V y 10 V. Se puede utilizar de forma móvil gracias a su pila interna recargable, adicionalmente posee conexión de alimentación externa a la red de 120 V @ 60 Hz, que además permite la carga de las baterías internas. Cada carga de batería dura 6 horas midiendo a 5000 V una carga de 100 MΩ. Posee una precisión en las medidas de IR de ± 5 % hasta 2 TΩ y ± 20 % hasta 20 TΩ ; para corriente ± 5 % ± 0,2 nA en todos los voltajes.

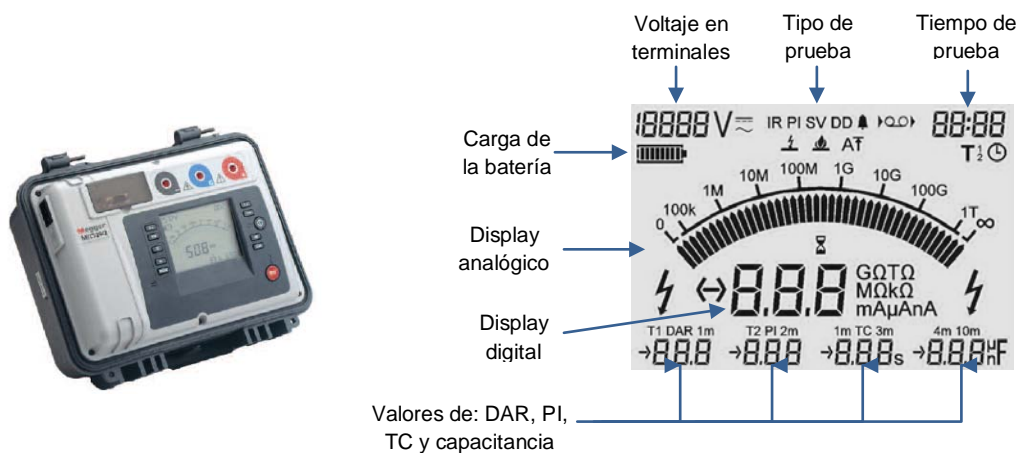


Figura A2.16: Medidor Megger MIT520/2, detalle de su pantalla de visualización.

[ANEXO N°3]

Mediciones realizadas en el taller de motores “MSO” de la C.A. Metro de Caracas durante el transcurso de este trabajo.

| A.3.1 Prueba de resistencia de aislamiento “IR” e índice de polarización “PI” | | | | | | | | | | |
|---|-----|---|---|--------------------------|------------|-------------------------|------------|------|-----|--|
| Motor N°: | 508 | Fecha: | 28/07/2009 | Hora inicio: | 10:45 a.m. | Hora final: | 12:10 p.m. | HR | 67% | |
| Voltaje de la prueba: | | 500 V | Recorrido hecho después de la última intervención [km]: | | | | 438.333 | | | |
| Observaciones sobre el motor: | | Internamente se encuentra con sucio característico (leve capa de polvo en los devanados) externamente existe presencia de grasa del eje y en los tornillos frontales existe presencia de limadura de hierro procedentes de las líneas férreas | | | | | | | | |
| A₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | IR _{40°C} [GΩ] | | 1,42 | | |
| | | IR [MΩ] | 3,81 | IR [GΩ] | 4,37 | | | | | |
| | | I [uA] | 133 | I [nA] | 116 | PI | | 1,15 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | 25,8 | T _{bobina} [°C] | 25,8 | | | | | |
| | | T _{amb} [°C] | 27,1 | T _{amb} [°C] | 27,8 | | | | | |
| F₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | IR _{40°C} [GΩ] | | 45,2 | | |
| | | IR [GΩ] | 120 | IR [GΩ] | 463 | | | | | |
| | | I [nA] | 4,00 | I [nA] | 1,06 | PI | | 3,84 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | 25,9 | T _{bobina} [°C] | 25,8 | | | | | |
| | | T _{amb} [°C] | 27,3 | T _{amb} [°C] | 27,8 | | | | | |
| A₁ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | IR _{40°C} [MΩ] | | 90,1 | | |
| | | IR [MΩ] | 241 | IR [MΩ] | 308 | | | | | |
| | | I [μA] | 2,11 | I [μA] | 1,65 | PI | | 1,28 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | 25,8 | T _{bobina} [°C] | 26,6 | | | | | |
| | | T _{amb} [°C] | 28,2 | T _{amb} [°C] | 28,3 | | | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | IR _{40°C} [GΩ] | | 47,4 | | |
| | | IR [GΩ] | 125 | IR [GΩ] | 471 | | | | | |
| | | I [nA] | 4,05 | I [nA] | 1,08 | PI | | 3,78 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | 26,0 | T _{bobina} [°C] | 25,8 | | | | | |
| | | T _{amb} [°C] | 28,3 | T _{amb} [°C] | 28,4 | | | | | |

[Fuente: el autor]

| A.3.2 Prueba de tensión de paso “SV” | | | | | | | | |
|--|---|--|------------|----------------|------------|------------|------------------------|-----|
| Motor N°: | 508 | Fecha: | 28/07/2009 | Hora inic/fin: | 12:10 p.m. | 12:40 p.m. | HR | 64% |
| Voltaje de la prueba: | 1000 V | Recorrido hecho después de la última intervención: | | | | 438.333 | | |
| Observaciones sobre el motor: | Se observa poca cantidad de grasa y aceite en el exterior del motor, no se observó fisura o resquebrajamiento en la pintura, es decir, el motor no sufrió por altas temperaturas durante su servicio luego de la última intervención en el taller; poco material ferromagnético en los tornillos. | | | | | | | |
| A₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,8 | |
| | I [nA] | 43,7 | 90,5 | 139 | 189 | 238 | T _{Bob} [°C] | |
| | IR [GΩ] | 4,57 | 4,46 | 4,37 | 4,29 | 4,24 | 25,8 | |
| F₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,8 | |
| | I [nA] | 0,82 | 1,64 | 2,35 | 3,57 | 5,29 | T _{Bob} [°C] | |
| | IR [GΩ] | 235 | 238 | 251 | 221 | 187 | 25,8 | |
| A₁ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 29,2 | |
| | I [μA] | 0,37 | 0,81 | 1,3 | 1,79 | 2,31 | T _{Bob} [°C] | |
| | IR [MΩ] | 539 | 494 | 468 | 453 | 441 | 27,4 | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 28,3 | |
| | I [nA] | 1,05 | 1,86 | 2,88 | 5,5 | 224 | T _{Bob} [°C] | |
| | IR [GΩ] | 191 | 218 | 212 | 148 | 4,53 | 26,0 | |

[Fuente: el autor]

| A.3.3 Prueba de resistencia de aislamiento “IR” e índice de polarización “PI” | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|--|---|--------------|------------|-------------|----------------------------------|-------|-----|--|
| Motor N°: | 511 | Fecha: | 29/07/2009 | Hora inicio: | 10:30 a.m. | Hora final: | 11:48 a.m. | HR | 60% | |
| Voltaje de la prueba: | | 500 V | Recorrido hecho después de la última intervención [km]: | | | | 530.000 | | | |
| Observaciones sobre el motor: | | Comparado con el motor 508, este presenta más sucio, es decir, posee una capa mucho más densa y extensa, exteriormente se observa como la capa de pintura esta cuarteada, debido a la temperatura que alcanza el motor en operación; interiormente, el sucio hace que no se observe fácilmente la pintura antiflash de los devanados. Se observa la presencia de polvo y grasa en el aislamiento de los portaescobillas. | | | | | | | | |
| A₂ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR_{40°C} [MΩ] | 142 | | |
| | IR [MΩ] | 364 | IR [MΩ] | 339 | | | | | | |
| | I [μA] | 1,40 | I [μA] | 1,50 | PI | 0,93 | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 26,4 | T _{bobina} [°C] | 26,3 | | | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 27,9 | T _{amb} [°C] | 27,8 | | | | | | |
| F₂ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR_{40°C} [GΩ] | 28,0 | | |
| | IR [GΩ] | 71,8 | IR [GΩ] | 391 | | | | | | |
| | I [nA] | 6,95 | I [nA] | 1,3 | PI | 5,45 | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 26,4 | T _{bobina} [°C] | 26,1 | | | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 27,9 | T _{amb} [°C] | 27,9 | | | | | | |
| A₁ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR_{40°C} [MΩ] | 166,6 | | |
| | IR [MΩ] | 416 | IR [MΩ] | 445 | | | | | | |
| | I [μA] | 1,22 | I [μA] | 1,14 | PI | 1,07 | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 26,8 | T _{bobina} [°C] | 26,3 | | | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 28,1 | T _{amb} [°C] | 27,8 | | | | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR_{40°C} [GΩ] | 40,1 | | |
| | IR [GΩ] | 105 | IR [GΩ] | 142 | | | | | | |
| | I [nA] | 4,83 | I [nA] | 3,58 | PI | 1,35 | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 26,1 | T _{bobina} [°C] | 26,1 | | | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 27,9 | T _{amb} [°C] | 27,8 | | | | | | |

[Fuente: el autor]

| A.3.4 Prueba de tensión de paso “SV” | | | | | | | | |
|--|--|--|------------|------------------|------------|------------|-------------------------|-----|
| Motor N°: | 511 | Fecha: | 29/07/2009 | Hora inicio/fin: | 11:48 a.m. | 12:30 p.m. | HR | 62% |
| Voltaje de la prueba: | 1000 V | Recorrido hecho después de la última intervención: | | | | 530.000 | | |
| Observaciones sobre el motor: | Comparado con el motor 508, este presenta mas sucio, es decir, posee una capa mucho mas densa y extensa, exteriormente se observa como la capa de pintura esta cuarteada, debido a la temperatura que alcanza el motor en operación; interiormente, el sucio hace que no se observe fácilmente la pintura antiflash de los devanados. Se observa la presencia de polvo y grasa en el aislamiento de los portaescobillas. | | | | | | | |
| A₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{.Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 28,0 | |
| | I [μA] | 0,52 | 1,08 | 1,68 | 3,05 | 3,10 | T _{.Bob} [°C] | |
| | IR [MΩ] | 389 | 375 | 362 | 345 | 328 | 26,6 | |
| F₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{.Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 28,1 | |
| | I [nA] | 1,53 | 2,96 | 4,21 | 5,25 | 6,09 | T _{.Bob} [°C] | |
| | IR [GΩ] | 131 | 137 | 145 | 155 | 167 | 26,8 | |
| A₁ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{.Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,7 | |
| | I [μA] | 0,37 | 0,80 | 1,25 | 1,74 | 2,27 | T _{.Bob} [°C] | |
| | IR [MΩ] | 545 | 507 | 488 | 466 | 449 | 26,5 | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{.Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,9 | |
| | I [nA] | 2,81 | 5,30 | 7,46 | 6,68 | 11,0 | T _{.Bob} [°C] | |
| | IR [GΩ] | 71,4 | 76,4 | 81,7 | 93,6 | 92,3 | 26,3 | |

[Fuente: el autor]

| A.3.5 Prueba de resistencia de aislamiento “IR” e índice de polarización “PI” | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|--|---|--------------|------------|-------------|-------------------------|------|-----|--|
| Motor N°: | 198 | Fecha: | 30/07/2009 | Hora inicio: | 03:00 p.m. | Hora final: | 04:06 p.m. | HR | 60% | |
| Voltaje de la prueba: | | 500 V | Recorrido hecho después de la última intervención [km]: | | | | 78.000 | | | |
| Observaciones sobre el motor: | | Poca presencia de grasa y aceite. Este motor entra por problemas mecánicos (tornillos de la basa rotor), se supone que posee buen aislamiento. Se observa, por la pintura que lo cubre, que no ha sufrido por temperaturas extremas. | | | | | | | | |
| A₂ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [GΩ] | 0,79 | | |
| | IR [MΩ] | 2,09 | IR [GΩ] | 2,38 | | | | | | |
| | I [uA] | 243 | I [nA] | 213 | PI | 1,14 | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 25,9 | T _{bobina} [°C] | 26,1 | | | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 27,8 | T _{amb} [°C] | 27,8 | | | | | | |
| F₂ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [GΩ] | 15,8 | | |
| | IR [GΩ] | 41,4 | IR [GΩ] | 76,0 | | | | | | |
| | I [nA] | 12,3 | I [nA] | 6,70 | PI | 1,84 | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 26,1 | T _{bobina} [°C] | 26,2 | | | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 27,9 | T _{amb} [°C] | 27,5 | | | | | | |
| A₁ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [MΩ] | 13,0 | | |
| | IR [MΩ] | 35,9 | IR [MΩ] | 44,8 | | | | | | |
| | I [μA] | 14,1 | I [μA] | 11,3 | PI | 1,25 | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 25,3 | T _{bobina} [°C] | 25,4 | | | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 27,7 | T _{amb} [°C] | 27,9 | | | | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [GΩ] | 70,1 | | |
| | IR [GΩ] | 189 | IR [GΩ] | 615 | | | | | | |
| | I [nA] | 2,69 | I [nA] | 0,83 | PI | 3,26 | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 25,7 | T _{bobina} [°C] | 25,8 | | | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 27,6 | T _{amb} [°C] | 27,6 | | | | | | |

[Fuente: el autor]

| A.3.6 Prueba de tensión de paso “SV” | | | | | | | | |
|--|---|---|------------|----------------|------------|------------|------------------------|-----|
| Motor N°: | 198 | Fecha: | 30/07/2009 | Hora inic/fin: | 04:15 p.m. | 05:05 p.m. | HR | 68% |
| Voltaje de la prueba: | 1000 V | Recorrido hecho después de la última intervención [km]: | | | | 78.000 | | |
| Observaciones sobre el motor: | Se observa poca cantidad de grasa y aceite en el exterior del motor, no se observó fisura o resquebrajamiento en la pintura, es decir, el motor no sufrió por altas temperaturas durante su servicio luego de la última intervención en el taller; poco material ferromagnético en los tornillos. | | | | | | | |
| A₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,7 | |
| | I [nA] | 76,4 | 160 | 250 | 355 | 467 | T _{Bob} [°C] | |
| | IR [GΩ] | 2,64 | 2,54 | 2,45 | 2,30 | 2,18 | 25,9 | |
| F₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,8 | |
| | I [nA] | 5,36 | 10,2 | 16,3 | 25,1 | 33,8 | T _{Bob} [°C] | |
| | IR [GΩ] | 37,6 | 39,8 | 37,6 | 32,5 | 30,2 | 25,8 | |
| A₁ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,6 | |
| | I [μA] | 3,72 | 6,90 | 11,1 | 15,9 | 20,8 | T _{Bob} [°C] | |
| | IR [MΩ] | 54,1 | 58,8 | 55,0 | 51,2 | 48,9 | 25,5 | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] | |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 28,1 | |
| | I [nA] | 0,92 | 1,63 | 2,31 | 2,96 | 10 | T _{Bob} [°C] | |
| | IR [GΩ] | 219 | 250 | 265 | 276 | 102 | 26,1 | |

[Fuente: el autor]

| A.3.7 Prueba de resistencia de aislamiento “IR” e índice de polarización “PI” | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|--------------|---------------|-------------|-------------------------|------|-----|--|
| Motor N°: | 934 | Fecha: | 30/07/2009 | Hora inicio: | 10:00 a.m. | Hora final: | 11:00 a.m | HR | 64% | |
| Voltaje de la prueba: | | 500 V | Recorrido hecho después de la última intervención [km]: | | | | 1.019.333 | | | |
| Observaciones sobre el motor: | | Visibles daños en la pintura por efecto de las altas temperaturas, se observo grasa y aceite en la parte del acople de tracción | | | | | | | | |
| A₂ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [MΩ] | 87,6 | | |
| | IR [MΩ] | 236 | IR [MΩ] | 212 | | | | | | |
| | I [μA] | 2,15 | I [μA] | 236 | | | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 25,7 | T _{bobina} [°C] | 25,8 | PI | 0,90 | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 27,1 | T _{amb} [°C] | 27,4 | | | | | | |
| F₂ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [GΩ] | 73,3 | | |
| | IR [GΩ] | 199 | IR [GΩ] | 725 | | | | | | |
| | I [nA] | 2,55 | I [nA] | 0,7 | | | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 25,6 | T _{bobina} [°C] | 25,9 | PI | 3,64 | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 27,3 | T _{amb} [°C] | 27,6 | | | | | | |
| A₁ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [GΩ] | 1,32 | | |
| | IR [GΩ] | 3,53 | IR [GΩ] | 3,62 | | | | | | |
| | I [nA] | 144 | I [nA] | 140 | | | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 25,8 | T _{bobina} [°C] | 26,2 | PI | 1,03 | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 27,1 | T _{amb} [°C] | 27,4 | | | | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | La prueba no se realizó porque el equipo de medición no alcanzó el voltaje de prueba, lo que indica que el inducido está en corto. | | | | | | | | | |

[Fuente: el autor]

| A.3.8 Prueba de tensión de paso “SV” | | | | | | | |
|--|---|--|------------|----------------|------------|------------|------------------------|
| Motor N°: | 934 | Fecha: | 30/07/2009 | Hora inic/fin: | 11:05 a.m. | 12:00 p.m. | HR 62% |
| Voltaje de la prueba: | 1000 V | Recorrido hecho después de la última intervención [km]: | | | | 1.019.333 | |
| Observaciones sobre el motor: | Se observa poca cantidad de grasa y aceite en el exterior del motor, no se observó fisura o resquebrajamiento en la pintura, es decir, el motor no sufrió por altas temperaturas durante su servicio luego de la última intervención en el taller; poco material ferromagnético en los tornillos. | | | | | | |
| A₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,8 |
| | I [μA] | 0,55 | 1,38 | 2,38 | 3,52 | 4,85 | T _{Bob} [°C] |
| | IR [MΩ] | 367 | 294 | 256 | 231 | 210 | 26,1 |
| F₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 28,1 |
| | I [nA] | 1,18 | 1,90 | 2,48 | 3,13 | 3,86 | T _{Bob} [°C] |
| | IR [GΩ] | 169 | 212 | 245 | 260 | 264 | 26,1 |
| A₁ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 28,4 |
| | I [μA] | 48,6 | 99,5 | 153 | 206 | 261 | T _{Bob} [°C] |
| | IR [MΩ] | 4,12 | 4,06 | 3,99 | 3,94 | 3,89 | 26,1 |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | |
| | I [nA] | La prueba no se realizó porque el equipo de medición no alcanzó el voltaje de prueba, lo que indica que el inducido está en corto. | | | | | T _{Bob} [°C] |
| | IR [GΩ] | | | | | | |

[Fuente: el autor]

| A.3.9 Prueba de resistencia de aislamiento “IR” e índice de polarización “PI” | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|---|---|--------------|------------|-------------|-------------------------|------|-----|--|
| Motor N°: | 2251 | Fecha: | 31/07/2009 | Hora inicio: | 08:50 a.m. | Hora final: | 10:00 a.m. | HR | 83% | |
| Voltaje de la prueba: | | 500 V | Recorrido hecho después de la última intervención [km]: | | | | 269.000 | | | |
| Observaciones sobre el motor: | | Se observa poca cantidad de grasa y aceite en el exterior del motor, no se observó fisura o resquebrajamiento en la pintura, es decir, el motor no sufrió por altas temperaturas durante su servicio luego de la última intervención en el taller; poco material ferromagnético en los tornillos. | | | | | | | | |
| A₂ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [GΩ] | 5,79 | | |
| | IR [GΩ] | 15,5 | IR [GΩ] | 67,5 | | | | | | |
| | I [nA] | 32,9 | I [nA] | 7,55 | | | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 25,8 | T _{bobina} [°C] | 25,5 | PI | 4,36 | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 26,9 | T _{amb} [°C] | 26,9 | | | | | | |
| F₂ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [GΩ] | 33,1 | | |
| | IR [GΩ] | 93,1 | IR [GΩ] | 350 | | | | | | |
| | I [nA] | 5,47 | I [nA] | 1,45 | | | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 25,1 | T _{bobina} [°C] | 25,4 | PI | 3,76 | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 26,6 | T _{amb} [°C] | 26,6 | | | | | | |
| A₁ vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [MΩ] | 15,6 | | |
| | IR [MΩ] | 41,9 | IR [MΩ] | 39,1 | | | | | | |
| | I [μA] | 12,9 | I [μA] | 13,0 | | | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 25,7 | T _{bobina} [°C] | 25,3 | PI | 0,93 | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 26,9 | T _{amb} [°C] | 26,6 | | | | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | 1 min. | | | 10 min. | | | IR _{40°C} [GΩ] | 32,1 | | |
| | IR [GΩ] | 88,3 | IR [GΩ] | 130 | | | | | | |
| | I [nA] | 5,76 | I [nA] | 3,92 | | | | | | |
| | T _{bobina} [°C] | 25,4 | T _{bobina} [°C] | 25,4 | PI | 1,47 | | | | |
| | T _{amb} [°C] | 26,7 | T _{amb} [°C] | 26,9 | | | | | | |

[Fuente: el autor]

| A.3.10 Prueba de tensión de paso "SV" | | | | | | | |
|--|---|---|------------|----------------|------------|------------|------------------------|
| Motor N°: | 2251 | Fecha: | 31/07/2009 | Hora inic/fin: | 10:10 a.m. | 10:45 a.m. | HR 78% |
| Voltaje de la prueba: | 1000 V | Recorrido hecho después de la última intervención [km]: | | | | 269.000 | |
| Observaciones sobre el motor: | Se observa poca cantidad de grasa y aceite en el exterior del motor, no se observó fisura o resquebrajamiento en la pintura, es decir, el motor no sufrió por altas temperaturas durante su servicio luego de la última intervención en el taller; poco material ferromagnético en los tornillos. | | | | | | |
| A₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,1 |
| | I [nA] | 10,2 | 18,1 | 23,9 | 29,1 | 34,7 | T _{Bob} [°C] |
| | IR [GΩ] | 19,7 | 22,5 | 25,6 | 28,1 | 29,4 | 25,4 |
| F₂ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,0 |
| | I [nA] | 1,86 | 3,22 | 4,41 | 5,49 | 6,59 | T _{Bob} [°C] |
| | IR [GΩ] | 109 | 126 | 139 | 149 | 155 | 25,6 |
| A₁ vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,0 |
| | I [μA] | 2,86 | 6,34 | 10,1 | 14,5 | 19,3 | T _{Bob} [°C] |
| | IR [MΩ] | 70,4 | 64,0 | 60,4 | 56,1 | 52,8 | 25,4 |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 26,9 |
| | I [nA] | 2,18 | 6,52 | 8,96 | 13,2 | 15,6 | T _{Bob} [°C] |
| | IR [GΩ] | 92,5 | 62,3 | 68,3 | 61,9 | 65,6 | 25,4 |

[Fuente: el autor]

| A.3.11 Prueba de resistencia de aislamiento “IR” e índice de polarización “PI” en inducidos con bajo nivel de aislamiento | | | | | | | | |
|--|-----|--------------------------|------------|------------|--------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: Medición | |
| 322 | 870 | 04/08/2009 | 10:05 a.m. | 10:30 a.m. | 62% | 500 V | hecha con el Megger. | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 81,5 | IR [GΩ] | | 314 | IR _{40°C} [GΩ] |
| | | I [nA] | | 6,24 | I [nA] | | 1,62 | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 27,3 | T _{bobina} [°C] | | 27,1 | PI |
| | | T _{amb} [°C] | | 26,6 | T _{amb} [°C] | | 26,5 | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: Medición | |
| 1308 | | 04/08/2009 | 10:50 a.m. | 11:00 a.m. | 59% | 500 V | hecha con el Megger. | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | |
| | | IR [kΩ] | | 310 | IR [kΩ] | | 30,0 | IR _{40°C} [kΩ] |
| | | I [mA] | | 1,60 | I [mA] | | 16,1 | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 26,4 | T _{bobina} [°C] | | 26,3 | PI |
| | | T _{amb} [°C] | | 27,0 | T _{amb} [°C] | | 27 | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: Medición | |
| 322 | | 04/08/2009 | 02:10 p.m. | 02:24 p.m. | 53% | 500 V | hecha con el Metrismo. | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 50 | IR [GΩ] | | 200 | IR _{40°C} [GΩ] |
| | | T _{bobina} [°C] | | 27,3 | T _{bobina} [°C] | | 27,3 | |
| | | T _{amb} [°C] | | 28,6 | T _{amb} [°C] | | 28,5 | PI |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: Medición | |
| 1308 | | 04/08/2009 | 03:05 p.m. | 03:18 p.m. | 51% | 500 V | hecha con el Metrismo. | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | |
| | | IR [kΩ] | | 200 | IR [kΩ] | | 40,0 | IR _{40°C} [kΩ] |
| | | T _{bobina} [°C] | | 27,2 | T _{bobina} [°C] | | 27,4 | |
| | | T _{amb} [°C] | | 27,4 | T _{amb} [°C] | | 27,3 | PI |

[Fuente: el autor]

| A.3.12 Prueba de tensión de paso “SV” en inducidos con bajo nivel de aislamiento | | | | | | | | |
|--|-----|------------|------------|------------|--------|--------------|--------------------------------|------------------------|
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Medición hecha con el Megger | |
| 322 | 870 | 04/08/2009 | 10:55 a.m. | 11:03 a.m. | 59% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,7 |
| | | I [nA] | 1,07 | 5,65 | 9,44 | 12,7 | 15,6 | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [GΩ] | 189 | 71,9 | 64,8 | 64,2 | 62,3 | 26,1 |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Medición hecha con el Megger | |
| 1308 | | 04/08/2009 | 11:40 a.m. | 11:50 a.m. | 59% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,3 |
| | | I [mA] | 1,82 | 6,70 | 13,4 | 17,5 | 46,0 | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [kΩ] | 110 | 60,0 | 45,0 | 46,0 | 22,0 | 25,7 |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Medición hecha con el Metrisko | |
| 322 | 870 | 04/08/2009 | 03:30 p.m. | 03:48 p.m. | 64% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | T _{Amb.} [°C] | T _{Bob} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 28,5 | 27,5 |
| | | IR [GΩ] | 5 | 100 | 70 | 60 | | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Medición hecha con el Metrisko | |
| 1308 | | 04/08/2009 | 03:20 p.m. | 3:35 p.m. | 55% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | T _{Amb.} [°C] | T _{Bob} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 27,2 | 26,8 |
| | | IR [kΩ] | 40 | 50 | 50 | 50 | | |

[Fuente: el autor]

| A.3.13 Prueba de resistencia de aislamiento "IR" e índice de polarización "PI" en inducidos salidos del horno | | | | | | | | |
|---|-----|--------------------------|------------|------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: Saliendo | |
| 467 | 596 | 05/08/2009 | 11:00 a.m. | 11:10 a.m. | 62% | 500 V | del horno | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | |
| | | IR [MΩ] | | 39,3 | IR [MΩ] | | 2,71 | IR _{40°C} [MΩ] 50,4 |
| | | I [μA] | | 12,9 | I [μA] | | 188 | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 43,6 | T _{bobina} [°C] | | 43 | PI 69 |
| | | T _{amb} [°C] | | 26,8 | T _{amb} [°C] | | 26,6 | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: Saliendo | |
| 324 | 337 | 05/08/2009 | 10:35 a.m. | 10:50 a.m. | 63% | 500 V | del horno | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | |
| | | IR [MΩ] | | 63,0 | IR [MΩ] | | 735 | IR _{40°C} [MΩ] 87,9 |
| | | I [μA] | | 7,94 | I [nA] | | 680 | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 44,8 | T _{bobina} [°C] | | 44,3 | PI 11,7 |
| | | T _{amb} [°C] | | 26,6 | T _{amb} [°C] | | 26,5 | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: Saliendo | |
| 216 | 485 | 05/08/2009 | 10:00 a.m. | 10:20 a.m. | 65% | 500 V | del horno | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 1,96 | IR [GΩ] | | 10,4 | IR _{40°C} [GΩ] 3,30 |
| | | I [nA] | | 261 | I [nA] | | 49,0 | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 47,5 | T _{bobina} [°C] | | 46,8 | PI 5,32 |
| | | T _{amb} [°C] | | 27,1 | T _{amb} [°C] | | 26,9 | |

[Fuente: el autor]

| A.3.14 Prueba de tensión de paso "SV" en inducidos salidos al horno | | | | | | | | |
|---|-----|------------|------------|------------|--------|--------------|--------------------|------------------------|
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Saliendo del horno | |
| 467 | 596 | 05/08/2009 | 11:00 a.m. | 11:10 a.m. | 62% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 26,6 |
| | | I [A] | 2,57 n | 14,7 n | 0,50 μ | 1,00 μ | 946 n | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [Ω] | 78,5 G | 27,7 G | 2,00 G | 418 M | 1,08 G | 42,5 |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Saliendo del horno | |
| 324 | 337 | 05/08/2009 | 10:45 a.m. | 11:00 a.m. | 62% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,0 |
| | | I [A] | 87,3 n | 285 n | 0,9 μ | - | - | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [Ω] | 2,31 G | 1,42 G | 696 M | 110 k | 50 k | 43,4 |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Saliendo del horno | |
| 216 | 485 | 05/08/2009 | 10:30 a.m. | 10:45 a.m. | 63% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 26,8 |
| | | I [nA] | 0,85 | 3,04 | br.d | br.d | br.d | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [GΩ] | 237 | 134 | br.d | br.d | br.d | 45,7 |

[Fuente: el autor]

| A.3.15 Prueba de resistencia de aislamiento "IR" e índice de polarización "PI" en inducidos salidos del horno | | | | | | | | |
|---|-----|---|------------|------------|--------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------------|
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: 24 Horas | |
| 467 | 596 | 06/08/2009 | 09:35 a.m. | --- | | 500 V | después de salir del horno | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | |
| | | No alcanzó el voltaje de prueba, el inducido se encuentra en corto franco | | | | | | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: 24 Horas | |
| 324 | 337 | 06/08/2009 | 09:30 a.m. | --- | | 500 V | después de salir del horno | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | |
| | | No alcanzó el voltaje de prueba, el inducido se encuentra en corto franco | | | | | | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: 24 Horas | |
| 216 | 485 | 06/08/2009 | 09:05 a.m. | 09:20 a.m. | 63% | 500 V | después de salir del horno | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 1,09 | IR [GΩ] | | 7,14 | IR _{40°C} [GΩ] |
| | | I [nA] | | 467 | I [nA] | | 71,4 | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 25,8 | T _{bobina} [°C] | | 26,1 | PI |
| | | T _{amb} [°C] | | 26,9 | T _{amb} [°C] | | 26,6 | |

[Fuente: el autor]

| A.3.16 Prueba de tensión de paso “SV” en inducidos salidos del horno | | | | | | | | |
|--|-----|---|------------|------------|--------|--------------|-------------------------------------|------------------------|
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | 24 horas después de salir del horno | |
| 467 | 596 | 06/08/2009 | 09:35 a.m. | --- | | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | No alcanzó el voltaje de prueba, el inducido se encuentra en corto franco | | | | | | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | 24 horas después de salir del horno | |
| 324 | 337 | 06/08/2009 | 9:30 a.m. | --- | 62% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | No alcanzó el voltaje de prueba, el inducido se encuentra en corto franco | | | | | | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | 24 horas después de salir del horno | |
| 216 | 485 | 06/08/2009 | 09:20 a.m. | 09:30 a.m. | 60% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 25,8 |
| | | I [nA] | 2,44 | 11,1 | 10 | br.d | br.d | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [GΩ] | 82,9 | 36,7 | 61,4 | br.d | br.d | 26,7 |

[Fuente: el autor]

| A.3.17 Prueba de resistencia de aislamiento “IR” e índice de polarización “PI” en inducidos recién embobinados | | | | | | | | | |
|--|------|--------------------------|------------|------------|--------------------------|-------------------|--------------|-------------------------|------|
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: | Inducido | |
| 513 | 1410 | 06/08/2009 | 09:40 a.m. | 09:55 a.m. | 59% | 500 V | | recién rebobinado | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | | 10 min. | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 40,2 | IR [GΩ] | | 137 | IR _{40°C} [GΩ] | 14,5 |
| | | I [nA] | | 12,7 | I [nA] | | 3,73 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 25,3 | T _{bobina} [°C] | | 24,9 | PI | 3,40 |
| | | T _{amb} [°C] | | 26,6 | T _{amb} [°C] | | 26,9 | | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: | Inducido | |
| 503 | 823 | 06/08/2009 | 10:20 a.m. | 10:30 a.m. | 58% | 500 V | | recién rebobinado | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | | 10 min. | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 32,8 | IR [GΩ] | | 114 | IR _{40°C} [GΩ] | 11,3 |
| | | I [nA] | | 15,5 | I [nA] | | 4,47 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 24,6 | T _{bobina} [°C] | | 25,2 | PI | 3,48 |
| | | T _{amb} [°C] | | 26,9 | T _{amb} [°C] | | 26,8 | | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: | Inducido | |
| 61 | 57 | 06/08/2009 | 11:00 a.m. | 11:10 a.m. | 59% | 500 V | | recién rebobinado | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | | 10 min. | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 28,9 | IR [GΩ] | | 133 | IR _{40°C} [GΩ] | 10,4 |
| | | I [nA] | | 17,6 | I [nA] | | 3,82 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 25,3 | T _{bobina} [°C] | | 25,6 | PI | 4,6 |
| | | T _{amb} [°C] | | 27,6 | T _{amb} [°C] | | 27,5 | | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: | Inducido | |
| 268 | 243 | 06/08/2009 | 03:30 p.m. | 3:40 p.m. | 58% | 500 V | | recién rebobinado | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | | 10 min. | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 41,1 | IR [GΩ] | | 160 | IR _{40°C} [GΩ] | 16,8 |
| | | I [nA] | | 12,4 | I [nA] | | 3,19 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 27,1 | T _{bobina} [°C] | | 27,2 | PI | 3,89 |
| | | T _{amb} [°C] | | 28,4 | T _{amb} [°C] | | 28,1 | | |

[Fuente: el autor]

| A.3.18 Prueba de resistencia de aislamiento "IR" e índice de polarización "PI" en inducidos recién embobinados | | | | | | | | | |
|--|-----|--------------------------|------------|------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|------|
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: Inducido | | |
| 442 | 744 | 06/08/2009 | 11:40 a.m. | 11:50 a.m. | 57% | 500 V | recien rebobinado | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 61,0 | IR [GΩ] | | 203 | IR _{40°C} [GΩ] | 22,8 |
| | | I [nA] | | 8,33 | I [nA] | | 3,19 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 25,8 | T _{bobina} [°C] | | 27,2 | PI | 3,32 |
| | | T _{amb} [°C] | | 27,4 | T _{amb} [°C] | | 28,1 | | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: Inducido | | |
| 300A | 614 | 07/08/2009 | 09:05 a.m. | 09:15 a.m. | 79% | 500 V | recien rebobinado | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 33,9 | IR [GΩ] | | 105 | IR _{40°C} [GΩ] | 12,7 |
| | | I [nA] | | 15,0 | I [nA] | | 4,86 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 25,8 | T _{bobina} [°C] | | 25,8 | PI | 3,09 |
| | | T _{amb} [°C] | | 26,6 | T _{amb} [°C] | | 26,9 | | |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Voltaje de prueba | Observación: Inducido | | |
| 511 | 847 | 07/08/2009 | 08:25 a.m. | 08:35 a.m. | 82% | 500 V | recien rebobinado | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | 1 min. | | 10 min. | | | | | |
| | | IR [GΩ] | | 40,8 | IR [GΩ] | | 129 | IR _{40°C} [GΩ] | 15,5 |
| | | I [nA] | | 12,5 | I [nA] | | 3,95 | | |
| | | T _{bobina} [°C] | | 26,0 | T _{bobina} [°C] | | 26,3 | PI | 3,16 |
| | | T _{amb} [°C] | | 27,1 | T _{amb} [°C] | | 26,9 | | |

[Fuente: el autor]

| A.3.19 Prueba de tensión de paso "SV" | | | | | | | | |
|--|------|------------|------------|------------|--------|--------------|----------------------------|------------------------|
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Inducido recién rebobinado | |
| 513 | 1410 | 06/08/2009 | 09:55 a.m. | 10:00 a.m. | 59% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 26,3 |
| | | I [nA] | 2,01 | 5,62 | 9,31 | 12,0 | 14,5 | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [GΩ] | 100 | 72,4 | 65,9 | 68,1 | 70,5 | 25,0 |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Inducido recién rebobinado | |
| 503 | 823 | 06/08/2009 | 10:40 a.m. | 10:45 a.m. | 59% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,6 |
| | | I [nA] | 3,91 | 8,30 | 12,0 | 15,3 | 17,7 | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [GΩ] | 51,6 | 49,0 | 51,2 | 53,2 | 57,9 | 24,7 |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Inducido recién rebobinado | |
| 61 | 57 | 06/08/2009 | 11:15 a.m. | 11:20 a.m. | 58% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,1 |
| | | I [nA] | 3,99 | 9,12 | 13,3 | 16,6 | 19,7 | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [GΩ] | 50,5 | 44,6 | 46,1 | 49,3 | 51,9 | 25,7 |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Inducido recién rebobinado | |
| 268 | 243 | 06/08/2009 | 03:45 p.m. | 03:50 p.m. | 58% | | | |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 28,2 |
| | | I [nA] | 2,66 | 6,34 | 9,21 | 11,8 | 13,9 | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [GΩ] | 75,9 | 64,2 | 66,6 | 69 | 73,7 | 26,8 |

[Fuente: el autor]

| A.3.20 Prueba de tensión de paso “SV” en inducidos recién embobinados | | | | | | | | |
|---|-----|------------|------------|------------|--------|--------------|----------------------------|------------------------|
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Inducido recién rebobinado | |
| 442 | 744 | 06/08/2009 | 11:55 a.m. | 12:00 p.m. | 57% | | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 27,1 |
| | | I [nA] | 1,35 | 4,01 | 5,94 | 7,54 | 8,91 | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [GΩ] | 149 | 101 | 103 | 108 | 115 | 25,6 |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Inducido recién rebobinado | |
| 300A | 614 | 07/08/2009 | 09:20 a.m. | 09:25 a.m. | 79% | | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 26,8 |
| | | I [nA] | 3,93 | 8,31 | 12,1 | 15,1 | 18,0 | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [GΩ] | 51,3 | 48,9 | 50,7 | 54,0 | 56,7 | 26,1 |
| Nro Inducido (Peq/ Grand) | | Fecha | Hora Inic: | Hora Fin: | HR | Observación: | Inducido recién rebobinado | |
| 511 | 847 | 07/08/2009 | 08:40 a.m. | 08:45 a.m. | 80% | | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| Inducido vs masa Conexión [+] [-] | | | 1 min. | 2 min. | 3 min. | 4 min. | 5 min. | T _{Amb.} [°C] |
| | | V | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 26,8 |
| | | I [nA] | 1,91 | 6,21 | 9,46 | 12,1 | 14,5 | T _{Bob} [°C] |
| | | IR [GΩ] | 106 | 65,5 | 64,8 | 67,6 | 70,4 | 25,6 |

[Fuente: el autor]

[ANEXO N°4]

Anexo 4.1: Variación porcentual por año, motores de tracción 1^{ra} generación.
[Fuente: el autor]

| A ₂ | | | | | A ₁ | | | | |
|----------------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 39,35% | 53,79% | 50,79% | 47,37% | menor | 39,35% | 71,74% | 80,20% | 57,24% |
| igual | 30,56% | 21,66% | 26,68% | 35,53% | igual | 27,31% | 15,58% | 11,29% | 30,92% |
| mayor | 30,09% | 24,55% | 22,53% | 17,11% | mayor | 33,33% | 12,68% | 8,51% | 11,84% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| F ₂ | | | | | F ₁ | | | | |
|----------------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 37,96% | 51,62% | 63,69% | 46,71% | menor | 39,81% | 50,54% | 64,48% | 46,71% |
| igual | 27,31% | 24,19% | 21,23% | 32,89% | igual | 27,78% | 24,19% | 21,43% | 34,21% |
| mayor | 34,72% | 24,19% | 15,08% | 20,39% | mayor | 32,41% | 25,27% | 14,09% | 19,08% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Inducido | | | | | Corona | | | | |
|----------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 36,11% | 43,30% | 55,83% | 36,91% | menor | 38,43% | 60,65% | 68,92% | 44,08% |
| igual | 32,41% | 18,01% | 18,61% | 36,24% | igual | 28,24% | 17,33% | 11,55% | 37,50% |
| mayor | 31,48% | 38,70% | 25,56% | 26,85% | mayor | 33,33% | 22,02% | 19,52% | 18,42% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.2: Promedio variación total motor tracción 1^{ra} generación por año.
[Fuente: el autor]

| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|-------|---------|---------|---------|---------|
| menor | 38,50% | 55,27% | 63,99% | 46,50% |
| igual | 28,94% | 20,16% | 18,46% | 34,55% |
| mayor | 32,56% | 24,57% | 17,55% | 18,95% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.3: Variación porcentual de entrada por año, inducido motor de tracción
1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

| | Entrada | | | | | | | |
|--------------|---------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|
| | Menor | | | | Menor | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 2 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,73% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 0 | 6 | 0 | 0,00% | 0,00% | 2,20% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 81 | 116 | 265 | 55 | 100,00% | 100,00% | 97,07% | 100,00% |
| total | 81 | 116 | 273 | 55 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | Igual | | | | | | | |
| | Igual | | | | Igual | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 1,85% |
| IR>1GΩ | 71 | 47 | 91 | 53 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 98,15% |
| total | 71 | 47 | 91 | 54 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | Mayor | | | | | | | |
| | Mayor | | | | Mayor | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 14 | 58 | 80 | 24 | 19,18% | 56,86% | 64,00% | 60,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 2 | 8 | 6 | 0 | 2,74% | 7,84% | 4,80% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 57 | 36 | 39 | 16 | 78,08% | 35,29% | 31,20% | 40,00% |
| total | 73 | 102 | 125 | 40 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.4: Variación porcentual de salida por año, inducido motor de tracción
1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

| | Salida | | | | | | | |
|--------------|--------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|
| | Menor | | | | Menor | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 1 | 0 | 2 | 0 | 1,28% | 0,00% | 0,73% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 1 | 2 | 6 | 0 | 1,28% | 1,68% | 2,20% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 76 | 117 | 265 | 55 | 97,44% | 98,32% | 97,07% | 100,00% |
| total | 78 | 119 | 273 | 55 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | Igual | | | | | | | |
| | Igual | | | | Igual | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 1,85% |
| IR>1GΩ | 72 | 48 | 91 | 53 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 98,15% |
| total | 72 | 48 | 91 | 54 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | Mayor | | | | | | | |
| | Mayor | | | | Mayor | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 2 | 5 | 0 | 0,00% | 1,87% | 4,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 66 | 105 | 120 | 40 | 100,00% | 98,13% | 96,00% | 100,00% |
| total | 66 | 107 | 125 | 40 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.5: Según valor recomendado IEEE, motores de tracción 1^{ra} generación.

[Fuente: el autor]

| A ₂ | | | | | | A ₁ | | | | | |
|----------------|-----------|---------|---------|---------|---------|----------------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 97,41% | 94,85% | 96,20% | 98,11% | Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 98,71% | 99,31% | 98,10% | 98,10% |
| | < 0,26 GΩ | 2,59% | 5,15% | 3,80% | 1,89% | | < 0,26 GΩ | 1,29% | 0,69% | 1,90% | 1,90% |
| Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |

| F ₂ | | | | | | F ₁ | | | | | |
|----------------|-----------|---------|--------|---------|---------|----------------|-----------|---------|--------|---------|---------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 98,28% | 97,94% | 98,48% | 100,00% | Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 98,28% | 98,28% | 98,48% | 100,00% |
| | < 0,26 GΩ | 1,72% | 2,06% | 1,52% | 0,00% | | < 0,26 GΩ | 1,72% | 1,72% | 1,52% | 0,00% |
| Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 99,67% | 100,00% | 100,00% | Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 99,67% | 100,00% | 100,00% |
| | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,33% | 0,00% | 0,00% | | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,33% | 0,00% | 0,00% |

| Inducido | | | | | | Corona | | | | | |
|----------|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|-----------|---------|--------|---------|---------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 95,67% | 78,83% | 83,66% | 82,69% | Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 98,27% | 94,16% | 92,16% | 93,63% |
| | < 0,26 GΩ | 4,33% | 21,17% | 16,34% | 17,31% | | < 0,26 GΩ | 1,73% | 5,84% | 7,84% | 6,37% |
| Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 99,63% | 100,00% | Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 99,67% | 100,00% | 100,00% |
| | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,37% | 0,00% | | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,33% | 0,00% | 0,00% |

Anexo 4.6: Según normas empresa CAMETRO, motores de tracción 1^{ra} generación.

[Fuente: el autor]

| A ₂ | | | | | | A ₁ | | | | | |
|----------------|--------------|--------|--------|--------|--------|----------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 1GΩ | 95,69% | 93,13% | 94,88% | 97,48% | Entrada | ≥ 1GΩ | 98,28% | 97,59% | 96,96% | 96,86% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,86% | 0,69% | 0,38% | 0,63% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,34% | 0,00% | 0,00% |
| | ≤ 0,5GΩ | 3,45% | 6,19% | 4,74% | 1,89% | | ≤ 0,5GΩ | 1,72% | 2,06% | 3,04% | 3,14% |
| Salida | ≥ 1GΩ | 98,68% | 98,68% | 97,41% | 98,21% | Salida | ≥ 1GΩ | 99,56% | 98,68% | 97,41% | 99,40% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,88% | 0,99% | 0,37% | 1,79% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,99% | 0,37% | 0,60% |
| | ≤ 0,5 | 0,44% | 0,33% | 2,22% | 0,00% | | ≤ 0,5 | 0,44% | 0,33% | 2,22% | 0,00% |

| F ₂ | | | | | | F ₁ | | | | | |
|----------------|--------------|--------|--------|--------|---------|----------------|--------------|--------|--------|--------|---------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 1GΩ | 97,41% | 97,59% | 97,91% | 99,37% | Entrada | ≥ 1GΩ | 97,41% | 97,94% | 97,91% | 100,00% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | ≤ 0,5GΩ | 2,59% | 2,41% | 2,09% | 0,63% | | ≤ 0,5GΩ | 2,59% | 2,06% | 2,09% | 0,00% |
| Salida | ≥ 1GΩ | 99,12% | 98,68% | 97,41% | 100,00% | Salida | ≥ 1GΩ | 99,12% | 98,68% | 97,41% | 100,00% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,44% | 0,99% | 0,37% | 0,00% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,44% | 0,99% | 0,37% | 0,00% |
| | ≤ 0,5 | 0,44% | 0,33% | 2,22% | 0,00% | | ≤ 0,5 | 0,44% | 0,33% | 2,22% | 0,00% |

| Inducido | | | | | | Corona | | | | | |
|----------|--------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------------|---------|--------|--------|---------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 1GΩ | 91,81% | 71,48% | 79,32% | 80,50% | Entrada | ≥ 1GΩ | 97,41% | 93,13% | 90,13% | 92,45% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,43% | 0,00% | 0,76% | 0,00% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,43% | 0,34% | 0,19% | 0,00% |
| | ≤ 0,5GΩ | 7,76% | 28,52% | 19,92% | 19,50% | | ≤ 0,5GΩ | 2,16% | 6,53% | 9,68% | 7,55% |
| Salida | ≥ 1GΩ | 99,12% | 98,36% | 97,23% | 99,40% | Salida | ≥ 1GΩ | 100,00% | 98,36% | 97,23% | 100,00% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,99% | 0,37% | 0,00% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,99% | 0,37% | 0,00% |
| | ≤ 0,5 | 0,88% | 0,66% | 2,40% | 0,60% | | ≤ 0,5 | 0,00% | 0,66% | 2,40% | 0,00% |

Anexo 4.7: Variación porcentual por año, motores de tracción 2^{da} generación.

[Fuente: el autor]

| A ₂ | | | | | A ₁ | | | | |
|----------------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 34,07% | 26,09% | 43,75% | 30,77% | menor | 38,46% | 38,04% | 50,00% | 46,15% |
| igual | 27,47% | 151,85% | 43,75% | 42,31% | igual | 21,98% | 38,04% | 37,50% | 30,77% |
| mayor | 38,46% | 29,35% | 12,50% | 26,92% | mayor | 39,56% | 23,91% | 12,50% | 23,08% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| F ₂ | | | | | F ₁ | | | | |
|----------------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 43,96% | 34,78% | 37,50% | 46,15% | menor | 38,46% | 33,70% | 37,50% | 50,00% |
| igual | 25,27% | 31,52% | 43,75% | 30,77% | igual | 30,77% | 32,61% | 43,75% | 26,92% |
| mayor | 30,77% | 33,70% | 18,75% | 23,08% | mayor | 30,77% | 33,70% | 18,75% | 23,08% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Inducido | | | | | Corona | | | | |
|----------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 29,67% | 33,33% | 43,75% | 34,62% | menor | 36,26% | 39,13% | 37,50% | 53,85% |
| igual | 30,77% | 40,00% | 43,75% | 30,77% | igual | 21,98% | 40,22% | 50,00% | 23,08% |
| mayor | 39,56% | 26,67% | 12,50% | 34,62% | mayor | 41,76% | 20,65% | 12,50% | 23,08% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.8: Promedio variación total por año motor tracción 2^{da} generación.

[Fuente: el autor]

| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|-------|---------|---------|---------|---------|
| menor | 36,81% | 34,18% | 41,67% | 43,59% |
| igual | 26,37% | 37,83% | 43,75% | 30,77% |
| mayor | 36,81% | 28,00% | 14,58% | 25,64% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.9: Variación porcentual de entrada por año, inducido motor de tracción 2^{da} generación. [Fuente: el autor]

| | Entrada | | | | | | | |
|--------------|---------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|
| | Menor | | | | Menor | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 27 | 30 | 7 | 9 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | 27 | 30 | 7 | 9 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | Igual | | | | | | | |
| | Igual | | | | Igual | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 28 | 36 | 7 | 8 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | 28 | 36 | 7 | 8 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | Mayor | | | | | | | |
| | Mayor | | | | Mayor | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 4 | 3 | 0 | 2 | 11,11% | 12,50% | 0,00% | 22,22% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 1 | 0 | 0 | 0 | 2,78% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 31 | 21 | 2 | 7 | 86,11% | 87,50% | 100,00% | 77,78% |
| total | 36 | 24 | 2 | 9 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.10: Variación porcentual de salida por año, inducido motor de tracción 2^{da} generación. [Fuente: el autor]

| | Salida | | | | | | | |
|--------------|--------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|
| | Menor | | | | Menor | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 2 | 1 | 1 | 1 | 7,41% | 3,33% | 14,29% | 11,11% |
| IR>1GΩ | 25 | 29 | 6 | 8 | 92,59% | 96,67% | 85,71% | 88,89% |
| total | 27 | 30 | 7 | 9 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | Igual | | | | | | | |
| | Igual | | | | Igual | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 27 | 36 | 7 | 8 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | 27 | 36 | 7 | 8 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | Mayor | | | | | | | |
| | Mayor | | | | Mayor | | | |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 1 | 0 | 0 | 0 | 2,78% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 35 | 24 | 2 | 9 | 97,22% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | 36 | 24 | 2 | 9 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.11: Según valor recomendado IEEE, motores de tracción 2^{da} generación.

[Fuente: el autor]

| | | A ₂ | | | | | | A ₁ | | | |
|---------|-----------|----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|----------------|---------|---------|---------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 98,95% | 98,96% | 100,00% | 96,43% |
| | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | < 0,26 GΩ | 1,05% | 1,04% | 0,00% | 3,57% |
| Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |

| | | F ₂ | | | | | | F ₁ | | | |
|---------|-----------|----------------|---------|---------|---------|---------|-----------|----------------|---------|---------|---------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |

| | | Inducido | | | | | | Corona | | | |
|---------|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 95,79% | 97,87% | 100,00% | 92,86% | Entrada | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 98,96% | 100,00% | 100,00% |
| | < 0,26 GΩ | 4,21% | 2,13% | 0,00% | 7,14% | | < 0,26 GΩ | 0,00% | 1,04% | 0,00% | 0,00% |
| Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | Salida | ≥ 0,26 GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 96,30% |
| | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | < 0,26 GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 3,70% |

Anexo 4.12: Según normas empresa CAMETRO, motores de tracción 2^{da} generación.

[Fuente: el autor]

| | | A ₂ | | | | | | A ₁ | | | |
|---------|--------------|----------------|---------|---------|---------|---------|--------------|----------------|--------|---------|--------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 1GΩ | 98,95% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | Entrada | ≥ 1GΩ | 96,84% | 98,96% | 100,00% | 96,43% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | ≤ 0,5GΩ | 1,05% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | ≤ 0,5GΩ | 3,16% | 1,04% | 0,00% | 3,57% |
| Salida | ≥ 1GΩ | 99,17% | 98,95% | 93,75% | 96,30% | Salida | ≥ 1GΩ | 99,17% | 98,95% | 93,75% | 96,30% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,83% | 0,00% | 0,00% | 3,70% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,83% | 0,00% | 0,00% | 3,70% |
| | ≤ 0,5GΩ | 0,00% | 1,05% | 6,25% | 0,00% | | ≤ 0,5GΩ | 0,00% | 1,05% | 6,25% | 0,00% |

| | | F ₂ | | | | | | F ₁ | | | |
|---------|--------------|----------------|---------|---------|---------|---------|--------------|----------------|---------|---------|---------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 1GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | Entrada | ≥ 1GΩ | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | ≤ 0,5GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | ≤ 0,5GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| Salida | ≥ 1GΩ | 99,17% | 98,95% | 93,75% | 96,30% | Salida | ≥ 1GΩ | 99,17% | 98,95% | 93,75% | 96,30% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,83% | 0,00% | 0,00% | 3,70% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,83% | 0,00% | 0,00% | 3,70% |
| | ≤ 0,5GΩ | 0,00% | 1,05% | 6,25% | 0,00% | | ≤ 0,5GΩ | 0,00% | 1,05% | 6,25% | 0,00% |

| | | Inducido | | | | | | Corona | | | |
|---------|--------------|----------|--------|---------|--------|---------|--------------|---------|--------|---------|---------|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | ≥ 1GΩ | 94,74% | 94,79% | 100,00% | 92,86% | Entrada | ≥ 1GΩ | 100,00% | 97,92% | 100,00% | 100,00% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | ≤ 0,5GΩ | 5,26% | 5,21% | 0,00% | 7,14% | | ≤ 0,5GΩ | 0,00% | 2,08% | 0,00% | 0,00% |
| Salida | ≥ 1GΩ | 97,50% | 97,89% | 93,75% | 96,30% | Salida | ≥ 1GΩ | 99,17% | 98,95% | 93,75% | 92,59% |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 2,50% | 0,00% | 0,00% | 3,70% | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,83% | 0,00% | 0,00% | 3,70% |
| | ≤ 0,5GΩ | 0,00% | 2,11% | 6,25% | 0,00% | | ≤ 0,5GΩ | 0,00% | 1,05% | 6,25% | 3,70% |

Anexo 4.13: Variación porcentual por año, GMA de 1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

| Excitatriz: 1-2 | | | | | |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 60,00% | 45,65% | 30,77% | 40,74% | 40,91% |
| igual | 40,00% | 21,74% | 35,90% | 12,96% | 13,64% |
| mayor | 0,00% | 32,61% | 33,33% | 46,30% | 45,45% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Excitatriz: 3-6 | | | | | |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 60,00% | 41,30% | 41,03% | 40,74% | 40,91% |
| igual | 40,00% | 23,91% | 25,64% | 12,96% | 13,64% |
| mayor | 0,00% | 34,78% | 33,33% | 46,30% | 45,45% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Excitatriz: 4-7 | | | | | |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 80,00% | 45,65% | 38,46% | 42,59% | 45,45% |
| igual | 0,00% | 17,39% | 28,21% | 9,26% | 4,55% |
| mayor | 20,00% | 36,96% | 33,33% | 48,15% | 50,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Shunt Motor DC: 2-3 | | | | | |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 40,00% | 28,26% | 43,59% | 36,36% | 45,45% |
| igual | 0,00% | 30,43% | 28,21% | 10,91% | 18,18% |
| mayor | 60,00% | 41,30% | 28,21% | 52,73% | 36,36% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Armadura Motor DC: A1-F2 | | | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 40,00% | 36,17% | 46,15% | 38,89% | 45,45% |
| igual | 0,00% | 23,40% | 17,95% | 16,67% | 18,18% |
| mayor | 60,00% | 40,43% | 35,90% | 44,44% | 36,36% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Alternador: Rueda Polar | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 0,00% | 0,00% | 33,33% | 14,71% | 11,11% |
| igual | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 8,82% | 5,56% |
| mayor | 0,00% | 0,00% | 66,67% | 76,47% | 83,33% |
| total | 0,00% | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Alternador: Salida U-N | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 60,00% | 57,78% | 57,89% | 59,26% | 57,14% |
| igual | 0,00% | 24,44% | 18,42% | 7,41% | 4,76% |
| mayor | 40,00% | 17,78% | 23,68% | 33,33% | 38,10% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Alternador: Salida V-N | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 80,00% | 60,00% | 57,89% | 59,26% | 57,14% |
| igual | 0,00% | 22,22% | 21,05% | 7,41% | 4,76% |
| mayor | 20,00% | 17,78% | 21,05% | 33,33% | 38,10% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Alternador: Salida W-N | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 80,00% | 66,67% | 57,89% | 59,26% | 57,14% |
| igual | 0,00% | 13,33% | 21,05% | 7,41% | 4,76% |
| mayor | 20,00% | 20,00% | 21,05% | 33,33% | 38,10% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.14: Variación porcentual por año (promedios), GMA de 1^{ra} generación.

[Fuente: el autor]

| Promedio x año Excitatriz | | | | | | Promedio x año Motor DC | | | | | |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 66,67% | 44,20% | 36,75% | 41,36% | 42,42% | menor | 40,00% | 32,22% | 44,87% | 37,63% | 45,45% |
| igual | 26,67% | 21,01% | 29,91% | 11,73% | 10,61% | igual | 0,00% | 26,92% | 23,08% | 13,79% | 18,18% |
| mayor | 6,67% | 34,78% | 33,33% | 46,91% | 46,97% | mayor | 60,00% | 40,86% | 32,05% | 48,59% | 36,36% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Rueda polar | | | | | | Promedio x año Salidas de Alternador | | | | | |
|-------------|-------|-------|---------|---------|---------|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 0,00% | 0,00% | 33,33% | 14,71% | 11,11% | menor | 73,33% | 61,48% | 57,89% | 59,26% | 57,14% |
| igual | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 8,82% | 5,56% | igual | 0,00% | 20,00% | 20,18% | 7,41% | 4,76% |
| mayor | 0,00% | 0,00% | 66,67% | 76,47% | 83,33% | mayor | 26,67% | 18,52% | 21,93% | 33,33% | 38,10% |
| total | 0,00% | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.15: Promedio variación total por año GMA 1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| menor | 60,00% | 45,97% | 43,21% | 38,24% | 39,03% |
| igual | 8,89% | 22,64% | 18,29% | 10,44% | 9,78% |
| mayor | 31,11% | 31,39% | 38,50% | 51,33% | 51,19% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.16: Variación porcentual de entrada por año, bobina Shunt Motor DC GMA 1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

| | | Entrada | | | | | | | | | |
|--------------|--|---------|------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Menor | | | | | Menor | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | | 1 | 13 | 17 | 20 | 10 | 50,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | | 2 | 13 | 17 | 20 | 10 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | | Igual | | | | | Igual | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | | 0 | 14 | 11 | 6 | 4 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Total | | 0 | 14 | 11 | 6 | 4 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | | Mayor | | | | | Mayor | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 18,18% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | | 3 | 19 | 9 | 29 | 8 | 100,00% | 100,00% | 81,82% | 100,00% | 100,00% |
| total | | 3 | 19 | 11 | 29 | 8 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.17: Variación porcentual de salida por año, bobina Shunt Motor DC GMA 1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

| | | Salida | | | | | | | | | |
|--------------|--|--------|------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Menor | | | | | Menor | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 50,00% | 0,00% | 5,88% | 5,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 5,88% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | | 1 | 13 | 15 | 19 | 10 | 50,00% | 100,00% | 88,24% | 95,00% | 100,00% |
| total | | 2 | 13 | 17 | 20 | 10 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | | Igual | | | | | Igual | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | | 0 | 14 | 11 | 6 | 4 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | | 0 | 14 | 11 | 6 | 4 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | | Mayor | | | | | Mayor | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | | 3 | 19 | 11 | 29 | 8 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | | 3 | 19 | 11 | 29 | 8 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.18: Variación porcentual de entrada por año, armadura Motor DC GMA 1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

| | | Entrada | | | | | | | | | |
|--------------|--|---------|------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Menor | | | | | Menor | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 1 | 0 | 0 | 3 | 2 | 50,00% | 0,00% | 0,00% | 14,29% | 20,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 50,00% | 0,00% | 5,56% | 4,76% | 10,00% |
| IR>1GΩ | | 0 | 17 | 17 | 17 | 7 | 0,00% | 100,00% | 94,44% | 80,95% | 70,00% |
| total | | 2 | 17 | 18 | 21 | 10 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | | Igual | | | | | Igual | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0,00% | 9,09% | 0,00% | 11,11% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | | 0 | 10 | 7 | 8 | 4 | 0,00% | 90,91% | 100,00% | 88,89% | 100,00% |
| total | | 0 | 11 | 7 | 9 | 4 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | | Mayor | | | | | Mayor | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 0 | 7 | 2 | 5 | 1 | 0,00% | 36,84% | 14,29% | 20,83% | 12,50% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 33,33% | 0,00% | 14,29% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | | 2 | 12 | 10 | 19 | 7 | 66,67% | 63,16% | 71,43% | 79,17% | 87,50% |
| total | | 3 | 19 | 14 | 24 | 8 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.19: Variación porcentual de salida por año, armadura Motor DC GMA 1^{ra} generación. [Fuente: el autor]

| | | Salida | | | | | | | | | |
|--------------|--|--------|------|------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Menor | | | | | Menor | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 2 | 1 | 3 | 10 | 4 | 100,00% | 5,88% | 16,67% | 47,62% | 40,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 0 | 2 | 4 | 1 | 0 | 0,00% | 11,76% | 22,22% | 4,76% | 0,00% |
| IR>1GΩ | | 0 | 14 | 11 | 10 | 6 | 0,00% | 82,35% | 61,11% | 47,62% | 60,00% |
| total | | 2 | 17 | 18 | 21 | 10 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | | Igual | | | | | Igual | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0,00% | 9,09% | 0,00% | 11,11% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | | 0 | 10 | 7 | 8 | 4 | 0,00% | 90,91% | 100,00% | 88,89% | 100,00% |
| total | | 0 | 11 | 7 | 9 | 4 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| | | Mayor | | | | | Mayor | | | | |
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0,00% | 0,00% | 7,14% | 4,17% | 12,50% |
| IR>1GΩ | | 3 | 19 | 13 | 23 | 7 | 100,00% | 100,00% | 92,86% | 95,83% | 87,50% |
| total | | 3 | 19 | 14 | 24 | 8 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.20: Según valor recomendado IEEE, GMA 1^{ra} Generación. [Fuente: el autor]

| | | 1-2 [%] | | | | | 3-6 [%] | | | | | | |
|---------|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------|-----------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 98,15 | 95,92 | 86,42 | 100,00 | Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 100,00 | 95,92 | 87,65 | 100,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 1,85 | 4,08 | 13,58 | 0,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 4,08 | 12,35 | 0,00 |
| Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 88,89 | 91,67 | 88,89 | 87,50 | 92,31 | Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 88,89 | 95,00 | 88,89 | 91,96 | 92,31 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 11,11 | 8,33 | 11,11 | 12,50 | 7,69 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 11,11 | 5,00 | 11,11 | 8,04 | 7,69 |

| | | 4-7 [%] | | | | | 2-3 [%] | | | | | | |
|---------|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------|-----------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 96,30 | 95,92 | 87,65 | 100,00 | Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 80,00 | 100,00 | 97,83 | 98,78 | 96,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 3,70 | 4,08 | 12,35 | 0,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 20,00 | 0,00 | 2,17 | 1,22 | 4,00 |
| Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 87,50 | 93,22 | 88,89 | 91,96 | 92,31 | Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 94,44 | 95,00 | 98,15 | 98,21 | 100,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 12,50 | 6,78 | 11,11 | 8,04 | 7,69 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 5,56 | 5,00 | 1,85 | 1,79 | 0,00 |

| | | A ₁ -F ₂ [%] | | | | | Rueda Polar [%] | | | | | | |
|---------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 80,00 | 87,04 | 91,11 | 84,15 | 100,00 | Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | - | 100,00 | 92,31 | 95,71 | 95,65 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 20,00 | 12,96 | 8,89 | 15,85 | 0,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | - | 0,00 | 7,69 | 4,29 | 4,35 |
| Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 66,67 | 95,00 | 92,59 | 90,99 | 84,62 | Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 97,75 | 96,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 33,33 | 5,00 | 7,41 | 9,01 | 15,38 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,25 | 4,00 |

| | | U-N [%] | | | | | V-N [%] | | | | | | |
|---------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 60,00 | 90,38 | 77,55 | 76,83 | 75,00 | Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 60,00 | 90,38 | 79,59 | 76,83 | 75,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 40,00 | 9,62 | 22,45 | 23,17 | 25,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 40,00 | 9,62 | 20,41 | 23,17 | 25,00 |
| Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 77,78 | 70,00 | 77,36 | 87,50 | 80,77 | Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 77,78 | 70,00 | 77,36 | 87,50 | 80,77 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 22,22 | 30,00 | 22,64 | 12,50 | 19,23 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 22,22 | 30,00 | 22,64 | 12,50 | 19,23 |

| | | W-N [%] | | | | |
|---------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 60,00 | 90,38 | 79,59 | 76,83 | 75,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 40,00 | 9,62 | 20,41 | 23,17 | 25,00 |
| Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 77,78 | 70,00 | 77,36 | 87,50 | 80,77 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 22,22 | 30,00 | 22,64 | 12,50 | 19,23 |

Anexo 4.21: Según normas empresa CAMETRO, GMA 1^{ra} Generación. [Fuente: el autor]

| 1-2 [%] | | | | | | | 3-6 [%] | | | | | | |
|---------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 80,00 | 98,15 | 91,84 | 74,07 | 91,67 | Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 80,00 | 98,15 | 93,88 | 74,07 | 95,83 |
| | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,33 | | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,47 | 4,17 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 20,00 | 1,85 | 8,16 | 25,93 | 0,00 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 20,00 | 1,85 | 6,12 | 23,46 | 0,00 |
| Salida | $\geq 1G\Omega$ | 77,78 | 88,33 | 79,63 | 75,89 | 88,46 | Salida | $\geq 1G\Omega$ | 77,78 | 93,33 | 79,63 | 75,89 | 84,62 |
| | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 5,56 | 1,67 | 1,85 | 1,79 | 0,00 | | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 1,85 | 4,46 | 3,85 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 16,67 | 10,00 | 18,52 | 22,32 | 11,54 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 22,22 | 6,67 | 18,52 | 19,64 | 11,54 |

| 4-7 [%] | | | | | | 2-3 [%] | | | | | | | |
|---------|------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|------------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 100,00 | 96,30 | 93,88 | 71,60 | 95,83 | Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 80,00 | 100,00 | 93,48 | 97,56 | 92,00 |
| | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,23 | 4,17 | | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 2,17 | 0,00 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 0,00 | 3,70 | 6,12 | 27,16 | 0,00 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 20,00 | 0,00 | 4,35 | 2,44 | 8,00 |
| Salida | $\geq 1G\Omega$ | 66,67 | 93,22 | 75,93 | 76,79 | 84,62 | Salida | $\geq 1G\Omega$ | 83,33 | 95,00 | 94,44 | 96,43 | 100,00 |
| | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 5,56 | 0,00 | 5,56 | 4,46 | 3,85 | | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 5,56 | 0,00 | 1,85 | 1,79 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 27,78 | 6,78 | 18,52 | 18,75 | 11,54 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 11,11 | 5,00 | 3,70 | 1,79 | 0,00 |

| A ₁ -F ₂ [%] | | | | | | Rueda Polar [%] | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|---------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 40,00 | 81,48 | 84,44 | 73,17 | 92,00 | Entrada | $\geq 1G\Omega$ | - | 50,00 | 85,71 | 90,00 | 95,65 |
| | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 20,00 | 1,85 | 2,22 | 1,22 | 0,00 | | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | - | 0,00 | 0,00 | 2,86 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 40,00 | 16,67 | 13,33 | 25,61 | 8,00 | | $\leq 0,5G\Omega$ | - | 50,00 | 14,29 | 7,14 | 4,35 |
| Salida | $\geq 1G\Omega$ | 61,11 | 90,00 | 75,93 | 80,18 | 73,08 | Salida | $\geq 1G\Omega$ | 50,00 | 60,00 | 90,00 | 94,38 | 88,46 |
| | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 0,00 | 1,67 | 3,70 | 1,80 | 3,85 | | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 0,00 | 20,00 | 0,00 | 1,12 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 38,89 | 8,33 | 20,37 | 18,02 | 23,08 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 50,00 | 20,00 | 10,00 | 4,49 | 11,54 |

| U-N [%] | | | | | | V-N [%] | | | | | | | |
|---------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 60,00 | 90,38 | 71,43 | 67,07 | 70,83 | Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 60,00 | 88,46 | 73,47 | 67,07 | 70,83 |
| | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 4,08 | 3,66 | 0,00 | | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 4,08 | 3,66 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 40,00 | 9,62 | 24,49 | 29,27 | 29,17 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 40,00 | 11,54 | 22,45 | 29,27 | 29,17 |
| Salida | $\geq 1G\Omega$ | 50,00 | 68,33 | 62,26 | 72,32 | 69,23 | Salida | $\geq 1G\Omega$ | 50,00 | 68,33 | 62,26 | 73,21 | 69,23 |
| | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 11,11 | 0,00 | 1,89 | 3,57 | 7,69 | | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 5,56 | 0,00 | 1,89 | 2,68 | 7,69 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 38,89 | 31,67 | 35,85 | 24,11 | 23,08 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 44,44 | 31,67 | 35,85 | 24,11 | 23,08 |

| W-N [%] | | | | | | |
|---------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 60,00 | 88,46 | 73,47 | 67,07 | 70,83 |
| | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 4,08 | 3,66 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 40,00 | 11,54 | 22,45 | 29,27 | 29,17 |
| Salida | $\geq 1G\Omega$ | 50,00 | 68,33 | 62,26 | 73,21 | 69,23 |
| | $0,5G\Omega < IR < 1G\Omega$ | 5,56 | 0,00 | 1,89 | 2,68 | 7,69 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 44,44 | 31,67 | 35,85 | 24,11 | 23,08 |

Anexo 4.22: Variación porcentual por año, GMA 2^{da} generación. [Fuente: el autor]

| Campo armadura serie | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 33,33% | 33,33% | 42,11% | 35,71% | 30,00% |
| igual | 33,33% | 20,51% | 31,58% | 28,57% | 20,00% |
| mayor | 33,33% | 46,15% | 26,32% | 35,71% | 50,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Campo shunt | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 33,33% | 35,90% | 45,00% | 40,00% | 40,00% |
| igual | 0,00% | 28,21% | 30,00% | 13,33% | 30,00% |
| mayor | 66,67% | 35,90% | 25,00% | 46,67% | 30,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Estatodina: Salida eje excitación 1-2 | | | | | |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 66,67% | 38,46% | 25,00% | 40,00% | 50,00% |
| igual | 0,00% | 17,95% | 45,00% | 13,33% | 20,00% |
| mayor | 33,33% | 43,59% | 30,00% | 46,67% | 30,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Estatodina: Salida eje excitación 1-3 | | | | | |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 66,67% | 43,59% | 25,00% | 40,00% | 50,00% |
| igual | 0,00% | 23,08% | 45,00% | 13,33% | 20,00% |
| mayor | 33,33% | 33,33% | 30,00% | 46,67% | 30,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Estatodina: Salida eje excitación 2-3 | | | | | |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 66,67% | 41,03% | 25,00% | 40,00% | 50,00% |
| igual | 0,00% | 17,95% | 45,00% | 13,33% | 20,00% |
| mayor | 33,33% | 41,03% | 30,00% | 46,67% | 30,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Estatodina: Eje excitación | | | | | |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 66,67% | 44,74% | 35,00% | 46,67% | 50,00% |
| igual | 33,33% | 39,47% | 55,00% | 13,33% | 30,00% |
| mayor | 0,00% | 15,79% | 10,00% | 40,00% | 20,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Estatodina: Salida eje baterías 1-2 | | | | | |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 66,67% | 57,89% | 40,00% | 40,00% | 60,00% |
| igual | 0,00% | 13,16% | 40,00% | 33,33% | 20,00% |
| mayor | 33,33% | 28,95% | 20,00% | 26,67% | 20,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Estatodina: Salida eje baterías 1-3 | | | | | |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 66,67% | 52,63% | 40,00% | 40,00% | 60,00% |
| igual | 0,00% | 15,79% | 40,00% | 33,33% | 20,00% |
| mayor | 33,33% | 31,58% | 20,00% | 26,67% | 20,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Estatodina: Salida eje baterías 2-3 | | | | | |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 66,67% | 55,26% | 40,00% | 40,00% | 60,00% |
| igual | 0,00% | 15,79% | 40,00% | 33,33% | 20,00% |
| mayor | 33,33% | 28,95% | 20,00% | 26,67% | 20,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Estatodina: Eje baterías | | | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 100,00% | 39,47% | 35,00% | 40,00% | 70,00% |
| igual | 0,00% | 31,58% | 45,00% | 40,00% | 20,00% |
| mayor | 0,00% | 28,95% | 20,00% | 20,00% | 10,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Alternador: Excitación | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 0,00% | 34,29% | 26,32% | 21,43% | 11,11% |
| igual | 0,00% | 8,57% | 15,79% | 7,14% | 33,33% |
| mayor | 100,00% | 57,14% | 57,89% | 71,43% | 55,56% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Alternador: Salida U-N | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 0,00% | 44,74% | 30,00% | 46,67% | 60,00% |
| igual | 0,00% | 18,42% | 35,00% | 26,67% | 10,00% |
| mayor | 100,00% | 36,84% | 35,00% | 26,67% | 30,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Alternador: Salida V-N | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 0,00% | 47,37% | 30,00% | 46,67% | 60,00% |
| igual | 0,00% | 21,05% | 35,00% | 26,67% | 10,00% |
| mayor | 100,00% | 31,58% | 35,00% | 26,67% | 30,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Alternador: Salida W-N | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 0,00% | 44,74% | 30,00% | 53,33% | 60,00% |
| igual | 0,00% | 23,68% | 35,00% | 20,00% | 10,00% |
| mayor | 100,00% | 31,58% | 35,00% | 26,67% | 30,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.23: Variación porcentual por año (promedios), GMA 2^{da} generación.

[Fuente: el autor]

| Campo Armadura serie | | | | | | Campo Shunt | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 33,33% | 33,33% | 42,11% | 35,71% | 30,00% | menor | 33,33% | 35,90% | 45,00% | 40,00% | 40,00% |
| igual | 33,33% | 20,51% | 31,58% | 28,57% | 20,00% | igual | 0,00% | 28,21% | 30,00% | 13,33% | 30,00% |
| mayor | 33,33% | 46,15% | 26,32% | 35,71% | 50,00% | mayor | 66,67% | 35,90% | 25,00% | 46,67% | 30,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Excitación: Eje de excitación | | | | | | Promedio Salida Eje de excitación | | | | | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 66,67% | 44,74% | 35,00% | 46,67% | 50,00% | menor | 66,67% | 41,03% | 25,00% | 40,00% | 50,00% |
| igual | 33,33% | 39,47% | 55,00% | 13,33% | 30,00% | igual | 0,00% | 19,66% | 45,00% | 13,33% | 20,00% |
| mayor | 0,00% | 15,79% | 10,00% | 40,00% | 20,00% | mayor | 33,33% | 39,32% | 30,00% | 46,67% | 30,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Excitación: Eje de baterías | | | | | | Promedio Salida Eje de baterías | | | | | |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 100,00% | 39,47% | 35,00% | 40,00% | 70,00% | menor | 66,67% | 55,26% | 40,00% | 40,00% | 60,00% |
| igual | 0,00% | 31,58% | 45,00% | 40,00% | 20,00% | igual | 0,00% | 14,91% | 40,00% | 33,33% | 20,00% |
| mayor | 0,00% | 28,95% | 20,00% | 20,00% | 10,00% | mayor | 33,33% | 29,82% | 20,00% | 26,67% | 20,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

| Excitación: Alternador | | | | | | Promedio Salida alternador | | | | | |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| menor | 0,00% | 34,29% | 26,32% | 21,43% | 11,11% | menor | 0,00% | 45,61% | 30,00% | 48,89% | 60,00% |
| igual | 0,00% | 8,57% | 15,79% | 7,14% | 33,33% | igual | 0,00% | 21,05% | 35,00% | 24,44% | 10,00% |
| mayor | 100,00% | 57,14% | 57,89% | 71,43% | 55,56% | mayor | 100,00% | 33,33% | 35,00% | 26,67% | 30,00% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.24: Promedio variación total por año.

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| menor | 45,83% | 41,20% | 34,80% | 39,09% | 46,39% |
| igual | 8,33% | 23,00% | 37,17% | 21,69% | 22,92% |
| mayor | 45,83% | 35,80% | 28,03% | 39,23% | 30,69% |
| total | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.25: Variación porcentual de entrada por año, promedio salida alternador GMA 2^{da} generación. [Fuente: el autor]

| Entrada | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Menor | | | | | Menor | | | | | |
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 0 | 18 | 6 | 8 | 6 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | 0 | 18 | 6 | 8 | 6 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Igual | | | | | Igual | | | | | |
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 0 | 6 | 7 | 3 | 1 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | 0 | 6 | 7 | 3 | 1 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Mayor | | | | | Mayor | | | | | |
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0,00% | 7,14% | 42,86% | 50,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 3 | 13 | 4 | 2 | 3 | 100,00% | 92,86% | 57,14% | 50,00% | 100,00% |
| total | 3 | 14 | 7 | 4 | 3 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.26: Variación porcentual de salida por año, promedio salida alternador GMA 2^{da} generación. [Fuente: el autor]

| Salida | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Menor | | | | | Menor | | | | | |
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0,00% | 5,56% | 16,67% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,00% | 5,56% | 16,67% | 12,50% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 0 | 16 | 4 | 7 | 6 | 0,00% | 88,89% | 66,67% | 87,50% | 100,00% |
| total | 0 | 18 | 6 | 8 | 6 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Igual | | | | | Igual | | | | | |
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 0 | 6 | 7 | 3 | 1 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | 0 | 6 | 7 | 3 | 1 | 0,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| Mayor | | | | | Mayor | | | | | |
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| 0,5GΩ>IR | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| IR>1GΩ | 3 | 14 | 7 | 4 | 3 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| total | 3 | 14 | 7 | 4 | 3 | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |

Anexo 4.27: Según valor recomendado IEEE, GMA 2^{da} Generación. [Fuente: el autor]

| Estatodina Excitación +- [%] | | | | | | | Estatodina Excitación 1-2;1-2;2-3 Promedio [%] | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|--|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 94,12 | 100,00 | Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 92,42 | 90,91 | 94,12 | 100,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,88 | 0,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 7,58 | 9,09 | 5,88 | 0,00 |
| Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 90,91 | 100,00 | Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 85,71 | 90,37 | 90,00 | 89,39 | 100,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,09 | 0,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 14,29 | 9,63 | 10,00 | 10,61 | 0,00 |

| Estatodina Baterías +- [%] | | | | | | Estatodina Baterías 1-2;1-2;2-3 Promedio [%] | | | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--|---------|-----------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 100,00 | 95,45 | 94,12 | 100,00 | Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 97,67 | 100,00 | 94,12 | 100,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 4,55 | 5,88 | 0,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 2,33 | 0,00 | 5,88 | 0,00 |
| Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 100,00 | 100 | 90,91 | 100,00 | Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 85,71 | 97,78 | 100,00 | 90,91 | 100,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,09 | 0,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 14,29 | 2,22 | 0,00 | 9,09 | 0,00 |

| Motor DC Bobina Serie [%] | | | | | | Motor DC Bobina Shunt [%] | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|---------|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 90,91 | 90,91 | 82,35 | 90,91 | Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,00 | 90,91 | 95,45 | 82,35 | 100,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 9,09 | 9,09 | 17,65 | 9,09 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 9,09 | 4,55 | 17,65 | 0,00 |
| Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 71,43 | 91,11 | 89,47 | 90,48 | 100,00 | Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 71,43 | 88,89 | 90,00 | 95,45 | 100,00 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 28,57 | 8,89 | 10,53 | 9,52 | 0,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 28,57 | 11,11 | 10,00 | 4,55 | 0,00 |

| Alternador Excitación 2-1 [%] | | | | | | Alternador U-N;V-N;W-N Promedio [%] | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------------|---------|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 20,00 | 37,21 | 38,10 | 20,00 | 0,00 | Entrada | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 80,00 | 62,79 | 61,90 | 80,00 | 100,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 85,71 | 58,14 | 35,00 | 35,00 | 30,00 | Salida | $\geq 0,26 \text{ G}\Omega$ | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 14,29 | 41,86 | 65,00 | 65,00 | 70,00 | | $< 0,26 \text{ G}\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Anexo 4.28: Según normas empresa CAMETRO, GMA 2^{da} Generación. [Fuente: el autor]

| Estatodina Excitación +- [%] | | | | | | | Estatodina Excitación 1-2;1-2;2-3 Promedio [%] | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 100,00 | 100,00 | 95,45 | 88,24 | 90,91 | Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 80,00 | 81,06 | 81,82 | 64,71 | 100,00 |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 9,09 | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 3,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 4,55 | 11,76 | 0,00 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 20,00 | 15,91 | 18,18 | 35,29 | 0,00 |
| Salida | $\geq 1G\Omega$ | 71,43 | 97,78 | 85,00 | 81,82 | 90,00 | Salida | $\geq 1G\Omega$ | 57,14 | 80,00 | 70,00 | 72,73 | 100,00 |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 10,00 | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 28,57 | 2,22 | 10,00 | 18,18 | 0,00 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 42,86 | 20,00 | 25,00 | 27,27 | 0,00 |

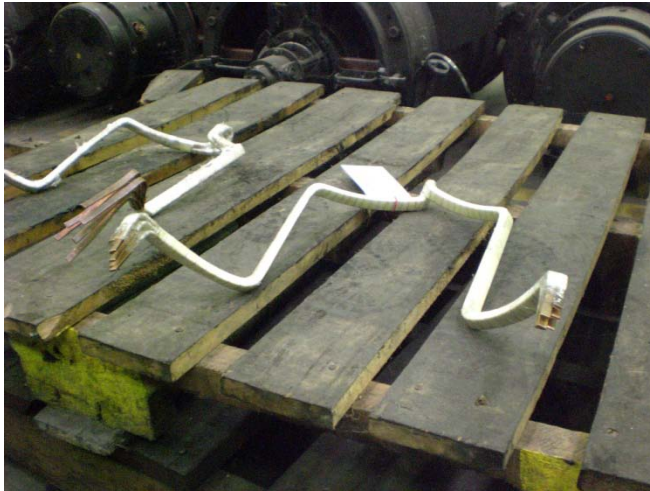
| Estatodina Baterías +- [%] | | | | | | Estatodina Baterías 1-2;1-2;2-3 Promedio [%] | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--|---------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 80,00 | 100,00 | 90,91 | 94,12 | 100,00 | Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 80,00 | 93,02 | 90,91 | 82,35 | 100,00 |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 0,00 | 4,55 | 0,00 | 0,00 | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 0,00 | 4,55 | 5,88 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 20,00 | 0,00 | 4,55 | 5,88 | 0,00 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 20,00 | 6,98 | 4,55 | 11,76 | 0,00 |
| Salida | $\geq 1G\Omega$ | 100,00 | 97,78 | 100,00 | 90,91 | 90,00 | Salida | $\geq 1G\Omega$ | 85,71 | 97,78 | 95,00 | 90,91 | 100,00 |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 0,00 | 2,22 | 0,00 | 9,09 | 10,00 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 14,29 | 2,22 | 0,00 | 9,09 | 0,00 |

| Motor DC Bobina Serie [%] | | | | | | Motor DC Bobina Shunt [%] | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|---------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 40,00 | 79,55 | 90,91 | 58,82 | 90,91 | Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 40,00 | 79,55 | 95,45 | 64,71 | 100,00 |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 4,55 | 0,00 | 5,88 | 0,00 | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 20,00 | 2,27 | 0,00 | 5,88 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 60,00 | 15,91 | 9,09 | 35,29 | 9,09 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 40,00 | 18,18 | 4,55 | 29,41 | 0,00 |
| Salida | $\geq 1G\Omega$ | 57,14 | 80,00 | 73,68 | 72,73 | 90,00 | Salida | $\geq 1G\Omega$ | 57,14 | 80,00 | 70,00 | 81,82 | 100,00 |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 2,22 | 0,00 | 0,00 | 10,00 | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 2,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 42,86 | 17,78 | 26,32 | 27,27 | 0,00 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 42,86 | 17,78 | 30,00 | 18,18 | 0,00 |

| Alternador Excitación 2-1 [%] | | | | | | Alternador U-N;V-N;W-N Promedio [%] | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------------|---------|-------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 20,00 | 20,45 | 14,29 | 13,33 | 0,00 | Entrada | $\geq 1G\Omega$ | 100,00 | 97,67 | 90,91 | 88,24 | 100,00 |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 0,00 | 4,76 | 0,00 | 0,00 | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 2,33 | 4,55 | 0,00 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 80,00 | 79,55 | 80,95 | 86,67 | 100,00 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 0,00 | 0,00 | 4,55 | 11,76 | 0,00 |
| b | $\geq 1G\Omega$ | 85,71 | 44,19 | 15,00 | 30,00 | 20,00 | Salida | $\geq 1G\Omega$ | 90,48 | 96,26 | 90,30 | 93,05 | 100,00 |
| | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 0,00 | 4,65 | 0,00 | 0,00 | 10,00 | | 0,5GΩ<IR<1GΩ | 9,52 | 2,26 | 4,85 | 3,03 | 0,00 |
| | $\leq 0,5G\Omega$ | 14,29 | 51,16 | 85,00 | 70,00 | 70,00 | | $\leq 0,5G\Omega$ | 0,00 | 1,48 | 4,85 | 3,92 | 0,00 |

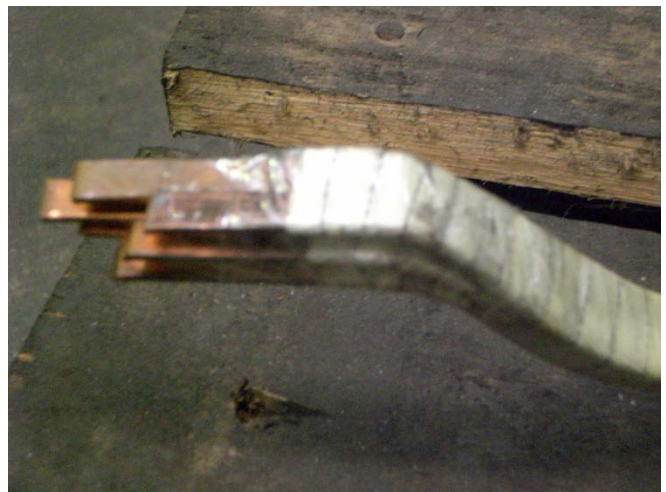
[ANEXO N°5]

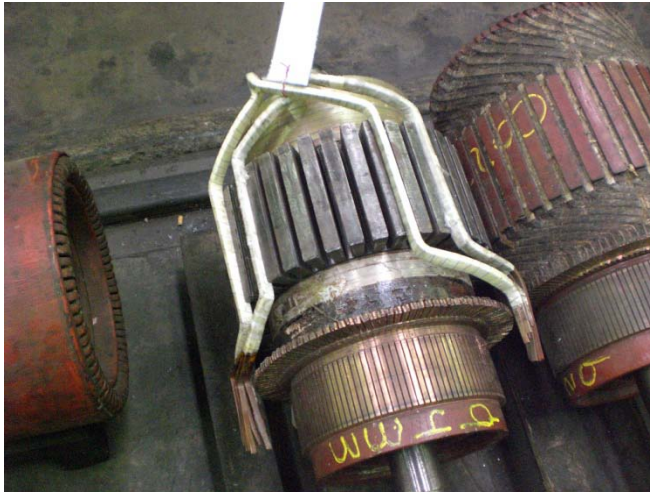
Fotografías tomadas durante proceso de medición de “IR” en motores de tracción en taller de motores MSO.



Fotografía 1: Bobinas del rotor del motor de tracción.
[Fuente: el autor]

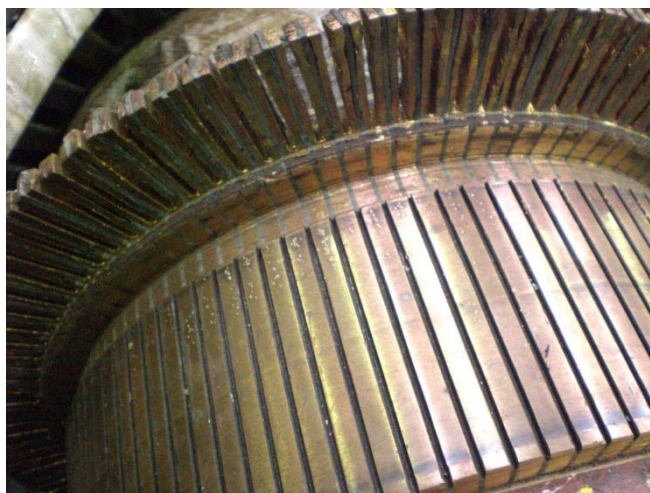
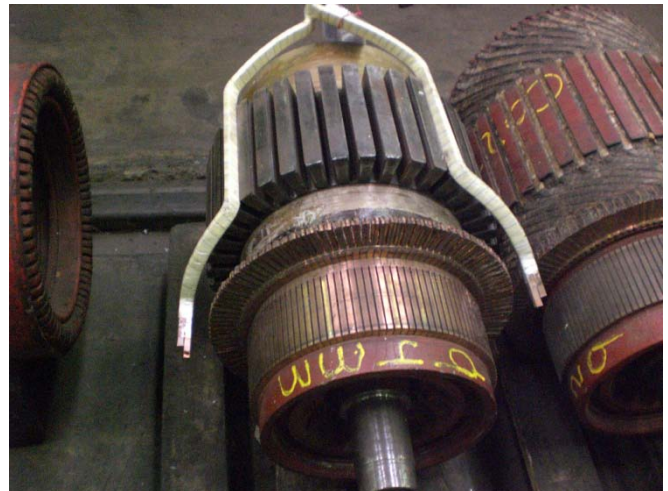
Fotografía 2: Detalle bobina del rotor del motor de tracción.
[Fuente: el autor]





Fotografía 3: Núcleo del rotor sin bobinas, junto a dos bobinas.
[Fuente: el autor]

Fotografía 4: Núcleo del rotor sin bobinas, junto a una bobina en su posición.
[Fuente: el autor]



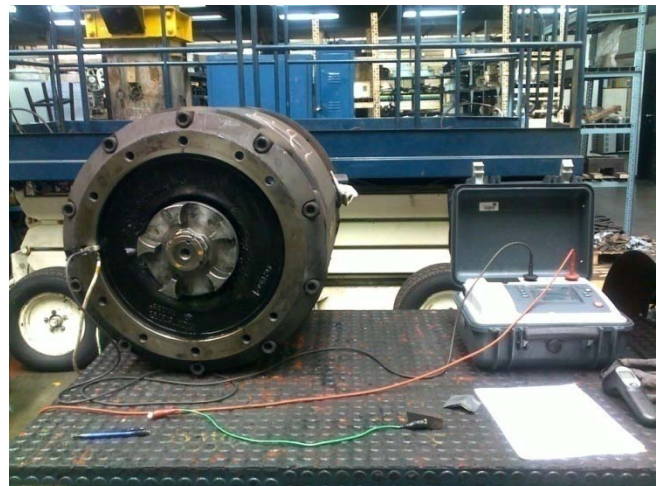
Fotografía 5: Detalle del colector del rotor del motor de tracción.
[Fuente: el autor]

Fotografía 6: Detalle bobinas estáticas del motor de tracción.
[Fuente: el autor]



Fotografía 7: Medición del nivel de aislamiento en motor de tracción MT1-508.
[Fuente: el autor]

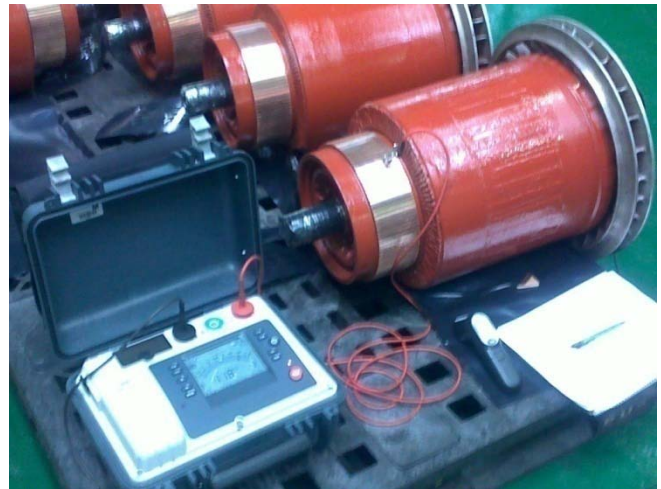
Fotografía 8: Medición de nivel de aislamiento en motor tracción MT2-251.
[Fuente: el autor]





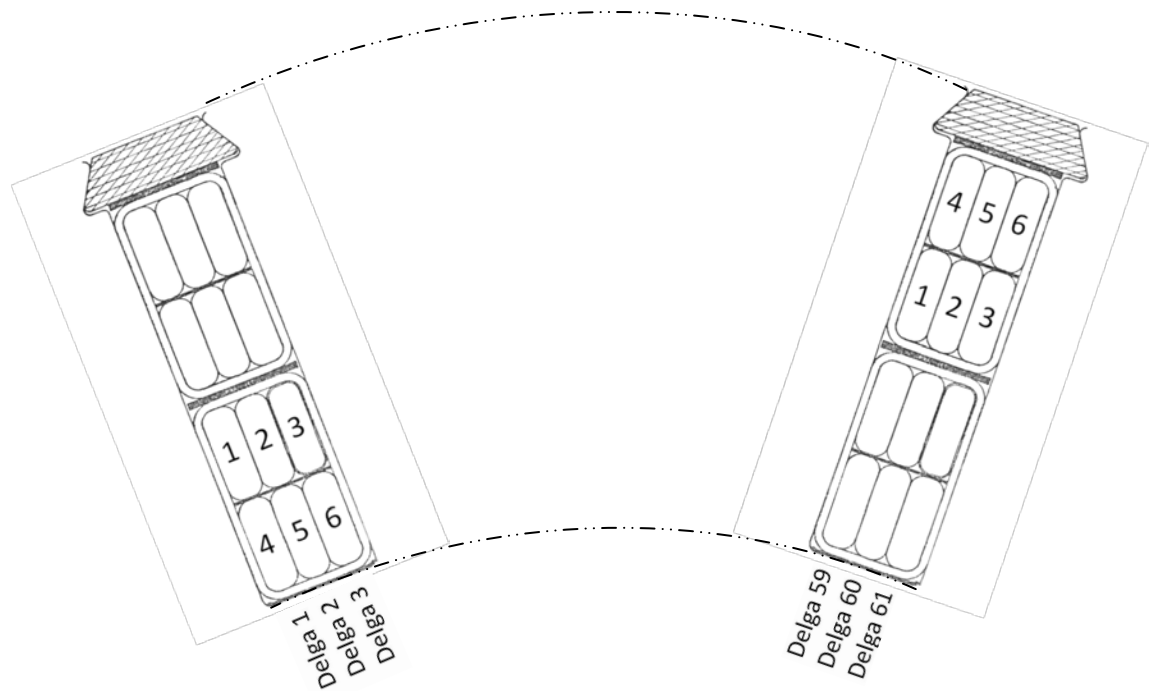
Fotografía 9: Inducidos recién salidos del horno.
[Fuente: el autor]

Fotografía 10: Medición de nivel de aislamiento en inducidos recién bobinados.
[Fuente: el autor]



[ANEXO N°6]

El inducido del motor de tracción de primera generación, inclusive el de segunda, posee un devanado tipo ondulado simple, con un total de 39 ranuras en el núcleo, 117 delgas, 6 conductores por ranura para un total de 234 conductores, con un paso de devanado a nivel del colector de 1 a 59 y un paso de devanado sobre el núcleo de 1 a 11. La disposición de los devanados es de tipo escalonado.



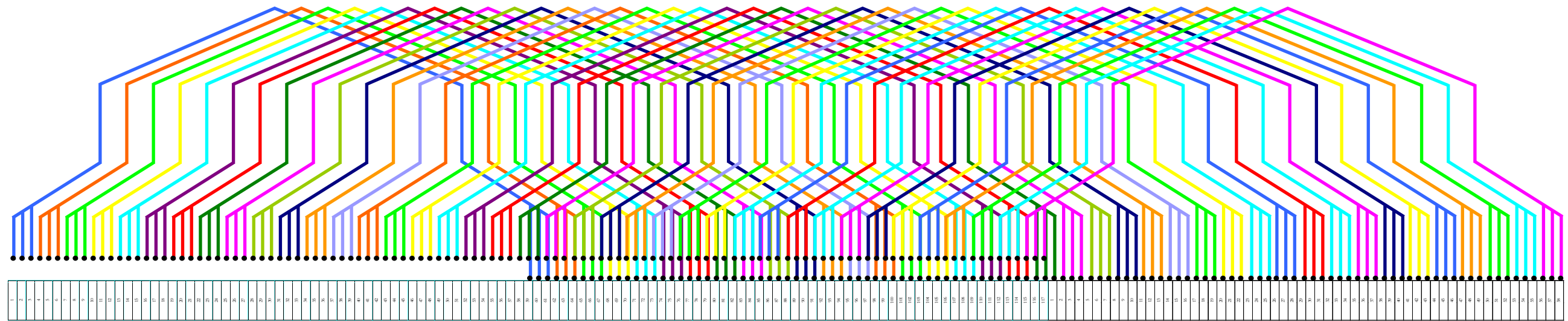


Diagrama del devanado rotórico del motor de tracción 1^{ra} generación del Metro de Caracas

[Fuente: el autor]

[ANEXO N°7]

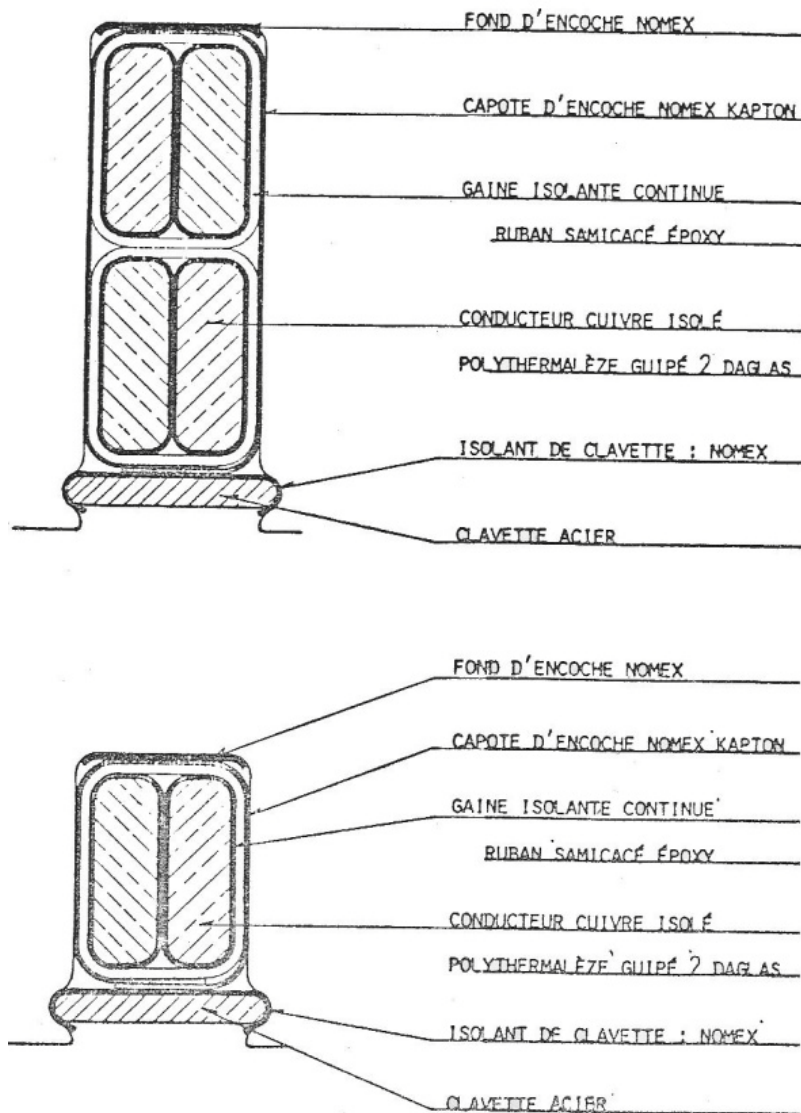
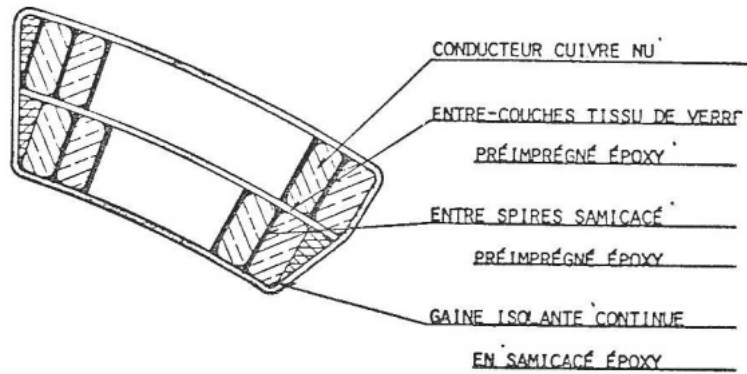


Figura A.7.1: Bobina de compensación motor tracción 1^{ra} generación.

ISOLATION : CLASSE F

IMPRÉGNATION : RÉSINE ÉPOXY SOUS VIDE ET PRESSION, GLOBALE EN CARCASSE



COUPE BOBINE AUXILIAIRE

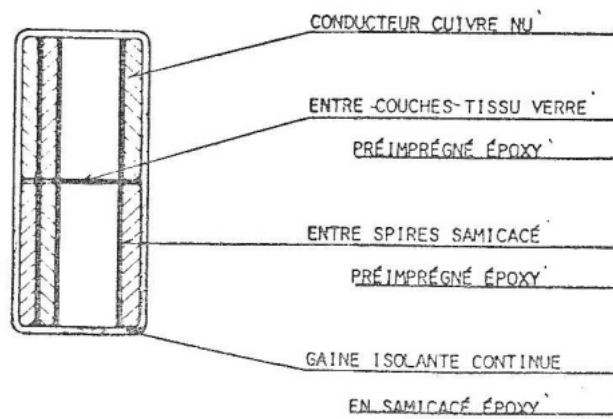


Figura A.7.2: Bobina principal (figura superior) y bobina auxiliar (figura superior) motor tracción 1^{ra} generación.

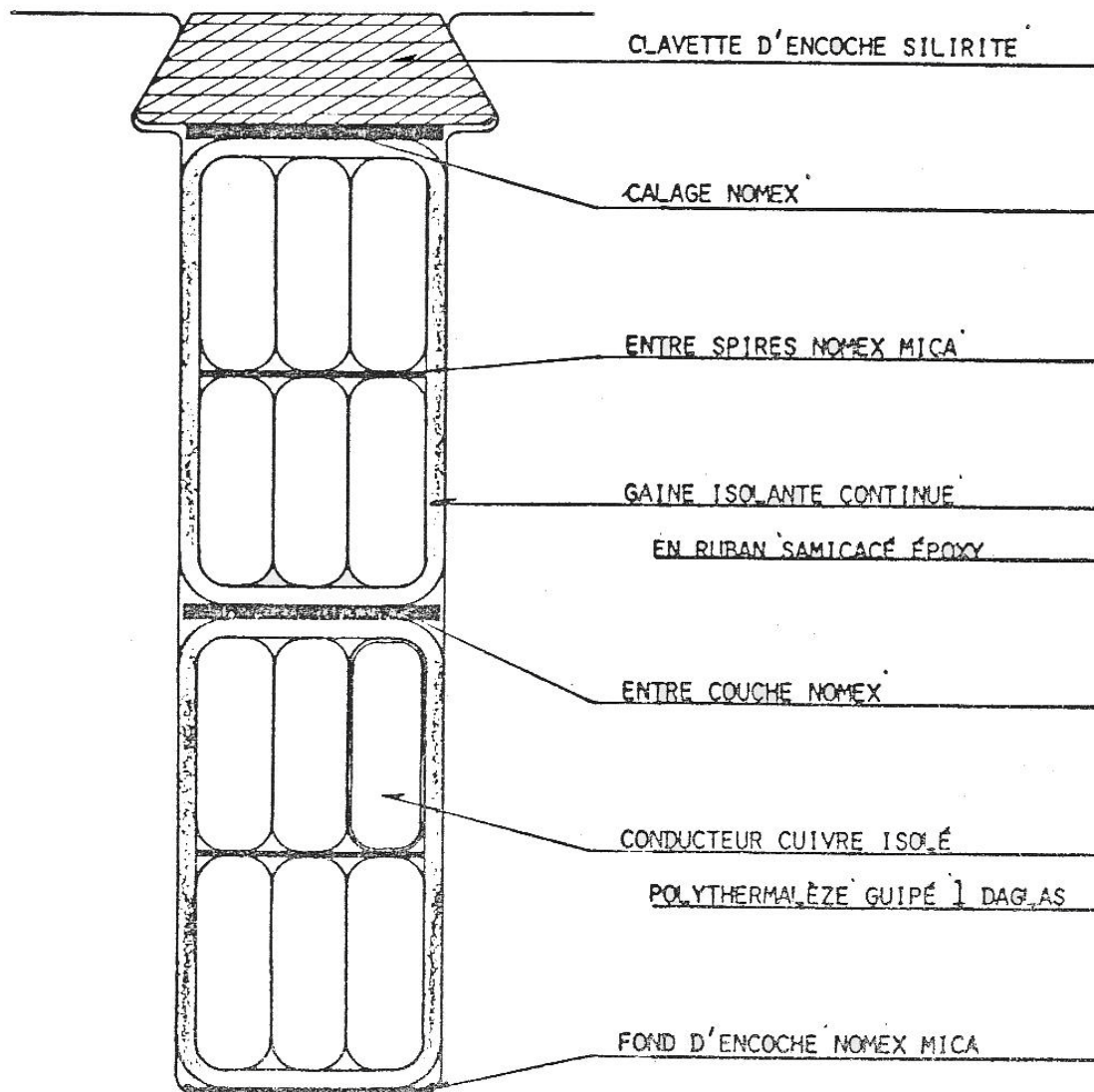


Figura A.7.3: Bobina inductor de motor tracción 1^{ra} generación.

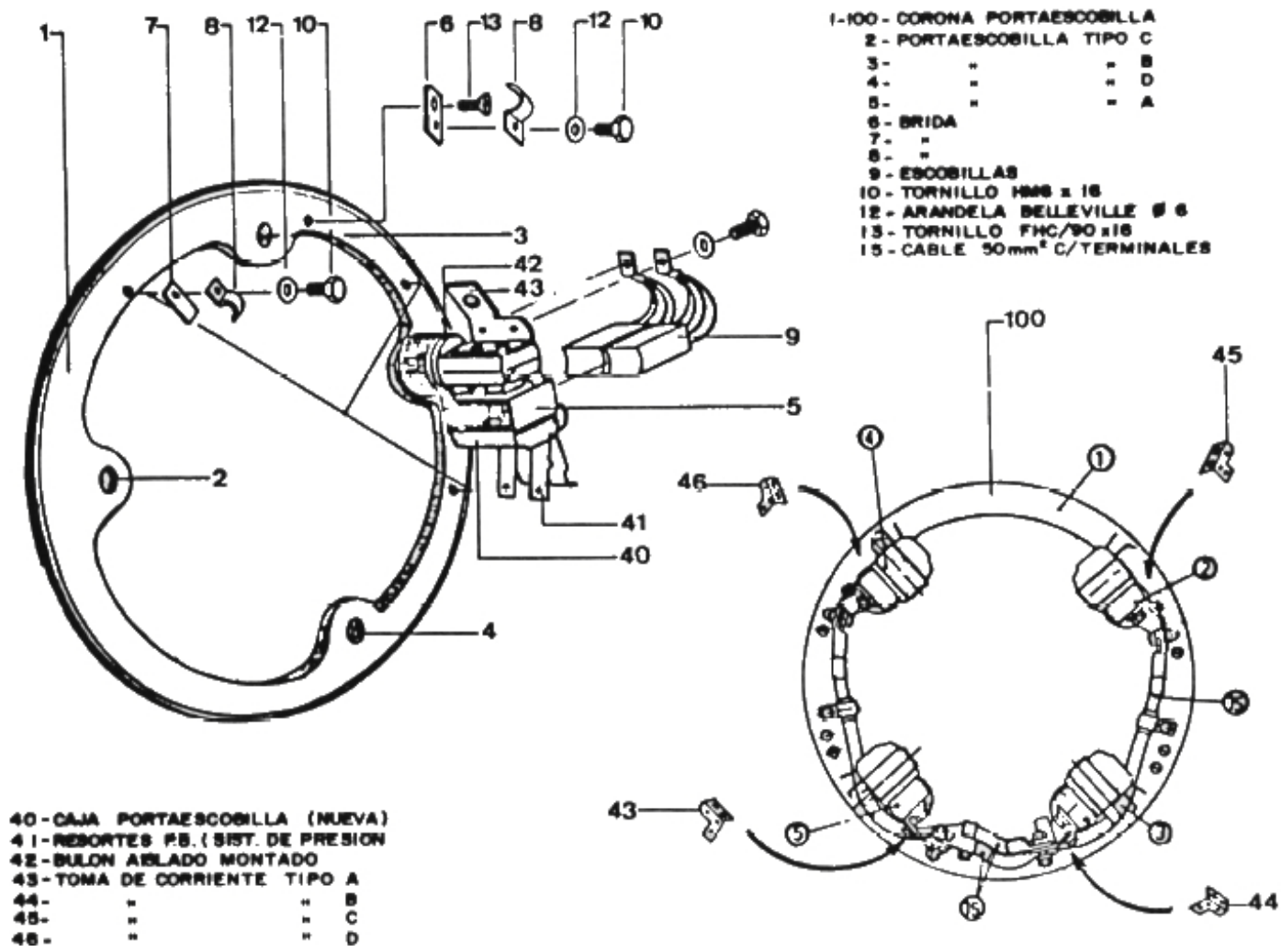


Figura A.7.4: Corona porta-escobillas del motor tracción 1^{ra} generación.

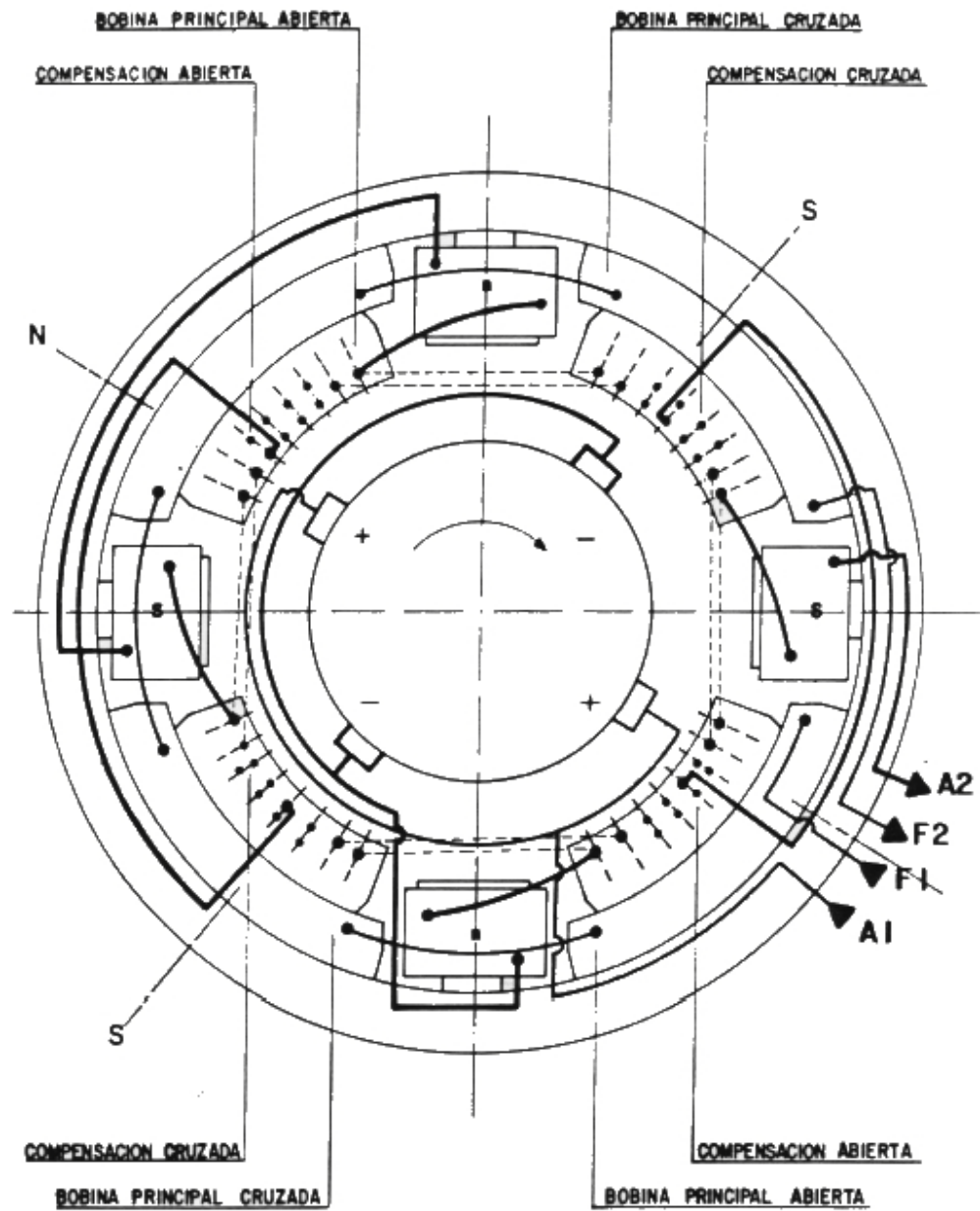


Figura A.7.5: Disposición de bobinas estáticas en el motor tracción 1^{ra} generación.