

Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería de Tecnologías Industriales

Herramienta de Ayuda Para la Determinación del  
Rendimiento de Motores Trifásicos de Inducción  
Basada en UNE EN 60034-2-1.

Autor: Miguel Ángel González Canca

Tutores: Manuel Burgos Payán

Juan Manuel Roldán Fernández

**Dpto. de Ingeniería Eléctrica**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2018





Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería de Tecnologías Industriales

# **Herramienta de Ayuda Para la Determinación del Rendimiento de Motores Trifásicos de Inducción Basada en UNE EN 60034-2-1.**

Autor:

Miguel Ángel González Canca

Tutores:

Manuel Burgos Payán

Juan Manuel Roldán Fernández

Dpto. de Ingeniería Eléctrica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Grado: Herramienta de Ayuda Para la Determinación del Rendimiento de Motores Trifásicos de Inducción Basada en UNE EN 60034-2-1.

Autor: Miguel Ángel González Canca

Tutores: Manuel Burgos Payán

Juan Manuel Roldán Fernández

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

*A mi familia*

*A mis maestros*





# Agradecimientos

---

La realización de este Trabajo Fin de Grado ha sido posible gracias a la ayuda de numerosas personas. En primer lugar, a mi familia, los cuáles me han apoyado y ayudado en los momentos difíciles durante estos cuatro años.

Agradecer también a mis profesores, Manuel Burgos Payán y Juan Manuel Roldán Fernández, por el apoyo mostrado durante la elaboración de este Trabajo Fin de Grado, ayudándome en aquellos aspectos que me han resultado más complicados.

Por último, agradecer también a mis compañeros, los cuáles han tratado siempre de ayudarme en lo que les ha sido posible.

*Miguel Ángel González Canca*

*Sevilla, 2018*



# Resumen

---

En este documento se presenta un estudio acerca del cálculo de las pérdidas y el rendimiento de un motor eléctrico trifásico de inducción, apoyándose en la Norma IEC 60034-2-1.

En el artículo "Towards a standard algorithm for the calculation of induction motor efficiency based in International Standard IEC 60034-2-1" se muestra como, dado los ensayos de carga y sin carga de un motor trifásico de inducción a diez laboratorios distintos repartidos por Europa, las pérdidas obtenidas por éstos presentan ciertas discrepancias. Por este motivo se ha elaborado este estudio. En primer lugar, para intentar encontrar los posibles procedimientos que han podido tomar estos laboratorios para obtener resultados distintos y, en segundo lugar, para establecer una herramienta que permita el cálculo de las pérdidas.

Esta herramienta constará de dos hojas de Excel y un archivo de Matlab. Por un lado, se dispone de una hoja de Excel llamada 'Datos', en la cuál se introducen los datos de los ensayos del motor y, por otro lado, otra hoja llamada 'Calculo\_perdidas' en la que se calcularán las pérdidas de fricción y refrigeración y las pérdidas en el hierro a plena carga. También se dispone de un archivo de Matlab en el que se calcularán el resto de pérdidas.

Por último, se obtendrán las pérdidas de otros dos motores con diferentes características, demostrando que la herramienta creada es válida para cualquier motor trifásico de inducción.



# Abstract

---

In this document, we are going to study about the calculation of the losses for a three-phase electric induction motor, based on the IEC Standard 60034-2-1.

In the article "Towards a standard algorithm for the calculation of induction motor efficiency based in International Standard IEC 60034-2-1", the load and unload test of a three-phase induction motor are given to ten different laboratories distributed throughout Europe and the losses obtained by these present certain discrepancy. For this reason, this document has been released. First, to try to find possible procedures that these laboratories have been able to take to obtain different results and, secondly, to establish a toll that allows the calculation of losses.

This tool consist of two Excel sheets an a Matlab file. On the one hand, we have an Excel sheet called 'Datos', in which we enter the test data and, on the other hand, another sheet called 'Calculo\_perdidas' in which the friction and windage losses and the iron losses at full load will be calculated. We also have a Matlab file in which the rest of the losses will be calculated.

Finally, the calculation of the losses of two more motors will be obtained, demonstrating that this tool created is valid for any three-phase induction motor.

# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xiv</b>
Índice de Tablas	<b>xviii</b>
Índice de Figuras	<b>xx</b>
<b>Notación</b>	¡Error! Marcador no definido.
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	¡Error! Marcador no definido.
1.1. <i>Motores eléctricos</i>	1
3.5.1 Definición	1
3.5.2 Breve historia de los motores eléctricos	1
3.5.3 Leyes y principios de funcionamiento de un motor eléctrico	3
3.5.4 Motor eléctrico de corriente alterna	5
<b>2 NORMA IEC 60034-2-1</b>	<b>11</b>
2.1. <i>Pérdidas constantes</i>	11
2.2. <i>Cálculo de la resistencia para la prueba sin carga</i>	12
2.3. <i>Pérdidas de fricción y ventilación</i>	13
2.4. <i>Pérdidas en el hierro</i>	14
2.5. <i>Pérdidas en el devanado del estator</i>	15
2.6. <i>Corrección de la temperatura de referencia del refrigerante</i>	15
2.7. <i>Cálculo de la resistencia en la prueba con carga</i>	16
2.8. <i>Pérdidas en el devanado del rotor</i>	16
2.9. <i>Pérdidas adicionales</i>	17
2.9.1. <i>Pérdidas residuales</i>	17
2.10. <i>Cálculo de la eficiencia</i>	18
2.10.1. <i>Pérdidas totales</i>	18
2.10.2. <i>Rendimiento o Eficiencia</i>	18

<b>3</b>	<b>PROYECTO ROUND-ROBIN</b>	<b>19</b>
3.1.	<i>Objetivo del proyecto 'Round-Robin'</i>	19
3.2.	<i>La elección del motor</i>	19
3.3.	<i>Procedimiento de la prueba</i>	20
3.4.	<i>Datos medidos proporcionados a los participantes</i>	20
3.4.1.	Medida de la resistencia del devanado estatórico a temperatura ambiente	20
3.4.2.	Temperatura en la prueba de carga nominal	20
3.4.3.	Medida de la resistencia del devanado estatórico	20
3.4.4.	Prueba en carga con medición del par	21
3.4.5.	Medida de la resistencia del devanado estatórico	21
3.4.6.	Prueba sin carga	21
3.4.7.	Medida de la resistencia del devanado estatórico	22
3.5.	<i>Resultados de los laboratorios participantes</i>	22
3.6.	<i>Cálculo de las pérdidas sin carga (vacío) y con carga del 100%</i>	23
3.6.1.	Pérdidas constantes	23
3.6.2.	Pérdidas de fricción y ventilación	24
3.6.3.	Pérdidas en el hierro	25
3.6.4.	Pérdidas en el devanado del estator	26
3.6.5.	Pérdidas en el devanado rotórico	28
3.6.6.	Pérdidas adicionales en carga	28
3.6.7.	Cálculo de la eficiencia	30
3.7.	<i>Tabla de Resultados</i>	30
3.8.	<i>Análisis de resultados</i>	32
3.8.1.	Pérdidas constantes	32
3.8.2.	Pérdidas por fricción y ventilación	33
3.8.3.	Pérdidas en el hierro	34
3.8.4.	Conclusión para los valores obtenidos de la prueba sin carga	36
3.8.5.	Pérdidas en el devanado estatórico	37
3.8.6.	Pérdidas en el devanado rotórico	38
3.8.7.	Pérdidas adicionales	39
3.8.8.	Pérdidas totales	40
<b>4</b>	<b>HERRAMIENTA PARA EL CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS Y EL RENDIMIENTO</b>	<b>43</b>
4.1.	<i>Introducción de datos en la prueba sin carga</i>	43
4.2.	<i>Importación de datos sin carga en Matlab</i>	44
4.3.	<i>Cálculo de la resistencia en la prueba sin carga</i>	45
4.4.	<i>Cálculo de las pérdidas constantes</i>	45
4.5.	<i>Cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación</i>	46
4.6.	<i>Cálculo de pérdidas en el hierro</i>	47
4.7.	<i>Introducción de datos en la prueba con carga</i>	49
4.8.	<i>Cálculo de la resistencia en la prueba con carga</i>	50
4.9.	<i>Cálculo de las pérdidas en el devanado estatórico</i>	51
4.10.	<i>Cálculo de las pérdidas en el devanado rotórico</i>	51
4.11.	<i>Cálculo de las pérdidas adicionales</i>	52
4.11.1.	Cálculo de las pérdidas residuales	52
4.12.	<i>Cálculo del rendimiento o la eficiencia</i>	53
4.12.1.	Pérdidas totales	53
4.12.2.	Cálculo del rendimiento o la eficiencia	53
<b>5</b>	<b>ESTUDIO DE MOTORES AUXILIARES</b>	<b>55</b>
5.1.	<i>Motor 1</i>	55
5.1.1.	Medida de la resistencia del devanado estatórico antes de la prueba con carga	55
5.1.2.	Medida de la temperatura en la prueba de carga nominal	55
5.1.3.	Prueba de carga con medición del par	55

5.1.4.	Medida de la resistencia del devanado estatórico después de la prueba con carga	56
5.1.5.	Medida de la resistencia del devanado estatórico antes de la prueba sin carga	56
5.1.6.	Prueba sin carga	56
5.1.7.	Medida de la resistencia del devanado estatórico después de la prueba sin carga	57
5.1.8.	Resultados obtenidos	57
5.2.	<i>Motor 2</i>	60
5.2.1.	Medida de la resistencia del devanado estatórico antes de la prueba con carga	61
5.2.2.	Medida de la temperatura en la prueba de carga nominal	61
5.2.3.	Prueba de carga con medición del par	61
5.2.4.	Medida de la resistencia del devanado estatórico después de la prueba con carga	61
5.2.5.	Medida de la resistencia del devanado estatórico antes de la prueba sin carga	61
5.2.6.	Prueba sin carga	61
5.2.7.	Medida de la resistencia del devanado estatórico después de la prueba sin carga	62
5.2.8.	Resultados obtenidos	62
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO</b>	<b>65</b>
9.1.	<i>Conclusiones</i>	65
9.2.	<i>Futuras líneas de trabajo</i>	65
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>67</b>
	<b>Anexo 1</b>	<b>69</b>
	<b>Anexo 2</b>	<b>123</b>





# Índice de Tablas

---

Tabla 1. Tabla para la determinación de $\theta_w$	16
Tabla 2. Datos de la prueba con carga del motor del sondeo	21
Tabla 3. Datos de la prueba sin carga del motor del sondeo	21
Tabla 4. Resultados de los laboratorios para el motor del sondeo	22
Tabla 5. Resultados de pérdidas sin carga para el motor del sondeo	31
Tabla 6. Resultados de pérdidas con carga para el motor del sondeo	31
Tabla 7. Resultados de pérdidas con carga para el motor del sondeo	32
Tabla 8. Datos de la prueba sin carga	44
Tabla 9. Datos de la prueba con carga para el motor 1	56
Tabla 10. Datos de la prueba sin carga para el motor 1	56
Tabla 11. Resultados de las pérdidas sin carga para el motor 1	59
Tabla 12. Resultados de las pérdidas con carga para el motor 1	60
Tabla 13. Resultados de la eficiencia para el motor 1	60
Tabla 14. Datos de la prueba con carga para el motor 2	61
Tabla 15. Datos de la prueba sin carga para el motor 2	61
Tabla 16. Resultados de las pérdidas sin carga para el motor 2	62
Tabla 17. Resultados de las pérdidas con carga para el motor 2	63
Tabla 18. Resultados de la eficiencia para el motor 2	63



# Índice de Figuras

---

Figura 1. Estator de un motor de inducción	7
Figura 2. Motor de rotor de jaula de ardilla	8
Figura 3. Datos de Potencia de entrada y Resistencia	12
Figura 4. Cálculo de la Resistencia	12
Figura 5. Datos de puntos de tensión y de potencia de entrada	13
Figura 6. Representación para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación	13
Figura 7. Cálculo de las pérdidas en el hierro	14
Figura 8. Representación para el cálculo de las pérdidas en el hierro	14
Figura 9. Resistencia de la prueba sin carga	24
Figura 10. Curva para calcular las pérd. de fricción y ventilación	25
Figura 11. Curva para calcular $P_{fe}$	26
Figura 12. Resistencia de la prueba con carga	27
Figura 13. Resultados de pérdidas constantes de los laboratorios	32
Figura 14. Resultados de pérd. fricc. y ventilación de los laboratorios	33
Figura 15. Pérdidas Por fricción y ventilación	34
Figura 16. Resultados de pérdidas en el hierro de los laboratorios	35
Figura 17. Pérd. constantes, fricc. y ventilación y en el hierro	36
Figura 18. Resultados de pérd. en el dev. estático de los laboratorios	38
Figura 19. Resultado pérd. en el dev. rotórico de los laboratorios	38
Figura 20. Pérdidas en el devanado rotórico	39
Figura 21. Resultado de pérd. adicionales en los laboratorios	40
Figura 22. Resultados de pérd. totales de los laboratorios	41
Figura 23. Pérdidas totales	41
Figura 24. Datos de la prueba sin carga en Matlab	44
Figura 25. Cálculo de la resistencia para la prueba sin carga	45
Figura 26. Valores de las pérdidas estáticas ( $P_s$ ) y constantes ( $P_c$ )	46

Figura 27. Importación a Excel de $P_c$ y $U_0^2$	46
Figura 28. Pérdidas constantes y tensión al cuadrado en Excel	46
Figura 29. Función INTERSECCION.EJE	47
Figura 30. Pérdidas de fricción y ventilación mediante la función INTERSECCION.EJE	47
Figura 31. Determinación de las pérdidas de fricción y ventilación.	47
Figura 32. Importación pérd. de fricc. y ventilación a Matlab	47
Figura 33. Cálculo de pérdidas en el hierro	47
Figura 34. Importación de datos a Matlab y cálculo de la caída de tensión resistiva ( $U_i$ )	48
Figura 35. Exportación a Excel de $P_{fe}$ , $U_i$ y $U_0$	48
Figura 36. Cálculo de pérdidas en el hierro a plena carga	48
Figura 37. Figura generada para las pérdidas en el hierro	48
Figura 38. Importación a Matlab de las pérdidas en el hierro a plena carga	49
Figura 39. Hoja en Excel generada	49
Figura 40. Datos de la prueba con carga	50
Figura 41. Datos de la prueba con carga en Matlab	50
Figura 42. Cálculo de la resistencia en la prueba con carga	50
Figura 43. Cálculo de las pérdidas en el devanado estatórico	51
Figura 44. Cálculo del factor de corrección	51
Figura 45. Cálculo de las pérdidas en el devanado estatórico corregidas	51
Figura 46. Cálculo del deslizamiento sin corregir y corregido	51
Figura 47. Cálculo de las pérdidas en el devanado rotórico sin corregir y corregidas	52
Figura 48. Cálculo de $P_{fw}$ , $P_2$ y $P_r$	52
Figura 49. Cálculo de A y B	52
Figura 50. Cálculo de pérdidas residuales para cada punto de carga	52
Figura 51. Cálculo de pérdidas totales	53
Figura 52. Cálculo de la eficiencia	53
Figura 53. Datos en Excel de la prueba sin carga del motor 1	58
Figura 54. Datos en Matlab de la prueba sin carga del motor 1	58
Figura 55. Pérdidas de fricción y ventilación para el motor 1 en Excel	58
Figura 56. Pérdidas de fricción y ventilación para el motor 1 en Matlab	58
Figura 57. Datos de la resistencia en Matlab del motor 1 para la prueba sin carga	59
Figura 58. Datos de la resistencia en Matlab del motor 1 para la prueba con carga	59
Figura 59. Hoja de Excel 'Datos'	123
Figura 60. Hoja 'Calculo_perd' de Excel	127

# NOTACIÓN

---

DC	Corriente continua
AC	Corriente alterna
F	Fuerza electrostática
q	Cargas
d	Distancia entre cargas
E	Campo eléctrico
v	Velocidad de la partícula
B	Densidad del campo magnético
$\rho$	Densidad de carga
f	Frecuencia
n	Velocidad de la máquina
s	Deslizamiento
p	Número de pares de polos
ALG	Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft
V	Voltio
A	Amperio
kW	Kilo vatio
$\Omega$	Ohmio
mm	Milímetro

# 1 INTRODUCCIÓN

---

Los motores de inducción proporcionan la mayoría de la potencia electromotriz industrial de todo el mundo y, es por ello, que los gobiernos están introduciendo cada vez más legislación para regular la eficiencia mínima de éstos. Con este fin, se pueden obtener ahorros muy significativos en recursos energéticos y emisiones de gases de efecto invernadero.

Alrededor del 40% de la producción mundial de energía eléctrica es utilizada por motores eléctricos. El aumento de la eficiencia de tales máquinas tiene como consecuencia la reducción de la cantidad de gas de efecto invernadero, el cual es producido en el proceso de generación de electricidad. Por ello, aumentar la eficiencia del motor sería un gran paso por parte de los gobiernos, pero esto puede llevarse a cabo solo si los medios disponibles para la medición de la eficiencia del motor son robustos y precisos.

La teoría de los motores de inducción es bien conocida y pocos conocimientos relevantes sobre la medida de la eficiencia han sido añadidos en los últimos 50-60 años. Sin embargo, los resultados del reciente programa de pruebas round-robin (el cual describiremos abajo) ha demostrado que todavía existen discrepancias entre las cifras de eficiencia obtenidas por diferentes laboratorios al probar un motor dado.

## 1.1. Motores eléctricos

### 1.1.1. Definición

El motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor

Algunos de estos motores eléctricos son reversibles, es decir, motores que son capaces de transformar la energía mecánica en eléctrica. En este caso, éstos reciben el nombre de generadores o dinamo.

### 1.1.2. Breve historia de los motores eléctricos

El aumento de la civilización propició un aumento de las necesidades, lo que causó ciertos adelantos científicos, tales como los motores, especialmente los motores eléctricos. El primer motor eléctrico fue construido en 1740 por el escocés Andrew Gordon y es conocido por tratarse de un motor electrostático simple. Posteriormente, en 1820, el matemático y físico Andre-Marie Ampere descubrió el principio por el cual se producía fuerza mecánica por las interacciones del campo magnético y de la corriente eléctrica.

Seguido de esto, en 1821, Michael Faraday, quien ha sido conocido por sus descubrimientos de inducción electromagnética, construyó el primer motor eléctrico utilizando inducción electromagnética y demostró la

conversión de la energía eléctrica en energía mecánica. Para ello, sumergió un alambre libre en una piscina de mercurio mientras colocaba un imán permanente en este alambre. Al pasar la corriente a través de éste, se demostraba que la corriente pasante daba lugar a un campo magnético que circulaba alrededor del alambre. (Adaptado de la referencia [5]). Esto supuso la base de una gran invención. Sin embargo, se trataba de un motor muy primitivo que solo podía ser utilizado para demostraciones en clase de física sustituyendo el mercurio por salmuera.

En 1825, el físico William Sturgeon, presentó su primer electroimán, lo que supuso el principio del uso de la energía eléctrica en máquinas, entre las que se encuentra el motor eléctrico. En 1827, el físico e ingeniero Anyov Jedlik, experimentó con las bobinas electromagnéticas y resolvió varios problemas asociados a la rotación repetida mediante la introducción del conmutador. A su dispositivo lo llamo auto-rotador electromagnético. En 1828, Anyov mostró su primera máquina, la cual presentaba tres componentes: rotar, conmutar y un estator.

En 1832, William Sturgeon, introdujo el primer motor conmutador DC electrónico. En 1834, Thomas Davenport construyó el primer motor eléctrico DC que podría alimentar maquinas motorizadas. Lo usó para mover un coche alrededor de una vía circular, lo que representaba en cierto modo el primer ferrocarril con tracción eléctrica.

Pero es en este mismo año cuando el ingeniero y físico Moritz von Jacobi, presentó los primeros motores eléctricos técnicamente utilizables basados en el principio de la atracción y repulsión entre electroimanes. El motor constaba de cuatro imanes montados en el bastidor y el resto en el rotor giratorio. Este motor funcionaba con pilas galvánicas y en ese momento era el dispositivo técnicamente más complejo y avanzado.

En 1837, Thomas Davenport patentó el primer motor eléctrico de corriente continua que había fabricado casi tres años antes y recibió la primera patente estadounidense de una máquina de estas características. Construyó un centenar de motores eléctricos, pero debido al alto coste de la energía (debido a que éstos debían ser alimentados con pilas de Volta, ya que la dinamo práctica no se inventó hasta 1870), estos motores no podían ser utilizados comercialmente.

En 1866, Werner von Siemens descubrió el principio de la dinamo. Esto supuso la creación de planes de formación profesional para los técnicos de su empresa, lo que supuso también el inicio de la Ingeniería Eléctrica. Posteriormente, Zenobe Gramme perfeccionó los inventos de la dinamo que existían y, en 1871, introdujo el primer generador eléctrico apto para uso industrial. Para ella, introdujo una dinamo de anillo de anclaje.

En 1880, un grupo de inventores intentaron desarrollar motores AC. Los primeros motores de AC giratorios fueron inventados por Galileo Ferraris y Nikola Tesla, en 1885 y 1887, respectivamente. Sin embargo, en 1888, la Real Academia de Ciencias de Turín declaró que: "el aparato sobre la base de este principio no puede ser de importancia comercial como motor", refiriéndose así al desarrollado por Galileo Ferraris.

En este mismo año, Tesla desarrolló un documento acerca de un nuevo sistema de motores de corriente alterna y transformadores. Más concretamente, construyó un motor de inducción sin escobillas, alimentado con corriente alterna y lo presentó a la AIEE (American Institute of Electrical Engineers) en 1888. En el mismo año, desarrolló el principio de la bobina de Tesla. El estadounidense George Westinghouse compró las patentes de Testa y, junto con él, trabajaron para perfeccionar el motor de inducción de corriente alterna. Cuando el sistema estuvo listo para el mercado estadounidense, los partidarios del poder de la corriente continua se dispusieron a desacreditar el poder de la corriente alterna con acusaciones de que el uso de la AC era una amenaza para la vida humana. Sin embargo, esto no fue suficiente y, en 1893, la compañía Westinghouse fue contratada para iluminar la Feria Colombina de Chicago. Además, su brillante alumbrado,



les proporcionó el contrato para la construcción de la central eléctrica del río Niágara, la mayor obra de ingeniería del momento. En 1896, George Westinghouse y General Electric firmaron un acuerdo para la producción del motor de rotor de jaula de ardilla.

En 1905, Alfred Zehden describió un motor de inducción lineal el cual podría ser utilizado en ascensores o trenes, pero se tardó unos treinta años para que este motor fuera construido, allá por 1935. Es en el inicio de la década de 1940, durante la segunda guerra mundial, cuando los motores eléctricos y la electrónica empiezan el verdadero desarrollo. Y en los siguientes años, es Ford quien hace esos avances e investigaciones, tales como los motores de seis cilindros en línea y motores de 240 y 300 pulgadas cúbicas.

### 1.1.3. Leyes y principios de funcionamiento de un motor eléctrico

#### 1.1.3.1. Ley de Coulomb

La ley de Coulomb, enunciada en 1785 por el físico Charles-Augustin de Coulomb se expresa como: " La magnitud de cada una de las fuerzas eléctricas con que interactúan dos cargas puntuales en reposo es directamente proporcional al producto de la magnitud de ambas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa y tiene la dirección de la línea que las une. La fuerza es de repulsión si las cargas son de igual signo, y de atracción si son de signo contrario" (Referencia [15])

$$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \quad (1)$$

Donde:

- Fuerza electrostática
- $q_1$  y  $q_2$ : son las cargas
- $k$ : constante que depende del sistema de unidades y del medio en el cual se encuentren las cargas
- $d$ : distancia entre cargas

El motor eléctrico utiliza esta fuerza magnética para poner en movimiento el rotor.

#### 1.1.3.2. Fuerza de Lorentz

La fuerza originada por una carga eléctrica en un campo eléctrico o magnético es descrita por la Ley de Lorentz:

$$F = q(E + v \times B) \quad (2)$$

Donde:

- $q$ : carga eléctrica puntual
- $E$ : campo eléctrico
- $v$ : velocidad de la partícula
- $B$ : densidad del campo magnético

Como podemos ver, la fuerza es el resultado de un producto vectorial y, por tanto, será perpendicular a la velocidad de la partícula y a la densidad del campo magnético. Si es perpendicular a la velocidad de la partícula, indica que es perpendicular a la trayectoria de ésta. Esto significa que la fuerza no realiza trabajo sobre la carga o, lo que es lo mismo, no se produce un cambio de energía cinética. Lo único que varía cuando la partícula entra en el campo magnético es la dirección de la velocidad, manteniéndose constante el módulo.

En caso de tratarse de un campo puramente eléctrico, la expresión queda reducida a la siguiente forma:

$$F = q \times E \quad (3)$$

Donde:

- $q$ : carga eléctrica puntual
- $E$ : campo eléctrico

En este caso, esta fuerza recibe el nombre de fuerza de Coulomb y solamente depende de la carga eléctrica y del campo. Esta es la fuerza que origina el flujo eléctrico actuando a lo largo del conductor y es una fuerza en la misma dirección que la dirección de la velocidad de la carga y del campo magnético.

En caso de tratarse de un campo puramente magnético, la expresión viene dada de la siguiente forma:

$$F = q(v \times B) \quad (4)$$

Donde:

- $q$ : carga eléctrica puntual
- $v$ : velocidad de la partícula
- $B$ : densidad del campo magnético

Como vemos, en este caso, la fuerza solo depende de la carga y la velocidad de la partícula y de la densidad del campo magnético. Además, al contrario que la fuerza de Coulomb, se trata de una fuerza perpendicular a la dirección de la velocidad de la carga y al campo magnético.

Es habitual reescribir esta expresión utilizando la densidad de la carga ( $\rho$ ), obteniéndose así la fuerza por unidad de volumen

$$F_v = \rho(E + v \times B) \quad (5)$$

Teniendo en cuenta que  $J = \rho \times v$ , la expresión queda reducida:

$$F_v = J \times B \quad (6)$$

Se trata de un principio básico que explican el origen de las fuerzas en un motor eléctrico. Sin embargo, el funcionamiento de un motor eléctrico depende de su construcción y de sus componentes.

El funcionamiento de los motores eléctricos se basa en las fuerzas de atracción y repulsión establecidas entre un imán y una bobina, por donde hacemos circular corriente eléctrica.

### 1.1.3.3. Ley de Faraday

Hacia 1813, Hans Christian Oersted predijo la existencia de los fenómenos electromagnéticos, pero no fue hasta 1820 cuando lo demostró, basándose en los desarrollos de Faraday y André-Marie Ampère. Hans Christian Oersted comprobó como al pasar corriente por una espira, la cual se encontraba alrededor de una brújula, la aguja imantada de ésta se movía. De esta forma, Hans Christian Oersted demostró la existencia de un campo magnético entorno a cualquier conductor atravesado por una corriente eléctrica e inició el estudio del electromagnetismo. Este descubrimiento fue importantísimo para la posterior creación de un motor eléctrico, ya que Oersted demostró que no solo se podía crear un campo magnético a través de un imán, sino que también se podía generar un campo magnético a través de la electricidad.

Esto propició que, basándose en el principio de reciprocidad, el cual era común a muchas áreas de la física, se sugería que un campo magnético también podría causar una corriente eléctrica. Pero no fue hasta 1831, cuando Michael Faraday realizó importantes descubrimientos demostrando que, efectivamente, un campo magnético podría producir una corriente eléctrica siempre que algo estuviera variando en el tiempo.

La ley de Michael Faraday establece que: "la fuerza electromotriz inducida (FEM) en una bobina es

directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera” (Referencia [22])

$$\varepsilon = \frac{\Phi_m}{t} \quad (7)$$

Donde:

- $\varepsilon$ : es la fuerza electromotriz inducida
- $\Phi_m$ : es la variación del flujo magnético
- $t$ : es el tiempo

El flujo magnético se define como el producto del campo magnético y el área que éste encierra. Por tanto, tanto si se produce un cambio en el campo magnético como en el área que atraviesa, se inducirá una fuerza electromotriz.

#### 1.1.3.4. Ley de Lenz

Mientras que la ley de Faraday nos proporciona la magnitud de la fuerza electromotriz producida, la ley

de Lenz establece que la dirección de la corriente siempre se opone al cambio de flujo que la produce, es decir, cada campo magnético generado por una corriente inducida va en la dirección opuesta al campo original.

$$\varepsilon = - \frac{\Phi_m}{t} \quad (8)$$

A esto añadimos que, normalmente, en la práctica trabajamos con N espiras, donde cada una contribuye con la misma fuerza electromotriz inducida. Es por ello que la expresión resulta:

$$\varepsilon = - N \cdot \frac{\Phi_m}{t} \quad (9)$$

#### 1.1.4. Motor eléctrico de corriente alterna

El motor eléctrico de corriente alterna es aquel que funciona con este tipo de alimentación eléctrica. En la actualidad, la mayoría de los motores existentes trabajan con corriente alterna, pudiendo distinguir dos tipos de motores: el síncrono y el asíncrono.

En el motor eléctrico de corriente alterna podemos distinguir varias partes:

- Carcasa: es la parte externa, es la caja que envuelve las partes eléctricas del motor, cubriendo y protegiendo al rotor y estator.
- Estator: se trata de la parte fija del motor eléctrico de corriente alterna. Es el elemento que actúa como base, permitiendo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero sí magnéticamente. Consta de un apilado de chapas magnéticas y sobre ellas está enrollado el bobinado estatórico.
- Rotor: es la parte móvil de motor. Está situado en el interior del estator y son un conjunto de láminas de acero al silicio apiladas que forman un cilindro, en el interior del cual se dispone un bobinado eléctrico.
- Bobinados o devanados: conjunto de conductores que podemos clasificar en bobinado inductor y bobinado inducido:
  - Bobinado inductor: es el devanado por el que circula corriente alterna, dando lugar a un campo magnético variable

- Bobinado inducido: es donde se induce el movimiento debido a la interacción de los campos magnéticos

Estas partes varían en función de la forma y constitución del motor.

En la actualidad, la energía eléctrica representa más de las tres cuartas partes de la energía utilizada, de la cual, la mayor parte es convertida en energía mecánica mediante motores eléctricos. La mayor parte de estos motores eléctricos son los motores asíncronos o de inducción.

#### **1.1.4.1. Historia de los motores de inducción**

A comienzos del siglo XIX, experimentos como los desarrollados por Oersted, Faraday, Henry y Lenz, empiezan a desarrollar los primeros principios básicos del electromagnetismo. Pero son Faraday, en 1831, y Maxwell, en 1860, al descubrir la ley de inducción electromagnética y formular sus ecuaciones, respectivamente, los que dan el paso inicial para la construcción de la máquina de inducción.

Walter Baily, en 1879, demostró la posibilidad de rotar un disco de cobre mediante corrientes inducidas ante la Physical Society de Londres. En 1885, Galileo Ferraris, a partir de un bobinado bifásico de cuatro polos, creó un campo magnético giratorio. Este bobinado bifásico de cuatro polos hacía girar un disco de cobre sujeto a su influencia.

En 1886, Nikola Tesla, desarrolló un dispositivo con cuatro arrollamientos alrededor de una corona magnética. Así, se generaban dos campos diametrales normales entre sí, que hacían girar un rotor. Este rotor estaba constituido por un tambor magnético en el que se habían arrollado varias espiras de cobre en cortocircuito. En 1887, Nikola Tesla, construyó y patentó este tipo de motores, por lo que se le considera el inventor de los mismos.

En 1889, Mikhail Dolivo-Dobrowolsky, un ingeniero de la empresa alemana AEG, inventó el motor de inducción trifásico de rotor bobinado a la vez que un generador trifásico. En 1891, inventó el motor de inducción de rotor de jaula de ardilla con una topología muy similar a la utilizada hoy en día.

Cuatro años más tarde, en 1893, George Westinghouse, quien compró las patentes de Tesla, a quien utilizó como consultor de su empresa, presentó un motor bifásico de 300 HP, 12 polos a 2220 V en la feria mundial de Chicago. En este mismo año, la empresa alemana AEG había construido motores asíncronos trifásicos de doble jaula de ardilla. Las empresas americanas Westinghouse y Thomson-Houston se unieron para fabricar motores asíncronos trifásicos, pasando así del sistema bifásico al trifásico.

Alrededor de 1900, el motor de inducción ya podría ser utilizado a gran escala para el uso industrial. De hecho, durante la primera década de siglo XX, algunas locomotoras europeas que empleaban estos motores de inducción llegaron a alcanzar los 200 km/h.

En cualquier caso, y para el transporte, el motor de corriente continua se impuso durante todo el siglo XX, hasta la mitad de la década de 1980, cuando las tecnologías PWM e IGBT, dieron la posibilidad de realizar conversiones de frecuencia de manera eficiente. Esto provocó el retorno hacia el uso de motores de inducción. De hecho, el motor de inducción es el más utilizado en el accionamiento industrial. La evolución del primer motor hasta nuestros días ha sido enorme, de modo que un motor actual de 100 CV ocupa el mismo espacio que el que ocupaba uno de 7.5 CV en 1897.

#### **1.1.4.2. Funcionamiento de los motores de inducción**

Como toda máquina eléctrica, los motores asíncronos están constituidos por dos partes fundamentales:

- Estator: es la parte fija del motor y está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona. Esta corona está compuesta de finas chapas de acero al silicio con grano no orientado, aislada entre sí por barniz, con el objetivo de reducir las pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault. Los bobinados están provistos en unas ranuras que presentan las coronas formando tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conecta la máquina. En la figura 1 (tomada de la Referencia [11]) podemos observar el estator de un motor de inducción.

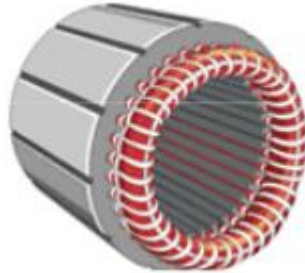


Figura 1. Estator de un motor de inducción

- Rotor: es la parte móvil de motor y está situado en el interior del estator. Consiste en un núcleo de chapas de acero al silicio formando un cilindro, dentro del cual se dispone un bobinado eléctrico. Los arrollamientos del rotor pueden ser:
  - Rotor bobinado
  - Rotor de jaula de ardilla

Tanto los arrollamientos estáticos como los rotóricos están ubicados en unas ranuras uniformes de las chapas delgadas. Además, esta máquina presenta un entrehierro entre 0.2 y 3 mm, correspondiendo este último valor a potencias mayores

La máquina de inducción es básicamente una máquina polifásica de corriente alterna conectada a una red bien por el estator, bien por el rotor o bien por ambos. Generalmente, la alimentación es trifásica y a través de los arrollamientos del estator se produce un campo giratorio en el entrehierro. Así, se inducirán tensiones en los arrollamientos del rotor, los cuales, al estar cortocircuitados, generarán corrientes alternas.

Los devanados del rotor pueden estar cortocircuitados, conectados a una impedancia externa o conectados a una fuente de potencia con frecuencia y tensión variables. En este último caso, la máquina asíncrona pasa a funcionar casi como una máquina síncrona debido a que esta doblemente alimentada.

La interacción entre el campo magnético del estator y del rotor producen un par que va desde velocidad nula del rotor hacia delante. En el caso que la velocidad del rotor produzca intensidades en los devanados del secundario nulas, se denomina velocidad de sincronismo.

#### 1.1.4.3. Deslizamiento y frecuencia de la corriente del rotor

En cuanto al deslizamiento, la velocidad de giro del rotor es ligeramente inferior a la velocidad de giro del estator, como consecuencia de la fricción del rotor en los cojinetes, el rozamiento con el aire y la carga acoplada al eje. Esta diferencia de velocidad recibe el nombre de deslizamiento, expresado generalmente en tanto por ciento:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (10)$$

donde:

- s: deslizamiento

- $n_1$ : velocidad de sincronismo
- $n_2$ : velocidad de giro del rotor

Por otro lado, en cuanto a la frecuencia de la corriente del rotor, al girar a una velocidad inferior a la del estator, está sometido a una frecuencia:

$$f_r = f \times s \quad (11)$$

donde:

- $f_r$ : frecuencia de los conductores del rotor
- $s$ : deslizamiento
- $f$ : frecuencia de la red eléctrica de alimentación al motor.

#### 1.1.4.4. Motores eléctricos de inducción: rotor de jaula de ardilla

Este tipo de motor, también llamado motor de rotor en cortocircuito, es el más sencillo y utilizado actualmente. El núcleo del rotor está construido de chapas de acero al silicio. En el interior de estas chapas, se disponen de unas barras, normalmente de aluminio moldeado a presión. Las barras del devanado van conectados a los anillos extremos, unos anillos conductores. De esta forma, el bobinado tiene forma de jaula de ardilla.

Las ranuras del rotor suelen hacerse oblicuas con respecto al eje para evitar puntos muertos en la inducción electromagnética.

En la figura 2 (tomada de la Referencia [11]), se muestran las partes de este tipo de motor.

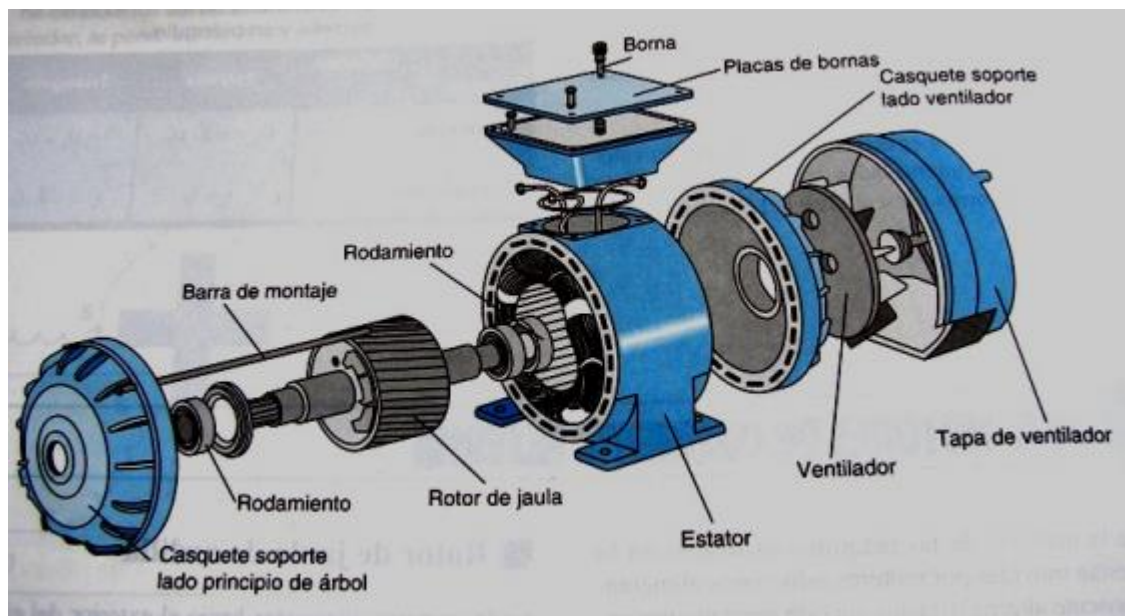


Figura 2. Motor de rotor de jaula de ardilla

Un inconveniente de este tipo de motor es que en el momento de arranque absorbe una intensidad elevada, alrededor de cuatro a siete veces la nominal. Además, en este momento el factor de potencia y el par de arranque son bajos.

Por el contrario, una ventaja de este tipo de motores es que son muy útiles para marchas a velocidad constante, debido a la baja resistencia del rotor. Hasta la década de los 90, la velocidad de los motores de jaula de ardilla no era regulable. Sin embargo, en la actualidad, debido a los variadores de velocidad electrónicos, se puede conseguir un control del par, la corriente absorbida y la velocidad de giro.

Se pueden distinguir dos tipos de rotor de jaula de ardilla:

- Rotor de jaula de ardilla simple: es el tipo de rotor usado para motores pequeños, en cuyo arranque la intensidad del rotor supera 6 u 8 veces la intensidad nominal. Su par de arranque no supera el 140% del nominal
- Rotor de jaula de ardilla doble: en este caso, la ranura es doble y, de ahí, su nombre. Las dos ranuras se encuentran separadas físicamente. Este tipo de rotor tiene una intensidad de arranque de 3 o 5 veces la intensidad nominal y su par de arranque puede llegar hasta el 230% de nominal. Es por ello que este tipo de rotor es más utilizado en la actualidad, soportando bien las sobrecargas sin necesidad de reducir la velocidad

#### **1.1.4.5. Motores eléctricos de inducción: rotor de anillos rozantes**

Los motores asíncronos de rotor de anillos rozantes son motores con un devanado trifásico de cobre dispuesto en las ranuras del rotor, que va conectado a tres anillos metálicos por uno de sus extremos, de tal forma que, por el otro lado se conectan en estrella. Así, controlando la resistencia total del rotor, se facilita el control de la velocidad y la corriente de arranque. Este motor tiene un par de arranque más elevado y un factor de potencia mejor que el motor de rotor de jaula de ardilla.





# 2 NORMA IEC 60034-2-1

---

La norma IEC 60034-2-1: 2014 es una guía para determinar tanto las pérdidas como el rendimiento en una máquina eléctrica rotativa, a excepción de una máquina destinada a la tracción de vehículos, tal y como dice su título. Por tanto, el objetivo de esta norma es la determinación de las pérdidas y el rendimiento en máquinas de corriente continua, en máquinas síncronas y en máquinas de inducción. Esta norma entró en vigor en septiembre de 2014.

Esta norma surgió debido a la necesidad de unificar criterios, ya que existen diversas normativas a la hora de determinar el rendimiento. Esto llevaba a obtener distintos resultados en el rendimiento según la norma utilizada. Esta norma viene a sustituir a la IEC 60034-2 (1972), así como a su corrección 1 y 2 (1995 y 1996, respectivamente). Ha sido elaborada por el Comité Técnico 2 del IEC.

Esta norma entró en vigor en septiembre de 2007.

La gran diferencia de esta norma respecto a la anterior se produce a la hora de obtener las pérdidas adicionales, ya que su predecesora estimaba que las pérdidas adicionales era un 0.5% de la potencia nominal, mientras que esta norma introduce diversos métodos para su cálculo.

Esta norma muestra el procedimiento a partir del cual se deben calcular las pérdidas y el rendimiento para motores trifásicos de inducción. Por tanto, siguiendo el procedimiento descrito por la norma, se calcularán las pérdidas y el rendimiento del motor del sondeo, a partir de los datos que fueron enviados a los distintos laboratorios.

Estas pérdidas son las que se describen a continuación.

## 2.1. Pérdidas constantes

Estas pérdidas son la suma de las pérdidas en el hierro y de las pérdidas de fricción y ventilación. Aunque estas pérdidas varían con la carga y la tensión, estas pérdidas se ha denominado históricamente pérdidas "constantes".

$$P_c = P_0 - P_s = P_{fw} + P_{fe} \quad (12)$$

donde:

- $P_c$  son las pérdidas constantes (W)
- $P_0$  es la potencia de entrada para el ensayo en vacío (W)
- $P_s$  son las pérdidas en el devanado estatórico (W)
- $P_{fw}$  son las pérdidas de fricción y ventilación (W)

- $P_{fe}$  son las pérdidas en el hierro (W)

De igual modo, las pérdidas en el devanado estatórico se calculan utilizando la ecuación 13.

$$P_s = 1.5 \times I_0^2 \times R_{II,0} \quad (13)$$

siendo  $R_{II,0}$  la interpolación de la resistencia en cada punto de tensión.

## 2.2. Cálculo de la resistencia para la prueba sin carga

Para el cálculo de la resistencia en la prueba sin carga se toma el valor de la resistencia antes y después de la prueba. Se realiza una curva en la que representamos los valores de las potencias de entrada frente a dichos valores de resistencia, tomando el valor de la resistencia antes de la prueba frente a potencia de entrada de tensión más alto y el valor de la resistencia después de la prueba frente a la potencia de entrada de tensión más bajo. Tras esto, realizamos una interpolación lineal, tomando así de la curva, cada valor de resistencia para cada tensión.

Veamos un ejemplo, ya que el cálculo de la resistencia puede dar lugar a equivocaciones. Para ello, vamos a suponer que tenemos los datos de la figura 3.

Potencia (kW)	Resistencia ( $\Omega$ )
0,5711	0,66
0,2464	0,624

Figura 3. Datos de Potencia de entrada y Resistencia

Como tenemos dos puntos, en este caso, la línea de tendencia será una recta. Esta recta queda representada en la figura 4.

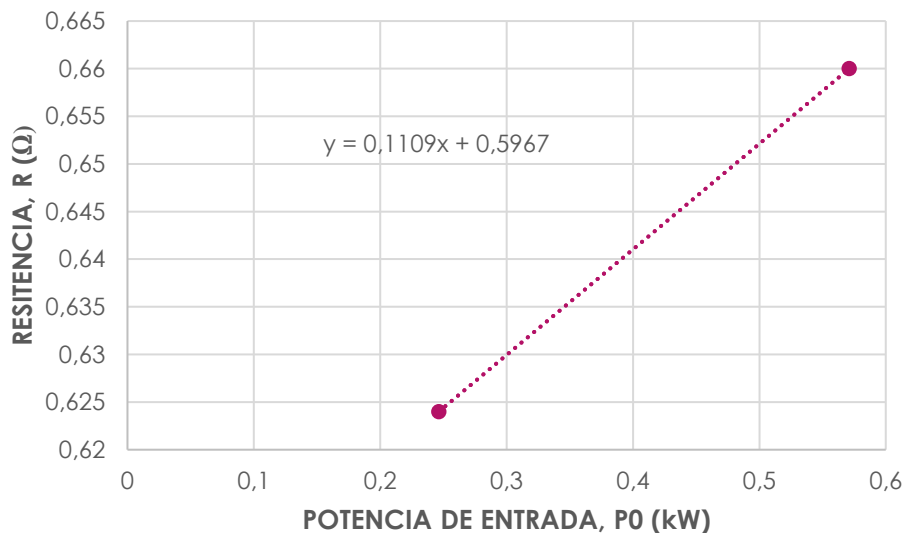


Figura 4. Cálculo de la Resistencia

En la figura 4, podemos ver la recta que se obtiene:

$$R = 0,1109 \cdot P_0 + 0,5967 \quad (14)$$

Por tanto, introduciendo el valor de la potencia de entrada correspondiente al porcentaje de la tensión nominal en la ecuación 14, se obtienen las distintas resistencias para cada punto de tensión.

### 2.3. Pérdidas de fricción y ventilación

Pérdidas debido a la fricción (cojinetes y escobillas, cuando las hay) y a la fricción aerodinámica en todas las partes de la máquina, incluida la potencia absorbida en los ventiladores del eje, y en las máquinas auxiliares que forman parte integral de la máquina.

El procedimiento para el cálculo de esta pérdida es el siguiente: desarrollar una curva de las pérdidas constantes ( $P_c$ ) frente a la tensión al cuadrado ( $U_0^2$ ) con los cuatros o más puntos consecutivos del ensayo sin carga entre aproximadamente el 60% y el 30% de la tensión. Una vez realizado esto, se extrapola una línea recta a tensión cero y se calculan las pérdidas de fricción y ventilación ( $P_{fwo}$ ) determinando la intercepción a tensión nula.

Veamos un ejemplo de modo que se ilustre lo anterior.

% Voltaje Nominal	Potencias de Entrada (kW)
110	0,5711
100	0,4617
95	0,4328
90	0,4002
75	0,3505
50	0,2831
35	0,2623
25	0,2464

Figura 5. Datos de puntos de tensión y de potencia de entrada

En la figura 5, podemos ver todos los puntos de tensión, con su correspondiente potencia de entrada. Con ello, tomaremos los puntos correspondientes al 75%, 50%, 35% y 25% de tensión y representaremos gráficamente la tensión al cuadrado con respecto a la potencia de entrada de estos puntos, como se puede ver en la figura 6.

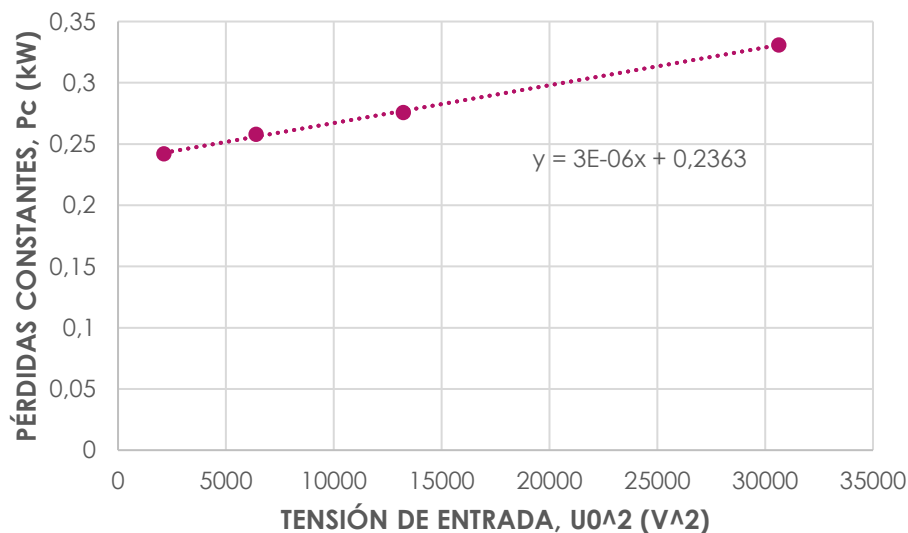


Figura 6. Representación para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación

De la figura 6, se puede observar que tenemos la siguiente ecuación:

$$P_c = 3e-6 \cdot U_0 + 0,2363 \quad (15)$$

Para calcular el punto de intercepción con el eje Y, bastará con imponer en la ecuación 15 que  $U_0 = 0$  V, por lo

que obtendríamos que las pérdidas de fricción y ventilación  $P_{fw0} = 0.2363$  kW.

### 2.4. Pérdidas en el hierro

Estas pérdidas son las pérdidas en el hierro activo y pérdidas adicionales sin carga en otras partes metálicas.

A partir de los cuatro valores de tensión del ensayo sin carga entre aproximadamente el 90% y el 110%, se desarrolla una curva de  $P_{fe} = P_c - P_{fw}$  frente a la tensión  $U_0$ .

$$P_{fe} = P_c - P_{fw} \quad (16)$$

Siguiendo con el ejemplo de los apartados 2.2 y 2.3, calculamos las pérdidas en el hierro:

$P_c$ (kW)	Pérd. Fricc. y viento (kW)	$P_{fe}'$ (kW)
0,470509664	0,23625026	0,234259404
0,408483905		0,172233644
0,391059555		0,154809295
0,366954015		0,130703755
0,331023442		0,094773182
0,275687506		0,039437246
0,257981274		0,021731014
0,241947672		0,005697411

Figura 7. Cálculo de las pérdidas en el hierro

Una vez obtenidas las pérdidas en el hierro ( $P_{fe}$ ), representamos gráficamente  $P_{fe}$  frente a  $U_0$ :

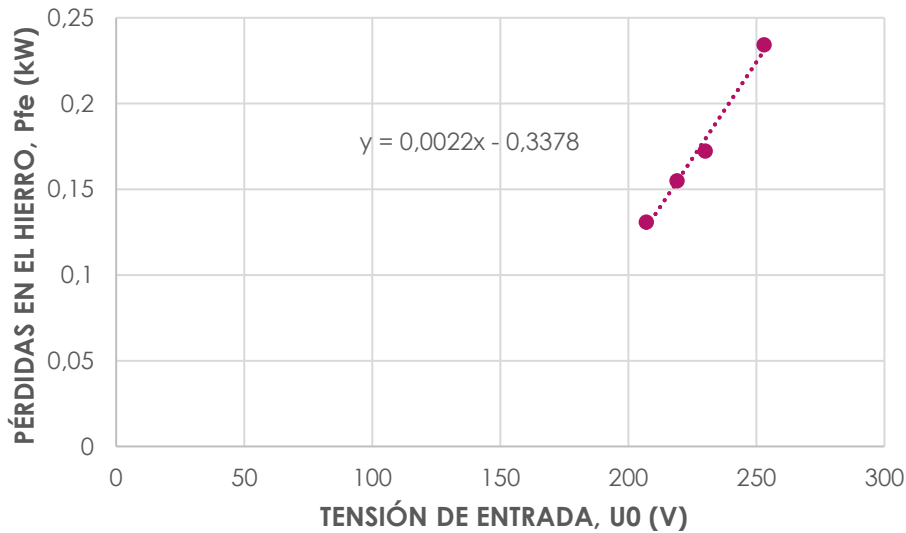


Figura 8. Representación para el cálculo de las pérdidas en el hierro

De la figura 8, podemos obtener:

$$P_{fe} = 0.0022 \cdot U_0 - 0.3378 \quad (17)$$

De la ecuación 17, podemos obtener las pérdidas en el hierro introduciendo la tensión de entrada.

Para determinar las pérdidas de hierro a plena carga, se calculará la caída de tensión resistiva  $U_i$ , que tiene en cuenta la caída de tensión resistiva en el devanado primario. Esta caída de tensión es producida por la corriente de carga a través de la resistencia equivalente de todos los elementos en serie del circuito equivalente. La

expresión de  $U_i$  para un motor es:

$$U_i = \sqrt{\left(U - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I \cdot R \cdot \cos\varphi\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I \cdot R \cdot \sin\varphi\right)^2} \quad (18)$$

donde:

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \times U \times I}; \quad \sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi} \quad (19)$$

Para obtener las pérdidas en el hierro a plena carga, bastará con introducir el valor de  $U_i$  en la ecuación 17.

$$P_{fe} = 0.0022 \cdot U_i - 0.3378 \quad (20)$$

Hay que prestar especial atención a la nota dos que detalla la norma. En esta dice que, debido al bajo factor de potencia, cuando no hay carga, la caída de tensión es despreciable durante la medición y sólo deberá ser tomada en cuenta para los valores de carga.

## 2.5. Pérdidas en el devanado del estator

Estas pérdidas se refieren a las pérdidas por efecto Joule en el devanado del estator, las cuales presentan la siguiente expresión, sin estar corregidas y a la carga nominal:

$$P_s = 1.5 \times I^2 \times R \quad (21)$$

Para determinar las pérdidas del devanado del estator, usando la resistencia del estator de la prueba de carga nominal, corregida a la temperatura de referencia del refrigerante de 25°C:

$$P_{s,\theta} = P_s \times k_\theta \quad (22)$$

Siendo  $k_\theta$  la corrección a la temperatura de referencia del refrigerante.

## 2.6. Corrección de la temperatura de referencia del refrigerante

Cuando sea necesario, los valores de la resistencia de los devanados obtenidos durante la prueba, se referirán a una temperatura estándar de referencia de 25°C. El factor de corrección para ajustar la resistencia del devanado (y el deslizamiento en el caso de máquinas de inducción) a una temperatura de referencia del refrigerante de 25°C, deberá ser calculado:

$$k_\theta = \frac{235 + \theta_w + 25 - \theta_c}{235 + \theta_w} \quad (23)$$

donde:

- $k_\theta$  es el factor de corrección de temperatura para los devanados
- $\theta_c$  es la temperatura de entrada del refrigerante durante la prueba
- $\theta_w$  es la temperatura del devanado según la siguiente tabla:

Tabla 1. Tabla para la determinación de  $\theta_w$ 

Clase térmica del sistema de aislamiento	Temperatura de referencia (°C)
130 (B)	95
155 (F)	115
180 (H)	135

## 2.7. Cálculo de la resistencia en la prueba con carga

Se trata de un procedimiento parecido al que se sigue para calcular la resistencia en la prueba sin carga. Sin embargo, en este caso, todos los valores superiores al 100% de la carga tomarán el valor de resistencia antes de la prueba con carga. A partir de aquí, se realiza una curva en la que representamos dos puntos: el 100% de carga y el valor de porcentaje de carga más bajo frente a las resistencias medidas antes y después de la prueba, tomando el valor de la resistencia antes de la prueba frente a al 100% de la carga y el valor de la resistencia después de la prueba frente al valor más bajo de la carga en tanto por ciento. Tras esto, realizamos una interpolación lineal, tomando así de la curva cada valor de resistencia para cada tensión.

## 2.8. Pérdidas en el devanado del rotor

Para las pérdidas por efecto Joule en el devanado del rotor sin corregir, se utiliza la ecuación 24.

$$P_r = (P_1 - P_s - P_{fe}) \times s \quad (24)$$

donde:

$$s = 1 - \frac{p \times n}{f} \quad (25)$$

donde:

- $P_1$  es la potencia de entrada (W), referido a la carga nominal
- $F$  es la frecuencia (Hz), referida a la carga nominal
- $P_s$  se refiere a las pérdidas del devanado estático (W)
- $P_{fe}$  se refiere a las pérdidas del hierro (W)
- $n$  es la velocidad de operación (rad/s)

Las pérdidas del devanado del rotor corregidas se calculan utilizando el valor corregido de las pérdidas del devanado estático, tal y como se muestra en la ecuación 26.

$$P_{r,\theta} = (P_1 - P_{s,\theta} - P_{fe}) \times s_\theta \quad (26)$$

donde:

- $P_{fe}$  es referido a la temperatura de referencia del refrigerante de 25°C
- $s_\theta = s \times k_\theta$  es el deslizamiento corregido a una temperatura de referencia del refrigerante de 25°C

## 2.9. Pérdidas adicionales

Son las pérdidas producidas en el hierro activo y otras partes metálicas por flujos alternos cuando la máquina se encuentra con una determinada carga. Las pérdidas por corrientes de Foucault en los conductores del devanado causadas por las corrientes de carga dependientes del flujo de pulsaciones (y de las pérdidas adicionales de las escobillas o el colector debidas a la conmutación, cuando proceda).

### 2.9.1. Pérdidas residuales

Las pérdidas residuales deber ser calculadas para cada punto de carga restando a la potencia de entrada la potencia de salida, las pérdidas del devanado del estator y del rotor sin corregir, las pérdidas del hierro, las pérdidas por ventilación y fricción, tal y como vemos en la ecuación 27.

$$P_{Lr} = P_1 - P_2 - P_s - P_r - P_{fe} - P_{fw} \quad (27)$$

donde:

- $P_1$  es la potencia de entrada (W), tomada de la tabla 2
- $P_2$  es la potencia de salida (W), calculada según la ecuación 28.

$$P_2 = 2 \times \pi \times T \times n \quad (28)$$

- $T$  es el par del motor (Nm)
- $n$  es la velocidad de operación (rad/s)
- $P_{fw}$  son las pérdidas de fricción y ventilación, calculadas según la ecuación 29.

$$P_{fw} = P_{fw0} \times (1-s)^{2.5} \text{ con } s = 1 - \frac{p \times n}{f} \quad (29)$$

- $P_s$  son las pérdidas en el devanado estatórico sin corregir (W), según la ecuación 21
- $P_r$  son las pérdidas en el devanado rotórico sin corregir (W), según la ecuación 24

Los datos de pérdida residual deben ser suavizados utilizando un análisis de regresión lineal, basado en la expresión de las pérdidas como una función del cuadrado del par de carga, según lo expresado en la ecuación 30.

$$P_{Lr} = A \times T^2 + B \quad (30)$$

donde A y B son constantes determinadas a partir de los seis puntos de carga usando las ecuaciones 31 y 32:

$$A = \frac{i \times \sum (P_{Lr} \times T^2) - \sum P_{Lr} \times \sum T^2}{i \times \sum (T^2)^2 - (\sum T^2)^2} \quad (31)$$

$$B = \frac{\sum P_{Lr}}{i} - A \times \frac{\sum T^2}{i} \quad (32)$$

Una vez calculado el valor de la constante A, el valor de las pérdidas adicionales para cada punto de carga puede ser calculado usando la ecuación 33.

$$P_{LL} = A \times T^2 \quad (33)$$

## 2.10. Cálculo de la eficiencia

### 2.10.1. Pérdidas totales

Las pérdidas totales se tomarán como la suma de las pérdidas del hierro, las pérdidas de fricción y ventilación, las pérdidas en carga y las pérdidas adicionales en carga, tal y como podemos ver en la ecuación 34.

$$P_T = P_{fe} + P_{fw} + P_{s,\theta} + P_{r,\theta} + P_{LL} \quad (34)$$

donde:

- $P_{fw}$  son las pérdidas de fricción y ventilación (W), calculadas como se muestra en la ecuación 35.

$$P_{fw} = P_{fw0} \times (1 - s_\theta)^{2.5} \quad (35)$$

- $P_{fe}$  son las pérdidas en el hierro (W), calculadas tal y como muestra la ecuación 16.
- $P_{s,\theta}$  son las pérdidas en el devanado estatórico corregidas, calculada tal y como muestra la ecuación 26.
- $P_{r,\theta}$  son las pérdidas en el devanado rotórico corregidas, tal y como se muestra en la ecuación 26.
- $P_{LL}$  son las pérdidas adicionales, calculadas tal y como se muestra en la ecuación 33.

### 2.10.2. Rendimiento o Eficiencia

El rendimiento o eficiencia del motor es el cociente entre la potencia mecánica útil que suministra por el eje y la potencia eléctrica total absorbida y se determina utilizando la ecuación 36.

$$\eta = \frac{P_{1'} - P_t}{P_{1'}} = \frac{P_2}{P_2 + P_t} \quad (36)$$

donde:

- $P_{1'}$  es la potencia eléctrica de entrada en carga nominal a temperatura corregida (W)
- $P_2$  es la potencia mecánica de salida de la prueba de carga nominal. (W)



# 3 PROYECTO *ROUND-ROBIN*

---

## 3.1. Objetivo del proyecto ‘Round-Robin’

La IEC, vía el Comité Técnico 2, inició en 2007 un proyecto llamado ‘*Round-Robin*’ en el cual los resultados del ensayo del motor de inducción trifásico de rotor de jaula de ardilla circularon entre varios laboratorios participantes. Los objetivos de este proyecto fueron ganar experiencia con los métodos de las pruebas, investigar las diferencias en los resultados de los diferentes laboratorios (con el fin de mejorar y optimizar los procedimientos descritos en la IEC 60034-2-1) y revisar los límites de tolerancia de la IEC 60034-2-1. Un objetivo secundario de este proyecto fue evaluar las diferentes técnicas para la determinación de las pérdidas adicionales en motores de inducción, usando los métodos de pérdidas residuales ( ‘*residual loss*’) y ‘*E-h star*’ [Referencia [1]].

Los laboratorios participantes recibieron datos de prueba obtenidos de un motor de 11 kW y un par de polos. Se utilizó exactamente el mismo método y la misma técnica y bajo exactamente las mismas condiciones ambientales. Sin embargo, los resultados calculados en los diferentes laboratorios no eran iguales y proporcionaron información sobre la forma en la que estos laboratorios interpretaron la IEC 60034-2-1. De la misma forma, estos resultados resaltaron ambigüedades en la descripción de la norma con respecto al algoritmo de cálculo. También pudo mostrar algunos errores potenciales en el software de cálculo de cada laboratorio.

Esto se vió como un “primer paso” para revisar o reescribir la norma con el objetivo de lograr un acuerdo entre los diferentes laboratorios de todo el mundo, surgiendo así la necesidad de incorporar en los próximas ediciones de la norma algún tipo de hoja de cálculo y algún ejemplo, que evite la ambigüedad en su interpretación.

## 3.2. La elección del motor

El motor elegido para este proyecto debe:

- Tener una potencia nominal de uso común
- Significativas pérdidas de fricción y ventilación, con un par de polos
- Tener una eficiencia mínima alrededor del 90%, de modo que un error del 1% en la medida de las pérdidas o en el cálculo es equivalente a un 0.1% de error en la eficiencia final
- Tener un requisito de eficiencia mínimo correspondiente a IE2. El nivel de eficiencia para una máquina de esta clasificación es 89.4%

Las características del motor utilizado son las siguientes:

- Potencia nominal: 11 kW
- Tamaño de la carcasa: 160M
- Frecuencia: 50 Hz
- Velocidad nominal:  $2940 \text{ min}^{-1}$  ( $=49 \text{ s}^{-1}$ )
- Tensión nominal: 380 – 415 V (conexión triángulo)
- Intensidad: 20.8 A-19.6 A
- Factor de potencia: 0.89
- Servicio: S1
- Tipo de aislamiento: F
- Temperatura ambiente: 40°C
- Aumento de la temperatura admisible: 80 K
- Grado de protección: IP55
- Masa: 84 kg

### 3.3. Procedimiento de la prueba

Los datos proporcionados se generaron cuando el motor descrito se probó en el laboratorio de CalTest en Port Elliot, en el sur de Australia, en 2009. Esta prueba se llevó a cabo de la siguiente forma:

1. Medida de la resistencia del devanado del estátor a temperatura ambiente
2. Extracción del sello accesible del extremo del disco (pero sin desmontar)
3. Prueba de temperatura de carga nominal (pero con mediciones de carga nominal hechas abajo en 5)
4. Medida de la resistencia del devanado del estator
5. Prueba de curva de carga con medición de par
6. Medición de la resistencia del devanado del estátor
7. Prueba sin carga
8. Medición de la resistencia del devanado del estátor

### 3.4. Datos medidos proporcionados a los participantes

#### 3.4.1. Medida de la resistencia del devanado estático a temperatura ambiente

- Temperatura del estator: 14°C
- Temperatura ambiente: 14.6°C
- Resistencia  $U_1 - V_1$ : 0.5548  $\Omega$
- Resistencia  $U_1 - W_1$ : 0.5538  $\Omega$
- Resistencia  $V_1 - W_1$ : 0.5542  $\Omega$

#### 3.4.2. Temperatura en la prueba de carga nominal

- Temperatura del estator: 42°C
- Temperatura ambiente: 19.6°C

#### 3.4.3. Medida de la resistencia del devanado estático

- Resistencia  $U_1 - V_1$ : 0.678  $\Omega$

### 3.4.4. Prueba en carga con medición del par

Tabla 2. Datos de la prueba con carga del motor del sondeo

Carga (%)	Potencia de salida (kW)	Par (Nm)	Velocidad (min <sup>-1</sup> )	Velocidad (s <sup>-1</sup> )	Tensión (L-N) (V)	Intensidad (A)	Potencia de entrada (kW)	Factor de potencia (pu)
120	13.2	43.109	2918.8	48.64	229.9	23.92	14.824	0.90
110	12.1	39.517	2926.8	48.78	230.0	22.09	13.593	0.89
100	11.0	35.821	2934.1	48.90	230.0	20.26	12.333	0.88
75	8.25	26.730	2951.7	49.20	230.0	15.97	9.281	0.84
50	5.5	17.714	2968.3	49.47	230.0	12.12	6.314	0.75
25	2.75	8.829	2983.6	49.73	230.0	9.04	3.437	0.55

### 3.4.5. Medida de la resistencia del devanado estático

- Resistencia  $U_1 - V_1$ : 0.660  $\Omega$

### 3.4.6. Prueba sin carga

Tabla 3. Datos de la prueba sin carga del motor del sondeo

Tensión relativa (%)	Tensión objetivo (L-N) (V)	Tensión Medida (V)	Intensidad (A)	Potencia de entrada (kW)
110	253	253.0	10.08	0.5711
100	230	230.0	7.40	0.4617
95	219	219.0	6.57	0.4328
90	207	207.0	5.88	0.4002
75	175	175.0	4.52	0.3507
50	115	115.0	2.805	0.2831
35	80	80.0	2.145	0.2623
25	40	46.0	2.181	0.2464



Pérdidas en el devanado del estator corregidas (kW)	0.4140	0.415	0.426	0.425	0.414	0.424	0.414	0.4256	0.4324	0.424
Pérdidas en el devanado del rotor corregidas (kW)	0.2548	0.255	0.263	0.26253	0.263	0.262	0.255	0.2628	0.2626	0.263
Pérdidas adicionales (kW)	0.0865	0.081	0.088	0.098	0.098	0.0644	0.078	0.0604	0.0837	0.084
Pérdidas totales corregidas (kW)	1.1546	1.150	1.187	1.18653	1.168	1.152	1.147	1.147	1.1669	1.171
<b>EFICIENCIA (%)</b>	<b>90.50</b>	<b>90.53</b>	<b>90.38</b>	<b>90.37</b>	<b>90.5</b>	<b>90.66</b>	<b>90.6</b>	<b>90.69</b>	<b>90.54</b>	<b>90.5</b>
<b>CARGA 120%</b>										
Pérdidas en el devanado del estator corregidas (kW)	0.5816	0.582	0.593	0.565	0.577	0.591	0.582	0.5975	0.6027	0.592
Pérdidas en el devanado del rotor corregidas (kW)	0.3793	0.380	0.388	0.38827	0.389	0.387	0.380	0.3878	0.3876	0.388
Pérdidas adicionales (kW)	0.1267	0.118	0.127	0.142	0.142	0.0933	0.114	0.0875	0.1212	0.121
Pérdidas totales corregidas (kW)	1.4844	1.478	1.519	1.49527	1.497	1.473	1.473	1.4723	1.4955	1.498
<b>EFICIENCIA (%)</b>	<b>89.89</b>	<b>89.93</b>	<b>89.75</b>	<b>89.91</b>	<b>89.9</b>	<b>90.06</b>	<b>90.0</b>	<b>90.07</b>	<b>89.91</b>	<b>89.9</b>
A =	0.0581	0.06	0.0685	0.0766	0.0764	0.0502	0.06239	0.0471	0.0652	0.06515
B =	165.8	168.03	169.21	164.074	171.07	175.8	172.000	177.563	171.11	168
Gamma =	0.9994	0.9993	0.9991	0.99158	0.9993	0.9983	0.998	0.9966	0.9977	0.999

### 3.6. Cálculo de las pérdidas sin carga (vacío) y con carga del 100%

#### 3.6.1. Pérdidas constantes

Para el cálculo de estas pérdidas, hay que tener en cuenta las ecuaciones 1 y 2. En primer lugar, tenemos que

calcular la resistencia para tensión nominal. Para ello, como ya explicamos en el apartado 2.2., se realiza una curva de potencia de entrada frente a resistencia, tomando el valor de la resistencia antes de la prueba frente a potencia de entrada de tensión más alto y el valor de la resistencia después de la prueba frente a la potencia de entrada de tensión más bajo, quedando de la forma que se muestra en la Fig. 9.

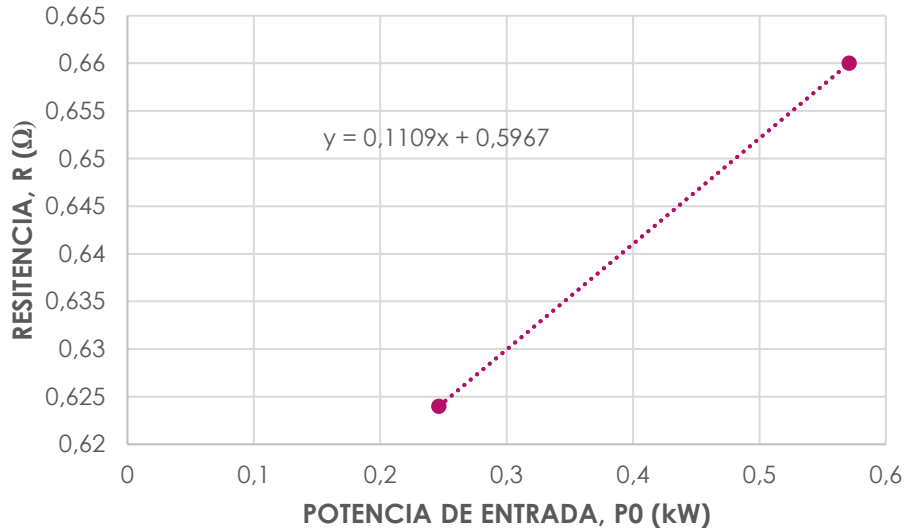


Figura 9. Resistencia de la prueba sin carga

Con ello, la variación de la resistencia con la potencia de entrada puede expresarse como:

$$R = 0.1109 \cdot P_0 + 0.5967 \quad (37)$$

Teniendo que la potencia de entrada para la tensión nominal es 0.4617 kW, se obtiene, de la ecuación 37, que  $R = 0.6478 \Omega$ . De la tabla de datos (Tabla 3), se tiene que  $I_0 = 7.40 \text{ A}$  y, por tanto:

$$P_s = 1.5 \times I_0^2 \times R_{II,0} = 1.5 \times 7.40^2 \times 0.6478 = 53.21605 \text{ W} \quad (38)$$

$$P_c = P_0 - P_s = 0.4617 - 0.05321605 = 0.408484 \text{ kW} \quad (39)$$

### 3.6.2. Pérdidas de fricción y ventilación

Para el cálculo de estas pérdidas, es preciso realizar una curva de las pérdidas constantes (entre los cuatro o más puntos comprendidos entre el 30% y el 60%) frente a la tensión al cuadrado. Para ello, se calculan las pérdidas constantes para los valores del 75%, 50%, 35% y 25% de la tensión nominal. Para ello, calcularemos, en primer lugar, la resistencia para cada punto de tensión introduciendo la potencia de entrada correspondiente en la ecuación 37, obteniendo así el valor de la resistencia.

En segundo lugar, calcularemos las pérdidas en el devanado estático, tal y como se hace en la ecuación 38, pero tomando las resistencias y las intensidades correspondientes de la tabla 3. Por último, se calculan las pérdidas constantes, tal y como se hace en la ecuación 39, tomando la potencia de entrada de la tabla 3. Así, se obtiene lo siguiente:

$$P_c (0.75 \cdot U_n) = 0.3312 \text{ kW}$$

$$P_c (0.5 \cdot U_n) = 0.2756 \text{ kW}$$

$$P_c (0.35 \cdot U_n) = 0.2579 \text{ kW}$$

$$P_c (0.25 \cdot U_n) = 0.2419 \text{ kW}$$

Una vez obtenidos los valores de las pérdidas constantes para estos puntos, se representa gráficamente estas pérdidas frente a la tensión al cuadrado, obteniéndose la figura 10.

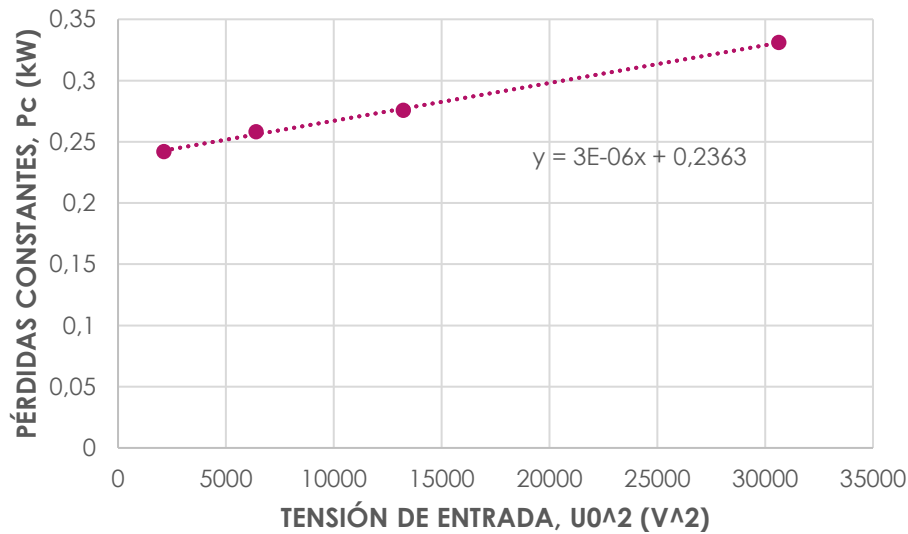


Figura 10. Curva para calcular las pérd. de fricción y ventilación

Así, de la figura 10, podemos obtener la ecuación 40.

$$P_c = 3e-6 \cdot U_0^2 + 0.2363 \quad (40)$$

Para calcular la pérdida de fricción y ventilación, calculamos el valor que se obtiene cuando la línea de tendencia corta al eje y, es decir, bastará con hacer  $U_0^2 = 0$  en la ecuación 40, obteniéndose:

$$P_{fw0} = 0.2363 \text{ kW}$$

Denominándose  $P_{fw0}$  a las pérdidas de fricción y ventilación.

### 3.6.3. Pérdidas en el hierro

En primer lugar, para calcular las pérdidas en el hierro vamos a obtener  $P_{fe}$  para los cuatro o más valores comprendidos entre el 90% y el 110% de la tensión nominal usando la ecuación 16:

$$P_{fe} (1.1 \cdot U_n) = P_c - P_{fw0} = 0.470509 - 0.2363 = 0.2343 \text{ kW} \quad (41)$$

$$P_{fe} (1 \cdot U_n) = P_c - P_{fw0} = 0.408484 - 0.2363 = 0.1722 \text{ kW} \quad (42)$$

$$P_{fe} (0.95 \cdot U_n) = P_c - P_{fw0} = 0.391060 - 0.2363 = 0.1548 \text{ kW} \quad (43)$$

$$P_{fe} (0.90 \cdot U_n) = P_c - P_{fw0} = 0.366954 - 0.2363 = 0.1307 \text{ kW} \quad (44)$$

Siendo  $P_c$  las pérdidas constantes, calculadas utilizando las ecuaciones 12 y 13, y  $P_{fw0}$  las pérdidas de fricción y ventilación, calculadas en el apartado 3.6.2.

Como se ha explicado en el apartado 2.4., se representa gráficamente los valores de  $P_{fe}$  calculados en las ecuaciones 41, 42, 43 y 44 frente a la tensión  $U_0$  (Tabla 3), realizando una interpolación lineal entre dichos puntos, como se muestra en la Fig. 11.

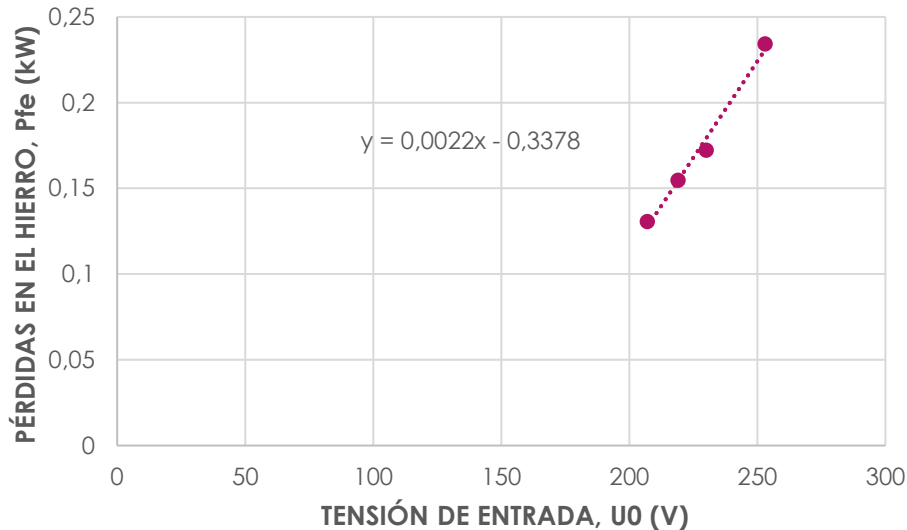


Figura 11. Curva para calcular  $P_{fe}$

De la figura 11, se puede observar la ecuación

$$P_{fe} = 0.0022 \cdot U_0 - 0.3378 \quad (45)$$

Para calcular las pérdidas en el hierro a plena carga, en primer lugar, tenemos que calcular la caída de tensión resistiva mediante la ecuación 18 del apartado 2.4., utilizando los valores de la prueba de carga nominal:

$$U_i = \sqrt{\left(U - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I \cdot R \cdot \cos\varphi\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I \cdot R \cdot \sen\varphi\right)^2} \quad (46)$$

Sustituyendo los valores del ensayo nominal (Tabla 2), resulta:

$$U_i = \sqrt{\left(230 - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 20.26 \cdot 0.678 \cdot 0.88\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 20.26 \cdot 0.678 \cdot 0.4749\right)^2} = 219.6042 \text{ V} \quad (47)$$

Una vez calculado el valor de  $U_i$ , para calcular el valor de  $P_{fe}$  a plena carga, bastará con sustituir  $U_0$  por  $U_i$  en la ecuación 45, obteniendo así  $P_{fe} = 0.1558 \text{ kW}$

Cabe destacar que, para el cálculo de pérdidas en el hierro, al estar en vacío y, por lo tanto, tener un factor de potencia bajo, la caída de tensión es despreciable y, por tanto, se ha considerado el valor de  $P_{fe}$  calculado de sustituir  $U_0$  por la tensión nominal de la tabla 3, obteniéndose la ecuación 48.

$$P_{fe}(1 \cdot U_n) = 0.172234 \text{ kW} \quad (48)$$

Ahora bien, para el cálculo de las pérdidas en el devanado estático y rotórico corregidas, las pérdidas adicionales y las pérdidas totales, se utiliza el valor de  $P_{fe}$  obtenido de sustituir  $U_0$  por  $U_i$  en la ecuación 45, obteniendo:

$$P_{fe} = 0.155817 \text{ kW} \quad (49)$$

### 3.6.4. Pérdidas en el devanado del estator

Para calcular estas pérdidas, como se indicó anteriormente, se utiliza la ecuación 21:

$$P_s = 1.5 \times I^2 \times R$$

Sin embargo, para determinar las pérdidas del devanado del estator, corregida a la temperatura de referencia del refrigerante de 25°C, es preciso usar la ecuación 22:



$$P_{s,\theta} = P_s \times k_\theta$$

Siendo  $k_\theta$  la corrección a la temperatura de referencia del refrigerante, calculada según la ecuación 23. Por tanto, en primer lugar, es preciso calcular la corrección de temperatura del refrigerante según esta ecuación:

$$k_\theta = \frac{235 + \theta_w + 25 - \theta_c}{235 + \theta_w}$$

donde  $\theta_w = 115^\circ\text{C}$ , ya que el motor presenta una clase de aislamiento térmico de tipo F, y  $\theta_c = 19.6^\circ\text{C}$ , ya que es la temperatura del aire de entrada durante la prueba con carga. De tal forma:

$$k_\theta = \frac{235 + \theta_w + 25 - \theta_c}{235 + \theta_w} = \frac{235 + 115 + 25 - 19.6}{235 + 115} = 1.015428 \quad (50)$$

A continuación, se calcula la resistencia para la prueba con carga siguiendo el procedimiento arriba descrito en la sección o apartado 2.7, de tal forma que obtenemos la figura 12.

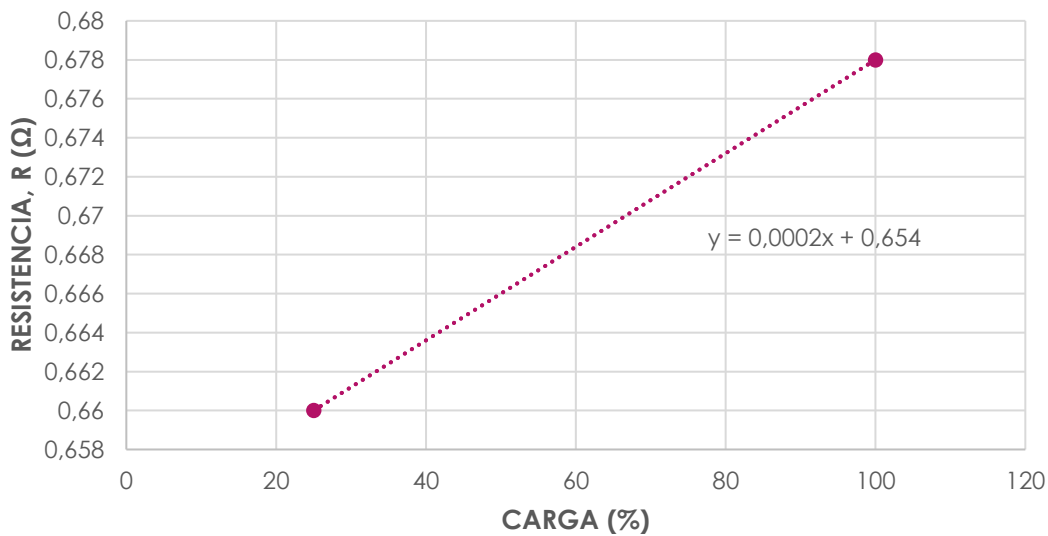


Figura 12. Resistencia de la prueba con carga

De modo que la carga es expresada como la relación de la potencia de salida con respecto a la nominal, tomando los datos de la tabla 2.

$$c = \frac{P_i}{P_1} \text{ (pu)} \quad (51)$$

Siendo  $P_i$  la potencia de entrada medida en cada caso, expresada en W, y  $P_1$  la potencia nominal de entrada, expresada en W.

De la figura 12, podemos obtener:

$$R = 0.00024 \cdot c + 0.654 \quad (52)$$

La ecuación 52 permite calcular los valores de resistencia para todos los porcentajes de carga. En el caso que estamos estudiando, es decir, el caso en el que la carga toma un valor del 100%, tenemos que  $R = 0.678 \Omega$ . Con todo esto, y, teniendo en cuenta que  $I = 20.26 \text{ A}$  (Tabla 2), podemos calcular las pérdidas en el devanado estático sin corregir y corregidas, a partir de las ecuaciones 21 y 22, respectivamente.

$$P_s = 1.5 \times I^2 \times R = 1.5 \times 20.26^2 \times 0.678 = 0.417446 \text{ kW} \quad (53)$$

$$P_{s,\theta} = P_s \times k_\theta = 0.41745 \times 1.015428 = 0.423886 \text{ kW} \quad (54)$$

### 3.6.5. Pérdidas en el devanado rotórico

Como se indicó en el apartado 2.8., las pérdidas en el devanado rotórico se calculan mediante la ecuación 24.

$$P_r = (P_1 - P_s - P_{fe}) \times s$$

Donde, sabemos que  $s$  toma un valor que se calcula a partir de la ecuación 25.

$$s = 1 - \frac{p \times n}{f}$$

en esta ecuación:

- $P_1$  es la potencia de entrada (W) y está referida a la carga nominal
- $f$  es la frecuencia (Hz) y está referida a la carga nominal
- $P_s$  son las pérdidas en el devanado estático (W).
- $P_{fe}$  se refiere a las pérdidas del hierro, según se calcula en la ecuación 49 (W).

Para calcular las pérdidas del devanado del rotor corregidas se calculan utilizando el valor corregido de las pérdidas del devanado estático, tal y como muestra la ecuación 26.

$$P_{r,\theta} = (P_1 - P_{s,\theta} - P_{fe}) \times s_\theta$$

donde:

- $P_1$  es la potencia de entrada (W).
- $P_{fe}$  es referido a la temperatura de referencia del refrigerante de 25°C, según se calcula en la ecuación 49 (W).
- $s_\theta = s \times k_\theta$  es el deslizamiento corregido a una temperatura de referencia del refrigerante de 25°C (pu)

Para calcular el deslizamiento se necesita el número de pares de polos, la velocidad de operación y la frecuencia. Todos estos datos los podemos obtener en la tabla 3. Así, tenemos que la velocidad de operación  $n=48.90 \text{ s}^{-1}$ , la frecuencia  $f=50 \text{ Hz}$  y el número de pares de polos es  $p=1$ . Por tanto,

$$s = 1 - \frac{1 \times 48.9017}{50} = 0.0219 \quad (55)$$

Para calcular el deslizamiento corregido, bastará multiplicar la cifra anterior por el factor de corrección, resultando:

$$s_\theta = 0.022306 \quad (56)$$

A continuación, tomando el valor de la potencia nominal de la tabla 3, las pérdidas en el devanado estático corregidas de la ecuación 54, las pérdidas en el hierro de la ecuación 49 y el deslizamiento corregido de la ecuación 56, se obtienen las pérdidas en el devanado rotórico corregidas aplicando la ecuación 26.

$$P_{r,\theta} = (P_1 - P_{s,\theta} - P_{fe}) \times s_\theta = (9.281 - 0.423886 - 0.155817) \times 0.022306 = 0.262164 \text{ kW} \quad (57)$$

### 3.6.6. Pérdidas adicionales en carga

#### 3.6.6.1. Pérdidas residuales

Para el cálculo de este tipo de pérdidas, tal y como se ha indicado en el apartado 2.9, es preciso utilizar la ecuación 27.

$$P_{Lr} = P_1 - P_2 - P_s - P_r - P_{fe} - P_{fw}$$

donde:

- $P_1$  es la potencia de entrada (W), tomada de la tabla 2
- $P_2$  es la potencia de salida (W), calculada tal y como se muestra en la ecuación 58.

$$P_2 = 2 \times \pi \times T \times n \quad (58)$$

- $T$  es el par (Nm), tomado de la tabla 2.
- $n$  es la velocidad de operación ( $s^{-1}$ ), tomado de la tabla 2.
- $P_{fe}$  son las pérdidas en el hierro (W) tomadas de la ecuación 49.
- $P_{fw}$  son las pérdidas de fricción y ventilación (W), calculadas según la ecuación 59.

$$P_{fw} = P_{fw0} \times (1-s)^{2.5} \text{ con } s = 1 - \frac{p \times n}{f} \quad (59)$$

Así, tomando los valores de la tabla 2,  $T=35.821$  Nm y  $n=2934.1$   $min^{-1}$ , se puede calcular la potencia de salida según la ecuación 58.

$$P_2 = 2 \times \pi \times 35.821 \times \left(\frac{2934.1 \cdot 7}{60}\right) = 11.0063 \text{ kW} \quad (60)$$

De igual modo, se puede calcular las pérdidas de fricción y ventilación de la ecuación 59.

$$P_{fw} = 0.2362 \times (1 - 0.0219)^{2.5} = 0.223489 \text{ kW} \quad (61)$$

Con estos datos, y tomando que:

- $P_1 = 12.333$  W (Tabla 2)
- $P_s = 0.4174$  kW (Ecuación 53)
- $P_{fe} = 0.1558$  kW (Ecuación 49)

Se pueden calcular las pérdidas residuales, según la ecuación 27.

$$P_{Lr} = 12.333 - 11.0063 - 0.417446 - 0.257961 - 0.155817 - 0.223489 = 0.271629 \text{ kW} \quad (62)$$

A continuación, se calculan las constantes A y B de las ecuaciones 31 y 21, respectivamente. Para ello, es preciso calcular las pérdidas residuales ( $P_{Lr}$ ) en cada punto de carga, tal y como hemos hecho anteriormente:

$$P_{Lr}(1.2 \cdot P_n) = 0.307908 \text{ kW} \quad (63)$$

$$P_{Lr}(1.1 \cdot P_n) = 0.291345 \text{ kW} \quad (64)$$

$$P_{Lr}(1 \cdot P_n) = 0.271629 \text{ kW} \quad (65)$$

$$P_{Lr}(0.75 \cdot P_n) = 0.236192 \text{ kW} \quad (66)$$

$$P_{Lr}(0.5 \cdot P_n) = 0.211642 \text{ kW} \quad (67)$$

$$P_{Lr}(0.25 \cdot P_n) = 0.191199 \text{ kW} \quad (68)$$

Siendo  $P_n$  la potencia nominal tomada de la tabla 2,  $P_n = 11$  kW

Así, tomando los valores de par,  $T$ , como dato de la Tabla 2:

$$\sum (P_{Lr} \times T^2) = 1625.784572 \quad (69)$$

$$\sum (P_{Lr}) = 1.509915 \quad (70)$$

$$\sum (T^2)^2 = 8153668.339 \quad (71)$$

$$\sum (T^2) = 5809.353148 \quad (72)$$

$$(\sum T^2)^2 = 33748584 \quad (73)$$

$$i=6 \quad (74)$$

$$A = \frac{6 \times 1532.56988 - 1.41131 \times 5809.3531}{6 \times 8153668.339 - 33748584} = 6.4789 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \quad (75)$$

$$B = \frac{1.413141}{6} - 6.4980 \times 10^{-5} \times \frac{5809.353148}{6} = 0.188922 \text{ kW} \quad (76)$$

Una vez calculado los valores de las constantes A y B, el valor de las pérdidas adicionales para cada punto de carga puede ser calculado usando la ecuación 33:

$$P_{LL} = A \times T^2$$

$$P_{LL} = 6.4980 \times 10^{-5} \times 35.821^2 = 0.08313 \text{ kW} \quad (77)$$

### 3.6.7. Cálculo de la eficiencia

#### 3.6.7.1. Pérdidas totales

Para calcular estas pérdidas basta con apoyarnos en la ecuación 34.

$$P_T = P_{fe} + P_{fw} + P_{s,\theta} + P_{r,\theta} + P_{LL}$$

donde:

- $P_{fw}$  son las pérdidas de fricción y ventilación (W), calculadas como se muestra en la ecuación 78.

$$P_{fw} = P_{fw0} \times (1 - S_\theta)^{2.5} \quad (78)$$

- $P_{fe}$  son las pérdidas en el hierro (W), calculadas tal y como muestra la ecuación 49.
- $P_{s,\theta}$  son las pérdidas en el devanado estatórico corregidas, calculada tal y como muestra la ecuación 54.
- $P_{r,\theta}$  son las pérdidas en el devanado rotórico corregidas, tal y como se muestra en la ecuación 57.
- $P_{LL}$  son las pérdidas adicionales, calculadas tal y como se muestra en la ecuación 77.

Así, obtenemos que:

$$P_T = 0.155817 + 0.223296 + 0.262164 + 0.423886 + 0.08313 = 1.148297 \text{ kW} \quad (79)$$

#### 3.6.7.2. Rendimiento o Eficiencia

Para determinar el rendimiento o eficiencia de motor, se utiliza la ecuación 36:

$$\eta = \frac{P_1' - P_t}{P_1'} = \frac{P_2}{P_2 + P_t} = \frac{12.333 \times 1.015428571 - 1.148297}{12.333 \times 1.015428571} \times 100 = 90.83\% \quad (80)$$

## 3.7. Tabla de Resultados

A continuación, se muestran varias tablas que resumen los resultados tanto para las pérdidas sin carga como para las distintas pérdidas de carga, al igual que las mostrada por los laboratorios, de modo que sirva de comparativa.

En primer lugar, se muestra una tabla 5 con las pérdidas constantes, las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro.

Tabla 5. Resultados de pérdidas sin carga para el motor del sondeo

	110	100	95	90	75	50	35	25
Pérd. Constantes (kW)	0.4705	0.4085	0.3911	0.367	0.3312	0.2757	0.258	0.2419
Pérd. Fricc. y Ventilación (kW)	0.2362	0.2362	0.2362	0.2362	0.2362	0.2362	0.2362	0.2362
Pérd. en el hierro $P_{fe}'$ (kW)	0,2342	0,1723	0,1548	0,1307	0,0948	0,0394	0,0217	0,0057
Pérd. en el hierro $P_{fe}$ (kW)	0,1558	0,1558	0,1558	0,1558	0,1558	0,1558	0,1558	0,1558

Ahora, vamos a mostrar una tabla con los distintos valores de pérdidas para los distintos valores de carga:

Tabla 6. Resultados de pérdidas con carga para el motor del sondeo

	120	110	100	75	50	25
Pérd. corr. en el dev. estático (kW)	0.5909	0.5039	0.4239	0.2610	0.14901	0.0822
Pérd. corr. en el dev. rotórico (kW)	0.387	0.3204	0.2622	0.1449	0.0645	0.0178
Pérd. Adicionales (kW)	0.1204	0.1012	0.0831	0.0463	0.0203	0.0051
Pérd. totales corr. (kW)	1.4743	1.3032	1.1483	0.8348	0.6196	0.4938

Los resultados de las constantes A y B, que permiten calcular las pérdidas totales son:

$$A = 6,4789e-05 \text{ s}^{-1}$$

$$B = 0,188922 \text{ kW}$$

Por último, mostramos una tabla con los distintos valores del rendimiento:

Tabla 7. Resultados de pérdidas con carga para el motor del sondeo

	120	110	100	75	50	25
$\eta$ (%)	90.21	90.56	90.83	90.14	90.34	85.85

### 3.8. Análisis de resultados

A continuación, dado que, como podemos ver en las tablas 5 y 6, se han obtenido distintos valores para una misma pérdida, vamos a proceder a realizar un análisis de éstas. Para ello, vamos a comparar los resultados obtenidos de cada laboratorio con los calculados anteriormente e intentar encontrar los posibles procedimientos que les han llevado a obtener distintos resultados. Para el caso de las pérdidas constantes, vamos a estudiar solamente el caso del punto del 100% de tensión. En el caso de las pérdidas con carga, se considerará un 100% de la carga y se compararán los resultados anteriores con los de la Tabla 5.

Por otro lado, un aspecto a tener en cuenta en el cálculo de todas las pérdidas es el redondeo, es decir, podemos obtener valores que se diferencien en milésimas o diezmilésimas, y eso puede ser debido al redondeo que hayan tomado los laboratorios para mostrar los resultados.

#### 3.8.1. Pérdidas constantes

En la siguiente Fig. 13 se muestra el valor de las pérdidas constantes obtenidas por cada laboratorio.

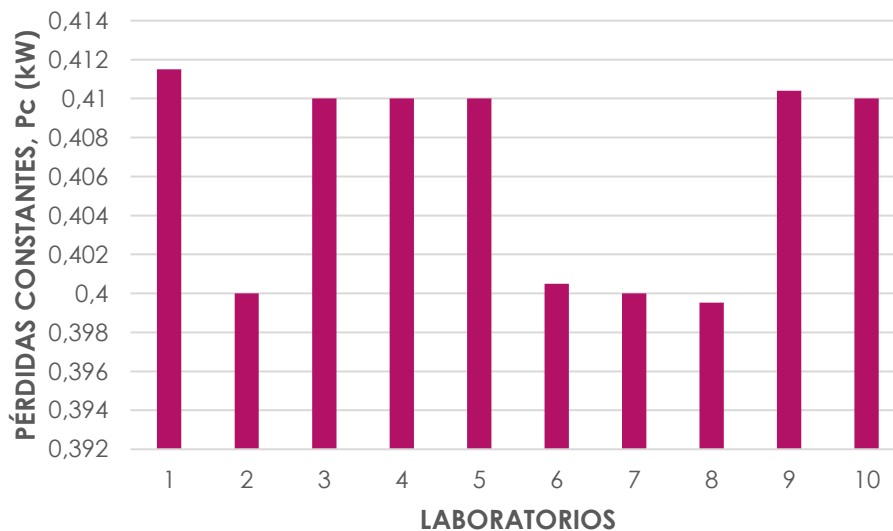


Figura 13. Resultados de pérdidas constantes de los laboratorios

Los motivos por los cuales estos laboratorios obtienen estos valores pueden ser diversos. En primer lugar, las pérdidas constantes hay que calcularla para cada punto de tensión, tal y como dice la norma. Sin embargo, en la tabla de resultados (Tabla 4), solo aparece un único valor, por lo que aquí se puede encontrar el primer error.

Centrándonos en el valor mostrado en la tabla, por los cálculos realizados, podemos suponer que el valor que la tabla muestra corresponde al valor para una tensión del 100%

Sin embargo, tal y como muestra la figura 13, pueden verse dos casos claramente diferenciados. Por un lado, los laboratorios 1, 3, 4, 5, 9 y 10 obtienen valores cercanos a 0.41 kW, mientras que, por otra parte, los laboratorios 2, 6, 7 y 8 obtienen valores alrededor de 0.40 kW. Esto quiere decir, que estos laboratorios han debido suponer los mismos procedimientos o, al menos, procedimientos muy parecidos, de modo que les ha llevado a obtener resultados muy similares.

$$(Pc[1 \cdot U_n][tabla]=0.4/0.41 \text{ kW} \quad (81)$$

$$Pc[1 \cdot U_n][programado]=0.4084 \text{ kW} \quad (82)$$

Si se calculan las pérdidas constantes para una tensión del 100%, tomando como resistencia la medida después de la prueba, es decir,  $R=0.624\Omega$ , se obtiene que las pérdidas constantes resultan  $Pc=0.410445 \text{ kW}$ . Se trata de un valor muy cercano al obtenido por los laboratorios 1, 3, 4, 5, 9 y 10, por lo que puede suponerse que estos laboratorios, en lugar de realizar una interpolación lineal en el cálculo de la resistencia, han tomado directamente el valor de resistencia después de la prueba sin carga.

También hay que tener en cuenta que, para calcular las pérdidas constantes se puede realizar la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro, por lo que, si estos valores presentan discrepancias entre sí, los valores de las pérdidas constantes también lo presentarán, como se mostrará en el apartado 3.8.4.

### 3.8.2. Pérdidas por fricción y ventilación

A continuación, se muestra Fig. 14, en la que puede verse el resultado de pérdidas por fricción y ventilación obtenido por cada laboratorio.

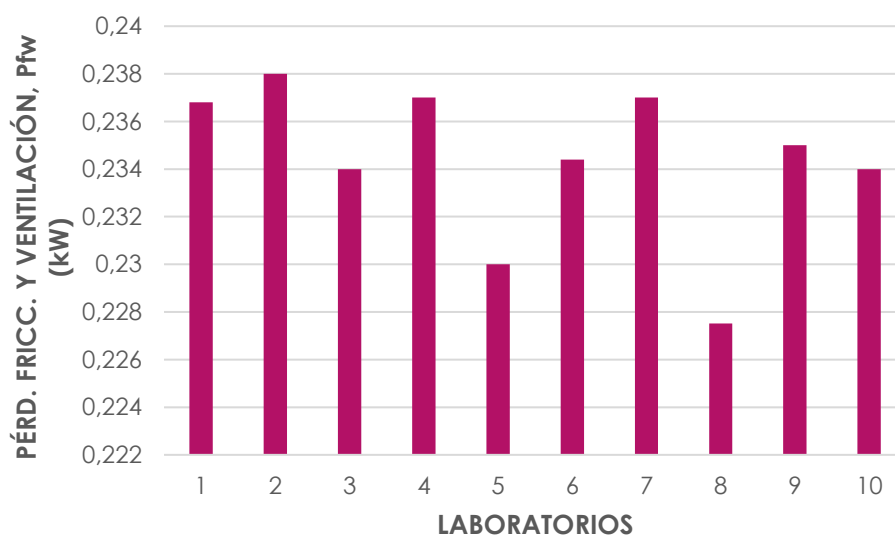


Figura 14. Resultados de pérd. fricc. y ventilación de los laboratorios

En primer lugar, cabe destacar que todos los resultados, excepto el del laboratorio 8, coincide en los dos primeros decimales, teniendo ciertas discrepancias en el tercer o cuarto decimal. Para el cálculo de estas pérdidas había que tener en cuenta el número de puntos que tenemos que tomar, ya que el uso de tensiones relativamente altos presenta una tendencia a aumentar la pendiente de la línea ajustada, lo que lleva a que los valores obtenidos para las pérdidas de fricción y ventilación sean más bajos.

Dicho esto, puede verse que el laboratorio 8 obtiene un valor relativamente bajo en comparación con el resto, lo que puede suponer que este laboratorio haya tomado la totalidad de los puntos de tensión para el cálculo

de estas pérdidas. Como hemos dicho antes, los laboratorios han tomado el valor de la resistencia medida después de la prueba sin carga. Si calculamos, para este valor de resistencia, el valor de las pérdidas de fricción y ventilación tomando los ocho puntos, obtenemos que  $P_{fwo} = 0.2294$  kW.

Dicho valor es el más cercano al obtenido por el laboratorio 8 y también por el laboratorio 5, cuyo resultado es  $P_{fwo} = 0.2301$  kW

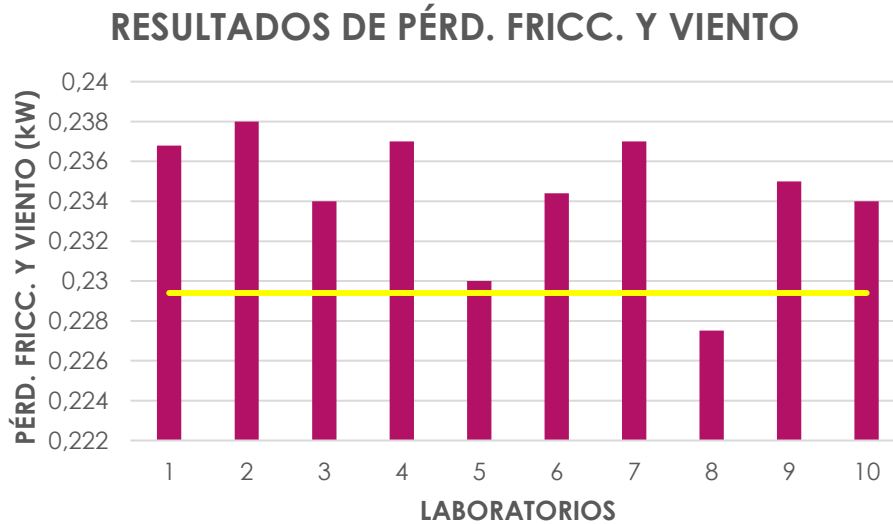


Figura 15. Pérdidas Por fricción y ventilación

Por otro lado, si se toman los puntos del 100%, 95%, 90%, 75%, 50%, 35% y 25% de tensión, se obtiene que  $P_{fwo} = 0.2344$  kW, valor muy cercano al obtenido por el laboratorio 6. En cambio, si se toman los puntos del 95%, 90%, 75%, 50%, 35% y 25% de tensión, se obtiene que  $P_{fwo} = 0.235$  kW, valor muy cercano al obtenido por el laboratorio 9.

Si tomamos los puntos del 90%, 75%, 50% y 35% del tensión, obtenemos que  $P_{fwo} = 0.237$  kW, valor obtenido por los laboratorios 4 y 7 y valor cercano al obtenido por el laboratorio 2, el cual presenta el valor más alto con respecto a los demás. Si tomamos los puntos del 50%, 35% y 25% del tensión, obtenemos que  $P_{fwo} = 0.2368$  kW, valor obtenido por el laboratorio uno. Por último, si tomamos los puntos del 35% y 25%, obtenemos un valor de  $P_{fwo} = 0.234$  kW, valor obtenido por los laboratorios 3 y 10.

En definitiva, como ya hemos comentado, según el número de puntos que se tome obtenemos distintos valores, aunque todos ellos muy parecidos entre sí, con errores de milésimas. No obstante, son errores que hay que tener en cuenta y, el único modo para calcular las pérdidas de fricción y ventilación es tomando los cuatro o más puntos comprendidos entre el 60% y el 30% de tensión (en este caso, los puntos son 75%, 50%, 35% y 25% del tensión). También cabe destacar, que estos distintos valores obtenidos no deben variar el resultado de la eficiencia, ya que unas pérdidas mayores o menores de fricción y ventilación implican unas pérdidas mayores o menores en el hierro, respectivamente (excepto para los laboratorios tres y cuatro en los que la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro no son las mismas que las pérdidas constantes)

### 3.8.3. Pérdidas en el hierro

A continuación, se muestra la Fig. 16, que representa los resultados del valor de las pérdidas en el hierro obtenidos por los distintos laboratorios.



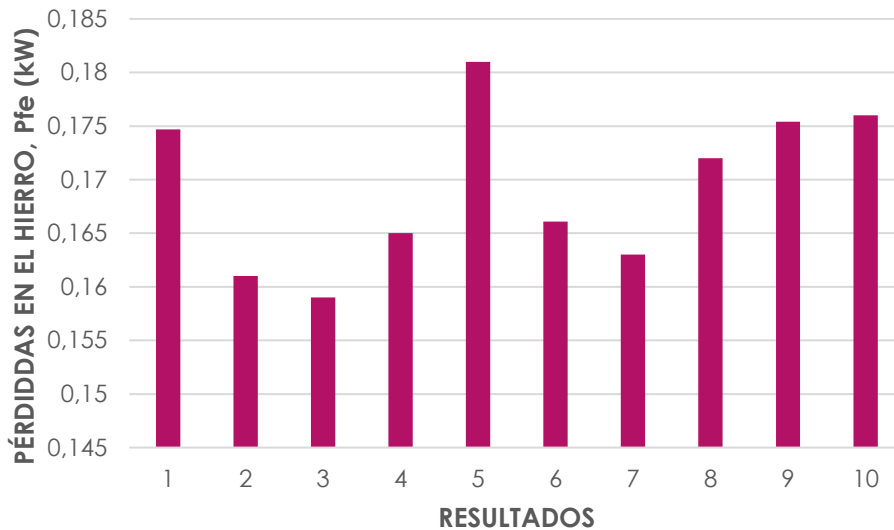


Figura 16. Resultados de pérdidas en el hierro de los laboratorios

En primer lugar, si para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación tomamos los ocho valores de tensión, se obtiene que  $P_{fe}' = 0.181$  kW, valor obtenido por el laboratorio cinco, el cual hemos supuesto en el apartado anterior que había tomado los ocho valores de tensión. Ahora bien, si calculamos las pérdidas en el hierro a plena carga y tomando todos los valores de tensión, obtenemos que  $P_{fe} = 0.171$  kW, valor muy cercano al obtenido por el laboratorio 8.

Si tomamos los valores del 100%, 95%, 90%, 75%, 50%, 35% y 25% de tensión para el cálculo de  $P_{fwo}$ , obtenemos que, el valor de las pérdidas en el hierro a plena carga y tomando todos los puntos del tensión, es  $P_{fe} = 0.166$  kW, valor obtenido por el laboratorio 6.

Por otro lado, si calculamos las pérdidas de fricción y ventilación para los valores del 95%, 90%, 75%, 50%, 35% y 25% de tensión, obtenemos que  $P_{fe}' = 0.175$  kW, valor obtenido por el laboratorio 9. Ahora bien, si calculamos las pérdidas de fricción y ventilación para los valores del 90%, 75%, 50% y 35% del tensión, obtenemos que el valor de las pérdidas en el hierro a plena carga y tomando todos los puntos de tensión es  $P_{fe} = 0.163$  kW, valor obtenido por el laboratorio 7 y cercano al obtenido por los laboratorios 4 y 2.

Si bien tomamos los valores del 50%, 35% y 25% del tensión para el cálculo de  $P_{fwo}$ , obtenemos que  $P_{fe}' = 0.174$  kW, valor cercano al obtenido por el laboratorio 1. Por último, si tomamos los valores del 35% y 25% de tensión para el cálculo de  $P_{fwo}$ , tenemos que  $P_{fe}' = 0.176$  kW, valor obtenido por el laboratorio 10, y que las pérdidas en el hierro a plena carga tomando los valores del 110%, 100%, 95% y 90% del tensión es  $P_{fe} = 0.159$  kW, valor obtenido por el laboratorio 3.

Como podemos ver, hemos comprobado que según el número de puntos que se tome, los laboratorios han obtenido unas pérdidas de fricción y ventilación y unas pérdidas en el hierro. Para ello, la norma establece el número de puntos que hay que tomar para ambas pérdidas.

Por otro lado, hay laboratorios que han calculado las pérdidas en el hierro a plena carga, pero estas pérdidas solo deben ser tenidas en cuenta para los valores de carga, según establece la norma. Para los valores sin carga, no hay que tener en cuenta la caída de tensión resistiva, por lo que los valores que se han de tomar son  $P_{fe}'$ .

Por otro lado, las pérdidas constantes también se pueden calcular como la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro, y dado que los resultados son distintos, los valores de las pérdidas constantes también lo serán.

En la figura 17 podemos ver la comparación del resultado de las pérdidas constantes y la suma de las pérdidas de fricción y ventilación. Podemos ver que coincide en todos los laboratorios excepto en los laboratorios tres y cuatro, dos de los laboratorios en los que se ha calculado las pérdidas en el hierro a plena carga.

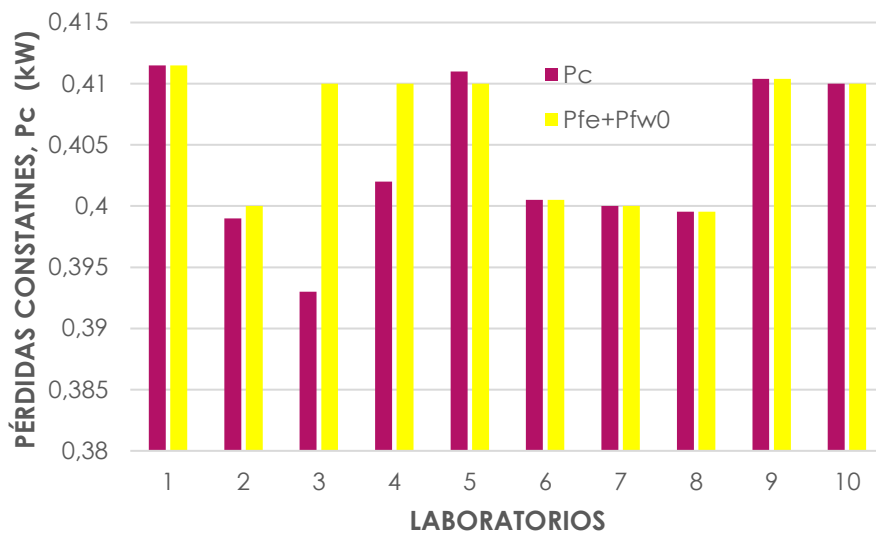


Figura 17. Pérd. constantes, fricc. y ventilación y en el hierro

### 3.8.4. Conclusión para los valores obtenidos de la prueba sin carga

Para los valores de la prueba sin carga se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El laboratorio 5 ha calculado las pérdidas constantes bien con la ecuación 12 del apartado 2.1. o bien como la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro, ya que el resultado es el mismo. Para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación, este laboratorio ha tomado los ocho valores de tensión y ha calculado  $P_{fe}' = P_c - P_{fw}$ .
- El laboratorio 8 ha calculado las pérdidas constantes como la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro. Para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación ha tomado los ocho valores de tensión y, ha calculado las pérdidas en el hierro a plena carga ( $P_{fe}$ ) y tomando todos los valores.
- El laboratorio 6 ha calculado las pérdidas constantes como la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro. Para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación, este laboratorio ha tomado los valores del 100%, 95%, 90%, 75%, 50%, 35% y 25% de tensión. Por su parte, ha calculado el valor de las pérdidas en el hierro a plena carga ( $P_{fe}$ ) tomando todos los puntos de tensión.
- El laboratorio 9 ha calculado las pérdidas constantes bien con la ecuación 12 del apartado 2.1. o bien como la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro, ya que el resultado es el mismo. Para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación ha tomado los valores del 100%, 95%, 90%, 75%, 50%, 35% y 25% de tensión. Para el cálculo de las pérdidas en el hierro, este laboratorio ha tomado los ocho valores de tensión y ha calculado  $P_{fe}' = P_c - P_{fw}$ .
- Los laboratorios 2 y 7 han calculado las pérdidas constantes como la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro. Para las pérdidas de fricción y ventilación, estos laboratorios han tomado los valores del 95%, 90%, 75%, 50% y 35% de la tensión y han calculado las pérdidas en

el hierro a plena carga ( $P_{fe}$ ) y tomando todos los puntos de tensión

- Los laboratorios 3 y 4 han calculado las pérdidas constantes utilizando la ecuación 12 del apartado 2.1. Por su parte, el laboratorio 4, para las pérdidas de fricción y ventilación, ha tomado los valores del 95%, 90%, 75%, 50% y 35% de tensión y ha calculado las pérdidas en el hierro a plena carga ( $P_{fe}$ ) y tomando todos los puntos de tensión. Por otro lado, el laboratorio 3 ha utilizado los valores del 35% y el 25% de tensión para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación y ha calculado las pérdidas en el hierro a plena carga ( $P_{fe}$ ) tomando los valores del 110%, 100%, 95% y 90% de tensión
- El laboratorio 1 ha calculado las pérdidas constantes bien con la ecuación 12 del apartado 2.1. o bien como la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro, ya que el resultado es el mismo. Para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación ha tomado los puntos del 50%, 35% y 25% de tensión y para el cálculo de las pérdidas en el hierro ha calculado  $P_{fe}'$  utilizando la expresión  $P_{fe}' = P_c - P_{fw}$ .
- El laboratorio 10 ha calculado las pérdidas constantes bien con la ecuación 12 del apartado 2.1. o bien como la suma de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro, ya que el resultado es el mismo. Para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación ha tomado el mismo procedimiento que el laboratorio 10, pero para el cálculo de las pérdidas en el hierro ha utilizado la expresión  $P_{fe}' = P_c - P_{fw}$ .
- Por último, dado que los laboratorios 2, 6, 7 y 8 han calculado el valor de las pérdidas en el hierro a plena carga, podemos pensar que estos laboratorios han calculado las pérdidas constantes como la suma de las pérdidas en el hierro y las pérdidas de fricción y ventilación, puesto que si calculan las pérdidas constantes utilizando la ecuación 12 del apartado 2.1. y, posteriormente, se calculan las pérdidas en el hierro a plena carga, el resultado de las pérdidas constantes y la suma de las pérdidas en el hierro y las pérdidas de fricción y ventilación serán distintas, como es el caso de los laboratorios 3 y 4

Por tanto, podemos ver los distintos procedimientos que han llevado a cabo los diez laboratorios, cada uno de ellos utilizando un procedimiento distinto para el cálculo de una misma pérdida.

A su vez, para el análisis de los resultados de la prueba con carga, vamos a tener en cuenta las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro que han calculado los laboratorios, para no arrastrar el error, pudiendo así detectar nuevos fallos. Si no tomamos los resultados de los laboratorios, ya existen discrepancias en las pérdidas en el hierro y las pérdidas de fricción y ventilación, por lo que no vamos a poder ver donde se encuentran los posibles fallos.

### **3.8.5. Pérdidas en el devanado estático**

Las pérdidas en el devanado estático calculadas por los distintos laboratorios son las que se muestran en la Fig. 18.

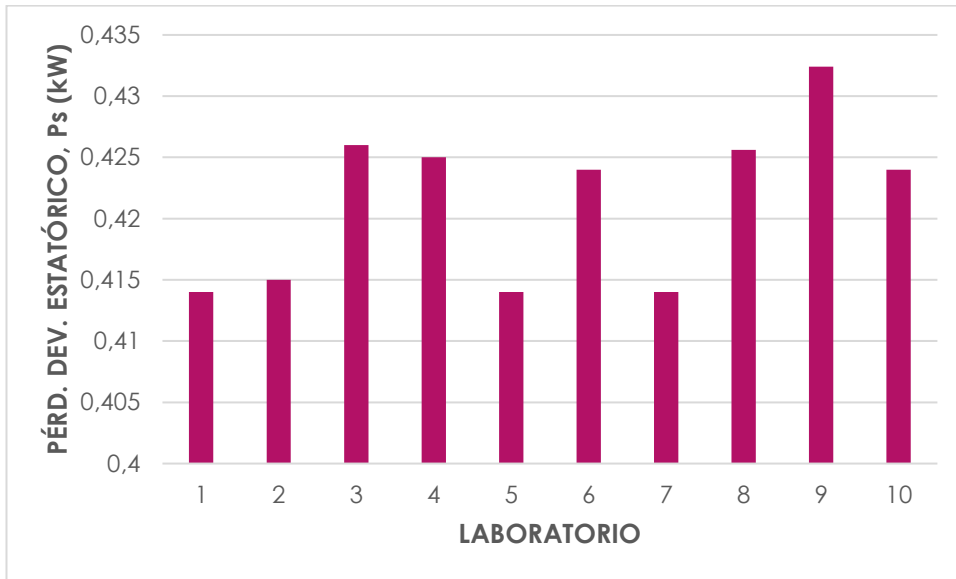


Figura 18. Resultados de pérd. en el dev. estático de los laboratorios

En este caso, puede verse que, los laboratorios 1, 2, 5 y 6 obtienen valores cercanos al 0,414 kW. Estos laboratorios han calculado las pérdidas de fricción y ventilación utilizando la expresión del apartado 2.5, pero utilizando el valor de la resistencia medida después de la prueba de carga, esto es,  $R=0.66 \Omega$ . Tomando este valor de resistencia, obtenemos que  $P_{s,0} = 0.413 \text{ kW}$ .

Por otro lado, podemos ver que los laboratorios 3, 4, 6 y 10 obtienen un valor entorno a 0.424 kW. Este es el resultado correcto y proviene de tomar el valor de la resistencia antes de la prueba de carga, teniendo en cuenta que estamos en el caso de un 100% de carga y que, en la prueba con carga la línea de tendencia se realiza entre el 100% de carga y el valor más bajo.

### 3.8.6. Pérdidas en el devanado rotórico

En la Fig. 19, pueden observarse los resultados obtenidos por los laboratorios para las pérdidas en el devanado rotórico.

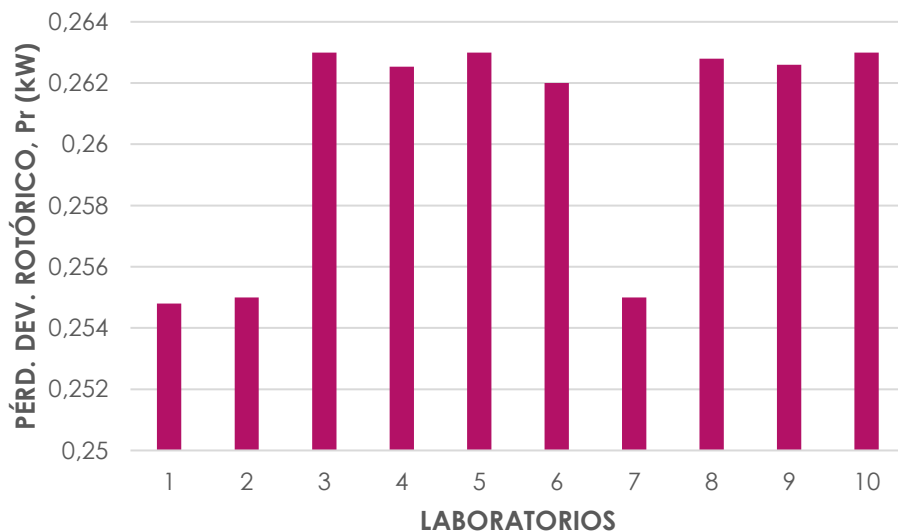


Figura 19. Resultado pérd. en el dev. rotórico de los laboratorios

En este caso podemos observar dos grupos claramente diferenciados. Por un lado, los laboratorios 1, 2 y 7, los cuales obtienen que, aproximadamente,  $P_{r,\theta} = 0.255 \text{ kW}$ . Por otro lado, podemos encontrar los laboratorios 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 10 que obtienen resultados entorno a  $P_{r,\theta} = 0.263 \text{ kW}$

Podemos recordar que  $P_{r,\theta} = (P_1 - P_{s,\theta} - P_{fe}) \times S_\theta$ . Si realizamos un gráfico de columnas comparando el resultado de  $P_{r,\theta}$  que aparece en la tabla con el resultado obtenido en el caso que se utilice la expresión, tenemos que:

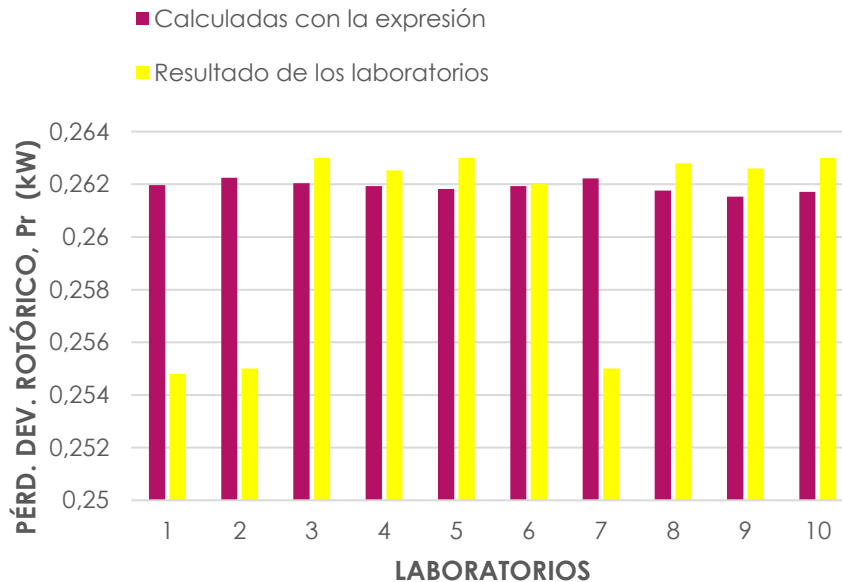


Figura 20. Pérdidas en el devanado rotórico

Podemos ver que, en la mayoría de laboratorios, si se utiliza la ecuación 26 del apartado 2.8., la cual depende de la potencia de entrada, las pérdidas corregidas en el devanado estático, las pérdidas en el hierro a plena carga y el deslizamiento corregido, se obtienen valores muy similares.

Estos valores están próximos a los valores que se muestran en la tabla para los laboratorios 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 10, algo que tiene sentido debido a que la potencia de entrada, las pérdidas corregidas en el devanado estático, las pérdidas en el hierro a plena carga y el deslizamiento corregido son valores calculados anteriormente por los laboratorios. Se pueden encontrar diferencias entre los valores de diezmilésimas, pero esto puede ser debido al redondeo.

Por otro lado, nos encontramos con los laboratorios 1, 2 y 7, cuyos resultados mostrados en la tabla distan, aproximadamente, una décima respecto al valor que se debía haber obtenido. El valor calculado de  $P_r = 0.258 \text{ kW}$ , y es el valor más cercano que hemos encontrado para estos resultados. Por lo tanto, una posible solución a esto es que dichos laboratorios hayan tomado las pérdidas en el devanado rotórico sin corregir.

### 3.8.7. Pérdidas adicionales

A continuación, la Fig. 21, muestra una gráfica de columnas en la que pueden observarse los resultados obtenidos por los distintos laboratorios.

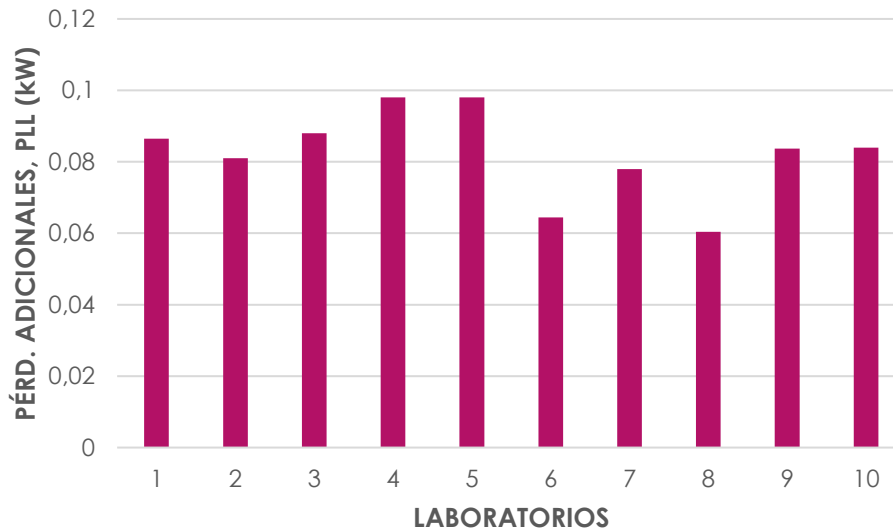


Figura 21. Resultado de pérd. adicionales en los laboratorios

En este caso, podemos distinguir tres grupos. Por un lado, los laboratorios 1, 2, 3, 7, 9 y 10 que obtienen resultados entorno a 0.08 kW. Por otro lado, los laboratorios 4 y 5, que obtienen resultados de 0.098 kW y, por último, los laboratorios 6 y 8 que obtienen resultados entorno a 0.06 kW.

Para el cálculo de las pérdidas adicionales, necesitamos calcular  $P_{lr}$  para cada punto de carga y, en este caso, nos faltan datos acerca de los puntos del 110%, 50%, y del 25% de carga, por lo que no podemos calcular y el valor de  $P_{lr}$  para estos porcentajes de carga. Así, no se puede determinar el valor de A y B, por lo que no podemos calcular el valor de las pérdidas adicionales para dichos puntos de carga.

El valor obtenido para el 100% de carga es  $P_{LL} = 0.0831$  kW, valor aproximado al obtenido por los laboratorios 1, 2, 3, 7, 9 y 10. No obstante, entre estos laboratorios podemos encontrar resultados tales como 0.0865 kW, 0.088 kW ó 0.081. Estos errores se suman al resto de laboratorios, que, como hemos visto, obtienen resultados que se diferencian en las décimas.

Estas diferencias pueden estar en el cálculo de las pérdidas anteriores, ya que, como vimos en la ecuación 33 del apartado 2.9.1., estas pérdidas dependen de la constante A y del par al cuadrado. A su vez, para el cálculo de la constante A, utilizamos los valores de potencias de entrada y salida, pérdidas en el devanado rotórico y estático, pérdidas de fricción y ventilación y pérdidas en el hierro. Todas estas pérdidas ya han sido calculadas con anterioridad, luego que se obtengan resultados distintos puede ser dividido a los diferentes resultados que se han obtenido en las pérdidas anteriores.

### 3.8.8. Pérdidas totales

En la siguiente Fig. 22, se muestran el gráfico de columnas con los resultados obtenidos por los diez laboratorios.

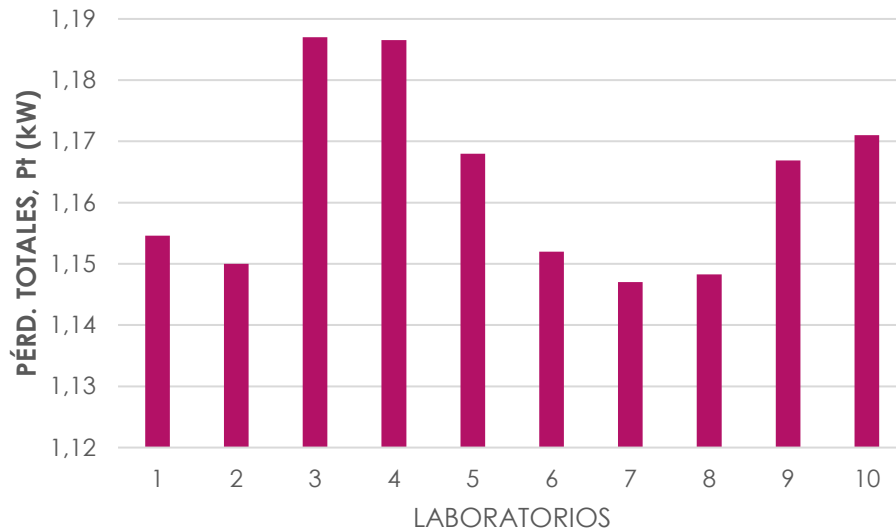


Figura 22. Resultados de pérd. totales de los laboratorios

Las pérdidas totales, como vimos en el apartado 2.10.1. dependen de las pérdidas de fricción y ventilación, las pérdidas en el hierro, las pérdidas en el devanado rotórico y estático corregidas y de las pérdidas residuales. Todo esto son pérdidas ya calculadas, luego vamos a realizar una gráfica de columna en la que vamos a comparar el resultado obtenido por la suma de todas las pérdidas y el resultado mostrado en la tabla para cada laboratorio:

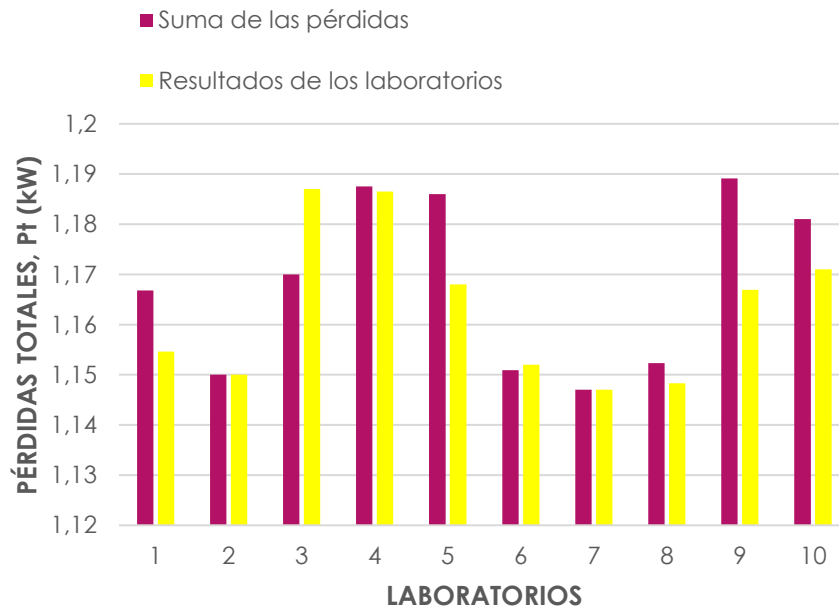


Figura 23. Pérdidas totales

Podemos ver que los laboratorios 2, 4, 6 y 7 obtienen resultados muy similares, por lo que pueden haber realizado el cálculo correctamente, independientemente de los fallos que arrastren de pérdidas anteriores.

Por otro lado, los laboratorios 1, 3, 5, 8, 9 y 10 obtienen diferencias al comparar los valores mostrados en la tabla con los valores obtenidos por la suma de todas las pérdidas. Independientemente de las pérdidas de fricción y ventilación, las pérdidas en el hierro, las pérdidas en los devanados rotórico y estático, las cuales

ya hemos analizado los posibles fallos y hemos arrastrado para el cálculo de las pérdidas totales, las discrepancias pueden estar bien en las pérdidas totales o bien en las pérdidas adicionales. Esto es, si estos laboratorios han tenido un error de cálculo en las pérdidas adicionales, este error lo pueden arrastrar, teniendo consecuencia en las pérdidas totales.

Como hemos dicho en el apartado anterior, no es posible calcular las pérdidas adicionales, ya que no tenemos datos sobre los puntos del 110%, 50%, y del 25% de carga, por lo que no es posible saber si estos laboratorios han tenido un error de cálculo en las pérdidas adicionales o en las pérdidas totales.

### **3.8.9. Rendimiento**

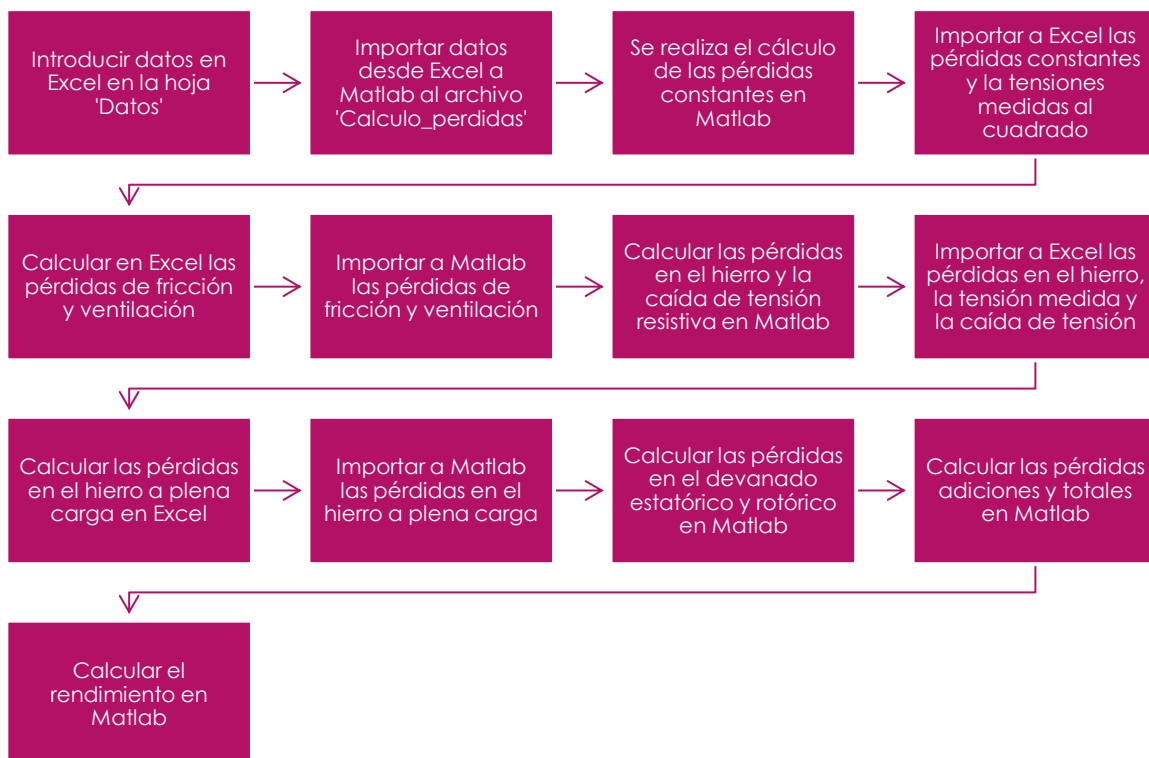
Para el cálculo del rendimiento, estos laboratorios han utilizado la ecuación 36. Como se ha mostrado en la tabla 4, estos laboratorios han obtenido un rendimiento nominal entorno al 90%, lo cual, para este motor de un par de polos y 11 kW, establece una clase de eficiencia IE2, tal y como aparece en las hojas de ensayo del motor.

Dado que se han obtenido los valores de las pérdidas y el rendimiento acumulando un cierto error, este error ha podido llevar a que el motor no entre dentro de la clase de eficiencia que tiene, lo cual no ha ocurrido, como se ha comprobado en el párrafo anterior. Esto es un aspecto a tener en cuenta, ya que puede ser una herramienta que nos permita comprobar si el rendimiento que se ha calculado es válido, es decir, en el caso de haber obtenido un rendimiento por debajo del 89.4%, se podría detectar de que se ha producido algún error, ya sea en el cálculo de las pérdidas o en el cálculo del rendimiento.



# 4 HERRAMIENTA PARA EL CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS Y EL RENDIMIENTO

En este punto trataremos una herramienta que hemos desarrollado para el cálculo de las distintas pérdidas que hemos explicado anteriormente. Para ello, hemos combinado los programas Excel y Matlab, de la siguiente manera.



## 4.1. Introducción de datos en la prueba sin carga

En primer lugar, tendremos que introducir una serie de datos en una hoja de Excel, tales como la resistencia medida antes y después de la prueba sin carga ( $\Omega$ ), la potencia de entrada (kW), el porcentaje de tensión nominal (%), la tensión (V) y la intensidad (A). Todos estos valores los podemos obtener de la Tabla 3.

Tabla 8. Datos de la prueba sin carga

% Voltaje	Potencias de Entrada (kW)	Intensidad (A)	U0 (V)	Resistencias medidas ( $\Omega$ )
110	0,5711	10,08	253	0,66
100	0,4617	7,4	230	-
95	0,4328	6,57	219	-
90	0,4002	5,88	207	-
75	0,3505	4,52	175	-
50	0,2831	2,805	115	-
35	0,2623	2,145	80	-
25	0,2464	2,181	46	0,624

En la tabla 8, se muestran los datos del motor que necesitaremos para calcular las pérdidas constantes, las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro. Todos estos datos lo deberemos introducir en una tabla en una hoja de Excel. En la parte derecha de la tabla, tenemos los puntos de tensión nominal que se tomaron en el ensayo. A continuación, también tenemos que introducir los datos de la potencia de entrada. En la tercera columna tenemos que introducir el valor de la intensidad y, seguido de esta, tenemos que introducir los valores de tensión. Por último, tenemos que introducir los valores de resistencias medidos antes y después de la prueba sin carga de modo que, en la primera fila introducimos el valor de la resistencia medida antes de la prueba sin carga y, en la última fila, introducimos el valor de la resistencia medida después de la prueba sin carga.

## 4.2. Importación de datos sin carga en Matlab

El siguiente paso es la importación de los datos del apartado anterior en Matlab. Para ello, utilizamos la función `xlsread`, la cual lee una tabla de Matlab, de modo que:

```

3      %% PRUEBA SIN CARGA
4      %% Datos de la prueba sin carga
5 -    a=xlsread('Datos', 'Hojal', 'A1:E11');
6 -    v=a ([1:end], 1);
7 -    P0=a ([1:end], 2);
8 -    I=a ([1:end], 3);
9 -    U0=a ([1:end], 4);
10 -   R_medidas=a ([1:end], 5);
11 -   U0_2=U0.^2;
12 -   num=length(v);

```

Figura 24. Datos de la prueba sin carga en Matlab

En la línea cinco realizamos la lectura de la hoja de Excel, de la tabla comprendida entre A1 hasta E11, donde se encuentra la tabla de la figura 30. Desde la línea seis a la línea diez, cargamos en variables los distintos datos, tales como el tensión (V), la potencia de entrada ( $P_0$ ), la intensidad (I), la tensión ( $U_0$ ) y las resistencias medidas antes y después de la prueba sin carga ( $R_{medidas}$ ).

Por otro lado, en la línea once calculamos el cuadrado de la tensión, valor que nos hará falta para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación. Finalmente, en la línea doce, calculamos el número de puntos de tensión que estamos estudiando, valor necesario para cuando realicemos un bucle para calcular la resistencia.

### 4.3. Cálculo de la resistencia en la prueba sin carga

Para calcular la resistencia en la prueba sin carga, como ya hemos dicho, tenemos que realizar una interpolación lineal con los valores de potencia de entrada para los puntos de tensión más alto y más bajo y con los valores de resistencias medidas antes y después de la prueba sin carga, respectivamente.

En este caso, al tratarse de dos puntos, se trata de una recta, por lo que podemos calcular la resistencia utilizando la ecuación de la recta:

```
14 %%Cálculo de la resistencia
15 - for i=1:num
16 -     r(i) = ((P0(i)-P0(end))/(P0(1)-P0(end)))*(R_medidas(1)-R_medidas(end))+R_medidas(end);
17 -     R=r';
18 - end
```

Figura 25. Cálculo de la resistencia para la prueba sin carga

Como podemos ver, hemos realizado un bucle, de forma que en la variable R se genere un vector columna. El bucle se realiza desde i=1 hasta num, siendo num el número de puntos de tensión (num es calculado en el apartado 4.2.). Posteriormente, calculamos un vector r utilizando la ecuación de la recta:

$$\frac{R - R_d}{R_a - R_d} = \frac{P - P_b}{P_a - P_b}$$

donde:

- Rd: es el valor de la resistencia después de la prueba sin carga
- Ra: es el valor de la resistencia antes de la prueba sin carga
- Pb: es el valor de potencia para el tensión más bajo
- Pa: es el valor de potencia para el tensión más alto

Así, despejando R, tenemos que:

$$R = \frac{P - P_b}{P_a - P_b} \times (R_a - R_d) + R_d$$

Esta expresión es la que vemos en el apartado de Matlab y, de esta forma, se calculan los distintos valores de resistencia. Por último, para obtener un vector columna, transponemos el vector anterior de la forma expresada en la línea diecisiete.

### 4.4. Cálculo de las pérdidas constantes

Calculemos ahora los distintos valores de las pérdidas constantes. Para ello, vamos a necesitar, en primer lugar, calcular los valores de Ps, por lo que necesitaremos los valores de intensidad, los cuales introducimos en los datos, y los valores de resistencia calculados anteriormente. Una vez que tenemos los valores de intensidad y resistencia, se calculan los valores de Ps mediante la ecuación 13 del apartado 2.1. Una vez calculados todos los valores de Ps, podemos calcular el valor de las pérdidas constantes restando a las potencias de entrada (valores que introducimos en los datos), estos valores de Ps, tal y como se expresa en la ecuación 12.

```

20 %%Cálculo de las pérdidas constantes
21 - Ps=(1.5.*R.*I.^2)/1000;
22 - Pc=P0-Ps;

```

Figura 26. Valores de las pérdidas estatóricas (Ps) y constantes (Pc)

Al tratarse de vectores, las multiplicaciones y divisiones valor a valor se realiza mediante la utilización del punto, como podemos ver en la imagen anterior.

#### 4.5. Cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación

Para el cálculo de estas pérdidas necesitamos realizar otra interpolación lineal, pero, en este caso, entre cuatro o más puntos, por lo que la recta puede no pasar por estos puntos exactamente. Esta interpolación lineal se deberá realizar entre los cuatro o más puntos de tensión correspondientes entre el 60% y el 30% de tensión y entre los valores correspondientes a dichos valores de tensión de las pérdidas constantes. Todo esto, son datos que ya tenemos. Por un lado, los valores de tensión, los cuales fueron introducidos en la lista de datos, deberán aparecer en el eje horizontal elevados al cuadrado. Por otro lado, en el eje vertical, deberá aparecer los valores correspondientes de pérdidas constantes.

Para calcular estas pérdidas, en este caso, vamos a utilizar una función de Excel llamada INTERSECCIÓN. EJE. Para ello, en primer lugar, vamos a importar a Excel los datos de Matlab, ya que esta función necesitará los valores del eje vertical y horizontal. Y ello lo realizaremos mediante la función `xlswrite`, como se ilustra en la Fig. 34.

```

24 %%Exportar Pc y U0_2 a excel para el cálculo de las pérdidas de fricción y viento
25 - matriz_perd_fricc_viento=[Pc, U0_2];
26 - xlswrite('calculo_perd.xlsx',matriz_perd_fricc_viento,'prueba sin carga','A2');

```

Figura 27. Importación a Excel de  $P_c$  y  $U_0^2$

En la figura 27, en la línea veinticuatro, calculamos una matriz que contenga los datos de  $P_c$  y  $U_0^2$ . Estos datos, en la línea veinticinco, son importados a Excel mediante la función ya nombrada, de manera que creamos un archivo de Excel llamado 'calculo\_perd'. En el interior de este archivo, creamos una hoja llamada 'prueba sin carga' e introducimos la matriz a partir de la celda A2.

	A	B
1	<b>Pc</b>	<b>U0^2</b>
2	0,470509664	64009
3	0,408483905	52900
4	0,391059555	47961
5	0,366954015	42849
6	0,331023442	30625
7	0,275687506	13225
8	0,257981274	6400
9	0,241947672	2116

Figura 28. Pérdidas constantes y tensión al cuadrado en Excel

Ahora sí, una vez que tengamos estos valores en Excel, aplicamos la función INTERSECCION.EJE en la que tendremos que introducir, en primer lugar, los valores correspondientes al eje vertical y, posteriormente, los valores del eje horizontal. De esta manera, la función calcula una interpolación lineal de los puntos que se han introducido y calcula el punto de corte de la recta con el eje vertical.

```
=INTERSECCION.EJE(A6:A9;B6:B9)
```

Figura 29. Función INTERSECCION.EJE

Así, se obtiene lo siguiente:

12	<b>Pérd. fricc. y viento</b>
13	0,23625026

Figura 30. Pérdidas de fricción y ventilación mediante la función INTERSECCION.EJE

Al mismo tiempo que se importan los datos a Excel desde Matlab, se genera una gráfica en la que se realiza la interpolación lineal de los valores de  $P_c$  y  $U_0^2$ :

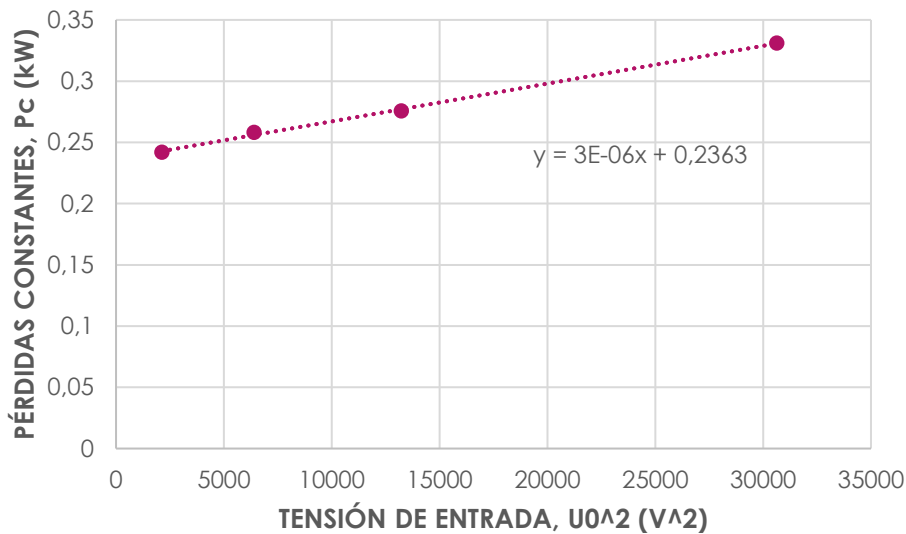


Figura 31. Determinación de las pérdidas de fricción y ventilación.

Una vez calculadas las pérdidas de fricción y ventilación, se importan a Matlab desde Excel, utilizando la función xlsread:

```
28 %%Importación del cálculo de las pérdidas de fricción y viento desde Excel
29 - perd_fricc_viento=xlsread('calculo_perd','prueba sin carga','A13');
```

Figura 32. Importación pérd. de fricc. y ventilación a Matlab

#### 4.6. Cálculo de pérdidas en el hierro

Para calcular estas pérdidas, en primer lugar, calculamos las pérdidas en el hierro utilizando la ecuación 16. De este modo, programaremos en Matlab lo siguiente:

```
31 %%Cálculo de las pérdidas en el hierro
32 - Pfe=Pc-perd_fricc_viento;
```

Figura 33. Cálculo de pérdidas en el hierro

Así, obtenemos un vector que tenemos que importar a Excel, tal y como hicimos con las pérdidas de fricción y ventilación. Por otro lado, para el cálculo de las pérdidas en el hierro a plena carga, tenemos que calcular  $U_i$  y, para ello, vamos a necesitar datos de la prueba de carga, tales como la tensión nominal, la intensidad nominal, la resistencia nominal y el factor de potencia.

Por tanto, tenemos que importar a Matlab, desde Excel, los datos de la prueba de carga. Para ello, como ya

hicimos con la prueba sin carga, utilizaremos la función `xlsread` y, posteriormente, calcularemos el valor de  $U_i$ , teniendo ya los datos necesitados:

```
34 %%Importación de datos desde Excel para el cálculo de Ui
35 - b=xlsread('Datos','Hoja1','A14:N20');
36 - Ui=sqrt((b(3,4)-(sqrt(3)/2)*b(3,3)*b(1,1)*b(3,13))^2+((sqrt(3)/2)*b(3,3)*b(1,1)*b(3,14))^2);
```

Figura 34. Importación de datos a Matlab y cálculo de la caída de tensión resistiva ( $U_i$ )

Podemos ver que, en la línea once, realizamos la importación a Matlab de los datos de carga. Posteriormente, calculamos  $U_i$  utilizando los datos cargados.

Una vez realizado esto, el cálculo de las pérdidas en el hierro a plena carga lo vamos a realizar en Excel mediante las funciones `INTERSECCION.EJE` (la cual ya hemos utilizado para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación) y `PENDIENTE`. Para ello, vamos a tener que exportar a Excel los datos de  $P_{fe}$ ,  $U_i$  y  $U_0$ . Esto lo realizaremos mediante la función `xlswrite`:

```
38 %%Exportación de Ui, Pfe y U0 a Excel para el cálculo de las pérdidas en el hierro a plena carga
39 - xlswrite('calculo_perd.xlsx',Ui, 'prueba sin carga', 'E2')
40 - xlswrite('calculo_perd.xlsx',Pfe, 'prueba sin carga', 'C2')
41 - xlswrite('calculo_perd.xlsx',U0, 'prueba sin carga', 'D2')
```

Figura 35. Exportación a Excel de  $P_{fe}$ ,  $U_i$  y  $U_0$

Como podemos ver, la exportación a Excel la realizamos a la misma hoja que para las pérdidas de fricción y ventilación, con el fin de obtener todo en una misma hoja. Una vez que tengamos esto y, mediante las funciones ya nombradas, calculamos las pérdidas en el hierro a plena carga. Para ello, utilizamos la función `PENDIENTE` (con los cuatro o más valores de  $P_{fe}$  y tensión correspondidos entre el 110% y el 90% de tensión) multiplicada por  $U_i$ . A esto, le sumamos la función `INTERSECCION.EJE` (con los mismos valores que la anterior función). Así, obtenemos las pérdidas en el hierro a plena carga.

$$=PENDIENTE(C2:C5;D2:D5)*E2+INTERSECCION.EJE(C2:C5;D2:D5)$$

Figura 36. Cálculo de pérdidas en el hierro a plena carga

Estas pérdidas también pueden ser calculadas mediante la representación de los valores introducidos en ambas funciones, a los cuales se le calcula la línea de tendencia. Con la ecuación de esta línea y teniendo el valor de  $U_i$ , podemos calcular el valor de las pérdidas en el hierro a plena carga.

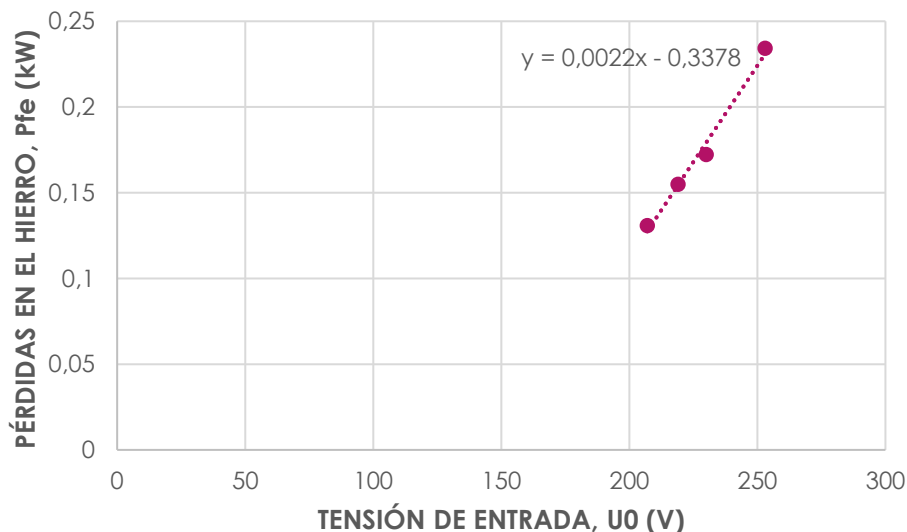


Figura 37. Figura generada para las pérdidas en el hierro

Finalmente, importamos a Matlab el valor de las pérdidas en el hierro a plena carga, el cual será útil para el

cálculo de pérdidas con carga:

```

43 %%Importación de las pérdidas en el hierro a plena carga
44 - Pfe_plena_carga=xlswread('calculo_perd','prueba sin carga','B13');

```

Figura 38. Importación a Matlab de las pérdidas en el hierro a plena carga

Una vez que se haya calculado esto, ya hemos visto todo lo que aparece en la hoja de calculo\_perd, la cual es generada por la función xlswrite de Matlab y donde podemos encontrar lo representado en la figura 39.

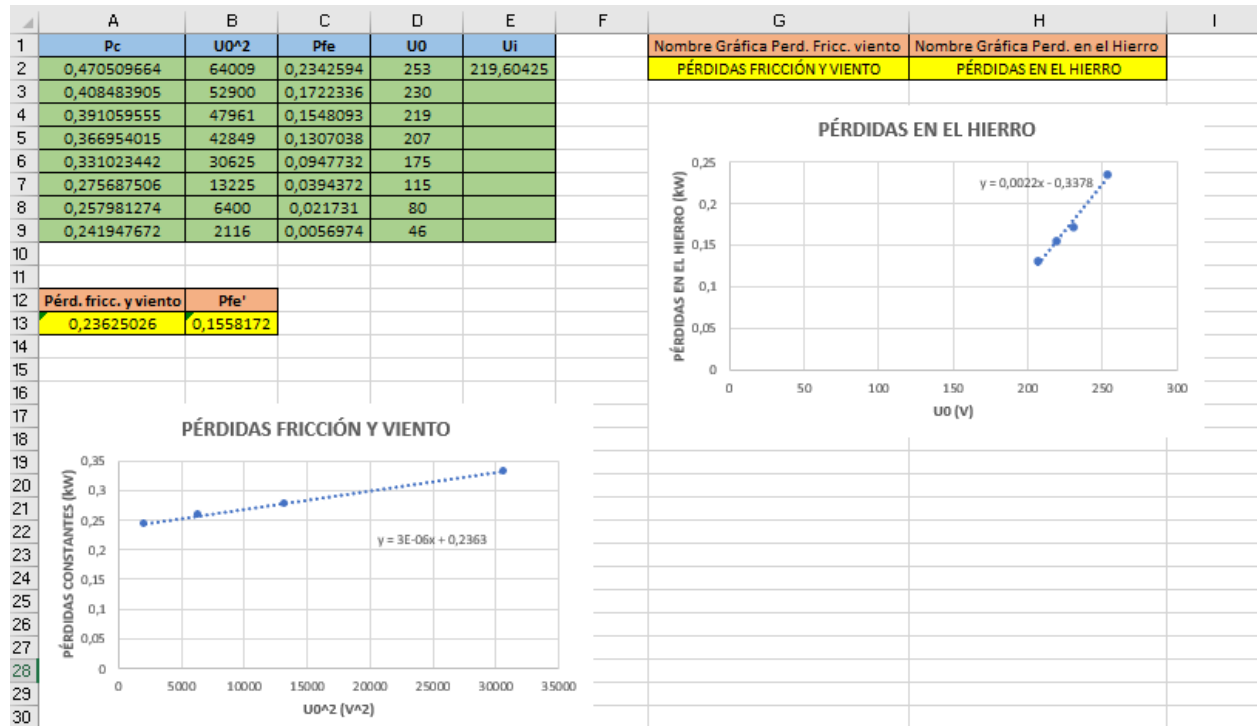


Figura 39. Hoja en Excel generada

En la figura 39, arriba a la izquierda podemos ver datos que son necesarios para calcular las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro a plena carga. Estos datos son importados desde Matlab. En la línea trece, podemos ver el cálculo de ambas pérdidas, las cuales se han calculado con las funciones ya dichas. A la vez, se muestran dos gráficas que corresponden a dichas pérdidas. También aparece un apartado donde podemos poner el nombre a ambas gráficas.

#### 4.7. Introducción de datos en la prueba con carga

Al igual que en el caso anterior, se introducen una serie de datos en la misma hoja de Excel que el apartado 4.1., de manera que estos datos sean exportados a Matlab para realizar los cálculos oportunos. En esta tabla de datos vamos a tener que introducir el tanto por ciento carga, los valores de resistencia medidos antes y después de la prueba ( $\Omega$ ), la intensidad (A), la tensión (V), el valor de  $\theta_w$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) tomado de la tabla que podemos encontrar en la norma, el valor de  $\theta_c$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), las potencias de entrada (kW), los valores de potencia de salida (kW), la velocidad de operación ( $\text{min}^{-1}$ ), la frecuencia (Hz), el número de pares de polos, el par (Nm) y el factor de potencia. Esta tabla la podemos observar en la figura 41.

	Resistencia ( $\Omega$ )	Load (%)	Intensidad (A)	U	$\theta_w$	$\theta_c$	P1 (kW)	P2 (kW)	n (1/min)	f (Hz)	p	T (Nm)	cos $\Psi$	sen $\Psi$
14	0,678	120	23,92	230	115	19,6	14,824	13,2	2918,8	50	1	43,109	0,9	0,435889894
16	-	110	22,09	230			13,593	12,1	2926,8			39,517	0,89	0,455960525
17	-	100	20,26	230			12,333	11	2934,1			35,821	0,88	0,474973683
18	-	75	15,97	230			9,281	8,25	2951,7			26,73	0,84	0,542586399
19	-	50	12,12	230			6,314	5,5	2968,3			17,714	0,75	0,661437828
20	0,66	25	9,04	230			3,437	2,75	2983,6			8,829	0,55	0,835164654

Figura 40. Datos de la prueba con carga

Todos estos datos ya han sido importados a Matlab (para el cálculo de la caída de tensión resistiva (U)). Lo único a realizar ahora es vertir esta matriz de datos en vectores independientes:

```

46 %% PRUEBA CON CARGA
47 %%Datos de la prueba con carga
48 - R_medidas_carga=b([1:end],1);
49 - load=b([1:end],2);
50 - I_carga=b([1:end],3);
51 - U_carga=b([1:end],4);
52 - omega_w=b(1,5);
53 - omega_c=b(1,6);
54 - P1=b([1:end],7);
55 - n=b([1:end],9);
56 - f=b(1,10);
57 - p=b(1,11);
58 - T=b([1:end],12);
59 - cos_fi=b([1:end],13);
60 - sen_fi=b([1:end],14);
61 - numc=length(load);

```

Figura 41. Datos de la prueba con carga en Matlab

De esta manera, obtenemos en vectores independientes los distintos datos de la prueba con carga, facilitándonos el manejo de todos estos datos. Así mismo, en la línea sesenta y uno, se calculan el número de puntos con los que se ha trabajado a distinta carga, el cual será necesario para la determinación de la resistencia y de las constantes A y B, tal y como se muestra en las ecuaciones 31 y 32.

#### 4.8. Cálculo de la resistencia en la prueba con carga

Para el cálculo de la resistencia seguiremos un procedimiento parecido al seguido para la prueba sin carga, pero en este caso, utilizando los valores de tensión y de resistencias medidas antes y después de la prueba.

```

63 %%Cálculo de resistencia
64 - for i=1:numc
65 -     if load(i)>100
66 -         r_carga(i)=R_medidas_carga(1);
67 -     elseif load(i)<=100
68 -         r_carga(i)=((load(i)-load(end))/(100-load(end)))*(R_medidas_carga(1)-R_medidas_carga(end))+ R_medidas_carga(end);
69 -     end
70 -     R_carga=r_carga';
71 - end

```

Figura 42. Cálculo de la resistencia en la prueba con carga

En la figura 42, podemos ver que hemos realizado un bucle desde  $i=1$  hasta  $numc$ , valor que contiene en número de puntos con el que se ha trabajado a distinta carga. Cabe recordar que, para valores de carga superiores a 100%, éstos tomaban el valor de la resistencia medida antes de la prueba. Esto lo podemos ver en la siguiente línea, en la que utilizamos un if, de manera que en los valores que presenten una carga superior al 100% se guarde el valor de la resistencia antes de la prueba con carga. Seguido de esto, si los valores de carga son iguales o inferiores a 100%, se realiza una interpolación lineal, al igual que hicimos para la prueba sin carga. Por último, cambiamos el vector fila a vector columna, de manera que en el vector  $R\_carga$  tenemos las



distintas resistencias para los distintos valores de carga.

## 4.9. Cálculo de las pérdidas en el devanado estático

En este caso, basta con aplicar la ecuación 21 del apartado 2.5.

```
73 %%Cálculo de las pérdidas en el devanado estático
74 - Ps_carga=(1.5.*I_carga.^2.*R_carga)/1000;
```

Figura 43. Cálculo de las pérdidas en el devanado estático

Donde  $I_{carga}$  es un vector con los valores de la intensidad y  $R_{carga}$  es el vector de resistencia calculado anteriormente. Como ya hemos dicho, para realizar las operaciones valor a valor se coloca el punto.

Ahora bien, para el cálculo de las pérdidas en el devanado estático corregidas es necesario, en primer lugar, calcular un factor de corrección, utilizando la ecuación 23 del apartado 2.6.

```
76 %%Cálculo del factor de corrección para la resistencia
77 - k_omega=((235+omega_w+25-omega_c)/(235+omega_w));
```

Figura 44. Cálculo del factor de corrección

Los valores de  $\omega_w$  y  $\omega_c$ , son valores que han sido importados desde la hoja Datos de Excel, tal y como podemos ver en la figura 41. Por último, para calcular las pérdidas estáticas basta con multiplicar las pérdidas en el estátor por dicho factor de corrección, tal y como se expresa en la ecuación 22.

```
79 %%Cálculo de las pérdidas en el devanado estático corregidas
80 - Ps_omega=Ps_carga.*k_omega;
```

Figura 45. Cálculo de las pérdidas en el devanado estático corregidas

## 4.10. Cálculo de las pérdidas en el devanado rotórico

Para el cálculo de estas pérdidas, en primer lugar, vamos a tener que realizar el cálculo del deslizamiento, para lo que necesitaremos los valores de número de pares de polos, frecuencia (Hz) y velocidad de operación ( $s^{-1}$ ). Todo esto, son datos que ya hemos importados a Matlab desde la hoja Datos de Excel, tal y como podemos ver en la figura 41. El único inconveniente es que la velocidad de operación la hemos importado en  $min^{-1}$  y, para el cálculo del deslizamiento, necesitamos la velocidad de operación en  $s^{-1}$ . Para ello, basta con dividir la velocidad de operación en  $min^{-1}$  entre sesenta, de manera que la obtengamos en  $s^{-1}$ :

```
82 %%Cálculo del deslizamiento sin corregir y corregido
83 - n_segundos=n./60;
84 - s=1-(p*n_segundos)/f;
85 - s_omega=s.*k_omega;
```

Figura 46. Cálculo del deslizamiento sin corregir y corregido

En la figura 47, podemos ver en la línea 84, el cálculo del deslizamiento, mediante la ecuación 25 del apartado 2.8. En la siguiente línea, calculamos también el deslizamiento corregido, el cual se consigue multiplicando el deslizamiento por el factor de corrección.

Una vez calculado el deslizamiento y, con los datos ya calculados, podemos obtener las pérdidas en el devanado rotórico utilizando la ecuación 26. Para ello, necesitaremos la potencia de entrada  $P_1$ , (la cual importamos desde Excel) y las pérdidas en el devanado estático y en el hierro a plena carga (valores que ya han sido calculados). Así, tenemos lo obtenido en la figura 47.

```

87 %%Cálculo de las pérdidas en el devanado rotórico sin corregir y corregidas
88 - Pr=(P1-Ps_carga-Pfe_plena_carga).*s;
89 - Pr_omega=(P1-Ps_omega-Pfe_plena_carga).*s_omega;

```

Figura 47. Cálculo de las pérdidas en el devanado rotórico sin corregir y corregidas

## 4.11. Cálculo de las pérdidas adicionales

### 4.11.1. Cálculo de las pérdidas residuales

Para calcular las pérdidas residuales vamos a necesitar la potencia de entrada (kW), la potencia de salida (kW), las pérdidas en el devanado estático y rotórico sin corregir (kW), las pérdidas en el hierro (kW) y las pérdidas de fricción y ventilación (kW). Para el cálculo de la potencia de salida y las pérdidas de fricción y ventilación tenemos que utilizar las ecuaciones 27, 28 y 29 que se han detallado en el apartado 2.9.1.

```

91 %%Cálculo de las pérdidas adicionales
92 - Pfw_perd_adicionales=perd_fricc_viento.*(1-s).^2.5;
93 - P2=(2*pi.*T.*n_segundos)./1000;
94 - Plr=P1-P2-Ps_carga-Pr-Pfe_plena_carga-Pfw_perd_adicionales;

```

Figura 48. Cálculo de  $P_{fw}$ ,  $P_2$  y  $P_{lr}$

A continuación, vamos a calcular las constantes A y B de las ecuaciones 31 y 32, respectivamente. Para ello, tenemos que calcular los distintos términos que presentan la ecuación, es decir, vamos a calcular:

- $\sum(P_{lr} \times T^2)$
- $\sum P_{lr}$
- $\sum T^2$
- $i$
- $\sum(T^2)^2$
- $\sum T^2)^2$

Para calcular estos términos necesitaremos el valor de  $P_{lr}$  calculado anteriormente y el valor del par del motor, el cual hemos introducido en los datos, como podemos ver en la tabla 8. El valor de  $i$  lo podemos sacar de la variable numc, la cual contiene el valor de los números de puntos que trabajan a distinta carga. También necesitaremos el valor del par, el cual hemos introducido en los datos, tal y como podemos ver en la tabla 8. Con esto, podremos calcular las constantes A y B, tal y como se muestra en la figura 49.

```

96 %%Cálculo de las constantes A y B
97 - A=(numc*sum(Plr.*T.^2)-sum(Plr)*sum(T.^2))/(numc*sum(T.^4)-(sum(T.^2))^2);
98 - B=(sum(Plr)/numc)-A*(sum(T.^2)/numc);

```

Figura 49. Cálculo de A y B

Una vez calculado el valor de A, podemos calcular el valor de las pérdidas residuales para cada punto de carga utilizando la ecuación 33 detallada en el apartado 2.9.1., teniendo así:

```

100 %%Cálculo de las pérdidas residuales para cada punto de carga
101 - PLL=A.*T.^2;

```

Figura 50. Cálculo de pérdidas residuales para cada punto de carga

## 4.12. Cálculo del rendimiento o la eficiencia

### 4.12.1. Pérdidas totales

Para calcular estas pérdidas vamos a necesitar el valor de las pérdidas en el hierro, las pérdidas de fricción y ventilación, las pérdidas en el devanado estático y rotórico corregidas y las pérdidas residuales para cada punto de carga. Teniendo en cuenta que todos estos datos ya han sido calculados, bastará con escribir las ecuaciones 34 y 35, detalladas en el punto 2.10.1. Así, tenemos lo siguiente:

```
103 %%Cálculo de las pérdidas totales
104 - Pfw_perd_totales=perd_fricc_viento.*(1-s_omega).^2.5;
105 - PT=Pfe_plena_carga+Pfw_perd_totales+Ps_omega+Pr_omega+PLL;
```

Figura 51. Cálculo de pérdidas totales

### 4.12.2. Cálculo del rendimiento o la eficiencia

Por último, para calcular la eficiencia vamos a necesitar la potencia de entrada multiplicada por el factor de corrección, valores que ya tenemos, y también vamos a necesitar las pérdidas totales, las cuales hemos calculado en el apartado anterior. Así, utilizando la ecuación 36 detallada en el apartado 2.10.2., se obtiene:

```
107 %%Cálculo del rendimiento
108 - P1_omega=P1.*k_omega;
109 - eficiencia=((P1_omega-PT)./P1_omega)*100
```

Figura 52. Cálculo de la eficiencia



# 5 ESTUDIO DE MOTORES AUXILIARES

---

A continuación, vamos a aplicar el procedimiento seguido anteriormente en el apartado 4, para el cálculo de pérdidas en dos motores, trabajando uno de ellos a una frecuencia de 60 Hz. Para ello, al igual que en el caso anterior, en primer lugar, se crea una hoja Excel con los datos necesarios tanto del ensayo sin carga como del ensayo con carga. Podemos usar como guía la hoja de datos anterior, teniendo solo que sustituir los datos para cada motor.

Posteriormente, se creará un archivo de Matlab para el cálculo de las pérdidas, creando también otra hoja de Excel que nos mostrará los valores de las pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro a plena carga. Al igual que en el caso anterior, podemos usar como guía los archivos ya creados anteriormente.

## 5.1. Motor 1

Como ya hemos dicho, vamos a realizar un estudio de dos motores, trabajando uno de ellos a una frecuencia de 60 Hz. Sin embargo, en primer lugar, vamos a empezar por el motor que trabaja a una frecuencia de 50 Hz. De este motor, teniendo sus hojas de ensayo, tenemos que los datos son los siguientes.

Las características de este motor son las siguientes:

- Potencia nominal: 45 kW
- Clase de eficiencia IE3
- Frecuencia: 50 Hz
- Velocidad nominal: 1482 min<sup>-1</sup>
- Velocidad nominal: 24.7 s<sup>-1</sup>
- Tensión nominal: 400.0 V
- Corriente: 80.2 A
- Factor de potencia: 0.85
- Tipo de aislamiento: F

### 5.1.1. Medida de la resistencia del devanado estático antes de la prueba con carga

- Resistencia  $U_1 - V_1$ : 81.73 mΩ

### 5.1.2. Medida de la temperatura en la prueba de carga nominal

- Temperatura ambiente: 23.5°C

### 5.1.3. Prueba de carga con medición del par

Tabla 9. Datos de la prueba con carga para el motor 1

Carga (%)	Potencia de salida (kW)	Par (Nm)	Velocidad ( $\text{min}^{-1}$ )	Tensión (L-N) (V)	Intensidad (A)	Potencia de entrada (kW)	Factor de potencia (pu)
150	67.1	435.9	1470.7	400	118.8	71.5	0.87
125	56.5	365.4	1476.3	400	99.8	59.8	0.86
100	43.9	282.6	1482.3	400	78.4	46.0	0.85
75	33.9	217.5	1487.0	400	63.03	35.4	0.81
50	22.3	142.4	1491.8	400	46.87	23.3	0.72
25	11.4	72.7	1496.0	400	34.97	12.2	0.5

#### 5.1.4. Medida de la resistencia del devanado estático después de la prueba con carga

- Resistencia  $U_1 - V_1$ : 82.50 m $\Omega$

#### 5.1.5. Medida de la resistencia del devanado estático antes de la prueba sin carga

- Resistencia  $U_1 - V_1$ : 81.34 m $\Omega$

#### 5.1.6. Prueba sin carga

Tabla 10. Datos de la prueba sin carga para el motor 1

Tensión nominal (%)	Medida de la tensión (V)	Intensidad (A)	Potencia de entrada (kW)
125	497.9	52.6	1.4
110	438.2	34.8	0.8
100	399.3	28.6	0.6
90	358.7	24.2	0.5
80	318.8	20.6	0.4
70	278.4	17.7	0.4
60	237.9	14.9	0.3
50	197.9	12.3	0.3

40	158.4	10.0	0.2
30	117.5	7.1	0.2
20	76.2	4.8	0.2
15	59.5	3.9	0.1

### 5.1.7. Medida de la resistencia del devanado estático después de la prueba sin carga

- Resistencia  $U_1 - V_1$ : 81.02 m $\Omega$

### 5.1.8. Resultados obtenidos

Como ya hemos dicho, vamos a realizar un estudio similar al que hicimos en el apartado 4. Para ello, en primer lugar, crearemos una hoja Excel en la que introduciremos los datos que se han descrito en los apartados anteriores. Para ello, utilizaremos como guía la hoja Datos que utilizamos en el apartado 4, teniendo solo que cambiar los datos del motor.

En el caso de la prueba sin carga, para este motor, se toman un total de doce puntos (en el motor del sondeo se tomaron un total de ocho puntos) Por tanto, lo único que debemos realizar es añadir dichos puntos juntos con sus datos. Respecto a los datos de la prueba con carga, se toman el mismo número de puntos que en el motor del sondeo, por lo que solo es necesario cambiar los datos.

Por tanto, se puede comprobar que la hoja Datos creada es válida para cualquier motor, ya que solo tendríamos que cambiar el número de puntos tomados y los datos.

A continuación, creamos un archivo de Matlab en el que escribimos el código necesario para el cálculo de las pérdidas. Para ello, vamos a utilizar el archivo de Matlab creado en el apartado 4, teniendo que cambiar tres aspectos. Uno de ellos consiste en la lectura de los datos. En el motor del sondeo, para la prueba sin carga, teníamos un total de ocho puntos, mientras que en este motor tenemos un total de doce puntos, como ya hemos dicho. Ello implicará que, a la hora de leer los datos en Matlab mediante la función xlsread, le tendremos que dar el rango de celdas en el que se encuentren los datos de este motor, que será distinto al del motor del sondeo.

	A	B	C	D	E
1	% Voltaje	Potencias de Entrada (kW)	Intensidad (A)	U0 (V)	Resistencias medidas ( $\Omega$ )
2	125	1,4	52,6	497,9	81,34
3	110	0,8	34,8	438,2	
4	100	0,6	28,6	399,3	
5	90	0,5	24,2	358,7	
6	80	0,4	20,6	318,8	
7	70	0,4	17,7	278,4	
8	60	0,3	14,9	237,9	
9	50	0,3	12,3	197,9	
10	40	0,2	10	158,4	
11	30	0,2	7,1	117,5	
12	20	0,2	4,8	76,2	
13	15	0,1	3,9	59,5	81,02

Figura 53. Datos en Excel de la prueba sin carga del motor 1

```

3      %% PRUEBA SIN CARGA
4      %% Datos de la prueba sin carga
5      a=xlsread('Datos','Hojal','A2:E13');
6      v=a([1:end],1);
7      P0=a([1:end],2);
8      I=a([1:end],3);
9      U0=a([1:end],4);
10     R_medidas=(a([1:end],5))/1000;
11     U0_2=U0.^2;
12     num=length(v);
13

```

Figura 54. Datos en Matlab de la prueba sin carga del motor 1

En la figura 54, podemos ver los datos de este motor mostrados en Excel. En la figura 55, se muestra en azul lo que hemos cambiado respecto al motor del sondeo, debido al número de puntos que se han tomado para este motor.

Como ya hicimos para el motor del sondeo, una vez se tengan los datos en vectores, calcularemos la resistencia y las pérdidas constantes ( $P_c$ ). A continuación, exportamos las pérdidas constantes y  $U_0^2$  a la hoja de Excel, tal y como hacíamos para el motor anterior y calculamos las pérdidas de fricción y ventilación. Éstas, las importamos en Matlab, teniendo que realizar otro cambio respecto al motor del sondeo, ya que las pérdidas de fricción y ventilación se encuentran en otra celda. Para ello, cambiaremos el número de celda.

16	Pérd. fricc. viento
17	0,140436334

Figura 55. Pérdidas de fricción y ventilación para el motor 1 en Excel

```

28     %% Importación del cálculo de las pérdidas de fricción y viento desde Excel
29     perd_fricc_viento=xlsread('calculo_perdidas','prueba sin carga','A17');

```

Figura 56. Pérdidas de fricción y ventilación para el motor 1 en Matlab

En la figura 56, podemos ver que el cálculo se realiza en la celda A17, que es lo que habrá que cambiar respecto al archivo del motor del sondeo, lo cual se muestra en la figura 57.



Se calculan las pérdidas en el hierro y las pérdidas en el hierro a plena carga para terminar las pérdidas sin carga. Por último, se importan a Matlab los datos de la prueba con carga, tal y como se hizo para el motor del sondeo, y se calculan el resto de pérdidas a estudiar.

Por último, dado que tenemos los valores de resistencia en mΩ, tenemos que realizar una modificación en el código de Matlab:

```
10 - R_medidas=(a([1:end],5))/1000;
```

Figura 57. Datos de la resistencia en Matlab del motor 1 para la prueba sin carga

```
46 %% PRUEBA CON CARGA
47 %%Datos de la prueba con carga
48 - R_medidas_carga=(b([1:end],1))/1000;
```

Figura 58. Datos de la resistencia en Matlab del motor 1 para la prueba con carga

Podemos ver que, en este caso, tanto los vectores de resistencia para la prueba sin carga como de resistencia para la prueba con carga aparecen divididos entre 1000, de modo que pasemos las unidades de mΩ a Ω.

Los resultados obtenidos para las pérdidas sin carga se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Resultados de las pérdidas sin carga para el motor 1

	125	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	15
Pérd. Constantes (kW)	1.06	0.65	0.5	0.43	0.35	0.36	0.27	0.28	0.19	0.19	0.20	0.1
Pérd. Fricc. y Ventilación (kW)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Pérd. en el hierro $P_{fe}'$ (kW)	0.92	0.51	0.36	0.29	0.21	0.22	0.13	0.14	0.05	0.05	0.06	0
Pérd. en el hierro $P_{fe}$ (kW)	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46

A continuación, mostramos una tabla con los resultados de la prueba con carga:

Tabla 12. Resultados de las pérdidas con carga para el motor 1

	150	125	100	75	50	25
Pérd. corr. en el dev. estático (kW)	1.7377	1.2263	0.7567	0.4907	0.2722	0.1520
Pérd. corr. en el dev. rotórico (kW)	1.3595	0.9221	0.5307	0.2998	0.1239	0.031
Pérd. Adicionales (kW)	0.7320	0.5144	0.3077	0.1822	0.0781	0.0204
Pérd. totales corr. (kW)	4.4229	3.2578	2.1915	1.5702	1.0728	0.8029

Por último, mostramos una tabla con los resultados del rendimiento obtenido:

Tabla 13. Resultados de la eficiencia para el motor 1

	150	125	100	75	50	25
$\eta$ (%)	93.84	94.58	95.26	95.58	95.42	93.45

Al igual que se realizó en el apartado 3.8.9., se puede comprobar que este motor pertenece a una clase de eficiencia IE3, tal y como muestra sus hojas de ensayo (las cuales se han incluido en el anexo 1), ya que, para un motor de 4 polos y una potencia nominal de 45 kW, la eficiencia mínima para pertenecer a la clase IE3 es 94.3% y, como se puede ver en la tabla 13, este motor presenta un rendimiento para una potencia nominal de 95.26%.

## 5.2. Motor 2

Vamos ahora a realizar el estudio de otro motor, trabajando éste a una frecuencia de 60 Hz. Como ocurría para el motor anterior, tenemos los ensayos sin carga y con carga de este motor, de donde podemos sacar los siguientes datos.

Las características de este motor son las siguientes:

- Potencia nominal: 45 kW
- Clase de eficiencia IE3
- Frecuencia: 60 Hz
- Velocidad nominal: 1785 min<sup>-1</sup>
- Velocidad nominal: 29.75 s<sup>-1</sup>

- Tensión nominal: 460.0 V (conexión triángulo)
- Corriente: 70.5 A
- Factor de potencia: 0.84
- Tipo de aislamiento: F

### 5.2.1. Medida de la resistencia del devanado estático antes de la prueba con carga

- Resistencia  $U_1 - V_1$ : 80.16 mΩ

### 5.2.2. Medida de la temperatura en la prueba de carga nominal

- Temperatura ambiente: 24°C

### 5.2.3. Prueba de carga con medición del par

Tabla 14. Datos de la prueba con carga para el motor 2

Carga (%)	Potencia de salida (kW)	Par (Nm)	Velocidad (min <sup>-1</sup> )	Tensión (L-N) (V)	Corriente (A)	Potencia de entrada (kW)	Factor de potencia (pu)
150	67.3	361.8	1775.7	460	102.45	70.7	0,87
125	56.5	303.1	1780.2	460	86.5	59.1	0,86
100	45.1	241.5	1784.7	460	70.5	47.0	0,84
75	33.9	180.7	1789.1	460	55.6	35.2	0,79
50	22.7	120.9	1793.0	460	42.7	23.6	0,69
25	10.8	57.5	1797.0	460	32.0	11.7	0,46

### 5.2.4. Medida de la resistencia del devanado estático después de la prueba con carga

- Resistencia  $U_1 - V_1$ : 80.08 mΩ

### 5.2.5. Medida de la resistencia del devanado estático antes de la prueba sin carga

- Resistencia  $U_1 - V_1$ : 79.21 mΩ

### 5.2.6. Prueba sin carga

Tabla 15. Datos de la prueba sin carga para el motor 2

Tensión nominal (%)	Medida de tensión (V)	Corriente (A)	Potencia de entrada (kW)
125	571.9	44.2	1.5



(kW)		0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
------	--	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

A continuación, se muestra una tabla para los valores obtenidos para la prueba con carga:

Tabla 17. Resultados de las pérdidas con carga para el motor 2

	150	125	100	75	50	25
Pérd. corr. en el dev. estático (kW)	1.2656	0.9022	0.5993	0.3726	0.2197	0.1234
Pérd. corr. en el dev. rotórico (kW)	0.9322	0.6356	0.3905	0.2080	3.9000	0.0184
Pérd. Adicionales (kW)	0.5759	0.4042	0.2566	0.1437	0.0643	0.0145
Pérd. totales corr. (kW)	3.5497	2.7182	2.0250	1.5040	4.8906	0.9382

Por último, mostramos una tabla con los valores de la eficiencia de este motor:

Tabla 18. Resultados de la eficiencia para el motor 2

	150	125	100	75	50	25
$\eta$ (%)	95.00	95.41	95.70	95.74	79.34	92.00

Al igual que para el motor del sondeo y el motor 1, comprobamos que este motor pertenece a la clase de eficiencia IE3, tal y como se muestra en sus hojas de ensayo. Para ello, para un motor de 45 kW y un par de polos, el rendimiento mínimo obtenido a potencia nominal deberá de ser de 94%. En la tabla 18, se puede observar que el rendimiento nominal para este motor es de 95.7% y, por tanto, es un motor perteneciente a la clase de eficiencia

Con el estudio de estos dos motores, podemos comprobar que los archivos de Excel y Matlab creados son válidos para el estudio de las pérdidas de los motores trifásicos de inducción. Lo único que tendremos que variar será el archivo Datos de Excel, introduciendo los datos que tomemos de los ensayos.



# 6 CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

---

## 9.1. Conclusiones

En este documento hemos tratado la determinación de las pérdidas para un motor trifásico de inducción basándonos en la Norma IEC 60034-2-1. Dado los diferentes valores obtenidos para las distintas pérdidas, se han estudiado los diferentes procedimientos que se han podido llevar a cabo para la determinación de éstas. Estos distintos procedimientos ponen de manifiesto una posible confusión a la hora de interpretar dicha norma.

Por otro lado, se ha desarrollado una herramienta para el cálculo de las pérdidas basándose en dicha norma, por lo que esta herramienta puede servir como base para el cálculo de las pérdidas en un motor trifásico de inducción.

## 9.2. Futuras líneas de trabajo

Como anteriormente hemos dicho, en este documento se ha mostrado una posible confusión a la hora de interpretar la norma. Por ello, podemos proponer como futuro trabajo una ampliación o modificación de dicha norma, de modo que permita una fácil interpretación a todos los lectores. Esta ampliación o modificación podría incluir un ejemplo, de modo que sirva como base para el cálculo de las pérdidas en un motor trifásico de inducción.

- En esta mejora o modificación, un aspecto a tratar podría ser la determinación de la resistencia, ya que como se ha podido comprobar en este documento, un posible error que ha podido llevar a los laboratorios a obtener distintos resultados es la determinación de ésta.
- Especificar más concretamente las pérdidas en el hierro que se deben calcular para la prueba sin carga y para la prueba con carga, ya que ha podido llevar a confusión el tomar las pérdidas en el hierro a plena carga solo para las pérdidas con carga, despreciándose así el factor de potencia para las pérdidas sin carga.
- Indicar con más precisión la temperatura  $\theta_c$  que se debe tomar, ya que este motivo ha podido llevar a errores en el cálculo del factor de corrección para la prueba con carga. Se debe tomar la temperatura ambiente de la prueba con carga.





# REFERENCIAS

---


- [1] Andrew Baghurst, «Towards a standard algorithm for the calculation of induction motor efficiency based on International Standard IEC 60034-2-1».
- [2] <https://erenovable.com/como-funciona-un-motor-electrico/>
- [3] Pérez Romero, Diego J., Burgos Payán, Manuel, Roldán Fernández, Juan Manuel, «Ahorro energético en accionamientos eléctricos» Proyecto Fin de Carrera, España, 2015.
- [4] Roldán Viloria, José Roldán, «Motores trifásicos: características, cálculos y aplicaciones», España, 2010.
- [5] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4943/fichero/2-M%C3%A1quinas+as%C3%ADncronas+o+de+inducci%C3%B3n.pdf>
- [6] G. Kaan ESEN, E. Özdemir, «A case Study of Determining Energy Efficiency in Squirrel Cage Induction Motor According TO IEC 60034-2-1:2014 Standard», International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Madrid, 4<sup>th</sup> to 6<sup>th</sup> May, 2016, and Renewable Energy and Power Quality Journal, ISSN 2172-038 X, No. 14 May 2016.
- [7] <http://www.quieroapuntes.com/generador-de-corriente-continua.html>
- [8] Andreas Krings, Shafigh Nategh, Alexander Stening, Henrik Grop, Oskar Wallmark, Juliette Soulard, «Measurement and Modeling of Iron Losses in Electrical Machines», Laboratory of Electric Energy Conversion (E2C), Royal Institute of Technology (KTH) Teknikringen 33, Stockholm, Sweden.
- [9] <https://automatismoidustrial.com/motores/motores-sincronos/>
- [10] «Sistemas Automáticos de Producción Alimentaria», Departamento de Sap, 2011.
- [11] [http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion\\_motores\\_ca.pdf](http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion_motores_ca.pdf)
- [12] Cembranos Nistal Florencio Jesús, «Motores Síncronos» revista digital de Acta, 2014.
- [13] [http://myelectronic.mipropia.com/CICLO\\_2/M08\\_01\\_MOTORES\\_SINCRONOS.PDF?i=1](http://myelectronic.mipropia.com/CICLO_2/M08_01_MOTORES_SINCRONOS.PDF?i=1)
- [14] Roldán Viloria, José Roldán, «Arranque y protección de motores trifásicos», 2005.
- [15] Bueche, Frederick J., Hecht Eugene; traductor, Hernán Pérez Castellanos José; revisor técnico, García Hernández Ana Elizabeth, «Física general», 10ª edición, 2010.
- [16] Ion Boldea, Syed A. Nasar, «The induction machine handbook», 2002.
- [17] Henríquez Guzmán, Ricardo Alberto, Olano Centeno, Chistian José, Salguero Rivas Julio Enrique, «Motores Trifásicos de inducción, evaluación y control de pérdidas con aplicaciones capacitores», Trabajo Fin de Carrera, Universidad de El Salvador, 2015.

- 
- [18] Villaverde, Francisco , «Motores de corriente continua», 2º ed.
- [19] Ciro Quispe, Enrique, «Motores Eléctricos de alta eficiencia», Revista energía y computación. Vol 12, No 1, 2004.
- [20] Tirado Pérez, Sergio Rafael, «Motores eléctricos de C.A.».
- [21] Peragallo Torreira, Raúl, «Manual Básico de Motores Eléctricos», España, 1990.
- [22] Raymond A. Serway, Emeritus, James Madison University; John W. Jewett, Emeritus, California State Polytechnic University, Pomona; traducción, María del Carmen Rodríguez Pedroza; revisión técnica Ernesto Filio López, Unidad Profesional en Ingeniería y Tecnologías Aplicadas, Instituto Politécnico Nacional , «Física: electricidad y magnetismo», 9ª edición, 2016.
- [23] Alberto Luis Farina, «Motores eléctricos trifásicos: características constructivas y tipos de arranques», artículo técnico.

# ANEXO 1

---

En este anexo vamos a incluir los ensayos de los motores estudiados en el apartado 5. Para ello, en primer lugar, tenemos los ensayos del motor 1:

<b>ABB</b>									
<b>Resistance measurements</b>				Order : 3GV1311256191001-A					
				Date of Issue 2013-10-16 09:06					
Customer: AT / Haiming He				Type: M3AA225SMB-4					
				Test bench: PP3					
				Serial no.: 3GV13 11256191 001					
Customer ref.: Type tests for IE3				Order no.: 11256191					
Nom. data: Voltage Freq. Power Current Speed CosPhi Insul. cl.									
V Hz kW A r/min -									
400,0 50,0 45,0 80,2 1482,0 0,85 155 (F)									
Prod. code: 3GAA222052-ADK									
<b>Measurement data</b>							Conversion to 20°C		
R1	R2	R3	Tw	Ta	No.	kind of measure	R1_20°C	R2_20°C	R3_20°C
[mOhm]	[mOhm]	[mOhm]	[°C]	[°C]			[mOhm]	[mOhm]	[mOhm]
66,72	66,75	66,71	20,9	22,1	1	Cold resistance	66,48	66,51	66,47
81,41	81,38	81,22	77,0	23,6	1	No load test - R-before			
81,09	81,05	80,91	75,7	23,6	1	No load test - R-after			
77,81	77,65	77,23	62,5	22,1	1	Endurance test - R-before			
81,95	82,21	81,53	79,1	23,6	1	Endurance test - R-after			
81,67	82,03	81,49	78,5	23,6	1	Operation characteristic - R-before			
82,26	82,84	82,40	81,4	23,5	1	Operation characteristic - R-after			
On behalf of customer									
On behalf of manufacturer ABB sweden									
Page : 1 / 1									
Operator : ATQ / Johnny							Date : 15.10.2013 07:01:00		
							V1.3.0.0 		
<b>ABB Motors</b>									



### No load test for testindex 1

Order : 3GV1311256191001-A

Date of Issue 2013-10-16 09:06

Customer:  
AT / Haiming He

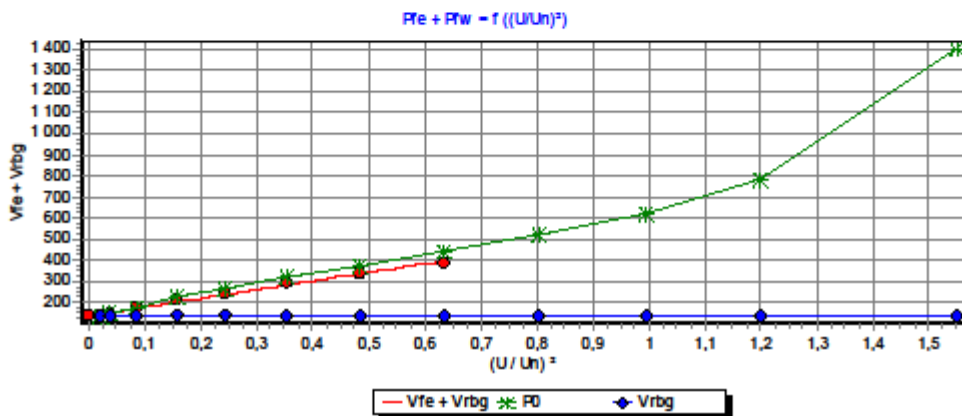
Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

Nom. data:	Voltage	Freq.	Power	Current	Speed	CosPhi	Insul. cl.
	V	Hz	kW	A	r/min	-	
	400,0	50,0	45,0	80,2	1482,0	0,85	155 (F)

Prod. code: 3GAA222052-ADK



On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 1 / 3

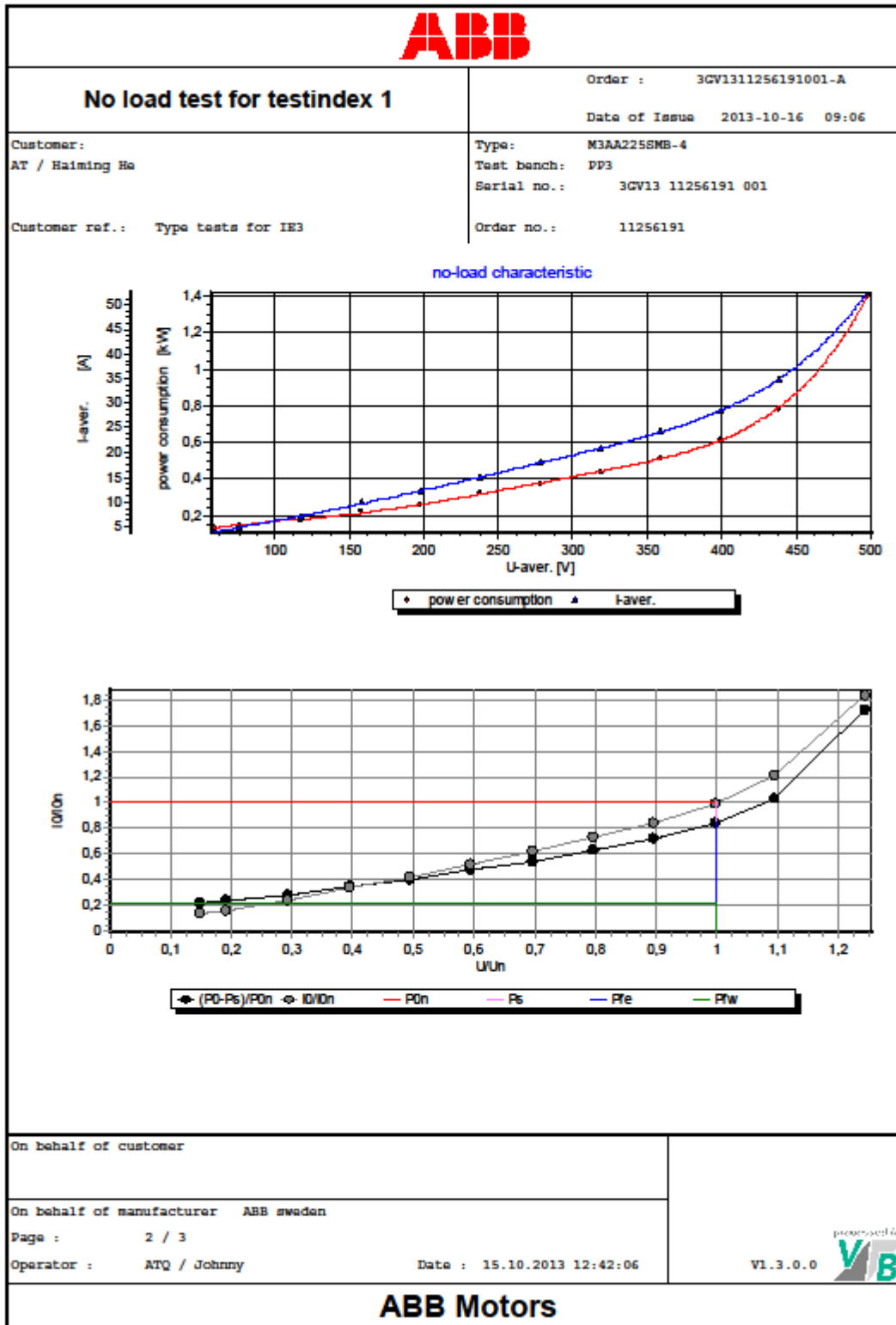
Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 12:42:06

V1.3.0.0



**ABB Motors**





### No load test for testindex 1

Order : 3GV1311256191001-A  
Date of Issue 2013-10-16 09:06

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

#### IEC 60034-2-1 2007

#### Guidelines for calculating

Resistance at start	81,34 [mOhm]	End resist.	81,02 [mOhm]
Temp. at start	77,0 [°C]	Final temperature	75,7 [°C]
Calc. voltage	400,0 [V]		
Coupled resist.	81,34 [mOhm]		

#### Calculation results

No-load current	28,6 [A]	Iron losses	378,3 [W]
No-load power	0,6 [kW]	Friction losses	138,8 [W]

#### Measurement data

U1	U2	U3	Um	I1	I2	I3	Iav	P1	cos	f	Ps	Pfe
[V]	[V]	[V]	[V]	[A]	[A]	[A]	[A]	[kW]		[Hz]	[W]	[W]
498,0	497,6	498,2	497,9	53,2	52,5	52,1	52,6	1,4	0,03	50,0	336,2	925,0
438,4	438,3	437,8	438,2	34,7	34,3	35,2	34,8	0,8	0,03	50,0	146,8	496,4
399,1	399,8	398,9	399,3	28,2	28,6	28,9	28,6	0,6	0,03	50,0	99,3	383,9
358,1	359,2	358,7	358,7	23,9	24,5	24,2	24,2	0,5	0,03	50,0	71,1	308,1
318,2	318,9	319,3	318,8	20,9	21,2	20,6	20,9	0,4	0,04	50,0	53,0	249,2
278,3	277,9	279,0	278,4	18,2	17,9	17,7	17,9	0,4	0,04	50,0	39,1	196,2
238,3	237,3	238,0	237,9	15,1	14,7	14,9	14,9	0,3	0,05	50,0	27,0	156,2
198,4	197,7	197,5	197,9	12,3	12,0	12,3	12,2	0,3	0,06	50,0	18,1	106,1
158,7	158,8	157,8	158,4	9,7	9,8	10,0	9,8	0,2	0,08	50,0	11,7	77,5
117,4	118,2	117,0	117,5	6,9	7,1	7,1	7,0	0,2	0,12	50,0	6,0	32,2
75,8	76,9	76,0	76,2	4,6	4,9	4,8	4,7	0,2	0,24	50,0	2,7	8,5
59,0	60,1	59,3	59,5	3,8	4,1	3,9	4,0	0,1	0,34	50,0	1,9	0,0

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden


Page : 3 / 3

Operator : ATQ / Johnny

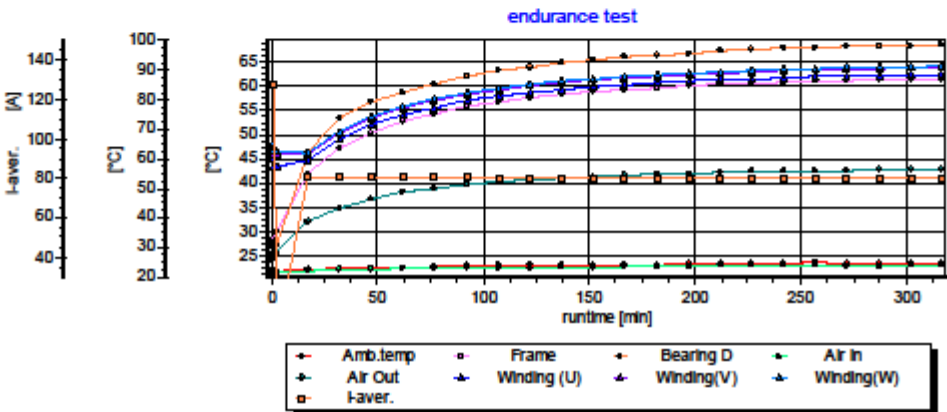
Date : 15.10.2013 12:42:06

processed by  
VIB  
V1.3.0.0

**ABB Motors**



<b>Endurance test for testindex 1</b>		Order : 3GV1311256191001-A																								
		Date of Issue 2013-10-16 09:06																								
Customer: AT / Haiming He	Type: M3AA225SMB-4	Test bench: PP3																								
Customer ref.: Type tests for IE3	Serial no.: 3GV13 11256191 001	Order no.: 11256191																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Nom. data:</td> <td>Voltage</td> <td>Freq.</td> <td>Power</td> <td>Current</td> <td>Speed</td> <td>CosPhi</td> <td>Insul. cl.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>V</td> <td>Hz</td> <td>kW</td> <td>A</td> <td>r/min</td> <td>-</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>400,0</td> <td>50,0</td> <td>45,0</td> <td>80,2</td> <td>1482,0</td> <td>0,85</td> <td>155 (F)</td> </tr> </table>	Nom. data:	Voltage	Freq.	Power	Current	Speed	CosPhi	Insul. cl.		V	Hz	kW	A	r/min	-			400,0	50,0	45,0	80,2	1482,0	0,85	155 (F)		
Nom. data:	Voltage	Freq.	Power	Current	Speed	CosPhi	Insul. cl.																			
	V	Hz	kW	A	r/min	-																				
	400,0	50,0	45,0	80,2	1482,0	0,85	155 (F)																			
Prod. code: 3GAA222052-ADK																										




**General data**

Start time :	15.10.2013 07:13:42	ambient temp. at start:	22,1 [°C]
Stop time :	15.10.2013 12:30:04	ambient temp. at stop:	23,6 [°C]
coupled resist.	77,56 [mOhm]		

**Measurement data**

Time [min]	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
0,0	400,7	400,5	400,4	126,9	126,6	127,6	76,4	0,87	50,0	1471,9	465,5	71,7	93,9
0,5	400,6	400,8	400,3	127,8	128,0	128,6	77,0	0,87	50,0	1471,7	468,5	72,2	93,8
1,0	400,3	401,0	400,4	127,6	128,2	127,8	76,9	0,87	50,0	1471,7	467,4	72,0	93,7
1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	1481,9	297,4	46,1	0,0
16,9	400,7	400,4	400,9	81,1	80,0	80,7	47,3	0,85	50,0	1484,0	289,0	44,9	95,0
31,9	400,5	400,6	400,2	80,3	80,6	81,0	47,3	0,85	50,0	1483,7	288,8	44,9	94,8
46,9	400,2	399,9	400,4	81,5	80,5	81,1	47,5	0,85	50,0	1483,3	288,9	44,9	94,5
61,9	400,1	400,6	400,8	81,6	81,0	80,6	47,7	0,85	50,0	1483,0	289,2	44,9	94,2
76,9	400,2	399,8	400,1	80,8	80,0	80,8	47,3	0,85	50,0	1482,7	289,1	44,9	95,0

On behalf of customer	
On behalf of manufacturer ABB sweden	
Page : 1 / 3	
Operator : ATQ / Johnny	Date : 15.10.2013 07:13:42

processed by  V1.3.0.0

## ABB Motors





### Endurance test for testindex 1

Order : 3GV1311256191001-A

Date of Issue 2013-10-16 09:06

Customer:  
AT / Haiming HeType: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

#### Measurement data

Time [min]	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
91,9	400,0	400,8	400,4	80,9	81,2	80,5	47,5	0,85	50,0	1482,6	289,9	45,0	94,7
106,9	400,0	400,7	400,2	80,3	80,9	80,3	47,3	0,85	50,0	1482,3	289,7	45,0	95,1
121,9	400,2	399,8	400,1	80,7	79,9	80,8	47,3	0,85	50,0	1482,3	289,5	44,9	95,0
137,0	399,7	399,7	399,3	80,1	80,4	80,8	47,3	0,85	50,0	1482,2	289,7	45,0	95,2
152,0	399,4	400,0	400,0	80,5	80,5	79,8	47,1	0,85	50,0	1482,1	289,4	44,9	95,4
167,0	399,4	399,8	400,1	80,9	80,3	80,0	47,2	0,85	50,0	1482,0	290,2	45,0	95,3
182,0	399,5	399,3	399,7	80,7	79,7	80,3	47,1	0,85	50,0	1481,9	290,2	45,0	95,5
197,0	400,0	400,7	400,3	79,9	80,4	79,8	47,0	0,85	50,0	1482,0	290,1	45,0	95,8
212,0	399,2	399,0	398,9	80,1	79,7	80,6	46,9	0,85	50,0	1481,9	290,2	45,0	96,0
227,0	400,0	400,6	400,0	79,9	80,5	80,2	47,1	0,85	50,0	1482,0	290,6	45,1	95,7
242,0	399,5	400,2	400,0	80,2	80,4	79,7	47,0	0,85	50,0	1481,7	290,5	45,1	95,9
257,0	399,4	399,7	400,0	80,7	80,0	79,7	47,1	0,85	50,0	1481,7	291,1	45,2	95,8
272,0	399,7	400,4	399,9	80,2	80,7	80,1	47,2	0,85	50,0	1481,9	290,8	45,1	95,6
287,0	399,5	400,0	399,4	79,9	80,5	80,3	47,0	0,85	50,0	1481,8	290,3	45,0	95,8
302,0	399,6	399,6	399,3	80,0	80,1	80,7	47,0	0,85	50,0	1481,5	290,9	45,1	96,0
316,4	399,5	400,1	400,2	80,5	80,3	79,7	47,0	0,85	50,0	1481,7	290,6	45,1	95,9

#### Temperature values

Tr : Amb.temp                      T1 : Frame                                      T2 : Bearing D  
 T3 : Air In                              T4 : Air Out                                      T5 : Winding (U)  
 T6 : Winding(V)                      T7 : Winding(W)

Time [min]	Tr [°C]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]
0,0	22,1	27,0	24,6	21,7	24,2	59,8	63,6	64,5
0,5	22,1	27,7	25,1	21,8	24,8	57,8	61,9	63,4
1,0	22,1	28,4	25,7	21,7	25,2	57,6	61,7	63,2
1,9	22,1	29,9	27,1	21,8	25,8	57,6	61,6	62,6
16,9	22,3	42,0	46,4	22,0	32,2	59,7	61,6	62,2
31,9	22,5	47,1	53,3	22,3	35,0	66,8	68,8	69,3
46,9	22,7	50,3	56,6	22,5	36,8	71,5	73,5	74,1
61,9	22,8	52,6	58,5	22,6	38,2	74,9	77,0	77,5
76,9	23,0	54,3	60,3	22,6	38,8	77,4	79,7	80,2
91,9	23,1	55,6	61,8	22,7	39,8	79,5	81,8	82,4
106,9	23,1	56,6	63,0	22,6	40,4	81,1	83,4	83,8
121,9	23,2	57,5	63,8	22,7	40,8	82,4	84,8	85,1
137,0	23,3	58,1	64,6	22,9	41,1	83,4	85,8	86,3
152,0	23,3	58,7	65,3	22,7	41,3	84,3	86,7	87,1
167,0	23,4	59,1	65,7	22,9	41,6	85,0	87,4	87,9
182,0	23,4	59,5	66,2	23,1	41,8	85,7	88,1	88,5
197,0	23,5	59,9	66,6	23,1	42,0	86,1	88,6	89,1
212,0	23,5	60,2	67,0	23,3	42,4	86,6	89,1	89,6
227,0	23,6	60,4	67,3	23,1	42,4	87,1	89,5	89,9
242,0	23,6	60,6	67,6	23,3	42,6	87,5	89,9	90,2

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 2 / 3


Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:13:42

V1.3.0.0



## ABB Motors

<b>ABB</b>																																																																									
<b>Endurance test for testindex 1</b>	Order : 3GV1311256191001-A Date of Issue 2013-10-16 09:06																																																																								
Customer: AT / Haiming He  Customer ref.: Type tests for IE3	Type: M3AA225SMB-4 Test bench: PP3 Serial no.: 3GV13 11256191 001  Order no.: 11256191																																																																								
<b>Temperature values</b>																																																																									
Tr : Amb.temp T3 : Air In T6 : Winding(V)	T1 : Frame T4 : Air Out T7 : Winding(W)																																																																								
	T2 : Bearing D T5 : Winding (U)																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Time</th> <th>Tr</th> <th>T1</th> <th>T2</th> <th>T3</th> <th>T4</th> <th>T5</th> <th>T6</th> <th>T7</th> </tr> <tr> <th>[min]</th> <th>[°C]</th> <th>[°C]</th> <th>[°C]</th> <th>[°C]</th> <th>[°C]</th> <th>[°C]</th> <th>[°C]</th> <th>[°C]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>257,0</td> <td>23,7</td> <td>60,9</td> <td>67,8</td> <td>23,3</td> <td>42,6</td> <td>87,7</td> <td>90,2</td> <td>90,6</td> </tr> <tr> <td>272,0</td> <td>23,6</td> <td>61,0</td> <td>67,9</td> <td>22,9</td> <td>42,6</td> <td>87,9</td> <td>90,3</td> <td>90,8</td> </tr> <tr> <td>287,0</td> <td>23,6</td> <td>61,1</td> <td>68,0</td> <td>22,9</td> <td>42,8</td> <td>88,1</td> <td>90,6</td> <td>91,0</td> </tr> <tr> <td>302,0</td> <td>23,6</td> <td>61,2</td> <td>68,1</td> <td>23,1</td> <td>42,8</td> <td>88,2</td> <td>90,7</td> <td>91,1</td> </tr> <tr> <td>316,4</td> <td>23,6</td> <td>61,3</td> <td>68,3</td> <td>23,3</td> <td>43,0</td> <td>88,3</td> <td>90,8</td> <td>91,2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>37,7</td> <td>44,7</td> <td>-0,3</td> <td>19,4</td> <td>64,7</td> <td>67,2</td> <td>67,6</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Time	Tr	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	257,0	23,7	60,9	67,8	23,3	42,6	87,7	90,2	90,6	272,0	23,6	61,0	67,9	22,9	42,6	87,9	90,3	90,8	287,0	23,6	61,1	68,0	22,9	42,8	88,1	90,6	91,0	302,0	23,6	61,2	68,1	23,1	42,8	88,2	90,7	91,1	316,4	23,6	61,3	68,3	23,3	43,0	88,3	90,8	91,2		37,7	44,7	-0,3	19,4	64,7	67,2	67,6		
Time	Tr	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7																																																																	
[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]																																																																	
257,0	23,7	60,9	67,8	23,3	42,6	87,7	90,2	90,6																																																																	
272,0	23,6	61,0	67,9	22,9	42,6	87,9	90,3	90,8																																																																	
287,0	23,6	61,1	68,0	22,9	42,8	88,1	90,6	91,0																																																																	
302,0	23,6	61,2	68,1	23,1	42,8	88,2	90,7	91,1																																																																	
316,4	23,6	61,3	68,3	23,3	43,0	88,3	90,8	91,2																																																																	
	37,7	44,7	-0,3	19,4	64,7	67,2	67,6																																																																		
On behalf of customer																																																																									
On behalf of manufacturer ABB sweden																																																																									
Page : 3 / 3 Operator : ATQ / Johnny Date : 15.10.2013 07:13:42																																																																									
V1.3.0.0 																																																																									
<b>ABB Motors</b>																																																																									



### Cooling down for testindex 1

Test No. 3GV1311256191001-A  
Date of Issue 2013-10-16 09:06

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

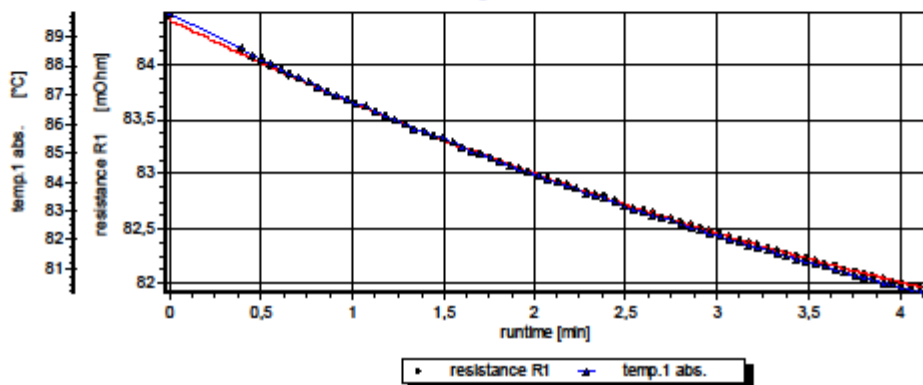
Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

Nom. data:	Voltage	Freq.	Power	Current	Speed	CosPhi	Insul. cl.
	V	Hz	kW	A	r/min	-	
	400,0	50,0	45,0	80,2	1482,0	0,85	155 (F)

Prod. code: 3GAA222052-ADK

cooling down curve



**Guidelines for calculating**

Cold resist.1	66,48 [mOhm]	Reference temp.	20,0 [°C]
		Average roomtemp.	23,6 [°C]
		Time range	30,0 [s]

**Results**

Warm resist. 1	84,03 [mOhm]	Warm temp. 1	64,7 [K]
Switch off resist. 1	84,43 [mOhm]	Switch off temp. 1	66,2 [K]

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 1 / 1

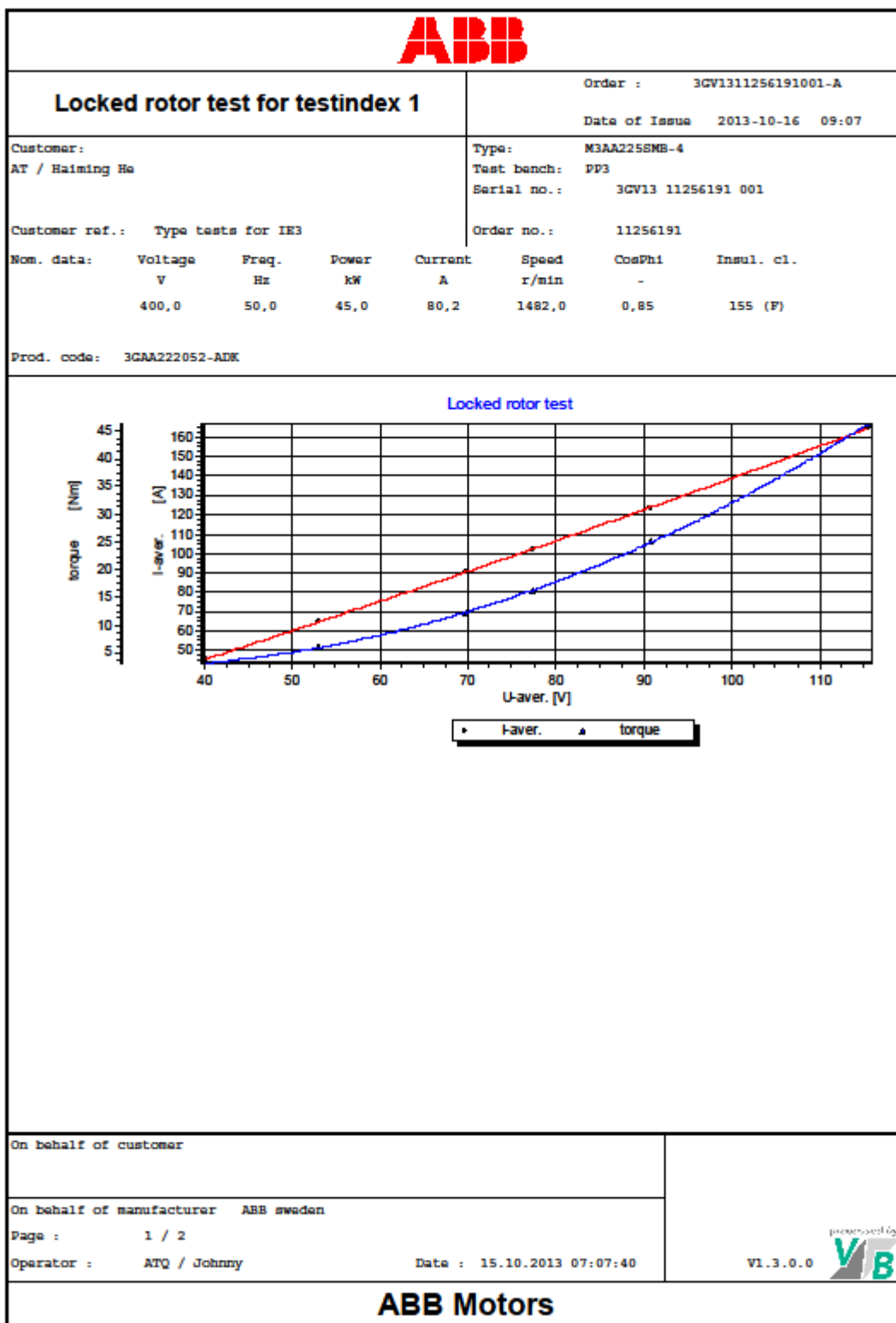
Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 12:30:22

V1.3.0.0



**ABB Motors**





### Locked rotor test for testindex 1

Order : 3GV1311256191001-A

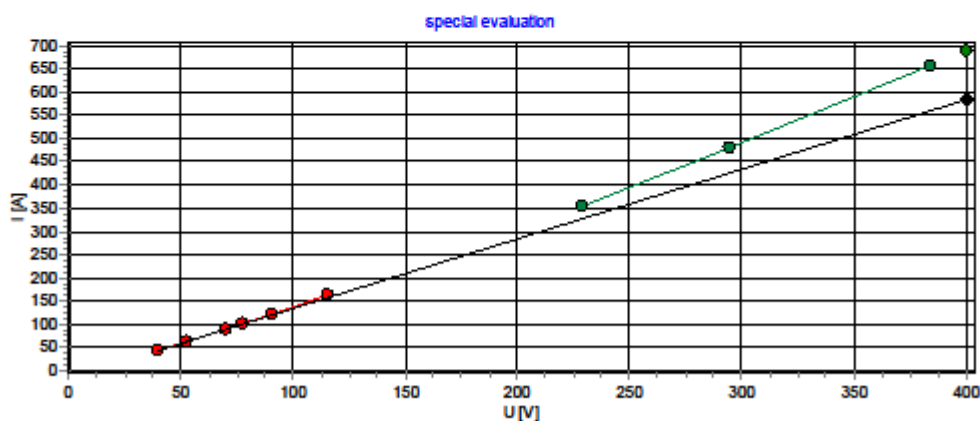
Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191



#### Measurement data

U1	U2	U3	Um	I1	I2	I3	Im	P1	cos	f	M
[V]	[V]	[V]	[V]	[A]	[A]	[A]	[A]	[kW]		[Hz]	[Nm]
39,8	40,4	40,4	40,2	44,5	45,6	45,2	45,1	0,9	0,28	0,0	3,3
52,6	53,3	53,0	53,0	63,7	64,7	64,4	64,2	1,8	0,30	50,0	6,0
69,6	70,1	69,7	69,8	89,8	90,5	90,7	90,3	3,5	0,32	50,0	12,4
77,4	77,7	77,2	77,4	101,9	102,4	102,9	102,4	4,5	0,32	50,0	16,2
90,8	90,9	90,6	90,8	123,7	123,6	124,5	123,9	6,5	0,34	50,0	25,2
115,5	115,2	115,5	115,4	165,3	164,5	165,1	164,9	11,6	0,35	50,0	46,2

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 2 / 2

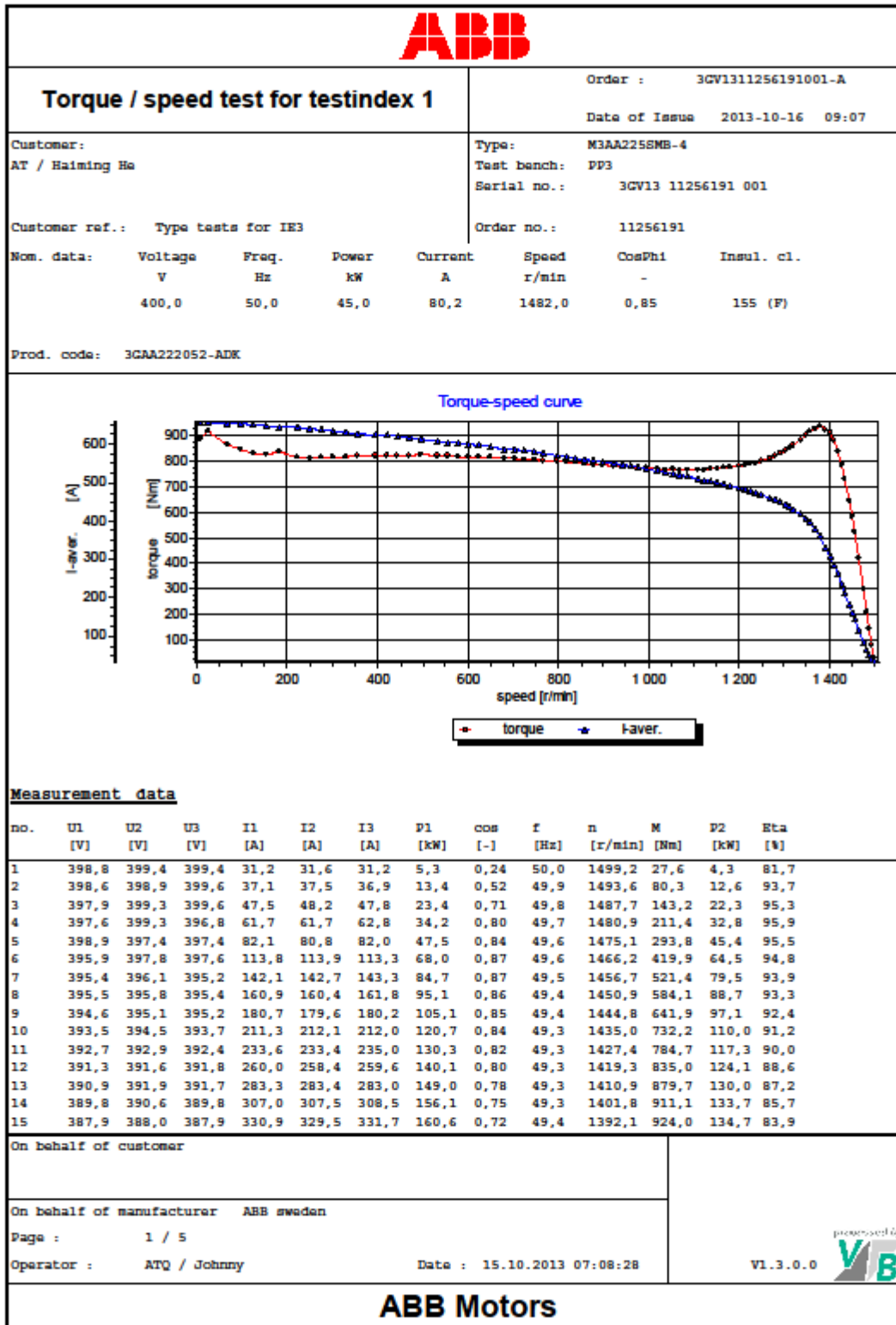
Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:07:40

V1.3.0.0



**ABB Motors**





### Torque / speed test for testindex 1

Order : 3GV1311256191001-A  
Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: DP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

#### Measurement data

no.	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos [-]	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
16	388,1	388,8	388,9	362,1	361,2	361,2	166,2	0,68	49,5	1378,2	937,1	135,2	81,4
17	387,4	388,7	388,2	379,7	380,1	380,0	167,1	0,65	49,6	1367,1	927,3	132,8	79,4
18	387,0	388,0	387,4	394,4	394,7	395,7	167,3	0,63	49,6	1356,9	915,2	130,0	77,7
19	386,9	387,7	387,0	405,4	404,9	406,8	166,5	0,61	49,7	1348,2	900,8	127,2	76,4
20	386,4	387,0	386,5	417,8	416,6	418,8	165,5	0,59	49,8	1336,1	882,9	123,5	74,6
21	386,6	387,1	386,8	431,1	429,3	431,6	164,2	0,57	49,9	1320,4	862,2	119,2	72,6
22	386,8	387,3	387,1	438,3	436,2	438,4	163,9	0,56	49,9	1311,3	853,3	117,2	71,5
23	386,8	387,3	387,2	444,7	442,4	444,6	163,2	0,55	49,9	1301,2	842,9	114,9	70,4
24	386,7	387,2	387,1	451,1	448,9	451,0	162,4	0,54	50,0	1289,9	832,2	112,4	69,2
25	386,7	387,2	387,1	456,9	454,6	456,6	161,8	0,53	50,0	1278,6	823,3	110,2	68,1
26	386,2	386,7	386,7	461,7	459,4	461,4	160,7	0,52	50,0	1267,0	812,1	107,7	67,0
27	386,3	386,9	386,8	469,4	467,2	469,2	160,1	0,51	50,0	1248,8	799,9	104,6	65,3
28	385,5	386,0	385,9	472,8	470,6	472,7	159,0	0,50	50,0	1236,8	789,5	102,3	64,3
29	386,9	387,6	387,4	478,5	476,4	478,5	160,0	0,50	50,0	1226,1	789,4	101,4	63,3
30	386,5	387,2	387,0	482,7	480,5	482,8	159,8	0,49	50,0	1213,0	785,8	99,8	62,5
31	386,5	387,2	387,0	486,9	484,8	487,0	159,6	0,49	50,0	1199,5	780,3	98,0	61,4
32	386,7	387,4	387,2	493,3	491,1	493,4	159,9	0,48	50,0	1179,5	776,4	95,9	60,0
33	386,7	387,3	387,1	497,2	495,2	497,3	160,0	0,48	50,0	1165,3	773,2	94,4	59,0
34	386,5	387,2	387,0	500,6	498,5	500,7	160,1	0,48	50,0	1151,6	769,0	92,7	57,9
35	386,6	387,3	387,1	504,5	502,4	504,5	160,5	0,48	50,0	1137,7	768,9	91,6	57,1
36	386,6	387,3	387,1	508,1	505,9	508,2	160,8	0,47	50,0	1123,3	767,4	90,3	56,1
37	386,5	387,2	387,0	511,6	509,4	511,6	161,3	0,47	50,0	1108,6	766,0	88,9	55,1
38	386,6	387,3	387,2	517,6	515,3	517,4	162,3	0,47	50,0	1084,4	766,7	87,1	53,6
39	386,7	387,4	387,3	521,2	518,8	520,9	163,0	0,47	50,0	1069,5	766,2	85,8	52,6
40	386,6	387,3	387,2	524,8	522,4	524,3	163,7	0,47	50,0	1053,4	769,2	84,8	51,8
41	386,0	386,7	386,7	527,4	524,9	526,7	163,9	0,47	50,0	1037,0	765,7	83,1	50,7
42	386,6	387,3	387,3	531,8	529,3	531,1	165,3	0,46	50,0	1020,5	770,9	82,4	49,8
43	386,5	387,2	387,3	537,1	534,6	536,1	166,7	0,46	49,9	994,6	773,4	80,6	48,3
44	386,4	387,1	387,3	540,6	538,1	539,5	167,6	0,46	49,9	977,6	774,2	79,3	47,3
45	386,3	387,0	387,2	543,9	541,5	542,7	168,5	0,46	49,9	959,8	776,6	78,1	46,3
46	386,3	387,1	387,3	547,6	545,3	546,2	169,7	0,46	49,9	941,7	780,0	76,9	45,3
47	386,2	387,1	387,3	550,8	548,6	549,4	170,6	0,46	49,9	924,0	781,4	75,6	44,3
48	386,0	387,0	387,3	555,8	553,9	554,3	172,3	0,46	49,9	896,3	784,8	73,7	42,8
49	386,0	387,1	387,3	559,0	557,4	557,6	173,4	0,46	49,9	877,8	787,2	72,4	41,7
50	386,1	387,3	387,5	562,9	561,7	561,6	174,9	0,46	49,9	857,4	792,4	71,1	40,7
51	386,0	387,3	387,5	566,4	565,1	565,0	176,0	0,46	49,9	837,7	795,1	69,8	39,6
52	385,9	387,3	387,4	569,4	568,6	568,3	177,1	0,46	49,9	818,1	797,6	68,3	38,6
53	385,6	387,2	387,1	572,4	571,8	571,6	178,1	0,47	49,9	797,5	799,1	66,7	37,5
54	385,3	387,0	386,7	576,8	576,5	576,4	179,7	0,47	49,9	766,1	802,0	64,3	35,8
55	385,5	387,2	386,8	580,3	580,0	580,1	181,1	0,47	49,9	746,0	805,5	62,9	34,7
56	385,3	386,9	386,5	583,0	582,9	583,1	182,0	0,47	49,9	724,8	806,2	61,2	33,6
57	385,4	387,1	386,6	586,7	586,6	587,1	183,4	0,47	49,9	703,1	809,8	59,6	32,5
58	385,2	386,9	386,3	589,6	589,3	590,1	184,4	0,47	49,9	681,0	810,9	57,8	31,4
59	385,1	386,7	386,1	593,3	593,8	595,0	186,0	0,47	49,9	648,1	814,0	55,2	29,7

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 2 / 5



Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:08:28

V1.3.0.0



**ABB Motors**

													
<b>Torque / speed test for testindex 1</b>							Order : 3GV1311256191001-A						
Customer: AT / Haiming He							Type: M3AA225SMB-4						
Customer ref.: Type tests for IE3							Test bench: PP3						
							Serial no.: 3GV13 11256191 001						
							Order no.: 11256191						
<u>Measurement data</u>													
no.	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos [-]	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
60	385,1	386,6	385,9	597,6	596,9	598,4	187,2	0,47	49,9	624,8	815,7	53,4	28,5
61	385,0	386,5	385,8	600,8	599,8	601,5	188,3	0,47	49,9	601,8	816,8	51,5	27,3
62	385,0	386,3	385,7	604,0	602,7	604,6	189,3	0,47	49,9	579,4	817,9	49,6	26,2
63	384,7	386,0	385,4	606,7	605,2	607,2	190,1	0,47	49,9	555,5	818,9	47,6	25,1
64	384,9	386,0	385,5	610,4	608,5	610,6	191,5	0,47	49,9	531,2	818,8	45,5	23,8
65	384,8	385,8	385,4	614,8	612,6	614,8	193,1	0,47	49,9	495,4	823,6	42,7	22,1
66	384,8	385,7	385,4	618,6	616,3	618,2	194,2	0,47	49,9	470,2	821,8	40,5	20,8
67	384,7	385,6	385,5	621,6	619,3	621,1	195,3	0,47	49,9	445,0	819,9	38,2	19,6
68	384,6	385,5	385,4	624,5	622,1	623,7	196,2	0,47	49,9	420,3	820,6	36,1	18,4
69	384,4	385,3	385,4	627,4	624,9	626,3	197,1	0,47	49,9	395,2	820,7	34,0	17,2
70	384,0	384,9	385,1	631,3	628,9	630,0	198,3	0,47	49,9	355,7	819,3	30,5	15,4
71	383,8	384,8	384,9	633,9	631,9	632,6	199,1	0,47	49,9	329,0	815,9	28,1	14,1
72	383,7	384,8	385,0	636,8	634,5	635,2	200,1	0,47	49,9	302,4	815,0	25,8	12,9
73	383,7	384,8	385,0	639,5	637,6	637,9	201,0	0,47	49,9	276,5	814,6	23,6	11,7
74	383,5	384,7	384,9	642,2	640,4	640,8	201,8	0,47	49,9	249,4	812,2	21,2	10,5
75	383,5	384,8	385,0	644,9	643,6	643,7	202,8	0,47	49,9	221,5	816,8	18,9	9,3
76	383,2	384,7	384,8	648,1	646,3	646,5	204,0	0,47	49,9	182,0	835,2	15,9	7,8
77	383,1	384,7	384,6	651,0	649,2	649,2	204,8	0,47	49,9	152,5	827,6	13,2	6,5
78	383,0	384,5	384,5	652,5	651,6	651,5	205,3	0,47	49,9	124,3	833,4	10,8	5,3
79	383,0	384,6	384,5	654,2	653,6	653,9	206,0	0,47	49,9	97,1	847,6	8,6	4,2
80	382,9	384,6	384,4	656,4	656,0	656,2	206,6	0,47	49,9	68,4	867,4	6,2	3,0
81	382,9	384,6	384,3	658,9	658,7	658,9	207,8	0,47	49,9	25,4	919,0	2,4	1,2
82	382,9	384,6	384,3	658,2	658,2	658,1	208,0	0,48	49,9	7,5	886,5	0,7	0,3
<u>Calculated values at U-def. 400,0 [V]</u>													
no.				I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]				M [Nm]	P2 [kW]		
1				31,3	31,7	31,3				27,7	5,3		
2				37,2	37,6	37,0				80,8	13,5		
3				47,7	48,4	48,0				144,2	23,5		
4				62,1	62,1	63,2				214,2	34,6		
5				82,6	81,3	82,5				297,7	48,1		
6				114,8	114,9	114,3				427,7	69,1		
7				144,1	144,7	145,3				536,4	86,8		
8				163,1	162,6	164,0				600,9	97,5		
9				183,5	182,4	183,0				662,9	108,1		
10				215,3	216,1	216,0				761,3	124,9		
11				239,0	238,8	240,4				822,5	135,8		
12				266,9	265,3	266,5				881,4	146,9		
13				290,9	291,0	290,6				929,0	156,3		
14				316,6	317,2	318,2				971,2	165,1		
15				343,6	342,1	344,4				998,8	171,9		
16				375,2	374,3	374,3				1008,5	177,3		
On behalf of customer											 powered by <b>VB</b>		
On behalf of manufacturer ABB sweden													
Page : 3 / 5													
Operator : ATQ / Johnny							Date : 15.10.2013 07:08:28				V1.3.0.0		
<b>ABB Motors</b>													





### Torque / speed test for testindex 1

Order : 3GV1311256191001-A  
Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: DP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

Calculated values at U-def. 400,0 [V]

no.	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	M [Nm]	P2 [kW]
17	394,1	394,5	394,4	1001,2	178,7
18	410,1	410,5	411,5	992,3	179,6
19	421,9	421,4	423,4	978,4	179,0
20	435,6	434,4	436,7	962,5	178,5
21	449,2	447,3	449,7	938,7	176,9
22	456,4	454,2	456,5	927,6	176,4
23	463,0	460,6	462,9	916,1	175,6
24	469,8	467,5	469,7	905,1	174,8
25	475,8	473,4	475,5	895,4	174,2
26	481,6	479,2	481,2	885,9	173,4
27	489,4	487,1	489,2	871,8	172,7
28	494,3	492,0	494,2	865,4	172,3
29	497,9	495,7	497,9	856,8	171,9
30	502,9	500,6	503,0	855,2	172,1
31	507,2	505,1	507,3	849,2	171,9
32	513,6	511,3	513,7	843,8	172,0
33	517,8	515,7	517,9	840,7	172,2
34	521,5	519,3	521,6	836,9	172,4
35	525,4	523,2	525,4	836,2	172,8
36	529,2	526,9	529,3	834,6	173,1
37	533,0	530,7	533,0	833,6	173,7
38	539,0	536,6	538,8	833,6	174,7
39	542,6	540,1	542,3	832,5	175,3
40	546,5	544,0	546,0	836,4	176,2
41	550,2	547,6	549,5	835,7	177,0
42	553,7	551,1	553,0	838,0	177,9
43	559,4	556,8	558,3	841,1	179,4
44	563,1	560,5	562,0	842,3	180,5
45	566,7	564,2	565,5	845,5	181,6
46	570,5	568,1	569,0	848,8	182,8
47	573,9	571,6	572,4	850,6	183,8
48	579,3	577,3	577,7	854,8	185,7
49	582,5	580,9	581,1	857,2	186,9
50	586,3	585,0	584,9	862,0	188,3
51	590,0	588,6	588,5	865,1	189,5
52	593,3	592,4	592,1	868,2	190,8
53	596,8	596,2	596,0	871,2	192,1
54	602,0	601,7	601,6	876,0	194,2
55	605,3	605,0	605,1	878,9	195,5
56	608,6	608,5	608,8	881,2	196,8
57	612,2	612,1	612,7	884,4	198,1
58	615,7	615,4	616,3	886,9	199,5
59	621,0	620,4	621,7	891,3	201,4
60	624,6	623,9	625,5	893,7	202,8

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden



Page : 4 / 5

Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:08:28

processed by  
VIB  
V1.3.0.0

**ABB Motors**

												
<b>Torque / speed test for testindex 1</b>						Order : 3GV1311256191001-A						
Customer: AT / Haiming He						Type: M3AA225SMB-4						
Customer ref.: Type tests for IE3						Test bench: PP3						
						Serial no.: 3GV13 11256191 001						
						Order no.: 11256191						
<u>Calculated values at U-def.</u>						400,0 [V]						
no.	I1	I2	I3	M	P2							
	[A]	[A]	[A]	[Nm]	[kW]							
61	628,2	627,1	628,9	895,5	204,1							
62	631,7	630,3	632,3	897,3	205,3							
63	635,1	633,6	635,7	900,2	206,6							
64	638,8	636,8	639,0	899,5	208,0							
65	643,7	641,4	643,7	905,6	209,9							
66	647,7	645,3	647,3	903,8	211,1							
67	650,9	648,5	650,4	901,9	212,3							
68	654,2	651,7	653,4	903,3	213,4							
69	657,5	654,9	656,4	904,2	214,6							
70	662,4	659,9	661,0	904,8	216,4							
71	665,5	663,4	664,1	902,1	217,4							
72	668,5	666,1	666,8	901,1	218,5							
73	671,3	669,3	669,7	900,6	219,5							
74	674,5	672,6	673,0	898,8	220,6							
75	677,1	675,8	675,9	903,5	221,6							
76	680,9	679,0	679,3	925,0	223,1							
77	684,2	682,3	682,3	917,2	224,1							
78	686,1	685,1	685,0	924,5	224,9							
79	687,8	687,2	687,5	940,0	225,6							
80	690,3	689,8	690,0	962,4	226,3							
81	693,0	692,7	693,0	1019,9	227,7							
82	692,2	692,2	692,1	983,8	227,9							
<u>Interpolation to rated power</u>												
U1	U2	U3	I1	I2	I3	P1	cos	f	n	M	P2	Eta
[V]	[V]	[V]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[-]	[Hz]	[r/min]	[Nm]	[kW]	[%]
400,0	400,0	400,0	81,0	79,8	81,0	47,0	0,84	49,7	1475,6	291,2	45,0	95,7
On behalf of customer												
On behalf of manufacturer ABB sweden												
Page : 5 / 5												
Operator : ATQ / Johnny						Date : 15.10.2013 07:08:28						
<b>ABB Motors</b>												



### Torque / speed test for testindex 2

Order : 3GV1311256191001-A

Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

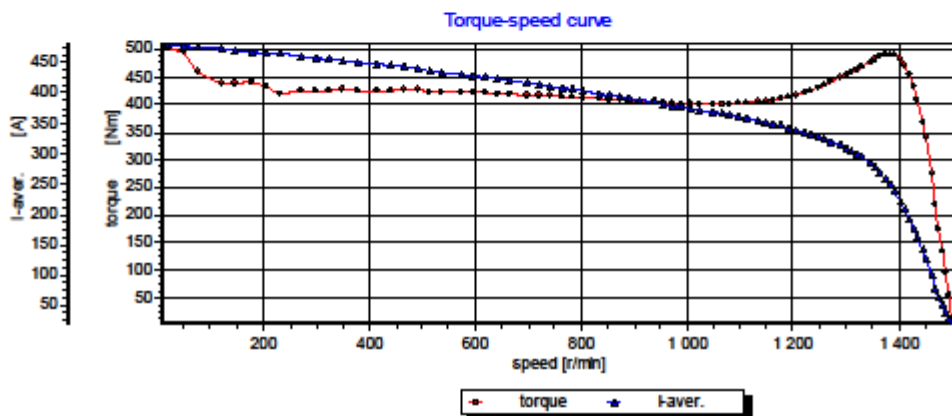
Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

Nom. data:	Voltage V	Freq. Hz	Power kW	Current A	Speed r/min	CosPhi	Insul. cl.
	400,0	50,0	45,0	80,2	1482,0	0,85	155 (F)

Prod. code: 3GAA222052-ADK



#### Measurement data

no.	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos [-]	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
1	299,6	300,0	300,3	21,7	21,7	21,4	3,0	0,27	50,0	1499,4	12,1	1,9	63,4
2	299,2	300,3	299,7	28,3	28,7	28,4	9,3	0,63	49,9	1492,6	56,2	8,8	94,5
3	299,4	300,3	299,0	38,4	38,9	38,9	15,7	0,78	49,9	1487,1	95,7	14,9	94,9
4	299,6	299,4	298,2	49,8	49,9	50,6	21,7	0,84	49,8	1482,0	133,9	20,8	95,8
5	299,8	298,0	298,5	64,1	63,3	64,3	28,6	0,86	49,7	1474,9	176,4	27,2	95,3
6	298,7	297,4	299,4	78,7	77,6	77,9	35,3	0,87	49,7	1469,4	217,4	33,5	94,8
7	297,1	298,7	299,1	99,9	100,2	99,4	45,1	0,87	49,7	1461,5	276,2	42,3	93,7
8	297,0	298,1	297,2	126,2	127,1	127,1	56,2	0,86	49,7	1451,2	341,1	51,8	92,2
9	296,7	297,0	296,5	140,9	141,1	142,1	61,4	0,85	49,7	1445,0	369,1	55,9	91,0
10	296,6	296,6	296,7	162,3	161,2	162,6	68,6	0,82	49,7	1435,3	409,7	61,6	89,8
11	296,2	296,4	296,7	177,9	176,6	177,2	73,3	0,81	49,6	1428,4	433,6	64,9	88,5
12	295,3	296,0	296,1	193,0	192,5	192,3	77,7	0,79	49,7	1420,1	455,9	67,8	87,3
13	295,4	296,2	295,9	207,5	207,9	207,5	81,3	0,76	49,7	1411,9	472,2	69,8	85,9
14	294,9	295,7	295,0	220,9	221,5	221,8	84,0	0,74	49,7	1403,4	483,3	71,0	84,6
15	295,1	295,4	294,9	239,2	238,8	240,4	86,8	0,71	49,7	1390,9	490,5	71,4	82,3

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 1 / 5



Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:09:27

V1.3.0.0



**ABB Motors**

													
<b>Torque / speed test for testindex 2</b>								Order : 3GV1311256191001-A					
Customer: AT / Haiming He								Type: M3AA225SMB-4					
Customer ref.: Type tests for IE3								Date of Issue 2013-10-16 09:07					
								Test bench: PP3					
								Serial no.: 3GV13 11256191 001					
								Order no.: 11256191					
<u>Measurement data</u>													
no.	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos [-]	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
16	294,8	294,8	294,7	250,1	248,9	250,7	87,7	0,69	49,8	1382,8	490,5	71,0	81,0
17	294,7	294,7	294,8	260,3	258,6	260,2	88,6	0,67	49,8	1373,9	491,4	70,7	79,8
18	294,6	294,7	295,0	269,8	268,0	269,2	89,1	0,65	49,8	1364,2	488,2	69,7	78,3
19	294,3	294,5	294,9	277,8	276,1	276,8	89,1	0,63	49,9	1354,9	483,3	68,6	77,0
20	294,2	294,6	295,0	285,0	283,5	283,8	89,1	0,61	49,9	1345,4	478,0	67,3	75,6
21	294,1	294,7	295,0	295,0	293,9	294,0	88,8	0,59	49,9	1329,5	469,5	65,4	73,6
22	294,0	294,7	295,0	300,4	299,6	299,5	88,4	0,58	50,0	1319,5	463,0	64,0	72,4
23	294,4	295,1	295,4	305,7	305,1	304,8	88,3	0,57	50,0	1309,7	458,7	62,9	71,2
24	294,3	295,2	295,4	310,1	309,6	309,2	88,0	0,56	50,0	1299,8	454,1	61,8	70,2
25	294,1	295,0	295,1	314,4	314,0	313,7	87,5	0,55	50,0	1288,4	448,4	60,5	69,1
26	294,1	295,0	295,2	320,9	320,5	320,2	87,0	0,53	50,0	1271,2	440,8	58,7	67,4
27	294,0	295,0	295,1	324,7	324,4	324,1	86,6	0,52	50,0	1258,8	435,2	57,4	66,2
28	294,3	295,3	295,4	328,9	328,6	328,2	86,5	0,52	50,0	1246,5	430,6	56,2	65,0
29	294,2	295,2	295,3	332,0	331,7	331,4	86,1	0,51	50,0	1234,5	425,6	55,0	63,9
30	294,1	295,1	295,2	334,9	334,6	334,3	85,8	0,50	50,0	1223,1	422,4	54,1	63,1
31	294,1	295,0	295,1	339,5	339,3	338,9	85,5	0,49	50,0	1203,6	417,8	52,7	61,6
32	294,4	295,4	295,5	343,1	342,9	342,5	85,6	0,49	50,0	1190,0	415,1	51,7	60,4
33	294,3	295,3	295,5	346,0	345,7	345,4	85,5	0,48	50,0	1175,8	411,6	50,7	59,3
34	294,4	295,5	295,6	349,0	348,7	348,3	85,6	0,48	50,0	1162,2	409,5	49,8	58,2
35	294,2	295,2	295,3	351,3	351,0	350,7	85,3	0,48	50,0	1148,5	405,5	48,8	57,2
36	294,2	295,2	295,4	354,0	353,7	353,4	85,5	0,47	50,0	1134,3	405,6	48,2	56,3
37	294,4	295,4	295,5	358,1	357,9	357,5	85,7	0,47	50,0	1112,4	404,0	47,1	54,9
38	294,3	295,3	295,4	360,7	360,5	360,1	85,9	0,47	50,0	1096,6	403,4	46,3	53,9
39	294,2	295,3	295,4	363,2	363,1	362,8	86,1	0,46	50,0	1080,7	401,6	45,5	52,8
40	294,4	295,5	295,5	365,6	365,5	365,2	86,4	0,46	50,0	1066,2	401,5	44,8	51,9
41	294,3	295,4	295,5	368,2	368,1	367,8	86,7	0,46	50,0	1050,1	400,8	44,1	50,8
42	294,2	295,3	295,3	371,7	371,7	371,5	87,1	0,46	50,0	1024,9	401,2	43,1	49,4
43	294,4	295,6	295,6	374,9	375,0	374,8	87,7	0,46	50,0	1006,8	402,4	42,4	48,4
44	294,5	295,7	295,7	377,4	377,4	377,3	88,2	0,46	50,0	990,6	401,5	41,7	47,2
45	294,2	295,5	295,3	379,4	379,5	379,4	88,4	0,46	50,0	973,1	402,1	41,0	46,4
46	294,2	295,4	295,3	381,8	382,0	381,9	88,9	0,46	50,0	955,5	403,5	40,4	45,4
47	294,5	295,7	295,5	384,8	385,0	385,0	89,6	0,46	50,0	937,5	405,6	39,8	44,4
48	294,3	295,6	295,3	388,3	388,5	388,7	90,3	0,45	50,0	910,6	405,7	38,7	42,8
49	294,7	295,9	295,6	391,3	391,5	391,8	91,1	0,45	50,0	891,6	407,5	38,0	41,8
50	294,5	295,8	295,5	393,7	393,9	394,3	91,6	0,45	49,9	872,3	409,0	37,4	40,8
51	294,5	295,8	295,4	396,3	396,5	397,0	92,3	0,46	50,0	852,4	410,0	36,6	39,7
52	294,6	295,8	295,4	398,8	398,9	399,5	92,9	0,46	50,0	833,5	411,0	35,9	38,6
53	294,4	295,6	295,1	402,3	402,3	403,2	93,6	0,45	49,9	804,0	410,9	34,6	37,0
54	294,2	295,4	294,9	404,6	404,5	405,6	94,2	0,46	49,9	783,0	413,8	33,9	36,0
55	294,3	295,5	294,9	407,5	407,3	408,6	94,9	0,46	50,0	761,7	414,3	33,0	34,8
56	294,4	295,5	294,9	410,2	409,8	411,2	95,6	0,46	50,0	740,8	416,3	32,3	33,8
57	294,3	295,4	294,8	412,8	412,3	413,8	96,2	0,46	49,9	719,2	417,2	31,4	32,7
58	294,1	295,1	294,6	415,3	414,7	416,3	96,8	0,46	50,0	696,5	417,3	30,4	31,4
59	294,3	295,2	294,6	419,4	418,6	420,4	97,8	0,46	50,0	664,0	420,5	29,2	29,9
On behalf of customer													
On behalf of manufacturer ABB sweden													
Page : 2 / 5													
Operator : ATQ / Johnny						Date : 15.10.2013 07:09:27						processed by  V1.3.0.0	
<b>ABB Motors</b>													



### Torque / speed test for testindex 2

Order : 3GV1311256191001-A

Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

#### Measurement data

no.	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos [-]	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
60	294,3	295,2	294,7	422,2	421,2	423,0	98,5	0,46	50,0	641,8	420,6	28,3	28,7
61	294,3	295,1	294,6	424,9	423,7	425,7	99,2	0,46	49,9	618,8	421,9	27,3	27,6
62	294,3	295,0	294,6	427,6	426,2	428,2	99,8	0,46	50,0	596,0	421,9	26,3	26,4
63	294,2	294,9	294,6	430,0	428,4	430,5	100,4	0,46	50,0	574,3	422,9	25,4	25,3
64	294,2	294,8	294,5	434,1	432,3	434,4	101,4	0,46	49,9	537,7	422,9	23,8	23,5
65	294,3	294,8	294,6	437,0	435,1	437,1	102,1	0,46	50,0	514,2	423,0	22,8	22,3
66	294,5	295,1	294,9	440,0	438,0	440,0	103,0	0,46	49,9	490,3	427,5	22,0	21,3
67	294,6	295,1	295,0	442,9	440,8	442,7	103,7	0,46	49,9	465,3	426,7	20,8	20,0
68	294,7	295,1	295,1	445,7	443,6	445,3	104,4	0,46	49,9	440,3	426,2	19,7	18,8
69	294,7	295,2	295,3	448,5	446,2	447,9	105,1	0,46	49,9	415,1	426,1	18,5	17,6
70	294,6	295,1	295,3	452,3	450,0	451,5	106,0	0,46	49,9	376,5	425,6	16,8	15,8
71	294,4	294,9	295,1	454,3	452,1	453,4	106,4	0,46	49,9	350,9	426,6	15,7	14,7
72	294,4	294,9	295,1	456,9	454,7	455,9	107,0	0,46	49,9	324,2	426,0	14,5	13,5
73	294,2	294,7	295,0	459,2	456,9	458,0	107,4	0,46	50,0	297,4	425,3	13,2	12,3
74	294,0	294,6	294,9	461,4	459,2	460,0	107,9	0,46	49,9	271,2	424,7	12,1	11,2
75	294,0	294,6	295,0	464,9	462,8	463,5	108,6	0,46	49,9	230,0	420,4	10,1	9,3
76	294,0	294,7	295,1	466,7	464,7	465,3	109,2	0,46	50,0	204,2	434,2	9,3	8,5
77	294,1	294,8	295,1	469,4	467,7	467,4	110,0	0,46	50,0	176,1	440,6	8,1	7,4
78	293,9	294,6	295,0	471,4	469,6	470,1	110,4	0,46	50,0	146,8	439,8	6,8	6,1
79	294,0	294,7	295,1	473,6	472,0	472,1	110,9	0,46	49,9	118,9	439,7	5,5	4,9
80	293,9	294,8	295,2	476,7	475,2	475,0	111,5	0,46	50,0	76,0	460,1	3,7	3,3
81	294,0	294,8	295,2	478,2	477,2	476,8	112,0	0,46	50,0	49,6	494,6	2,6	2,3
82	293,9	294,9	295,3	480,6	479,1	479,2	112,6	0,46	50,0	18,2	501,1	1,0	0,8

#### Calculated values at U-def. 400,0 [V]

no.	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	M [Nm]	P2 [kW]
1	30,9	30,9	30,5	25,2	5,7
2	40,3	40,9	40,5	117,0	17,7
3	54,8	55,5	55,5	199,5	29,9
4	71,2	71,3	72,3	280,3	41,5
5	91,8	90,6	92,0	370,2	54,8
6	112,8	111,2	111,6	457,3	67,8
7	143,3	143,7	142,6	582,0	86,7
8	181,6	182,9	182,9	724,1	108,8
9	203,4	203,7	205,1	788,2	119,5
10	234,4	232,8	234,8	875,7	133,6
11	257,1	255,2	256,1	928,4	143,0
12	279,7	279,0	278,7	981,4	152,3
13	300,6	301,2	300,6	1016,2	159,3
14	320,9	321,8	322,2	1045,8	165,4
15	347,6	347,0	349,3	1062,0	170,9
16	364,0	362,2	364,9	1065,3	173,2

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 3 / 5



Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:09:27

V1.3.0.0



**ABB Motors**

						
<b>Torque / speed test for testindex 2</b>				Order : 3GV1311256191001-A		
				Date of Issue 2013-10-16 09:07		
Customer: AT / Haiming He				Type: M3AA225SMB-4		
Customer ref.: Type tests for IE3				Test bench: PP3		
				Serial no.: 3GV13 11256191 001		
				Order no.: 11256191		
<b>Calculated values at U-def.</b> 400,0 [V]						
no.	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	M [Nm]	P2 [kW]	
17	378,9	376,4	378,7	1067,6	175,0	
18	392,7	390,0	391,8	1060,3	176,0	
19	404,6	402,2	403,2	1051,5	176,2	
20	415,1	412,9	413,3	1039,7	176,2	
21	429,6	428,0	428,2	1021,2	175,6	
22	437,6	436,4	436,2	1007,3	174,8	
23	444,5	443,7	443,2	994,5	174,1	
24	450,9	450,2	449,6	984,6	173,5	
25	457,6	457,0	456,6	974,2	172,8	
26	467,0	466,4	466,0	957,4	171,8	
27	472,7	472,2	471,8	945,8	171,1	
28	478,2	477,8	477,2	933,4	170,5	
29	482,9	482,5	482,0	923,3	169,9	
30	487,3	486,9	486,5	917,2	169,4	
31	494,2	493,9	493,3	907,7	168,9	
32	498,6	498,3	497,8	899,0	168,6	
33	503,0	502,6	502,1	891,9	168,5	
34	507,1	506,6	506,1	886,3	168,5	
35	511,0	510,5	510,1	879,7	168,3	
36	514,8	514,4	514,0	879,7	168,6	
37	520,4	520,1	519,6	874,9	168,8	
38	524,4	524,1	523,6	874,4	169,3	
39	528,1	528,0	527,6	870,7	169,8	
40	531,3	531,1	530,7	869,3	170,2	
41	535,2	535,0	534,6	868,3	170,8	
42	540,6	540,6	540,3	870,1	171,8	
43	544,6	544,8	544,5	870,7	172,6	
44	548,0	548,0	547,9	868,0	173,5	
45	551,6	551,8	551,6	871,6	174,3	
46	555,2	555,5	555,3	874,9	175,3	
47	558,9	559,2	559,2	877,4	176,3	
48	564,4	564,7	565,0	878,9	177,9	
49	568,0	568,3	568,7	880,2	179,1	
50	571,8	572,1	572,6	884,5	180,2	
51	575,6	575,9	576,6	886,9	181,6	
52	579,2	579,3	580,2	888,8	182,8	
53	584,8	584,8	586,1	890,4	184,5	
54	588,7	588,5	590,1	898,2	185,9	
55	592,7	592,4	594,3	898,8	187,2	
56	596,6	596,0	598,0	902,9	188,6	
57	600,6	599,9	602,1	905,6	189,9	
58	604,8	604,0	606,3	907,7	191,4	
59	610,5	609,4	612,0	913,8	193,2	
60	614,5	613,1	615,7	913,8	194,6	
On behalf of customer						
On behalf of manufacturer ABB sweden						
Page : 4 / 5						
Operator : ATQ / Johnny				Date : 15.10.2013 07:09:27		
				V1.3.0.0 		
<b>ABB Motors</b>						



### Torque / speed test for testindex 2

Order : 3GV1311256191001-A  
Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

**Calculated values at U-def.** 400,0 [V]

no.	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	M [Nm]	P2 [kW]
61	618,6	616,9	619,8	917,1	196,1
62	622,7	620,6	623,5	917,4	197,3
63	626,3	624,0	627,0	920,1	198,6
64	632,5	629,8	632,9	920,6	200,7
65	636,5	633,7	636,7	920,3	201,9
66	640,2	637,3	640,2	928,0	203,3
67	644,2	641,2	643,9	925,7	204,6
68	648,1	645,1	647,5	924,1	205,9
69	651,9	648,6	651,0	923,1	207,1
70	657,6	654,3	656,4	922,5	209,0
71	661,1	657,9	659,8	926,3	210,1
72	664,9	661,7	663,4	925,0	211,3
73	668,7	665,3	666,9	924,8	212,3
74	672,2	669,0	670,2	924,5	213,5
75	677,2	674,2	675,2	914,9	214,9
76	679,7	676,8	677,6	944,4	215,9
77	683,4	680,9	680,5	957,8	217,4
78	686,8	684,2	684,9	957,4	218,5
79	689,7	687,4	687,5	956,4	219,3
80	694,1	692,0	691,7	1000,5	220,4
81	696,2	694,8	694,2	1075,2	221,4
82	699,6	697,4	697,6	1089,0	222,5

**Interpolation to rated power**

U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos [-]	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
400,0	400,0	400,0	73,4	73,4	74,5	42,9	0,84	49,8	1481,2	290,2	45,0	104,8

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

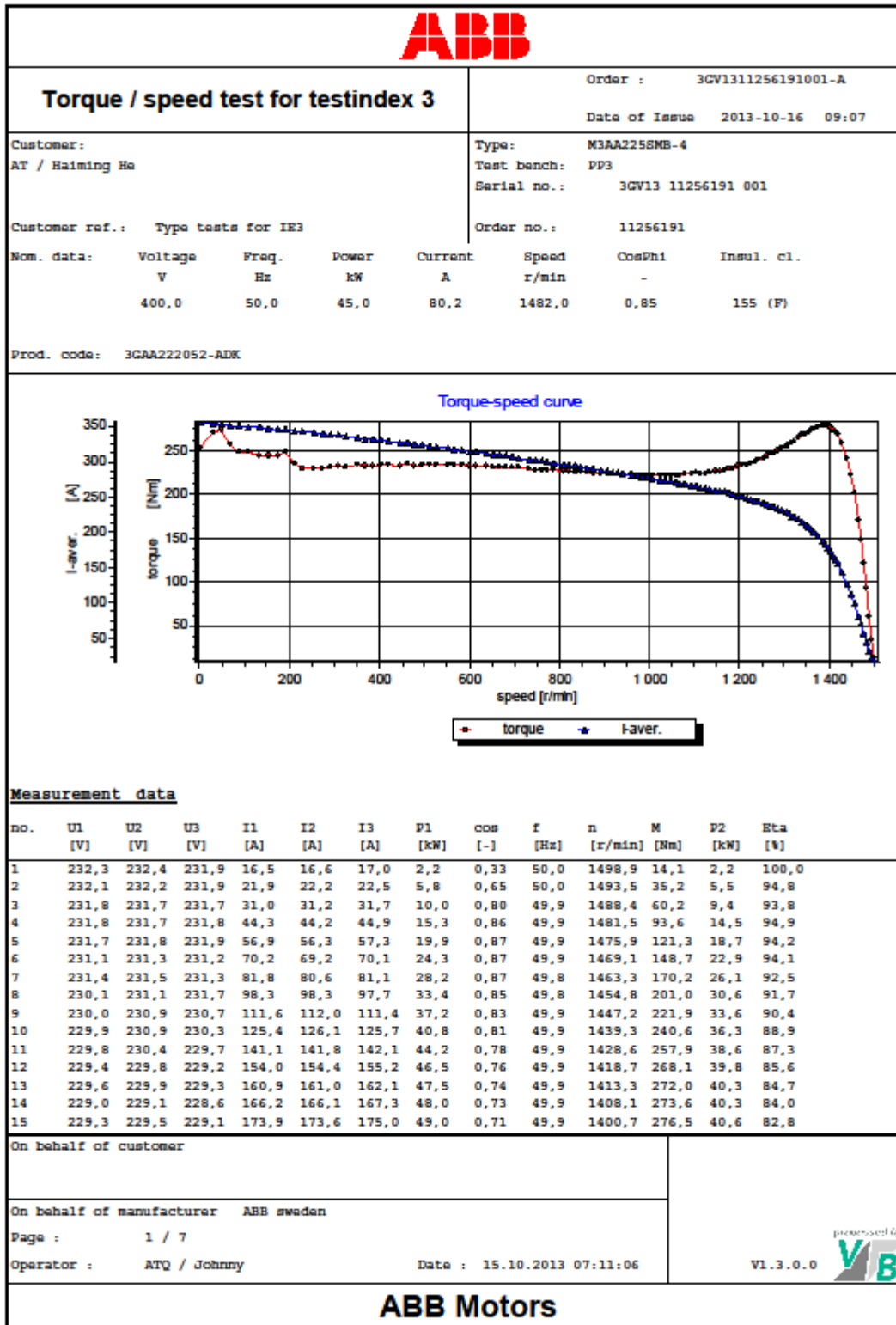
Page : 5 / 5

Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:09:27

processed by  
**V/B**  
V1.3.0.0

**ABB Motors**







### Torque / speed test for testindex 3

Order : 3GV1311256191001-A

Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

#### Measurement data

no.	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos [-]	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
16	229,2	229,3	229,0	178,6	178,1	179,6	49,2	0,69	50,0	1395,5	277,4	40,5	82,4
17	229,2	229,3	229,0	183,2	182,6	184,1	49,7	0,68	49,9	1390,3	277,1	40,3	81,2
18	229,0	229,0	228,7	187,5	186,7	188,3	49,9	0,67	49,9	1385,0	276,7	40,1	80,4
19	228,9	228,9	228,7	195,1	194,3	195,9	50,2	0,65	50,0	1374,2	276,0	39,7	79,1
20	228,9	229,0	228,8	200,9	200,0	201,7	50,4	0,63	50,0	1365,1	275,0	39,3	78,0
21	229,1	229,2	228,9	204,6	203,6	205,3	50,3	0,62	50,0	1358,7	272,5	38,8	77,1
22	228,9	228,9	228,7	207,5	206,5	208,2	50,3	0,61	50,0	1353,1	270,8	38,4	76,3
23	228,9	229,0	228,7	210,8	209,9	211,5	50,2	0,60	50,0	1346,3	268,2	37,8	75,3
24	228,9	229,0	228,8	213,9	213,0	214,7	50,2	0,59	50,0	1339,8	268,0	37,6	74,9
25	228,9	229,0	228,7	218,3	217,4	219,0	49,9	0,58	50,0	1329,2	263,6	36,7	73,5
26	228,9	229,0	228,7	221,1	220,2	221,8	49,8	0,57	50,0	1322,3	260,5	36,1	72,4
27	228,8	229,0	228,7	222,9	222,0	223,7	49,6	0,56	50,0	1316,3	258,6	35,6	71,9
28	229,0	229,3	228,9	225,6	224,8	226,4	49,5	0,55	50,0	1309,2	256,7	35,2	71,1
29	229,0	229,2	228,8	227,5	226,8	228,4	49,4	0,55	50,0	1303,2	254,1	34,7	70,2
30	229,0	229,4	228,9	230,9	230,3	231,9	49,2	0,54	50,0	1291,9	252,1	34,1	69,3
31	229,0	229,4	228,9	233,1	232,5	234,1	49,0	0,53	50,0	1284,2	249,2	33,5	68,4
32	229,0	229,4	229,0	235,0	234,5	236,0	48,8	0,52	50,0	1276,8	246,7	33,0	67,6
33	228,8	229,3	228,8	236,6	236,2	237,7	48,6	0,52	50,0	1269,1	246,0	32,7	67,3
34	228,9	229,4	228,9	238,7	238,4	239,9	48,5	0,51	50,0	1260,4	244,2	32,2	66,5
35	228,9	229,4	228,9	240,4	240,2	241,6	48,3	0,51	50,0	1252,4	241,3	31,6	65,5
36	229,0	229,6	229,1	243,1	243,0	244,3	48,2	0,50	50,0	1240,2	239,0	31,0	64,4
37	228,8	229,5	228,9	244,5	244,5	245,7	48,0	0,49	50,0	1232,0	236,0	30,4	63,4
38	229,1	229,8	229,2	246,2	246,3	247,5	48,0	0,49	50,0	1224,3	234,9	30,1	62,7
39	229,0	229,7	229,2	247,5	247,6	248,7	47,9	0,49	50,0	1216,4	234,1	29,8	62,2
40	229,0	229,8	229,3	249,1	249,3	250,4	47,8	0,48	50,0	1207,5	233,5	29,5	61,8
41	229,2	230,1	229,5	251,6	251,8	252,8	47,8	0,48	50,0	1194,3	232,0	29,0	60,7
42	229,1	230,0	229,4	252,8	253,1	254,0	47,7	0,47	50,0	1185,5	229,8	28,5	59,8
43	229,0	229,9	229,4	254,4	254,8	255,5	47,6	0,47	50,0	1175,4	228,5	28,1	59,1
44	229,1	230,0	229,5	255,8	256,2	256,9	47,6	0,47	50,0	1166,1	227,6	27,8	58,4
45	229,0	230,0	229,5	257,1	257,5	258,1	47,6	0,46	50,0	1156,8	226,8	27,5	57,7
46	229,1	230,1	229,6	258,5	258,9	259,4	47,6	0,46	50,0	1147,8	226,2	27,2	57,1
47	228,8	229,8	229,4	260,1	260,6	261,1	47,5	0,46	50,0	1133,3	225,4	26,7	56,3
48	228,8	229,8	229,4	261,5	262,0	262,3	47,5	0,46	50,0	1123,3	223,9	26,3	55,4
49	229,0	230,0	229,6	262,9	263,4	263,7	47,6	0,45	50,0	1113,8	223,7	26,1	54,8
50	229,1	230,2	229,8	264,4	264,9	265,1	47,7	0,45	50,0	1104,0	224,7	26,0	54,5
51	228,8	229,9	229,5	265,5	266,0	266,2	47,6	0,45	50,0	1092,4	223,4	25,6	53,7
52	228,8	229,8	229,5	267,3	267,8	267,9	47,7	0,45	50,0	1077,3	222,8	25,1	52,7
53	228,9	230,0	229,7	268,5	269,0	269,1	47,8	0,45	50,0	1067,4	221,7	24,8	51,8
54	228,8	229,9	229,7	269,8	270,2	270,2	47,9	0,45	50,0	1057,3	222,0	24,6	51,3
55	228,9	230,0	229,8	271,1	271,6	271,5	48,0	0,44	50,0	1046,2	222,2	24,3	50,7
56	228,8	229,9	229,7	272,2	272,6	272,6	48,1	0,44	50,0	1035,4	222,5	24,1	50,2
57	228,8	229,9	229,7	273,5	274,0	273,9	48,2	0,44	50,0	1023,9	222,2	23,8	49,4
58	228,7	229,8	229,6	275,4	275,8	275,7	48,4	0,44	50,0	1006,2	221,7	23,4	48,3
59	228,9	230,0	229,8	276,9	277,3	277,1	48,6	0,44	50,0	994,7	221,7	23,1	47,5

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 2 / 7


Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:11:06


V1.3.0.0



**ABB Motors**

													
<b>Torque / speed test for testindex 3</b>								Order : 3GV1311256191001-A					
Customer: AT / Haiming He								Date of Issue 2013-10-16 09:07					
								Customer ref.: Type tests for IE3					
<u>Measurement data</u>													
no.	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos [-]	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
60	228,7	229,8	229,6	277,7	278,1	277,9	48,6	0,44	50,0	984,1	221,4	22,8	46,9
61	228,9	229,9	229,8	279,2	279,6	279,4	48,9	0,44	50,0	972,2	221,7	22,6	46,2
62	228,8	229,9	229,8	280,5	280,8	280,6	49,0	0,44	50,0	960,4	222,6	22,4	45,7
63	228,8	229,8	229,7	282,2	282,6	282,4	49,3	0,44	50,0	942,4	222,5	22,0	44,5
64	228,8	229,9	229,8	283,6	283,9	283,7	49,5	0,44	50,0	930,3	222,9	21,7	43,9
65	228,7	229,8	229,7	284,6	284,9	284,7	49,6	0,44	50,0	918,4	223,6	21,5	43,4
66	228,6	229,7	229,6	285,7	286,0	285,8	49,7	0,44	50,0	906,5	223,7	21,2	42,7
67	228,7	229,7	229,6	287,0	287,3	287,1	50,0	0,44	50,0	893,7	224,0	21,0	41,9
68	228,7	229,7	229,6	289,0	289,3	289,1	50,3	0,44	50,0	874,4	224,0	20,5	40,8
69	228,6	229,7	229,6	290,3	290,6	290,4	50,5	0,44	50,0	860,7	224,7	20,2	40,1
70	228,9	230,0	229,9	292,0	292,3	292,1	50,9	0,44	50,0	847,9	225,6	20,0	39,3
71	228,7	229,7	229,6	292,8	293,1	292,9	50,9	0,44	50,0	835,2	225,2	19,7	38,7
72	228,6	229,7	229,5	294,0	294,3	294,1	51,1	0,44	50,0	822,0	225,7	19,4	38,0
73	228,7	229,8	229,7	295,4	295,7	295,6	51,4	0,44	50,0	808,9	226,7	19,2	37,4
74	228,9	230,0	229,8	297,7	298,0	297,8	51,9	0,44	50,0	787,6	228,0	18,8	36,2
75	228,5	229,7	229,5	298,6	298,9	298,7	51,9	0,44	50,0	773,4	227,5	18,4	35,5
76	228,8	229,9	229,7	300,2	300,5	300,4	52,3	0,44	50,0	760,0	228,0	18,1	34,7
77	228,5	229,7	229,5	301,0	301,4	301,3	52,4	0,44	50,0	746,3	228,0	17,8	34,0
78	228,8	230,0	229,8	302,9	303,2	303,1	52,8	0,44	50,0	732,1	229,0	17,6	33,2
79	228,7	229,9	229,7	304,7	305,0	305,0	53,1	0,44	50,0	710,3	230,4	17,1	32,3
80	228,8	229,9	229,7	306,0	306,4	306,3	53,4	0,44	50,0	695,9	230,0	16,8	31,4
81	228,7	229,8	229,6	307,2	307,6	307,6	53,6	0,44	50,0	681,1	230,6	16,4	30,7
82	228,7	229,9	229,7	308,5	308,9	308,9	53,8	0,44	50,0	666,6	230,8	16,1	29,9
83	228,7	229,9	229,7	309,9	310,2	310,2	54,1	0,44	50,0	652,4	231,3	15,8	29,2
84	228,7	229,8	229,6	311,1	311,5	311,6	54,3	0,44	50,0	636,6	231,4	15,4	28,4
85	228,6	229,8	229,5	313,0	313,4	313,5	54,6	0,44	50,0	613,8	232,1	14,9	27,3
86	228,5	229,7	229,4	314,0	314,4	314,5	54,8	0,44	50,0	599,7	232,3	14,6	26,6
87	228,6	229,8	229,5	315,6	316,0	316,1	55,1	0,44	50,0	583,7	233,5	14,3	25,9
88	228,7	229,9	229,6	317,1	317,5	317,6	55,4	0,44	50,0	567,6	233,5	13,9	25,1
89	228,7	229,9	229,6	318,5	318,9	319,1	55,7	0,44	50,0	551,5	233,5	13,5	24,2
90	228,8	230,0	229,6	320,5	320,9	321,1	56,1	0,44	50,0	527,0	233,0	12,9	22,9
91	228,6	229,8	229,4	321,4	321,8	322,1	56,2	0,44	50,0	511,6	233,9	12,5	22,3
92	228,9	230,1	229,7	323,3	323,7	323,9	56,5	0,44	50,0	495,3	233,5	12,1	21,4
93	228,5	229,7	229,3	323,9	324,3	324,6	56,6	0,44	50,0	479,2	231,6	11,6	20,5
94	228,7	229,9	229,5	325,5	325,9	326,2	56,9	0,44	50,0	462,7	235,0	11,4	20,0
95	228,5	229,7	229,3	326,5	326,8	327,1	57,1	0,44	50,0	446,2	232,0	10,8	19,0
96	228,6	229,8	229,4	328,5	329,0	329,3	57,5	0,44	50,0	421,3	233,2	10,3	17,9
97	228,4	229,6	229,2	329,5	329,8	330,3	57,5	0,44	50,0	404,6	233,6	9,9	17,2
98	228,7	229,9	229,4	331,3	331,6	332,1	57,9	0,44	50,0	386,5	232,7	9,4	16,3
99	228,6	229,8	229,3	332,3	332,7	333,2	58,1	0,44	50,0	369,5	232,3	9,0	15,5
100	228,5	229,6	229,2	333,3	333,6	334,1	58,2	0,44	50,0	352,7	233,3	8,6	14,8
101	228,7	229,9	229,4	335,5	335,8	336,3	58,6	0,44	50,0	327,3	231,0	7,9	13,5
102	228,5	229,7	229,2	336,4	336,7	337,3	58,7	0,44	50,0	309,1	232,0	7,5	12,8
103	228,5	229,7	229,2	337,7	338,0	338,6	58,9	0,44	50,0	291,0	231,3	7,0	12,0

On behalf of customer	
On behalf of manufacturer ABB sweden	
Page : 3 / 7	
Operator : ATQ / Johnny	Date : 15.10.2013 07:11:06
	
<b>ABB Motors</b>	



### Torque / speed test for testindex 3

Order : 3GV1311256191001-A

Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

#### Measurement data

no.	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos [-]	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
104	228,4	229,6	229,1	338,7	339,0	339,7	59,1	0,44	50,0	273,6	229,8	6,6	11,1
105	228,6	229,7	229,2	340,1	340,2	341,0	59,3	0,44	50,0	255,8	229,4	6,1	10,4
106	228,6	229,7	229,2	341,8	341,9	342,7	59,5	0,44	50,0	228,0	228,9	5,5	9,2
107	228,6	229,8	229,3	342,6	342,7	343,6	59,7	0,44	50,0	210,7	235,1	5,2	8,7
108	228,6	229,8	229,2	343,6	343,8	344,8	60,1	0,44	50,0	193,0	248,0	5,0	8,3
109	228,7	229,9	229,2	345,3	345,4	345,9	60,3	0,44	50,0	173,8	244,4	4,4	7,4
110	228,6	229,8	229,1	346,4	346,2	347,3	60,5	0,44	50,0	154,6	244,2	4,0	6,5
111	228,4	229,5	229,0	347,0	347,1	348,2	60,5	0,44	50,0	135,6	243,7	3,5	5,7
112	228,4	229,6	229,0	348,7	348,5	349,6	60,7	0,44	50,0	107,6	248,2	2,8	4,6
113	228,6	229,7	229,2	349,7	349,8	351,1	61,0	0,44	50,0	88,8	248,7	2,3	3,8
114	228,5	229,7	229,1	350,5	350,6	351,8	61,1	0,44	50,0	69,2	256,6	1,9	3,0
115	228,4	229,5	229,0	351,7	351,4	352,8	61,2	0,44	50,0	50,1	273,4	1,4	2,3
116	228,5	229,6	229,0	352,6	352,8	353,5	61,5	0,44	50,0	30,7	270,4	0,9	1,4
117	228,6	229,8	229,1	355,5	355,0	356,3	61,9	0,44	50,0	3,0	252,1	0,1	0,1

#### Calculated values at U-def. 400,0 [V]

no.	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	M [Nm]	P2 [kW]
1	32,2	32,4	33,2	56,0	7,4
2	42,8	43,3	43,9	140,3	19,5
3	60,6	61,0	62,0	240,8	33,8
4	86,6	86,4	87,8	374,4	51,6
5	111,3	110,1	112,0	485,0	67,2
6	137,7	135,7	137,5	598,5	82,5
7	160,3	157,9	158,9	683,6	95,5
8	193,1	193,1	191,9	811,1	113,6
9	219,7	220,5	219,3	899,8	127,1
10	247,1	248,5	247,7	977,4	139,6
11	278,6	280,0	280,6	1052,3	151,8
12	304,9	305,7	307,3	1100,0	160,5
13	318,3	318,5	320,7	1114,4	163,7
14	330,1	329,9	332,2	1129,7	166,6
15	344,6	344,0	346,8	1136,6	169,4
16	354,2	353,2	356,2	1142,0	170,3
17	363,3	362,1	365,1	1140,7	172,0
18	372,4	370,8	374,0	1142,5	173,2
19	387,6	386,0	389,2	1140,4	174,3
20	399,0	397,2	400,6	1135,4	174,9
21	406,0	404,0	407,4	1123,0	174,3
22	412,2	410,2	413,6	1118,9	174,7
23	418,7	416,9	420,1	1107,8	174,3
24	424,8	423,0	426,4	1106,5	174,2
25	433,6	431,8	435,0	1088,8	173,2

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 4 / 7



Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:11:06

V1.3.0.0



**ABB Motors**

													
<b>Torque / speed test for testindex 3</b>						Order : 3GV1311256191001-A							
						Date of Issue 2013-10-16 09:07							
Customer: AT / Haining He						Type: M3AA225SMB-4							
Customer ref.: Type tests for IE3						Test bench: PP3							
						Serial no.: 3GV13 11256191 001							
						Order no.: 11256191							
<b>Measurement data</b>													
no.	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos [-]	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
104	228,4	229,6	229,1	338,7	339,0	339,7	59,1	0,44	50,0	273,6	229,8	6,6	11,1
105	228,6	229,7	229,2	340,1	340,2	341,0	59,3	0,44	50,0	255,8	229,4	6,1	10,4
106	228,6	229,7	229,2	341,8	341,9	342,7	59,5	0,44	50,0	228,0	228,9	5,5	9,2
107	228,6	229,8	229,3	342,6	342,7	343,6	59,7	0,44	50,0	210,7	235,1	5,2	8,7
108	228,6	229,8	229,2	343,6	343,8	344,8	60,1	0,44	50,0	193,0	248,0	5,0	8,3
109	228,7	229,9	229,2	345,3	345,4	345,9	60,3	0,44	50,0	173,8	244,4	4,4	7,4
110	228,6	229,8	229,1	346,4	346,2	347,3	60,5	0,44	50,0	154,6	244,2	4,0	6,5
111	228,4	229,5	229,0	347,0	347,1	348,2	60,5	0,44	50,0	135,6	243,7	3,5	5,7
112	228,4	229,6	229,0	348,7	348,5	349,6	60,7	0,44	50,0	107,6	248,2	2,8	4,6
113	228,6	229,7	229,2	349,7	349,8	351,1	61,0	0,44	50,0	88,8	248,7	2,3	3,8
114	228,5	229,7	229,1	350,5	350,6	351,8	61,1	0,44	50,0	69,2	256,6	1,9	3,0
115	228,4	229,5	229,0	351,7	351,4	352,8	61,2	0,44	50,0	50,1	273,4	1,4	2,3
116	228,5	229,6	229,0	352,6	352,8	353,5	61,5	0,44	50,0	30,7	270,4	0,9	1,4
117	228,6	229,8	229,1	355,5	355,0	356,3	61,9	0,44	50,0	3,0	252,1	0,1	0,1
<b>Calculated values at U-def. 400,0 [V]</b>													
no.				I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]			M [Nm]	P2 [kW]			
1				32,2	32,4	33,2			56,0	7,4			
2				42,8	43,3	43,9			140,3	19,5			
3				60,6	61,0	62,0			240,8	33,8			
4				86,6	86,4	87,8			374,4	51,6			
5				111,3	110,1	112,0			485,0	67,2			
6				137,7	135,7	137,5			598,5	82,5			
7				160,3	157,9	158,9			683,6	95,5			
8				193,1	193,1	191,9			811,1	113,6			
9				219,7	220,5	219,3			899,8	127,1			
10				247,1	248,5	247,7			977,4	139,6			
11				278,6	280,0	280,6			1052,3	151,8			
12				304,9	305,7	307,3			1100,0	160,5			
13				318,3	318,5	320,7			1114,4	163,7			
14				330,1	329,9	332,2			1129,7	166,6			
15				344,6	344,0	346,8			1136,6	169,4			
16				354,2	353,2	356,2			1142,0	170,3			
17				363,3	362,1	365,1			1140,7	172,0			
18				372,4	370,8	374,0			1142,5	173,2			
19				387,6	386,0	389,2			1140,4	174,3			
20				399,0	397,2	400,6			1135,4	174,9			
21				406,0	404,0	407,4			1123,0	174,3			
22				412,2	410,2	413,6			1118,9	174,7			
23				418,7	416,9	420,1			1107,8	174,3			
24				424,8	423,0	426,4			1106,5	174,2			
25				433,6	431,8	435,0			1088,8	173,2			
On behalf of customer										processed by  V1.3.0.0			
On behalf of manufacturer ABB sweden													
Page : 4 / 7 Operator : ATQ / Johnny      Date : 15.10.2013 07:11:06													
<b>ABB Motors</b>													



### Torque / speed test for testindex 3

Order : 3GV1311256191001-A

Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

Calculated values at U-def. 400,0 [V]

no.	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	M [Nm]	P2 [kW]
26	439,2	437,4	440,6	1076,0	172,9
27	442,8	441,0	444,4	1068,5	172,2
28	447,6	446,0	449,2	1057,9	171,5
29	451,6	450,2	453,3	1048,0	171,3
30	458,1	456,9	460,0	1038,6	170,4
31	462,4	461,2	464,4	1026,6	169,7
32	466,1	465,1	468,1	1015,9	169,0
33	469,7	468,9	471,9	1014,9	168,6
34	473,6	473,0	476,0	1006,4	168,0
35	477,0	476,6	479,4	994,4	167,3
36	481,9	481,7	484,3	983,1	166,7
37	485,1	485,1	487,5	972,6	166,3
38	487,7	487,9	490,3	964,8	165,8
39	490,5	490,7	492,8	962,3	165,6
40	493,5	493,9	496,0	959,1	165,1
41	497,8	498,2	500,2	950,5	164,8
42	500,4	501,0	502,8	942,5	164,6
43	503,8	504,6	506,0	937,9	164,3
44	506,3	507,1	508,5	933,1	164,2
45	508,9	509,7	510,9	930,2	164,2
46	511,4	512,2	513,2	926,7	164,1
47	515,3	516,3	517,3	926,2	164,2
48	518,1	519,1	519,7	920,0	164,2
49	520,3	521,3	521,9	917,1	164,2
50	522,8	523,8	524,2	919,5	164,3
51	525,9	526,8	527,2	917,3	164,4
52	529,5	530,5	530,7	915,1	164,8
53	531,4	532,4	532,6	908,9	164,9
54	534,2	535,0	535,0	910,8	165,3
55	536,5	537,5	537,3	910,7	165,5
56	538,9	539,7	539,7	912,9	166,0
57	541,5	542,5	542,3	911,7	166,4
58	545,6	546,4	546,2	910,6	167,2
59	547,9	548,7	548,3	908,6	167,6
60	550,1	550,9	550,5	909,4	167,9
61	552,6	553,4	553,0	908,9	168,7
62	555,3	555,9	555,5	913,0	169,1
63	558,8	559,6	559,2	913,2	170,2
64	561,4	562,0	561,6	914,2	170,8
65	563,7	564,3	563,9	918,1	171,3
66	566,2	566,8	566,4	919,5	171,8
67	568,6	569,2	568,8	920,4	172,8
68	572,6	573,2	572,8	920,4	173,8
69	575,3	575,9	575,5	923,6	174,6

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 5 / 7



Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:11:06

V1.3.0.0



**ABB Motors**

						
<b>Torque / speed test for testindex 3</b>				Order : 3GV1311256191001-A		
				Date of Issue 2013-10-16 09:07		
Customer: AT / Haiming He				Type: M3AA225SMB-4		
Customer ref.: Type tests for IE3				Test bench: PP3		
				Serial no.: 3GV13 11256191 001		
				Order no.: 11256191		
<b>Calculated values at U-def.</b> 400,0 [V]						
no.	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	M [Nm]	P2 [kW]	
70	577,7	578,3	577,9	924,3	175,4	
71	580,1	580,7	580,3	925,3	175,9	
72	582,7	583,3	582,9	928,1	176,7	
73	585,1	585,7	585,5	930,8	177,5	
74	589,1	589,7	589,3	934,4	179,0	
75	591,9	592,5	592,1	935,8	179,5	
76	594,4	595,0	594,8	935,5	180,5	
77	596,7	597,5	597,3	937,9	181,3	
78	599,5	600,1	599,9	938,9	182,1	
79	603,4	604,0	604,0	945,7	183,3	
80	605,9	606,6	606,5	943,7	184,3	
81	608,6	609,4	609,4	947,2	185,2	
82	610,9	611,7	611,7	947,3	185,7	
83	613,7	614,3	614,3	949,4	186,8	
84	616,3	617,1	617,3	950,5	187,6	
85	620,3	621,1	621,3	954,1	188,7	
86	622,6	623,4	623,6	955,9	189,6	
87	625,4	626,2	626,4	959,8	190,5	
88	628,1	628,9	629,0	958,7	191,3	
89	630,8	631,6	632,0	958,7	192,4	
90	634,6	635,4	635,8	956,0	193,6	
91	637,0	637,8	638,4	961,8	194,3	
92	639,8	640,6	641,0	957,0	194,8	
93	642,3	643,1	643,7	953,4	195,9	
94	644,8	645,6	646,2	965,3	196,6	
95	647,5	648,1	648,7	955,0	197,6	
96	651,1	652,1	652,7	958,9	198,8	
97	653,8	654,4	655,4	962,7	199,2	
98	656,4	657,0	658,0	956,2	200,1	
99	658,8	659,5	660,5	955,6	201,0	
100	661,2	661,8	662,8	961,1	201,6	
101	664,7	665,3	666,3	949,2	202,5	
102	667,2	667,8	669,0	955,4	203,3	
103	669,8	670,4	671,6	952,5	203,9	
104	672,2	672,8	674,1	947,4	204,8	
105	674,5	674,7	676,2	944,3	205,3	
106	677,8	678,0	679,6	942,3	206,0	
107	679,2	679,4	681,2	967,1	206,5	
108	681,3	681,7	683,7	1020,5	208,0	
109	684,4	684,6	685,6	1005,0	208,5	
110	686,9	686,6	688,7	1005,3	209,4	
111	688,9	689,1	691,3	1005,4	209,8	
112	692,1	691,7	693,9	1023,6	210,4	
113	693,5	693,7	696,3	1023,8	211,1	
On behalf of customer				processed by  V1.3.0.0		
On behalf of manufacturer ABB sweden						
Page : 6 / 7		Operator : NTQ / Johnny				
<b>ABB Motors</b>						



### Torque / speed test for testindex 3

Order : 3GV1311256191001-A

Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

Calculated values at U-def. 400,0 [V]

no.	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	M [Nm]	P2 [kW]
114	695,3	695,5	697,9	1057,1	211,6
115	698,2	697,6	700,4	1128,0	212,3
116	699,7	700,1	701,5	1114,8	213,2
117	705,0	704,0	706,6	1037,8	214,3

Interpolation to rated power

U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
400,0	400,0	400,0	70,1	70,3	71,4	40,3	0,82	49,9	1485,9	289,3	45,0	111,8

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 7 / 7

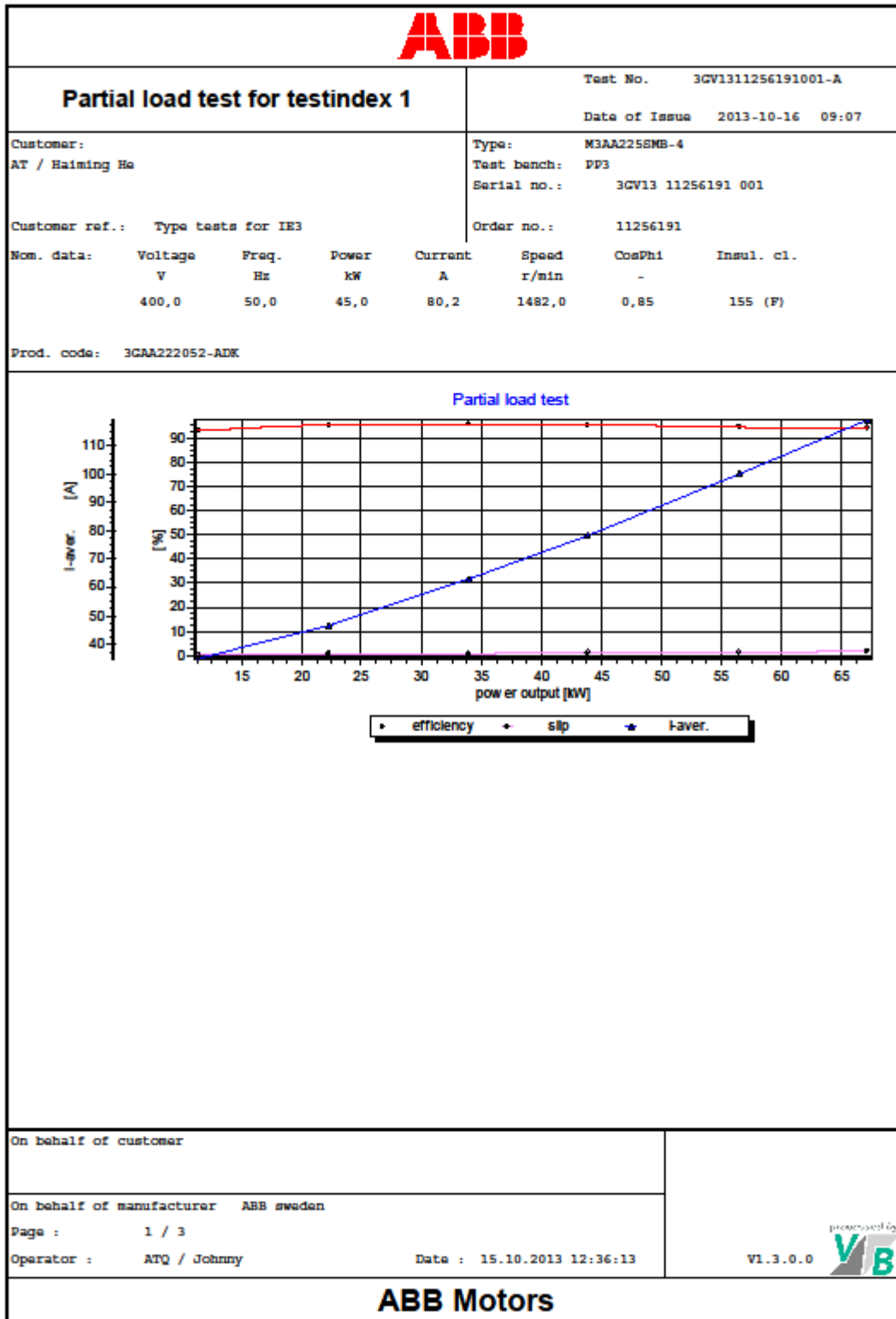
Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:11:06

V1.3.0.0



**ABB Motors**







### Partial load test for testindex 1

Test No. 3GV1311256191001-A

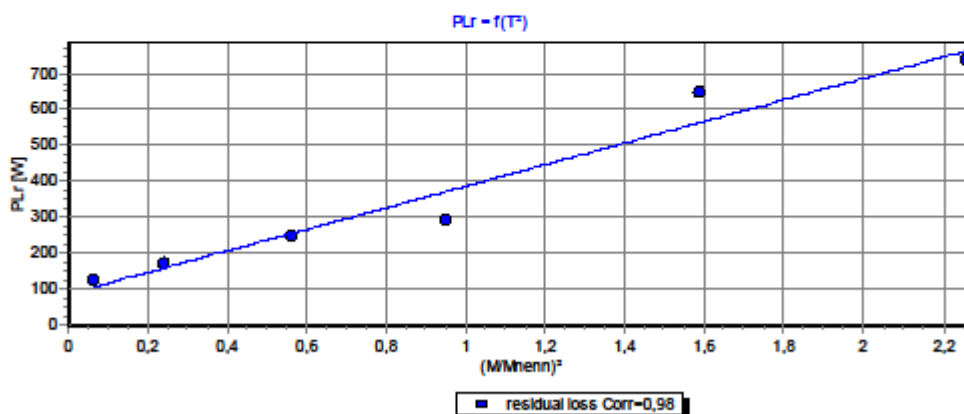
Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191



IEC 60034-2-1 2007 (8.2.2.5.1)

#### Guidelines for calculating

Resistance at start	81,73 [mOhm]	Iron losses	378,3 [W]
Temp. at start	78,5 [°C]	Friction losses	138,8 [W]
Resistance at stop	82,50 [mOhm]	Power consumption	47,2 [kW]
Temp. at stop	81,4 [°C]	Nom. current	80,2 [A]
Resistance conn.	81,73 [mOhm]		

#### Measurement data

Time [min]	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	f [Hz]	cos φ [-]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]
0,0	399,9	399,6	399,7	119,0	118,2	119,2	71,5	50,0	0,87	1470,7	435,9	67,1
0,3	399,7	400,4	400,3	100,1	100,0	99,3	59,8	50,0	0,86	1476,3	365,4	56,5
0,7	399,9	400,6	400,6	78,7	78,6	77,9	46,0	50,0	0,85	1482,3	282,6	43,9
1,1	400,4	400,3	400,8	63,6	62,6	62,9	35,4	50,0	0,81	1487,0	217,5	33,9
1,5	400,0	399,6	400,0	47,2	46,4	47,0	23,3	50,0	0,72	1491,8	142,4	22,3
1,9	400,9	400,6	400,6	35,1	34,6	35,2	12,2	50,0	0,50	1496,0	72,7	11,4

#### Calculated values

Roomtemp.	23,5 [°C]	Correlation coefficient	= 0,978											
Time [min]	Ured [V]	Iav [A]	P1 [kW]	R [mOhm]	Tw [°C]	Ps [W]	Pfa [W]	PL [W]	P-1s [kW]	s [%]	Pr [W]	Pfw [W]	P2 [kW]	Eta [%]

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 2 / 3



Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 12:36:13

V1.3.0.0



**ABB Motors**

															
<b>Partial load test for testindex 1</b>								Test No. 3GV1311256191001-A							
Customer: AT / Haiming He								Date of Issue 2013-10-16 09:07							
								Customer ref.: Type tests for IE3							
<b>Calculated values</b>															
Rocontemp. 23,5 [°C] Correlation coefficient = 0,978															
Time [min]	Ured [V]	Iav [A]	P1 [kW]	R [mOhm]	Tw [°C]	Ps [W]	Pfe [W]	PL [W]	P-1s [W]	s [s]	Pr [W]	Pfw [W]	P2 [kW]	Eta [%]	
0,0	392,5	118,8	71,5	81,73	78,5	1729,9	362,9	678,4	69,4	2,0	1353,6	138,8	67,1	93,9	
0,3	394,0	99,8	59,8	81,73	78,5	1221,3	366,3	476,7	58,2	1,6	919,4	138,8	56,5	94,5	
0,7	395,7	78,4	46,0	82,05	79,7	757,0	369,9	285,2	44,8	1,2	529,9	138,8	43,9	95,5	
1,1	396,9	63,0	35,4	82,19	80,2	489,7	372,6	168,9	34,6	0,9	302,2	138,8	33,9	95,6	
1,5	397,5	46,9	23,3	82,35	80,8	271,1	374,0	72,4	22,7	0,5	124,5	138,8	22,3	95,4	
1,9	399,4	35,0	12,2	82,50	81,4	151,4	378,6	18,9	11,7	0,3	31,6	138,8	11,4	93,2	
<b>Calculated values for 25 °C</b> IEC 60034-2-1 2007 (8.2.2.5.1)															
Temp. winding 84,7 °C Warm resistance 84,03 mOhm															
Time [min]	Iav [A]	P1 [kW]	R25 [mOhm]	Ps [W]	P-stat. [W]	n [r/min]	s [%]	Pr [W]	P-rot. [W]	P2 [kW]	Eta [%]				
0,0	118,8	71,5	83,09	1758,8	2800,11	1470,2	2,0	1376,4	1515,2	67,1	94,0				
0,3	99,8	59,8	83,09	1241,7	2084,65	1475,9	1,6	935,0	1073,8	56,6	94,7				
0,7	78,4	46,0	83,42	769,6	1424,7	1482,0	1,2	538,9	677,7	43,9	95,4				
1,1	63,0	35,4	83,56	497,9	1039,48	1486,8	0,9	307,4	446,2	33,9	95,8				
1,5	46,9	23,3	83,72	275,7	722,1	1491,7	0,6	126,6	265,4	22,3	95,8				
1,9	35,0	12,2	83,88	153,9	551,4	1495,9	0,3	32,2	170,9	11,5	94,1				
<b>Calculated values for 25 °C at different power</b>															
Pnom. [%]	Iav [A]	P1 [kW]	U [V]	cos [-]	M [Nm]	n [r/min]	s [%]	P2 [kW]	Eta [%]	class					
125	99,2	59,4	400	0,86	363,9	1476,1	1,6	56,3	94,7	IE3					
100	80,3	47,2	400	0,85	290,07	1481,4	1,2	45,0	95,4	IE3					
75	62,8	35,2	400	0,81	216,78	1486,7	0,9	33,8	95,8	IE3					
50	47,1	23,5	400	0,72	144,05	1491,6	0,6	22,5	95,8	IE3					
25	34,8	12,0	400	0,5	71,81	1496,0	0,3	11,3	94,0	IE3					
On behalf of customer											 powered by <b>V B</b> V1.3.0.0				
On behalf of manufacturer ABB sweden															
Page : 3 / 3															
Operator : ATQ / Johnny						Date : 15.10.2013 12:36:13									
<b>ABB Motors</b>															



## Summary protocol

Order : 3GV1311256191001-A

Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haining HeType: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

Nom. data:	Voltage	Freq.	Power	Current	Speed	CosPhi	Inseul. cl.
	V	Hz	kW	A	r/min	-	
	400,0	50,0	45,0	80,2	1482,0	0,85	155 (F)

Prod. code: 3GAA222052-ADK

### No-load characteristic

IEC 60034-2-1      CSA 390-10

#### Requirements

Start resist.	81,34	mOhm	66,73	mOhm
Start temp.	77,0	°C	20,9	°C
End resistance	81,02	mOhm	84,43	mOhm
End temperature	75,7	°C	88,4	°C
Voltage	400,0	V	400,0	V

#### Results

Current	28,6	A	28,6	A
Resistance	81,02	mOhm	82,06	mOhm
Temperature	75,7	°C	80,0	°C
P <sub>s</sub>	99,6	W	100,9	W
Friction losses	138,8	W	129,3	W
Iron losses	378,3	W	386,6	W
Power	616,7	W	616,7	W

### Locked rotor test

#### Requirements

Calculation voltage : 400,0 V

#### Results

exp. - current	: 1,2	Exponent - Moment	: 2,5
Current at calc. volt.:	634,1 A	Torque at calc. volt.:	1085,7 Nm

On behalf of customer



On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 1 / 3

Operator : ATQ / Johnny

Date 16.10.2013 09:07:50

provided by  
 V1.3.0.0**ABB Motors**

	
<b>Summary protocol</b>	Order : 3GV1311256191001-A Date of Issue 2013-10-16 09:07
Customer: AT / Haining He	Type: M3AA225SMB-4 Test bench: PP3 Serial no.: 3GV13 11256191 001
Customer ref.: Type tests for IE3	Order no.: 11256191
<b><u>partial load test</u></b>	
	IEC 60034-2-1      CSA 390-10
<b><u>Requirements</u></b>	
Start resistance	81,73 mOhm      66,48 mOhm
Start temperature	78,5 °C      20,9 °C
End resistance	82,50 mOhm      84,01 mOhm
End temperature	81,4 °C      84,6 °C
Friction losses	138,8 W      129,3 W
Iron losses	369,6 W      377,9 W
<b><u>Results</u></b>	
P1n	47,2 kW      47,2 kW
In	80,2 A      80,2 A
Rn	81,73 mOhm      82,97 mOhm
Tn	78,5 °C      79,1 °C
Ps	788,5 W      800,5 W
PL	300,4 W      303,9 W
Pair	46,0 kW      46,0 kW
Slippage	1,2 %      1,2 %
Pr	569,8 W      569,7 W
P2n	45,0 kW      45,0 kW
Eta	95,3 %      95,3 %
Torque	290,1 Nm      290,1 Nm
<b><u>Requirements at 25 °C</u></b>	
Warm resist.	84,03 mOhm      84,03 mOhm
Roomtemp.	20,0 °C      20,0 °C
Wind. temp.	84,7 °C      84,7 °C
Iron losses	369,6 W      377,9 W
<b><u>results at 25 °C</u></b>	
P1n	47,2 kW      47,2 kW
In	80,3 A      80,3 A
R25	84,03 mOhm      82,05 mOhm
Tn	89,7 °C      89,7 °C
Ps (k)	812,0 W      792,9 W
PL	300,4 W      303,9 W
Pair	46,0 kW      46,0 kW
Slippage	1,2 %      1,2 %
Pr (k)	569,8 W      569,7 W
P2	45,0 kW      45,0 kW
Eta	95,4 %      95,4 %
Torque	290,1 Nm      290,1 Nm
On behalf of customer	
On behalf of manufacturer ABB sweden	
Page : 2 / 3	
Operator : ATQ / Johnny	Date 16.10.2013 09:07:50
<small>provided by</small>  V1.3.0.0	
<b>ABB Motors</b>	



## Summary protocol

Order : 3GV1311256191001-A

Date of Issue 2013-10-16 09:07

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

### Torque / speed test

#### Calculation parameters

Voltage for calculation : 400,0 V  
Current exponent : 1,2  
Torque exponent : 2,5

#### Results

Start current at above voltage : 692,2 A  
Start torque at above voltage : 983,8 Nm  
Pull out torque at above voltage : 1008,5 Nm  
Pull up torque at above voltage : 835,7 Nm

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 3 / 3


Operator : ATQ / Johnny

Date 16.10.2013 09:07:50

V1.3.0.0



**ABB Motors**

		<b>Test Summary</b>		Test bench :	PP3
Testno	: 3GV1311256191001-A	Serial no. :	3GV13 11256191 001	Mounting :	IM 1001
Type	: M3AA225SMB-4	Insul. cl. :	155 (F)	Order no. :	11256191
Customer	: AT / Haiming Ha	Protection :	IC 411 IP 55	KB no :	
Customer ref. :	Type tests for IES	Calc id :			
Prod. code	: 3GAA222052-ADK				
Bearing Type	:				
Fan Type	:				
Duty Type	: S1 - test				
<b>Nominal data</b>					
Voltage :	400,0 V	Frequency	50,0 Hz	Current :	80,2 A
Speed :	1482,0 r/min	Power :	45,0 kW	power factor :	0,85
Line resistance :	66,72 / 66,75 / 66,71 mOhm	Ambient temp.:	22,1 K		
<b>Date of test</b> 2013-10-15					
Parameter		Tested	IEC 60034-2-1	CSA 390-10	
Full load torque [Nm]		290,1			
PP0 [W]		616,7			
I10 [A]		28,6			
I1KP [A]		595,1			
COSFK		0,37			
R (20°C, av) [mOhm]		66,48			
T [°C]		86,2 (0 min + 20°C)	84,7	89,7 (0,5 min + 25°C)	
R (T) [mOhm]		83,45	83,04	84,34	
UU [V]		399,9	400,0		
I11N [A]		80,1	80,3		
PP2N [kW]		44,9	45,0		
Eta [%]		95,5	95,4		
cos phi		0,85	0,85		
slip [%]		1,2	1,2	1,2	
speed [r/min]		1481,7	1481,4	1481,4	
PPFR [W]		138,8	138,8	129,3	
PPFE [W]		378,3	369,6	377,9	
PPCU1 [W]		803,8	812,0	792,9	
PPCU2 [W]		563,0	569,8	569,7	
stray losses [W]		235,0	300,4	303,9	
PPFN		2118,8	2190,6	2115,7	-0,65%
THETFRAME [°C]		88,3			
THETSWRES [K] 0 s		66,2			
THETSWRES [K] 0,5 min		64,7			
THET-End [K]		28,5			
KCS		0,0559			
KCR					
kI = 1,23		kM = 2,54	Calculated from locked Rotor curve		
I1STREL			8,631		
KPRIM			1,052		
TTSTREL			3,393		
TMINREL	AT	1037,0 [r/min]	2,882		
TMAXREL	AT	1378,2 [r/min]	3,478		
TTSTREL 58 %			0,850		
TMINREL 58 %	AT	1037,0 [r/min]	0,722		
TMAXREL 58 %	AT	1378,2 [r/min]	0,872		
NOISE LEVELS:	COLD	db(A)	HOT	db(A)	

Side 1

**ABB Motors**




Test Report		Date of issue: 2013-10-16								
Customer: AT / Haiming He		Serial No.: 3GV13 11256191 001								
Customer ref.: Type tests for IE3		Order no.: 11256191				Type: M3AA225SMB-4				
		Product Code: 3GAA222052-ADK				Protection type: IC 411 IP 55				
Rating:	Voltage	Freq.	Power	Speed	Current	cos phi	Insul. cl.			
	[V]	[Hz]	[kW]	[r/min]	[A]					
	400,0 D	50,0	45,0	1482,0	80,2	0,85	155 (F)			
Resistance		Ambient: 22,1 °C				Insulation resistance at		Overload		
Line	U1-V1	66,72	mOhm	R > 2000,0 MOhm		1,0	kV	Volt.	130,0 %	60 s
	U1-W1	66,75	mOhm	Thermistors: O.K.				Curr.	160,0 %	120 s
	V1-W1	66,71	mOhm					Speed	120,0 %	120 s
Heaters :		High-voltage test winding				2,4	kV	1,0min		
Thermistors :		Thermistors: O.K.								
PT100 :										
Test	Torque	Line		Input		Output		cos phi	Eta [%]	
	[Nm]	U[V]	f [Hz]	I [A]	P1 [kW]	P2 [kW]	n			
No load test		399,3	50,0	28,6	0,6		1500,0	0,03		
Locked rotor test		69,8	50,0	90,3	3,5			0,32		
Thermal test (100% load)	290,1	400,0	50,0	80,3	47,2	45,0	1481,4	0,85	95,4	
Partial load points:										
-75% load	216,8	400,0	50,0	62,8	35,2	33,8	1486,7	0,81	95,8	
-50% load	144,0	400,0	50,0	47,1	23,5	22,5	1491,6	0,72	95,8	
-25% load	71,8	400,0	50,0	34,8	12,0	11,3	1496,0	0,50	94,0	
Temperature rise at rated load				°C	[K]	Method	Measurement method			
Stator winding :				64,9	1	1	Resistance			
Frame :				61,3	2	2	Thermometer			
Bearing D-end :				68,3	2	3	Thermocouples			
Ambient Temperature :				23,6	2					
Starting current (Is / In): 8,6										
Locked rotor torque (Tl / Tn): 3,4										
Breakdown torque (Tb / Tn): 3,5										
Pull-up torque (Tu / Tn): 2,9										
Manufactured and tested in accordance with rules of IEC 60034-1 and IEC 60034-2-1										
PLL determined from residual loss.										
On behalf of customer										
On behalf of manufacturer				Date of test 2013-10-15						
Tested by ABB, LV Motors, 721 70 Västerås, Sweden										

Computer print-out valid without signature.

**ABB, Motors and Generators**  
www.abb.com/motors&generators

A continuación, se adjuntan los ensayos del motor 2:

<b>ABB</b>							
<b>Resistance measurements</b>				Order : 3GV1311256191001-D			
				Date of Issue 2013-10-16 09:18			
Customer: AT / Haiming He				Type: M3AA225SMB-4			
				Test bench: PP3			
				Serial no.: 3GV13 11256191 001			
Customer ref.: Type tests for IE3				Order no.: 11256191			
Nom. data:	Voltage	Freq.	Power	Current	Speed	CosPhi	Insul. cl.
	V	Hz	kW	A	r/min	-	
	460,0	60,0	45,0	70,5	1785,0	0,84	155 (F)
Prod. code: 3GAA222052-ADK							
<b>Measurement data</b>							Conversion to 20°C
R1	R2	R3	Tw	Ta	No.	kind of measure	R1_20°C
[mOhm]	[mOhm]	[mOhm]	[°C]	[°C]			R2_20°C
							R3_20°C
							[mOhm]
							[mOhm]
66,56	66,73	66,58	20,9	22,1	1	Cold resistance	66,32
80,18	80,25	80,05	72,9	23,6	1	No load test - R-before	66,49
80,14	80,13	79,96	72,6	23,6	1	No load test - R-after	66,34
83,73	83,79	83,63	86,6	24,1	1	Endurance test - R-before	
79,40	79,65	79,01	69,8	24,0	1	Endurance test - R-after	
79,16	79,50	78,97	69,3	24,0	1	Operation characteristic - R-before	
80,19	79,93	79,80	72,2	23,9	1	Operation characteristic - R-after	
On behalf of customer							
On behalf of manufacturer ABB sweden							
Page : 1 / 1							
Operator : ATQ / Johnny							
Date : 15.10.2013 07:04:00							
							<small>powered by</small>  V1.3.0.0
<b>ABB Motors</b>							





### No load test for testindex 1

Order : 3GV1311256191001-D

Date of Issue 2013-10-16 09:19

Customer:  
AT / Haiming He

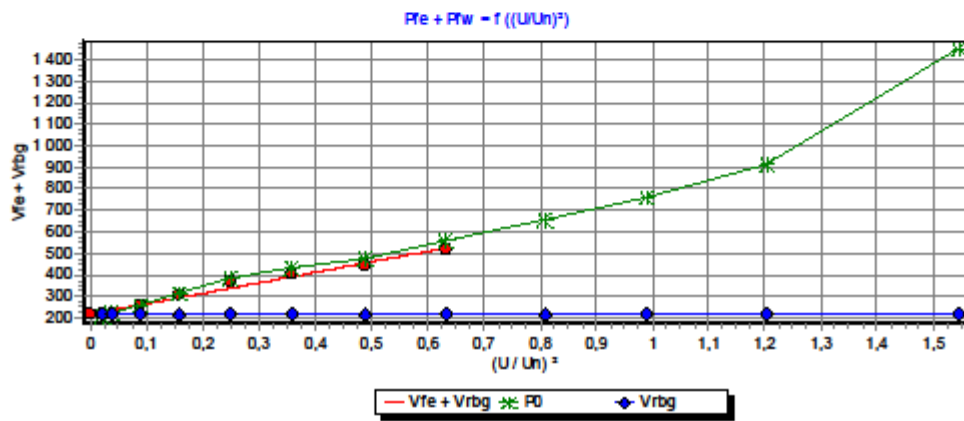
Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

Nom. data:	Voltage	Freq.	Power	Current	Speed	CosPhi	Insul. cl.
	V	Hz	kW	A	r/min	-	
	460,0	60,0	45,0	70,5	1785,0	0,84	155 (F)

Prod. code: 3GAA222052-ADK



On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 1 / 3

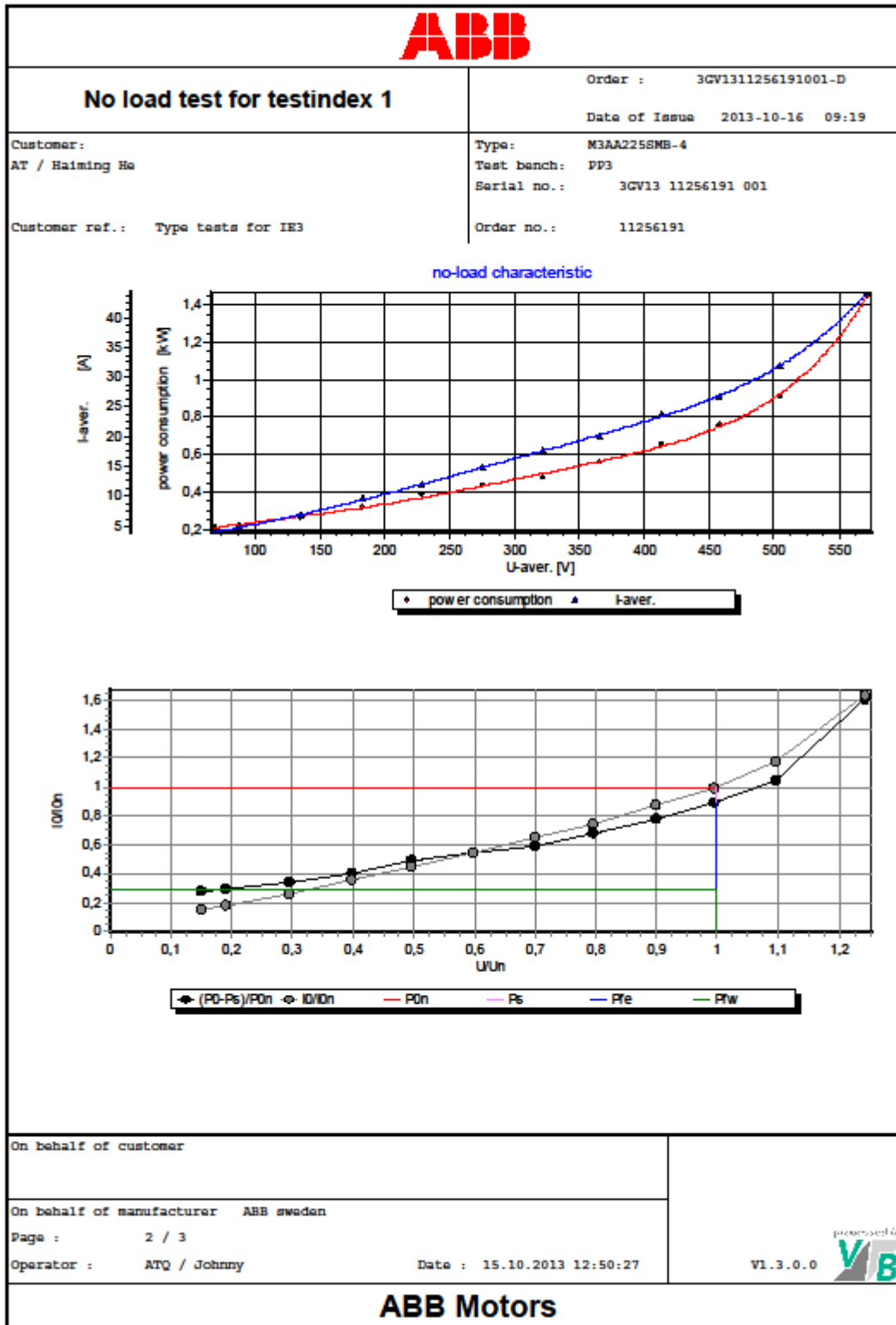
Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 12:50:27

V1.3.0.0



**ABB Motors**





## No load test for testindex 1

Order : 3GV1311256191001-D

Date of Issue 2013-10-16 09:19

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

### IEC 60034-2-1 2007

#### Guidelines for calculating

Resistance at start	80,16 [mOhm]	End resist.	80,08 [mOhm]
Temp. at start	72,9 [°C]	Final temperature	72,6 [°C]
Calc. voltage	460,0 [V]		
Coupled resist.	80,16 [mOhm]		

#### Calculation results

No-load current	27,1 [A]	Iron losses	450,0 [W]
No-load power	0,8 [kW]	Friction losses	217,3 [W]

#### Measurement data

U1	U2	U3	Un	I1	I2	I3	Iav	P1	cos	f	Ps	Pfe
[V]	[V]	[V]	[V]	[A]	[A]	[A]	[A]	[kW]		[Hz]	[W]	[W]
571,8	572,0	572,0	571,9	44,3	44,2	44,2	44,2	1,5	0,03	60,0	234,8	997,9
504,5	504,7	504,8	504,7	31,9	32,0	31,9	31,9	0,9	0,03	60,0	122,4	574,3
457,7	457,9	457,9	457,8	26,8	26,8	26,7	26,8	0,8	0,04	60,0	86,3	456,4
413,3	413,4	413,5	413,4	23,7	23,7	23,7	23,7	0,7	0,04	60,0	67,6	372,1
365,6	365,8	365,8	365,7	20,0	20,0	20,0	20,0	0,6	0,04	60,0	48,1	297,6
321,6	321,7	321,7	321,7	17,7	17,7	17,7	17,7	0,5	0,05	60,0	37,6	224,1
274,9	275,0	275,0	275,0	14,8	14,8	14,8	14,8	0,4	0,06	60,0	26,2	190,5
228,8	228,8	228,9	228,8	12,1	12,1	12,0	12,1	0,4	0,08	60,0	17,5	152,2
183,0	183,0	183,0	183,0	9,6	9,6	9,6	9,6	0,3	0,10	60,0	11,0	88,7
135,8	135,7	135,7	135,7	7,0	7,0	7,0	7,0	0,3	0,16	60,0	5,8	40,9
88,0	88,1	88,1	88,1	4,7	4,7	4,7	4,7	0,2	0,31	60,0	2,7	5,0
68,9	68,9	68,9	68,9	4,2	4,1	4,1	4,2	0,2	0,43	60,0	2,1	0,0

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 3 / 3


Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 12:50:27

V1.3.0.0

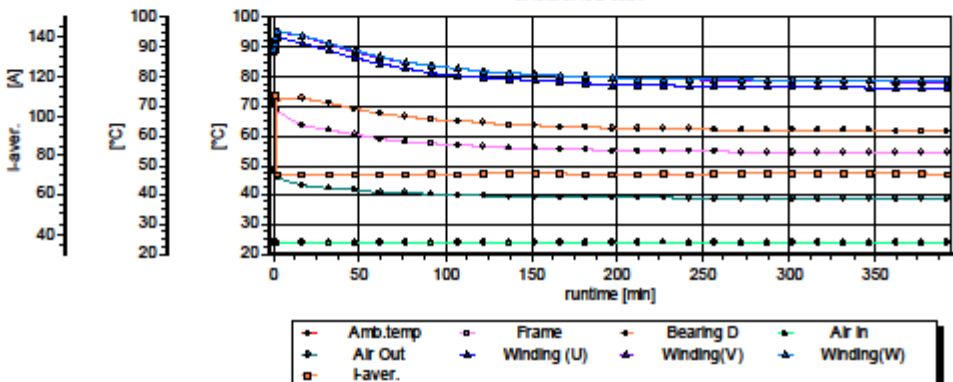


**ABB Motors**



<b>Endurance test for testindex 1</b>		Order : 3GV1311256191001-D
		Date of Issue 2013-10-16 09:29
Customer: AT / Haiming He	Type: M3AA225SMB-4	Test bench: PP3
Customer ref.: Type tests for IE3	Serial no.: 3GV13 11256191 001	Order no.: 11256191
Nom. data:	Voltage	Freq.
	V	Hz
	460,0	60,0
	Power	Current
	kW	A
	45,0	70,5
	Speed	CosPhi
	r/min	-
	1785,0	0,84
	Insul. cl.	
	155 (F)	
Prod. code: 3CAA222052-ADK		

**endurance test**




**General data**

Start time :	15.10.2013 21:54:40	ambient temp. at start:	24,1 [°C]
Stop time :	16.10.2013 04:26:40	ambient temp. at stop:	24,0 [°C]
coupled resist.	83,72 [mOhm]		

**Measurement data**

Time [min]	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	cos	f [Hz]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]	Eta [%]
0,0	458,6	458,9	458,7	110,5	110,3	110,5	76,3	0,87	60,0	1770,7	386,9	71,7	94,0
0,5	458,7	459,0	458,9	110,1	109,8	109,9	75,9	0,87	60,0	1770,7	387,1	71,8	94,5
1,0	458,9	459,2	459,0	110,3	110,0	110,2	76,1	0,87	60,0	1770,6	387,3	71,8	94,3
2,0	458,9	459,1	459,1	70,7	70,5	70,6	47,3	0,84	60,0	1783,1	241,2	45,0	95,2
17,0	459,4	459,6	459,5	70,3	70,1	70,3	47,0	0,84	60,0	1783,7	240,4	44,9	95,6
32,0	459,1	459,3	459,2	70,4	70,2	70,4	47,1	0,84	60,0	1783,8	240,6	44,9	95,5
47,0	459,3	459,4	459,5	70,6	70,3	70,5	47,1	0,84	60,0	1783,8	240,3	44,9	95,4
62,0	459,3	459,4	459,4	70,4	70,1	70,4	47,0	0,84	60,0	1784,0	240,2	44,9	95,5
77,0	459,0	459,1	459,2	70,5	70,3	70,4	46,9	0,84	60,0	1784,2	240,3	44,9	95,7


On behalf of customer	
On behalf of manufacturer ABB sweden	
Page : 1 / 3	
Operator : ATQ / Johnny	Date : 15.10.2013 21:54:40

processed by 

V1.3.0.0

**ABB Motors**



<b>ABB</b>									
<b>Endurance test for testindex 1</b>					Order : 3GV1311256191001-D				
					Date of Issue 2013-10-16 09:29				
Customer: AT / Haiming He					Type: M3AA225SMB-4				
Customer ref.: Type tests for IE3					Test bench: PP3				
					Serial no.: 3GV13 11256191 001				
					Order no.: 11256191				
<u>Temperature values</u>									
Tr : Amb.temp			T1 : Frame			T2 : Bearing D			
T3 : Air In			T4 : Air Out			T5 : Winding (U)			
T6 : Winding(V)			T7 : Winding(W)						
Time	Tr	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
182,0	24,1	55,3	62,8	23,5	39,2	77,7	79,9	80,1	
197,0	24,1	55,0	62,7	23,7	39,1	77,4	79,6	79,7	
212,0	24,1	54,9	62,6	23,7	39,0	77,1	79,3	79,5	
227,0	24,1	54,8	62,3	23,9	39,0	77,0	79,2	79,4	
242,0	24,1	54,8	62,3	23,7	38,9	76,9	79,1	79,3	
257,0	24,1	54,7	62,2	23,5	38,9	76,8	79,0	79,1	
272,0	24,1	54,6	62,2	23,7	38,9	76,7	78,9	79,1	
287,0	24,1	54,6	62,1	23,7	38,8	76,6	78,8	79,0	
302,0	24,1	54,5	61,9	23,6	38,9	76,5	78,7	78,9	
317,0	24,0	54,4	61,8	23,5	38,7	76,5	78,6	78,9	
332,0	24,0	54,4	61,9	23,5	38,7	76,5	78,7	78,8	
347,0	24,0	54,4	61,8	23,5	38,8	76,4	78,6	78,8	
362,0	24,0	54,3	61,7	23,5	38,7	76,4	78,5	78,7	
377,0	24,0	54,3	61,6	23,3	38,6	76,3	78,5	78,7	
392,0	24,0	54,3	61,7	23,5	38,6	76,3	78,4	78,7	
	30,3	37,7	-0,5	14,6	52,3	54,4	54,7		
On behalf of customer									
On behalf of manufacturer ABB sweden									
Page : 3 / 3									
Operator : ATQ / Johnny					Date : 15.10.2013 21:54:40				
<b>ABB Motors</b>									



### Cooling down for testindex 1

Test No. 3GV1311256191001-D  
Date of Issue 2013-10-16 09:29

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

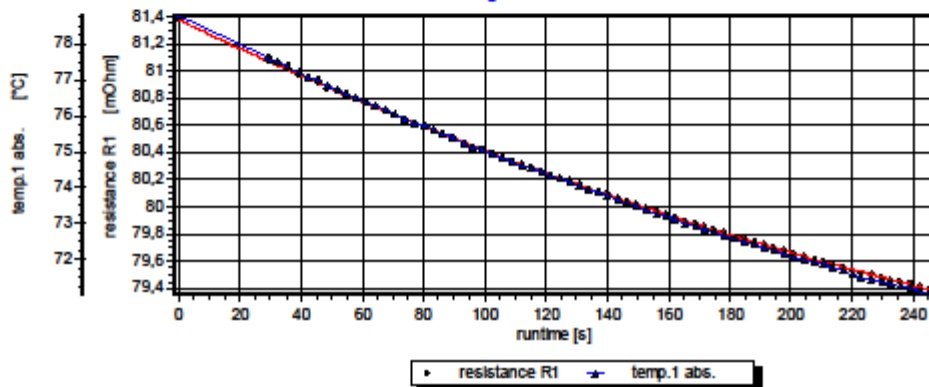
Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

Nom. data:	Voltage	Freq.	Power	Current	Speed	CosPhi	Insul. cl.
	V	Hz	kW	A	r/min	-	
	460,0	60,0	45,0	70,5	1785,0	0,84	155 (F)

Prod. code: 3GAA222052-ADK

cooling down curve



**Guidelines for calculating**

Cold resist.1	66,32 [mOhm]	Reference temp.	20,0 [°C]
		Average roomtemp.	24,0 [°C]
		Time range	30,0 [s]

**Results**

Warm resist. 1	81,06 [mOhm]	Warm temp. 1	53,6 [K]
Switch off resist. 1	81,37 [mOhm]	Switch off temp. 1	54,8 [K]

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 1 / 1

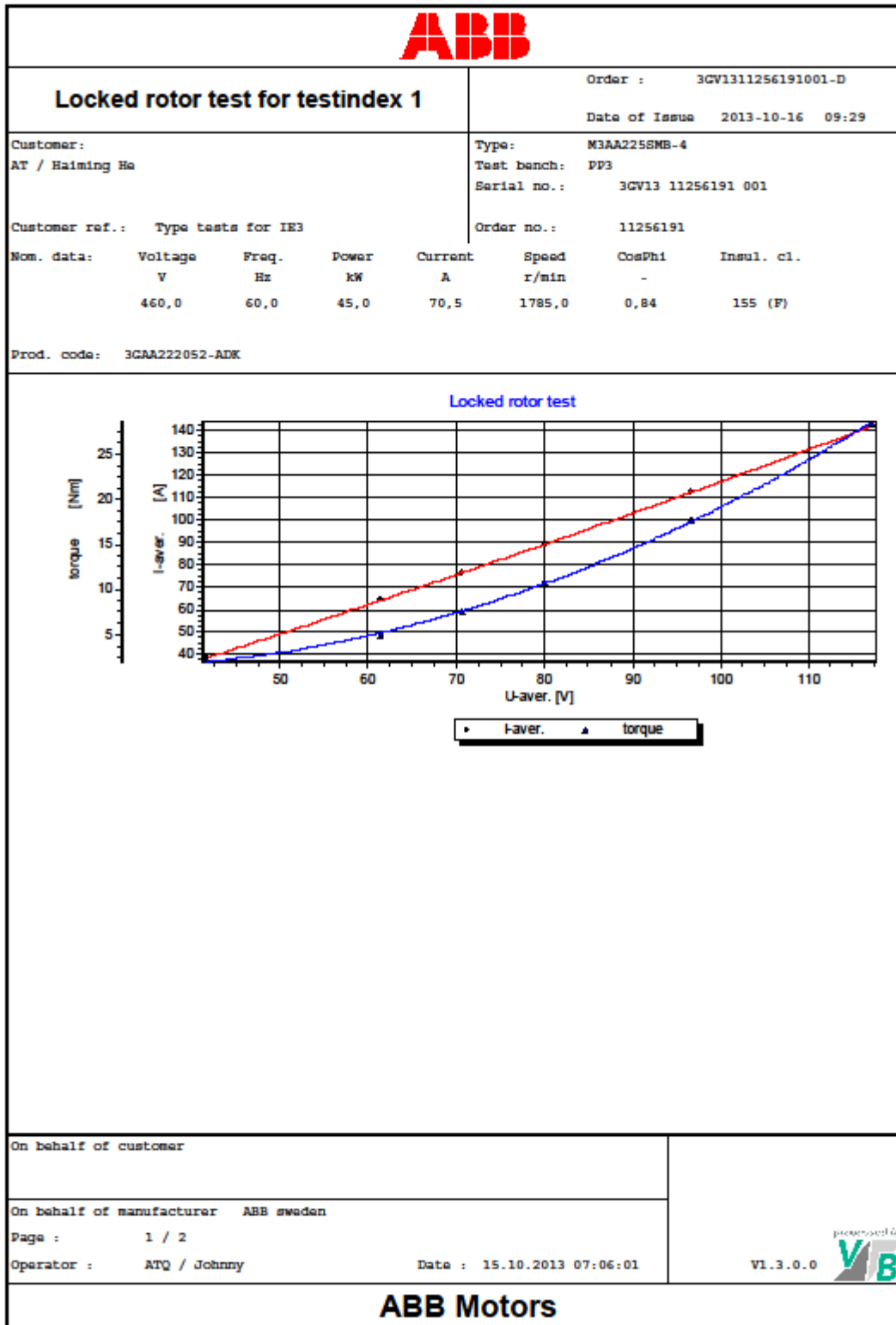
Operator : ATQ / Johnny

Date : 16.10.2013 04:31:52

V1.3.0.0



**ABB Motors**







### Locked rotor test for testindex 1

Order : 3GV1311256191001-D

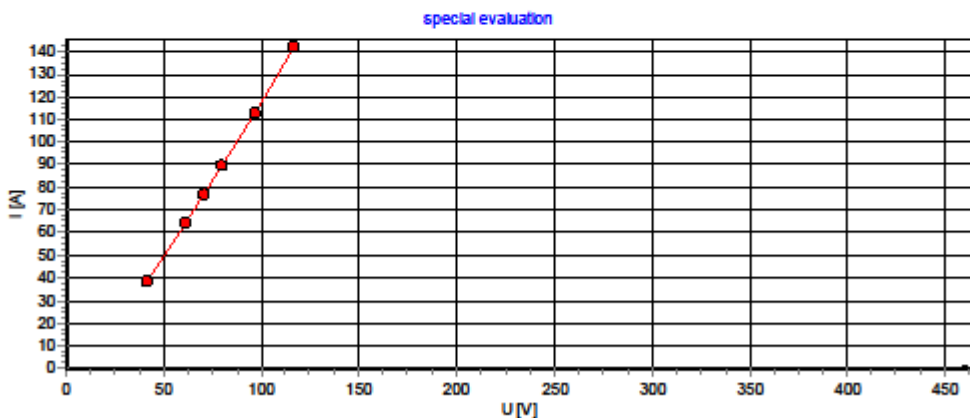
Date of Issue 2013-10-16 09:29

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191



#### Measurement data

U1	U2	U3	Um	I1	I2	I3	Im	P1	cos	f	M
[V]	[V]	[V]	[V]	[A]	[A]	[A]	[A]	[kW]		[Hz]	[Nm]
41,6	41,7	41,7	41,7	38,5	38,5	38,7	38,6	0,7	0,24	0,0	2,2
61,3	61,5	61,5	61,4	64,1	64,1	64,4	64,2	1,9	0,27	60,0	4,8
70,5	70,8	70,7	70,7	76,5	76,4	76,7	76,5	2,6	0,28	60,0	7,7
79,8	80,1	80,0	80,0	89,0	89,0	89,3	89,1	3,6	0,29	60,0	10,9
96,5	96,8	96,8	96,7	112,2	112,2	112,7	112,4	5,7	0,30	60,0	17,7
116,9	117,2	117,2	117,1	141,7	141,6	142,1	141,8	9,0	0,31	60,0	28,4

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 2 / 2

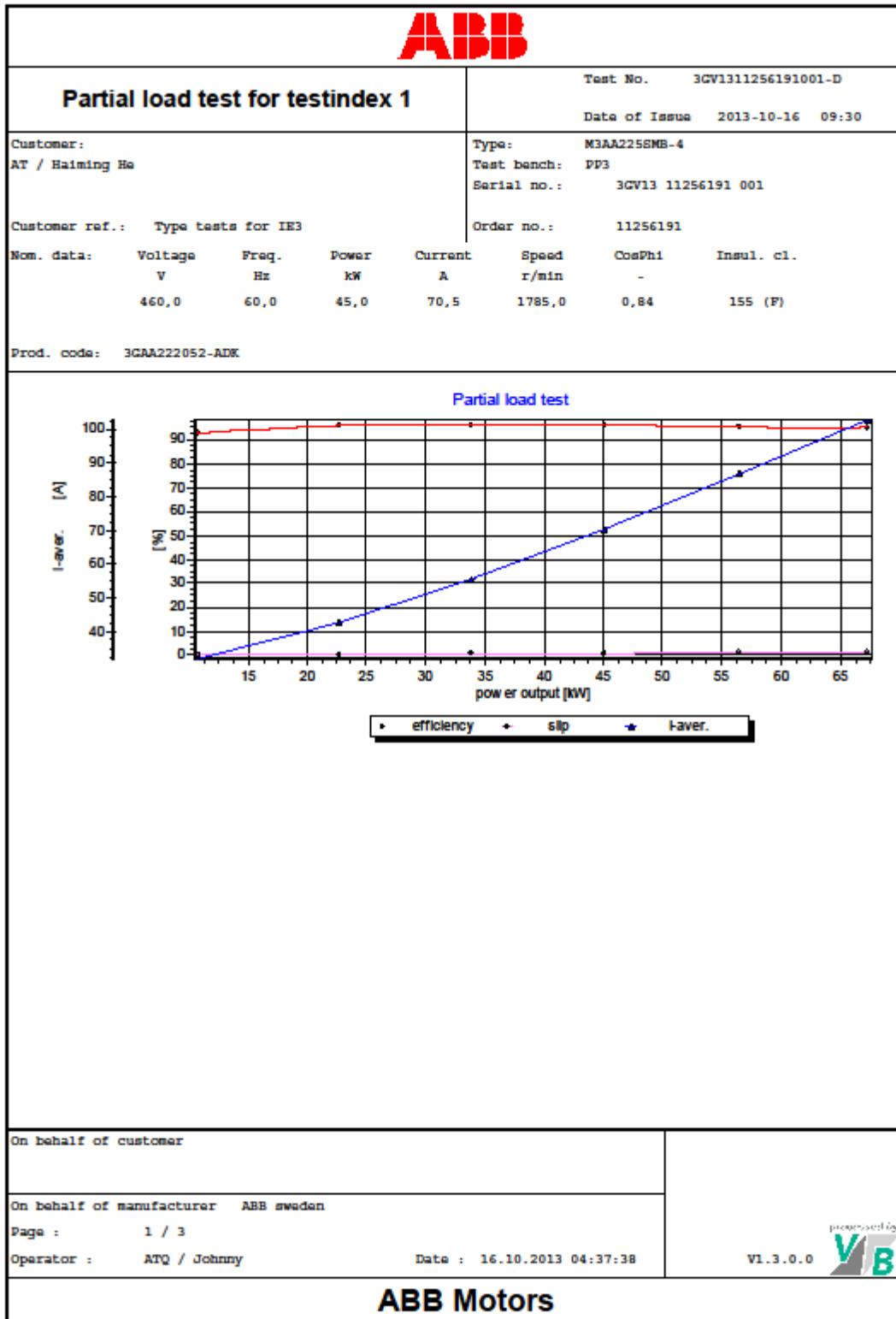
Operator : ATQ / Johnny

Date : 15.10.2013 07:06:01

V1.3.0.0



**ABB Motors**





### Partial load test for testindex 1

Test No. 3GV1311256191001-D

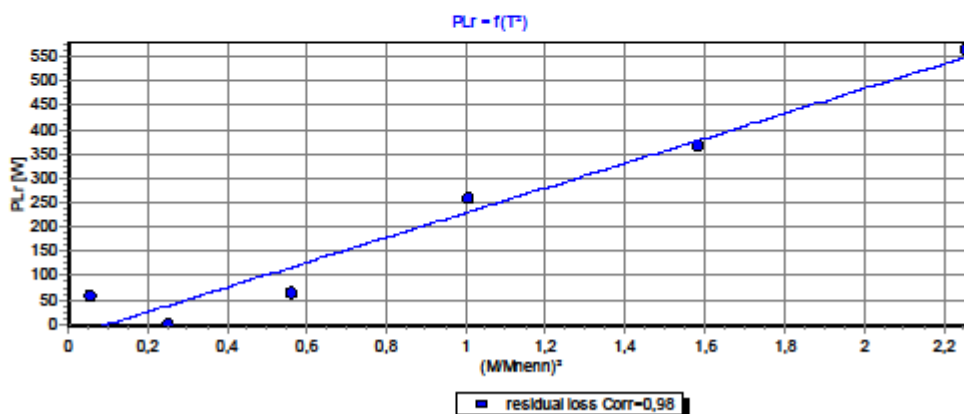
Date of Issue 2013-10-16 09:30

Customer:  
AT / Haiming He

Type: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191



IEC 60034-2-1 2007 (8.2.2.5.1)

#### Guidelines for calculating

Resistance at start	79,21 [mOhm]	Iron losses	450,0 [W]
Temp. at start	69,3 [°C]	Friction losses	217,3 [W]
Resistance at stop	79,97 [mOhm]	Power consumption	47,2 [kW]
Temp. at stop	72,2 [°C]	Nom. current	70,5 [A]
Resistance conn.	79,21 [mOhm]		

#### Measurement data

Time [min]	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	P1 [kW]	f [Hz]	cos φ [-]	n [r/min]	M [Nm]	P2 [kW]
0,0	458,7	458,9	458,8	102,7	102,5	102,6	70,7	60,0	0,87	1775,7	361,8	67,3
0,4	458,9	459,0	459,1	86,6	86,4	86,6	59,1	60,0	0,86	1780,2	303,1	56,5
0,7	459,2	459,2	459,3	70,6	70,4	70,6	47,0	60,0	0,84	1784,7	241,5	45,1
1,1	459,5	459,6	459,6	55,7	55,5	55,6	35,2	60,0	0,79	1789,1	180,7	33,9
1,6	459,2	459,4	459,3	42,7	42,7	42,7	23,6	60,0	0,69	1793,0	120,9	22,7
2,0	459,3	459,5	459,4	32,0	32,0	32,0	11,7	60,0	0,46	1797,0	57,5	10,8

#### Calculated values

Roomtemp.	24,0 [°C]	Correlation coefficient	= 0,978											
Time [min]	Ured [V]	Iav [A]	P1 [kW]	R [mOhm]	Tw [°C]	Ps [W]	Pfa [W]	PL [W]	P-1s [kW]	s [%]	Pr [W]	Pfw [W]	P2 [kW]	Eta [%]

On behalf of customer

On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 2 / 3


Operator : ATQ / Johnny

Date : 16.10.2013 04:37:38

V1.3.0.0



**ABB Motors**

<b>ABB</b>														
<b>Partial load test for testindex 1</b>								Test No. 3GV1311256191001-D						
								Date of Issue 2013-10-16 09:30						
Customer: AT / Haiming He								Type: M3AA225SMB-4						
								Test bench: PP3						
Customer ref.: Type tests for IE3								Serial no.: 3GV13 11256191 001						
								Order no.: 11256191						
<b>Calculated values</b>														
Rocontemp. 24,0 [°C] Correlation coefficient = 0,978														
Time [min]	Ured [V]	Iav [A]	P1 [kW]	R [mOhm]	Tw [°C]	Ps [W]	Pfe [W]	PL [W]	D-1s [%]	s [%]	Pr [W]	Pfw [W]	P2 [kW]	Eta [%]
0,0	452,7	102,6	70,7	79,21	69,3	1250,4	434,2	572,5	69,0	1,4	942,9	217,3	67,3	95,2
0,4	453,9	86,5	59,1	79,21	69,3	889,6	436,9	401,7	57,7	1,1	635,9	217,3	56,5	95,7
0,7	455,2	70,5	47,0	79,21	69,3	590,7	439,7	255,1	46,0	0,9	394,1	217,3	45,1	96,0
1,1	456,5	55,6	35,2	79,66	71,0	369,8	442,7	142,8	34,3	0,6	212,0	217,3	33,9	96,3
1,6	457,3	42,7	23,6	79,81	71,6	218,2	444,3	63,9	22,9	0,4	91,0	217,3	22,7	96,3
2,0	458,4	32,0	11,7	79,97	72,2	122,8	446,9	14,5	11,1	0,2	19,1	217,3	10,8	92,6
<b>Calculated values for 25 °C</b> IEC 60034-2-1 2007 (8.2.2.5.1)														
Temp. winding 73,6 °C Warm resistance 81,06 mOhm														
Time [min]	Iav [A]	P1 [kW]	R25 [mOhm]	Ps [W]	P-stat. [W]	n [r/min]	s [%]	Pr [W]	P-rot. [W]	P2 [kW]	Eta [%]			
0,0	102,6	70,7	80,58	1272,1	2278,76	1775,3	1,4	959,5	1176,8	67,2	95,1			
0,4	86,5	59,1	80,58	905,0	1743,5	1779,8	1,1	647,2	864,5	56,4	95,6			
0,7	70,5	47,0	80,58	600,9	1295,64	1784,4	0,9	401,1	618,4	45,1	95,9			
1,1	55,6	35,2	81,04	376,2	961,61	1788,9	0,6	215,7	433,0	33,8	96,0			
1,6	42,7	23,6	81,20	222,0	730,21	1792,9	0,4	92,6	309,9	22,5	95,6			
2,0	32,0	11,7	81,36	125,0	586,37	1796,9	0,2	19,4	236,7	10,9	93,0			
<b>Calculated values for 25 °C at different power</b>														
Pnom. [%]	Iav [A]	P1 [kW]	U [V]	cos [-]	M [Nm]	n [r/min]	s [%]	P2 [kW]	Eta [%]	class				
125	86,2	58,8	460	0,86	301,79	1779,9	1,1	56,3	95,6	IE3				
100	70,3	46,9	460	0,84	240,83	1784,4	0,9	45,0	95,9	IE3				
75	55,6	35,1	460	0,79	180,18	1788,7	0,6	33,8	96,0	IE3				
50	42,7	23,5	460	0,69	119,85	1792,7	0,4	22,5	95,6	IE3				
25	32,3	12,1	460	0,47	59,79	1796,7	0,2	11,3	93,1	IE3				
On behalf of customer										 powered by <b>VB</b> V1.3.0.0				
On behalf of manufacturer ABB sweden														
Page : 3 / 3														
Operator : ATQ / Johnny					Date : 16.10.2013 04:37:38									
<b>ABB Motors</b>														



## Summary protocol

Order : 3GV1311256191001-D

Date of Issue 2013-10-16 09:30

Customer:  
AT / Haining HeType: M3AA225SMB-4  
Test bench: PP3  
Serial no.: 3GV13 11256191 001

Customer ref.: Type tests for IE3

Order no.: 11256191

Nom. data:	Voltage	Freq.	Power	Current	Speed	CoefPhi	Insul. cl.
	V	Hz	kW	A	r/min	-	
	460,0	60,0	45,0	70,5	1785,0	0,84	155 (F)

Prod. code: 3GAA222052-ADK

### No-load characteristic

IEC 60034-2-1      CSA 390-10

#### Requirements

Start resist.	80,16	mOhm	66,62	mOhm
Start temp.	72,9	°C	20,9	°C
End resistance	80,08	mOhm	81,40	mOhm
End temperature	72,6	°C	77,0	°C
Voltage	460,0	V	460,0	V

#### Results

Current	27,1	A	27,1	A
Resistance	80,08	mOhm	80,88	mOhm
Temperature	72,6	°C	75,7	°C
P <sub>s</sub>	88,1	W	89,0	W
Friction losses	217,3	W	195,7	W
Iron losses	450,0	W	470,8	W
Power	755,5	W	755,5	W

### Locked rotor test

#### Requirements

Calculation voltage : 460,0 V

#### Results

exp. - current	: 1,3	Exponent - Moment	: 2,5
Current at calc. volt.:	628,1 A	Torque at calc. volt.:	829,0 Nm

On behalf of customer



On behalf of manufacturer ABB sweden

Page : 1 / 2

Operator : ATQ / Johnny

Date 16.10.2013 09:30:22

provided by  
 V&B  
V1.3.0.0**ABB Motors**

	
<b>Summary protocol</b>	Order : 3GV1311256191001-D Date of Issue 2013-10-16 09:30
Customer: AT / Haining He	Type: M3AA225SMB-4 Test bench: PP3 Serial no.: 3GV13 11256191 001
Customer ref.: Type tests for IE3	Order no.: 11256191
<b><u>partial load test</u></b>	
	IEC 60034-2-1      CSA 390-10
<b><u>Requirements</u></b>	
Start resistance	79,21 mOhm      66,32 mOhm
Start temperature	69,3 °C      20,9 °C
End resistance	79,97 mOhm      81,06 mOhm
End temperature	72,2 °C      73,6 °C
Friction losses	217,3 W      195,7 W
Iron losses	439,7 W      460,5 W
<b>Results</b>	
Pin	46,9 kW      46,9 kW
In	70,5 A      70,5 A
Rn	79,21 mOhm      80,26 mOhm
Tn	69,3 °C      69,4 °C
Ps	590,5 W      598,4 W
PL	253,7 W      257,3 W
Pair	45,9 kW      45,9 kW
Slippage	0,9 %      0,9 %
Pr	398,7 W      398,6 W
P2n	45,0 kW      45,0 kW
Eta	95,4 %      95,4 %
Torque	240,8 Nm      240,8 Nm
<b><u>Requirements at 25 °C</u></b>	
Warm resist.	81,06 mOhm      81,06 mOhm
Roomtemp.	20,0 °C      20,0 °C
Wind. temp.	73,6 °C      73,6 °C
Iron losses	439,7 W      460,5 W
<b>results at 25 °C</b>	
Pin	46,9 kW      46,9 kW
In	70,3 A      70,3 A
R25	81,06 mOhm      79,26 mOhm
Tn	78,6 °C      78,6 °C
Ps(k)	601,5 W      588,1 W
PL	253,7 W      257,3 W
Pair	45,9 kW      45,9 kW
Slippage	0,9 %      0,9 %
Pr(k)	398,7 W      398,6 W
P2	45,0 kW      45,0 kW
Eta	95,9 %      95,9 %
Torque	240,8 Nm      240,8 Nm
On behalf of customer	
On behalf of manufacturer    ABB sweden	
Page : 2 / 2	Date 16.10.2013 09:30:22
Operator : ATQ / Johnny	V1.3.0.0 
<b>ABB Motors</b>	



## Test Summary

Testno	: 3GV1311256191001-D	Test bench	: PP3
Type	: M3AA225SMB-4	Serial no.	: 3GV13 11256191 001
Customer	: AT / Haining He	Mounting	: IM 1001
Customer ref.	: Type tests for IE3	Insul. cl.	: 155 (F)
Prod. code	: 3GAA222052-ADK	Order no.	: 11256191
Bearing Type	:	Protection	: IC 411 IP 55
Fan Type	:	KB no	:
Duty Type	: S1 - test	Calc id	:

<b>Nominal data</b>					
Voltage	: 460,0 V	Frequency	: 60,0 Hz	Current	: 70,5 A
Speed	: 1785,0 r/min	Power	: 45,0 kW	power factor	: 0,84
Line resistance	: 66,56 / 66,73 / 66,58 mOhm	Ambient temp.	: 22,1 K		

Date of test	2013-10-15		
Parameter	Tested	IEC 60034-2-1	CSA 390-10
Full load torque [Nm]	240,8		
PP0 [W]	755,5		
I10 [A]	27,1		
I1KP [A]	585,3		
COSFK	0,33		
R (20°C, av) [mOhm]	66,38		
T [°C]	74,8 (0 min + 20°C)	73,6	78,6 (0,5 min + 25°C)
R (T) [mOhm]	80,35	80,03	81,33
	from heat run	from partial load test	
UU [V]	459,4	460,0	
I11N [A]	70,6	70,3	70,3
PP2N [kW]	45,2	45,0	45,0
Eta [%]	96,0	95,9	95,9
cos phi	0,84	0,84	
slip [%]	0,9	0,9	0,9
speed [r/min]	1784,6	1784,4	1784,4
PPFR [W]	217,3	217,3	195,7
PPFE [W]	450,0	439,7	460,5
PPCU1 [W]	601,1	601,5	588,1
PPCU2 [W]	398,4	398,7	398,6
stray losses [W]	235,8	253,7	257,3
PPFN	1902,6	1910,9	1900,3
THETFRAME [°C]	76,3		
THETSWRES [K] 0 s	54,8		
THETSWRES [K] 0,5 min	53,6		
THET-End [K]			
KCS	0,0587		
KCR			
kI = 0,00	kM = 0,00	Calculated from locked Rotor curve	
IISTREL			
KPRIM			
TTSTREL			
TMINREL AT	[r/min]		
TMAXREL AT	[r/min]		
TTSTREL 58 %			
TMINREL 58 % AT	[r/min]		
TMAXREL 58 % AT	[r/min]		
NOISE LEVELS: COLD	db(A)	HOT	db(A)

Side 1

**ABB Motors**



Test Report		Date of issue: 2013-10-16							
Customer: AT / Haining He		Serial No.: 3GV13 11256191 001							
Customer ref.: Type tests for IES		Order no.: 11256191	Type: M3AA225SMB-4						
		Product Code: 3CAA222052-ADK	Protection type: IC 411 IP 55						
Rating:	Voltage [V]	Freq. [Hz]	Power [kW]						
	460,0 D	60,0	45,0						
			Speed [r/min]						
			1785,0						
			Current [A]						
			70,5						
			cos phi						
			0,84						
			Insul. cl.						
			155 (F)						
Resistance		Insulation resistance at							
Line Ambient: 22,1 °C		R > 2000,0 MOhm 1,0 kV							
U1-V1 66,56 mOhm		Thermistors: O.K.							
U1-W1 66,73 mOhm		Overload							
V1-W1 66,58 mOhm		Volt. 130,0 % 60 s							
Heaters :		Curr. 160,0 % 120 s							
Thermistors :		Speed 120,0 % 120 s							
PT100 :		High-voltage test winding 2,4 kV 1,0min							
		Thermistors: O.K.							
Test	Torque [Nm]	Line U[V]	f [Hz]	Input I [A]	P1 [kW]	Output P2 [kW]	n	cos phi	Eta [%]
No load test		457,8	60,0	26,8	0,8		1800,0	0,04	
Locked rotor test		70,7	60,0	76,5	2,6			0,28	
Thermal test (100% load)	240,8	460,0	60,0	70,3	46,9	45,0	1784,4	0,84	95,9
Partial load points:									
-75% load	180,2	460,0	60,0	55,6	35,1	33,8	1788,7	0,79	96,0
-50% load	119,8	460,0	60,0	42,7	23,5	22,5	1792,7	0,69	95,6
-25% load	59,8	460,0	60,0	32,3	12,1	11,3	1796,7	0,47	93,1
Temperature rise at rated load				°C	[K]	Method	Measurement method		
Stator winding :				53,1	1	1	Resistance		
Frame :				54,3	2	2	Thermometer		
Bearing D-end :				61,7	2	3	Thermocouples		
Ambient Temperature :				24,0	2				
Manufactured and tested in accordance with rules of IEC 60034-1 and IEC 60034-2-1 PLL determined from residual loss.									
On behalf of customer									
On behalf of manufacturer				Date of test 2013-10-15					
Tested by ABB, LV Motors, 721 70 Västerås, Sweden									

Computer print-out valid without signature.

**ABB, Motors and Generators**  
www.abb.com/motors&generators



# ANEXO 2

En este anexo se mostrará las hojas de Excel y el archivo de Matlab utilizados para los motores. Estas ya han sido explicadas durante el desarrollo del estudio realizado, pero la incluiremos en este apartado de modo que se tenga el conjunto al completo. En primer lugar, empezaremos por la hoja 'Datos' de Excel, en la que, como ya se ha dicho, habría que introducir los datos que se pidan en esta hoja para el cálculo de las pérdidas en un motor de inducción trifásico. Estos datos se muestran en la figura 59.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	% Voltaje	Potencias de Entrada (kW)	Intensidad (A)	U0 (V)	Resistencias medidas (Ω)										
2	125	1,4	52,6	497,9	81,34										
3	110	0,8	34,8	438,2											
4	100	0,6	28,6	399,3											
5	90	0,5	24,2	358,7											
6	80	0,4	20,6	318,8											
7	70	0,4	17,7	278,4											
8	60	0,3	14,9	237,9											
9	50	0,3	12,3	197,9											
10	40	0,2	10	158,4											
11	30	0,2	7,1	117,5											
12	20	0,2	4,8	76,2											
13	15	0,1	3,9	59,5	81,02										
14															
15															
16															
17	Resistencia (Ω)	Load (%)	Intensidad (A)	U	θw	θc	P1 (kW)	P2 (kW)	n (1/min)	f (Hz)	p	T (Nm)	cosΨ	sen Ψ	
18	81,73	150	118,8	400	115	23,5	71,5	67,1	1470,7	50	2	435,9	0,87	0,49305172	
19	-	125	99,8	400			59,8	56,5	1476,3			365,4	0,86	0,51029403	
20	-	100	78,4	400			46	43,9	1482,3			282,6	0,85	0,52678269	
21	-	75	63,03	400			35,4	33,9	1487			217,5	0,81	0,58642988	
22	-	50	46,87	400			23,3	22,3	1491,8			142,4	0,72	0,69397406	
23	82,5	25	34,97	400			12,2	11,4	1496			72,7	0,5	0,8660254	
24															

Figura 59. Hoja de Excel 'Datos'

Como se puede ver en la figura 59, los datos que tenemos que introducir son los siguientes:

- Ensayo sin carga
  - Puntos de tensión que se han tomado respecto a la nominal,  $\frac{U_i}{U_n}$  (%)
  - Potencia de entrada,  $P_0$  (kW)
  - Intensidad,  $I$  (A)
  - Tensión medida,  $U_0$  (V)
  - Resistencias medidas antes y después de la prueba sin carga,  $R$  (Ω)
- Ensayo con carga
  - Resistencias medidas antes y después de la prueba con carga
  - Puntos de carga que se han tomado,  $\frac{P_i}{P_1}$  (%)
  - Intensidad (A)

- Tensión medida (U)
- La temperatura del devanado,  $\theta_w$  (°C), obtenida de la tabla 1, según el tipo de aislamiento
- La temperatura de entrada del refrigerante durante la prueba,  $\theta_c$  (%)
- La potencia de entrada,  $P_1$  (kW)
- La potencia de salida,  $P_2$  (%)
- La velocidad de operación,  $n$  ( $\text{min}^{-1}$ )
- La frecuencia,  $f$  (Hz)
- El número de pares de polos,  $p$  (pu)
- El par medido,  $T$  (Nm)
- El factor de potencia,  $\cos\Psi$
- Y, por último, el  $\text{sen}\Psi$ , calculado como:

$$\text{sen}\Psi = \sqrt{1 - (\cos\Psi)^2} \quad (83)$$

A continuación, se va a mostrar el código completo utilizado para calcular las pérdidas constantes, pérdidas de fricción y ventilación, las pérdidas en el hierro, las pérdidas del devanado estático y rotórico, las pérdidas adicionales, las pérdidas totales y el rendimiento.

```

clc, clear
format long
%% PRUEBA SIN CARGA
%%Datos de la prueba sin carga
a=xlsread('Datos','Hoja1','A2:E13');
v=a([1:end],1);
P0=a([1:end],2);
I=a([1:end],3);
U0=a([1:end],4);
R_medidas=(a([1:end],5))/1000;
U0_2=U0.^2;
num=length(v);

%%Cálculo de la resistencia
for i=1:num
    r(i)=((P0(i)-P0(end))/(P0(1)-P0(end)))*(R_medidas(1)-
R_medidas(end))+R_medidas(end);
    R=r';
end

%%Cálculo de las pérdidas constantes
Ps=(1.5.*R.*I.^2)/1000;
Pc=P0-Ps;

%%Exportar Pc y U0_2 a excel para el cálculo de las pérdidas de fricción y
ventilación
matriz_perd_fricc_ventilación=[Pc, U0_2];
xlswrite('calculoperdidas.xlsx',matriz_perd_fricc_ventilación,'prueba sin
carga','A2');

%%Importación del cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación desde
Excel
perd_fricc_ventilación=xlsread('calculoperdidas','prueba sin carga','A17');

%%Cálculo de las pérdidas en el hierro
Pfe=Pc-perd_fricc_ventilación;

```

```

%%Importación de datos desde Excel para el cálculo de Ui
b=xlsread('Datos','Hojal','A18:N23');
Ui=sqrt((b(3,4)-
(sqrt(3)/2)*b(3,3)*((b(1,1))/1000)*b(3,13))^2+((sqrt(3)/2)*b(3,3)*((b(1,1))/1
000)*b(3,14))^2);

%%Exportación de Ui, Pfe y U0 a Excel para el cálculo de las pérdidas en el
hierro a plena carga
xlswrite('calculoperdidas.xlsx',Ui,'prueba sin carga','E2')
xlswrite('calculoperdidas.xlsx',Pfe,'prueba sin carga','C2')
xlswrite('calculoperdidas.xlsx',U0,'prueba sin carga','D2')

%%Importación de las pérdidas en el hierro a plena carga
Pfe_plena_carga=xlsread('calculoperdidas','prueba sin carga','B17');

%% PRUEBA CON CARGA
%%Datos de la prueba con carga
R_medidas_carga=(b([1:end],1))/1000;
load=b([1:end],2);
I_carga=b([1:end],3);
U_carga=b([1:end],4);
omega_w=b(1,5);
omega_c=b(1,6);
P1=b([1:end],7);
n=b([1:end],9);
f=b(1,10);
p=b(1,11);
T=b([1:end],12);
cos_fi=b([1:end],13);
sen_fi=b([1:end],14);
numc=length(load);

%%Cálculo de resistencia
for i=1:numc
    if load(i)>100
        r_carga(i)=R_medidas_carga(1);
    elseif load(i)<=100
        r_carga(i)=(((load(i)-load(end))/(100-
load(end)))*(R_medidas_carga(1)-R_medidas_carga(end))+R_medidas_carga(end));
    end
    R_carga=r_carga';
end

%%Cálculo de las pérdidas en el devanado estático
Ps_carga=(1.5.*I_carga.^2.*R_carga)/1000;

%%Cálculo del factor de corrección para la resistencia
k_omega=((235+omega_w+25-omega_c)/(235+omega_w));

%%Cálculo de las pérdidas en el devanado estático corregidas
Ps_omega=Ps_carga.*k_omega;

%%Cálculo del deslizamiento sin corregir y corregido
n_segundos=n./60;
s=1-(p*n_segundos)/f;
s_omega=s.*k_omega;

%%Cálculo de las pérdidas en el devanado rotórico sin corregir y corregidas
Pr=(P1-Ps_carga-Pfe_plena_carga).*s;

```

```

Pr_omega=(P1-Ps_omega-Pfe_plena_carga).*s_omega;

%%Cálculo de las pérdidas adicionales
Pfw_perd_adicionales=perd_fricc_ventilación.*(1-s).^2.5;
P2=(2*pi.*T.*n_segundos)./1000;
Plr=P1-P2-Ps_carga-Pr-Pfe_plena_carga-Pfw_perd_adicionales;

%%Cálculo de las constantes A y B
A=((numc*sum(Plr.*T.^2)-sum(Plr)*sum(T.^2))/(numc*sum(T.^4)-(sum(T.^2))^2));
B=((sum(Plr)/numc)-A*(sum(T.^2)/numc));

%%Cálculo de las pérdidas adicionales para cada punto de carga
PLL=A.*T.^2;

%%Cálculo de las pérdidas totales
Pfw_perd_totales=perd_fricc_ventilación.*(1-s_omega).^2.5;
PT=Pfe_plena_carga+Pfw_perd_totales+Ps_omega+Pr_omega+PLL;

%%Cálculo del rendimiento
Pl_omega=P1.*k_omega;
eficiencia=((Pl_omega-PT)./Pl_omega)*100

```

Como se ha ido explicando en el transcurso de este estudio, este archivo, en primer lugar, toma los valores de la hoja 'Datos' de Excel y descompone en vectores los distintos datos. Una vez realizado esto, calcula la resistencia para todos los puntos de tensión, calculando posteriormente las pérdidas constantes, pérdidas de fricción y ventilación y las pérdidas en el hierro.

Para el cálculo de las pérdidas de fricción y ventilación, se importa desde Matlab a Excel las pérdidas constantes calculadas, así como la tensión al cuadrado. De esta manera, en Excel, se representa gráficamente los valores correspondientes de pérdidas constantes entre el 60% y 30% de tensión aproximadamente frente a los valores de tensiones medidas al cuadrado. Tras esto, se calcula una línea de tendencia y se calcula el valor a tensión cero. Dicho valor corresponde con las pérdidas de fricción y ventilación. Esto se muestra en la figura 60.

Por otro lado, un método más corto de calcular las pérdidas de fricción y ventilación, una vez que se importa a Excel los datos de las pérdidas constantes y las tensiones al cuadrado, mediante la función INTERSECCION.EJE se calculan estas pérdidas. Esto también se puede ver en la figura 60, en la celda A17.

Para el cálculo de las pérdidas en el hierro, en primer lugar, se importa a Matlab el valor obtenido de las pérdidas de fricción y ventilación. A continuación, se obtienen las pérdidas en el hierro, según la ecuación 5 y se calcula la caída de tensión resistiva. De nuevo, para calcular las pérdidas en el hierro a plena carga, se importan a Excel los valores de pérdidas en el hierro, los valores de tensión medidos y la caída de tensión resistiva. Con esto, se representa gráficamente los valores de pérdidas en el hierro correspondientes, aproximadamente, entre el 110% y 90% de tensión y se calcula una línea de tendencia. Basta imponer el valor de la caída de tensión en dicha línea para obtener las pérdidas en el hierro a plena carga. Esto se puede ver en la figura 60.

Al igual que para las pérdidas de fricción y ventilación, existe otro camino más corto para calcular las pérdidas en el hierro a plena carga. Para ello, una vez que se importen a Excel los datos de las pérdidas en el hierro, las tensiones medidas y la caída de tensión resistiva, se utilizarán las funciones PENDIENTE E INTERSECCION.EJE. La función pendiente deberá ir multiplicada por el valor de la caída resistiva, calculando así el valor de las pérdidas en el hierro, como se muestra en la figura 60, en la celda B17.

Una vez realizado esto, se vuelcan en vectores los datos del ensayo con carga y se calculan las pérdidas en el devanado estático y rotórico, las pérdidas adicionales, las pérdidas totales y el rendimiento.

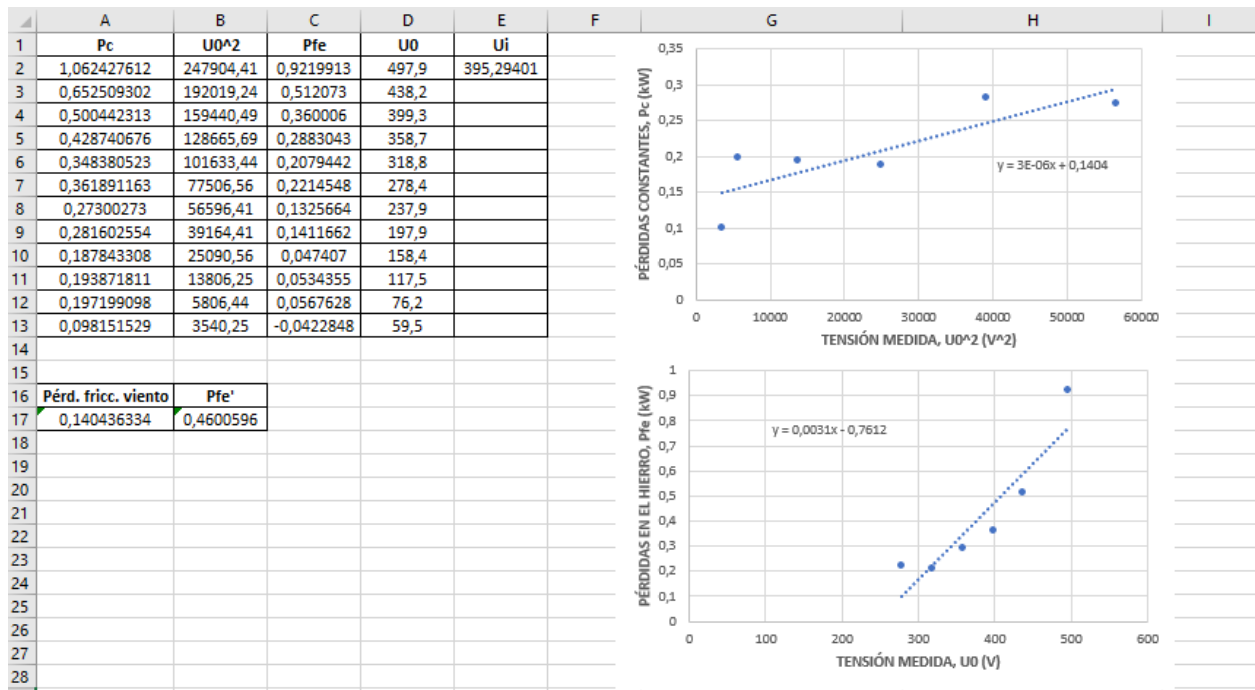


Figura 60. Hoja 'Calculo\_perd' de Excel