

INDICE GENERAL

Resumen
Resum
Summary

PARTE I. MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS	1
1.2 ORGANIZACIÓN Y DESARROLLO DE LA TESIS	3

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

2.1 DESCRIPCIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN	5
2.1.1 INTRODUCCIÓN	5
2.1.2 CONSTITUCION MOTOR INDUCCION JAULA DE ARDILLA	5
2.1.3 FUNCIONAMIENTO	7
2.2 MANTENIMIENTO MOTOR DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA	11
2.2.1 JUSTIFICACION	11
2.2.2 FALLOS EN MOTORES DE INDUCCION	12
2.2.3 TIPOS Y TECNICAS DE MANTENIMIENTO	25
2.3 RADIACIÓN Y TERMOGRAFÍA INFRARROJA	32
2.3.1 INTRODUCCION	32
2.3.2 ORIGEN Y EVOLUCION DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA	33
2.3.3 FUNDAMENTOS DE RADIACIÓN INFRARROJA	35
2.3.4 LEYES FUNDAMENTALES DE LA RADIACIÓN	42
2.3.5 ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA TERMOGRÁFICO	44
2.3.6 DISPOSITIVOS DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA	47
2.3.7 CONCEPTOS EXPERIMENTALES	54
2.3.8 JUSTIFICACION USO TERMOGRAFÍA PARA EL DIAGNÓSTICO DE MOTORES DE INDUCCIÓN	57
2.4 TÉCNICA DE ANÁLISIS DE CORRIENTES	62
2.4.1 INTRODUCCION	62
2.4.2 TEORÍA DEL ANALISIS DE SEÑAL DE CORRIENTE DEL MOTOR (MCSA)	62
2.4.3 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE SEÑAL	65
2.5. PROCESADO DE IMÁGENES	77
2.5.1 INTRODUCCION	77
2.5.2 TECNICAS DE RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES	77
2.5.3 MÉTODOS DE CLASIFICACION DE RESULTADOS (DATA MINING)	86

CAPÍTULO 3. METODOLOGIA PARA LA OBTENCIÓN DE MODELO TÉRMICO BASADO EN EL BALANCE ENERGÉTICO DE MOTOR DE INDUCCIÓN MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO	92
3.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	93
3.2.1 DESCRIPCIÓN DEL MOTOR	93
3.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA TERMOGRÁFICA	95
3.2.3 DESCRIPCIÓN DE OTROS DISPOSITIVOS	96

3.2.4 ESQUEMA DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y MONTAJE Y PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	98
3.2.5 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE ANÁLISIS DE IMÁGENES TERMOGRÁFICAS Y PROCEDIMIENTO DE TRATAMIENTO DE DATOS	104
3.3 CARACTERIZACIÓN DE MODELO DE BALANCE ENERGÉTICO	113
3.4 VALIDACION DEL MODELO. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	118
3.5 CONCLUSION	126

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE FALLOS Y DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE MOTORES DE INDUCCIÓN MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA

4.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO	128
4.2 FALLOS ESTUDIADOS (JUSTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN)	128
4.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	132
4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	135
4.4.1 FALLO DE RODAMIENTOS DEFECTUOSOS	135
4.4.2 FALLO EN EL SISTEMA DE VENTILACIÓN	137
4.4.3 FALLO DE BARRAS ROTAS	139
4.4.4 FALLO DE DESEQUILIBRIO DE FASES	141
4.4.5 COMPARATIVA ENTRE LOS DISTINTOS FALLOS ESTUDIADOS	146
4.5 CONCLUSION	149

CAPÍTULO 5. COMBINACIÓN DE TÉCNICAS NO INVASIVAS (ANÁLISIS DE CORRIENTES Y TERMOGRAFÍA)

5.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO	150
5.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	153
5.2.1 DESCRIPCIÓN DEL OSCILOSCOPIO DIGITAL Y DE LA PINZA AMPERIMETRICA	154
5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	155
5.3.1 FALLO DE BARRAS ROTAS	155
5.3.2 FALLO DE RODAMIENTOS DEFECTUOSOS	161
5.3.3 FALLO EN SISTEMA DE VENTILACIÓN	166
5.4 CONCLUSION	171

CAPÍTULO 6. METODOLOGÍA DE SEGMENTACIÓN AUTOMÁTICA DE IMÁGENES INFRARROJAS

6.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO	172
6.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	173
6.2.1 ADQUISICIÓN DE IMÁGENES MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA	175
6.2.2 MÉTODO DE RECONOMIENTO DE IMÁGENES	175
6.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	183
6.3.1 RESULTADOS DEL MÉTODO C.4.5.	183
6.2.2 RESULTADOS DEL MÉTODO NAIVE BAYES	184
6.4 CONCLUSION	185

CAPÍTULO 7. CONCLUSION Y TRABAJOS FUTUROS

7.1 CONCLUSION	186
7.2 TRABAJOS FUTUROS	187

BIBLIOGRAFÍA	188
---------------------	------------

PARTE II. RELACIÓN DE ARTÍCULOS

ARTÍCULO 1. M.J.Picazo-Ródenas, R.Royo, J.Antonino-Daviu, J.Roger-Folch, “**Energy balance and Heating Curves of electric motors based on Infrared Thermography**”, 20th IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2011, Poland. Print ISBN 978-1-4244-9310-4. DOI: 10.1109/ISIE.2011.5984224. _____ **212**

ARTÍCULO 2. M.J.Picazo-Ródenas, R.Royo, J.Antonino-Daviu, J.Roger-Folch, “**Use of the infrared data for heating curve computation in induction motors: Application to fault diagnosis**”. Engineering Failure Diagnosis, vol. 35, pp 178-192. Ed ELSEVIER, 2013. DOI:10.1016/j.engfailanal.2013.01.018 _____ **218**

ARTÍCULO 3. M.J. Picazo-Ródenas, R. Royo, J. Antonino-Daviu, “**A new methodology for complementary diagnosis of induction motors based on infrared thermography**”, International Journal on Energy Conversion (IRECON), Vol 3, No. 2, 2015. DOI:10.15866/irecon.v3i2.5647. _____ **246**

ARTÍCULO 4. M.J. Picazo-Ródenas, J. Antonino-Daviu, Senior Member, IEEE , V. Climente-Alarcón, Member, IEEE, R. Royo-Pastor and A. Mota-Villar “**Combination of non-invasive approaches for general assessment of induction motors**, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 51, no. 3, pp. 2172-2180, 2015. DOI: 10.1109/TIA.2014.2382880. _____ **268**

ARTÍCULO 5. Petros Karvelis, George Georgoulas, Chsysostomos D. Stylios , Ioannis P. Tsoumas , Jose Alfonso Antonino-Daviu, María José Picazo Ródenas, Vicente Climente-Alarcón “**An Automated Thermographic Image Segmentation Method for Induction Motor Fault Diagnosis**”, Proceedings 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 10.1109/IECON-pp. 3396-3402, 29 Oct. 2014. DOI: 10.1109/IECON.2014.7049001. _____ **288**