

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS DE LA TESIS.....	1
1.2. ORGANIZACIÓN Y DESARROLLO DE LA TESIS.....	4
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1. BREVE INTRODUCCIÓN AL MOTOR DE INDUCCIÓN.....	7
2.1.1. PRINCIPALES ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS Y PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO.....	8
2.2. MANTENIMIENTO DE MOTORES DE INDUCCIÓN.....	14
2.2.1. TIPOS DE FALLO MÁS COMUNES EN MOTORES DE INDUCCIÓN.....	18
2.2.2. TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO PREDICTIVO DE MOTORES DE INDUCCIÓN.....	31
2.2.2.1. Técnicas dinámicas.....	31
2.2.2.1.1. Termografía infrarroja.....	31
2.2.2.1.2. Análisis espectral de vibraciones.....	33
2.2.2.1.3. Análisis de la corriente.....	35
2.2.2.1.4. Análisis del flujo magnético.....	56
2.2.2.1.5. Otras técnicas dinámicas.....	58
2.2.2.2. Ensayos estáticos.....	60
2.3. EL ARRANQUE EN MOTORES DE INDUCCIÓN INDUSTRIALES.....	62
2.3.1. IMPORTANCIA DEL ARRANQUE.....	62
2.3.2. DISTINTOS TIPOS DE ARRANQUE.....	63
2.4. ARRANQUE MEDIANTE ARRANCADOR ESTÁTICO.....	69
2.4.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE ARRANCADORES ESTÁTICOS.....	71
2.4.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO Y PRINCIPALES ELEMENTOS DEL ARRANCADOR ESTÁTICO.....	75
2.4.2.1. Bloque de potencia.....	76
2.4.2.2. Bloque de control.....	77
2.4.3. TOPOLOGÍAS DEL CIRCUITO DE POTENCIA DE LOS ARRANCADORES ESTÁTICOS.....	82
2.4.4. MODELOS Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS ARRANCADORES INDUSTRIALES UTILIZADOS EN LOS EXPERIMENTOS.....	84

CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LOS ARMÓNICOS EN LA CORRIENTE DE MOTORES ARRANCADOS MEDIANTE ARRANCADOR ESTÁTICO.....	89
3.1. INTRODUCCIÓN.....	89
3.2. ARMÓNICOS DE CORRIENTE PRESENTES EN ESTADO SANO.....	91
3.2.1. ARMÓNICOS DEBIDOS A CARACTERISICAS CONSTRUCTIVAS DEL MOTOR.....	91
3.2.1.1. Armónicos de Ranura de Rotor (RSH).....	91
3.2.1.2. Armónicos de Permeancia de Ranura (SPH).....	92
3.2.1.3. Armónicos de Saturación (SH).....	93
3.2.1.4. Evoluciones tiempo-frecuencia de los PSH durante el arranque.....	95
3.2.2. ARMÓNICOS INTRODUCIDOS POR LA RED DE SUMINISTRO.....	98
3.2.2.1. Armónicos de devanado (WH). 98	
3.2.2.2. Evoluciones tiempo-frecuencia de los WH durante el arranque. 100	
3.2.3. ARMÓNICOS CAUSADOS POR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL MOTOR.....	101
3.2.3.1. Armónicos debidos a las condiciones de operación.....	101
3.2.3.2. Evoluciones tiempo-frecuencia de los armónicos debidos a condiciones de operación durante el arranque.....	102
3.2.4. ARMÓNICOS ASOCIADOS A LA CARGA O AL SISTEMA DE TRANSMISION EMPLEADO.....	103
3.2.4.1. Armónicos causados por la carga.....	103
3.2.4.2. Armónicos asociados al sistema de transmisión.....	105
3.2.4.3. Evoluciones tiempo-frecuencia de los armónicos causados por la carga/sistema de transmisión durante el arranque.....	107
3.3. ARMÓNICOS INTRODUCIDOS POR LAS DISTINTAS AVERIAS.....	108
3.3.1. ARMÓNICOS ASOCIADOS A FALLOS EN EL ROTOR.....	108
3.3.1.1. Armónicos amplificados en el espectro de la corriente en régimen permanente.....	108
3.3.1.2. Evoluciones tiempo-frecuencia durante el arranque de los armónicos asociados a fallos en el rotor.....	112
3.3.2. ARMÓNICOS ASOCIADOS A EXCENTRICIDADES.....	115
3.3.2.1. Armónicos amplificados en el espectro de la corriente en régimen permanente.....	115
3.3.2.2. Evoluciones tiempo-frecuencia durante el arranque de los armónicos asociados a excentricidades.....	117
3.3.3. ARMÓNICOS ASOCIADOS A FALLOS EN RODAMIENTOS.....	120
3.3.3.1. Armónicos amplificados en el espectro de la corriente en régimen permanente.....	120
3.3.3.2. Evoluciones tiempo-frecuencia durante el arranque de los armónicos asociados a fallos en rodamientos.....	123
3.4. ESTUDIO EMPÍRICO DE LOS ARMONICOS AMPLIFICADOS BAJO OPERACIÓN MEDIANTE ARRANCADOR ESTÁTICO.....	124

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL ROTOR.....129

4.1. INTRODUCCIÓN.....	129
4.2. LA TRANSFORMADA WAVELET DISCRETA (DWT).....	130
4.2.1. ANÁLISIS CLÁSICO; LA TRANSFORMADA DE FOURIER.....	130
4.2.2. BASES DE LA TRANSFORMADA WAVELET DISCRETA (DWT).....	133
4.2.2.1. Ejemplos de aplicación.....	135
4.2.2.2. Parámetros básicos para la aplicación de la DWT.....	139
4.3. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	145
4.3.1. BREVE SÍNTESIS DE LAS BASES TEÓRICAS DEL MÉTODO PROPUESTO; EJEMPLO DEL ANÁLISIS DE UN MOTOR CON UNA BARRA ROTA.....	145
4.3.2. GUIA PRÁCTICA PARA LA APLICACIÓN GENERAL DEL MÉTODO.....	147
4.3.2.1. Captura de la corriente de arranque.....	147
4.3.2.2. Aplicación de la DWT.....	148
4.3.2.3. Análisis de las señales wavelet.....	149
4.4. EJEMPLOS DE APLICACIÓN; COMPARACIÓN DE DIAGNÓSTICOS EMPLEANDO DOS MODELOS DE ARRANCADOR ESTÁTICO.....	153

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DE LOS MOTORES, BANCADA DE EXPERIMENTACIÓN Y EQUIPOS DE MEDIDA.....156

5.1. INTRODUCCIÓN.....	156
5.2. ENSAYOS EN LABORATORIO.....	156
5.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES ENSAYADOS EN LABORATORIO.....	156
5.2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS BANCADAS EXPERIMENTALES DE LABORATORIO.....	158
5.2.2.1. Bancada 1: motor arrancado con arrancador industrial SIEMENS SIKOSTART 3RW2.....	158
5.2.2.2. Bancada 2: motor arrancado con arrancadores modelos OMRON, SIEMENS, SCHNEIDER y ABB.....	161
5.3. ENSAYOS EN MOTORES INDUSTRIALES.....	164
5.4. EQUIPOS DE MEDIDA.....	167
5.4.1. OSCILOSCOPIO DIGITAL.....	167
5.4.2. PINZA AMPERIMÉTRICA.....	167

CAPÍTULO 6. VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO DE MOTORES ARRANCADOS MEDIANTE ARRANCADOR.....	169
6.1. INTRODUCCIÓN.....	169
6.2. DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO.....	169
6.2.1. ENSAYOS EFECTUADOS CON EL ARRANCADOR INDUSTRIAL SIEMENS SIKOSTART 3RW22 (BANCADA 1).....	169
6.2.2. ENSAYOS EFECTUADOS CON LOS ARRANCADORES OMRON, SIEMENS, SCHNEIDER Y ABB (BANCADA 2).....	173
6.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	181
6.3.1. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LA BANCADA 1 (ARRANCADOR INDUSTRIAL SIEMENS SIKOSTART 3RW22)	181
6.3.2. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LA BANCADA 2 (ARRANCADORES OMRON, SIEMENS, SCHNEIDER Y ABB)	189
6.3.2.1. Análisis de los resultados con el motor sano (0 barras rotas).....	189
6.3.2.1.1 <i>Análisis cualitativo</i>	189
6.3.2.1.2 <i>Análisis cuantitativo</i>	192
6.3.2.2. Análisis de los resultados para el motor con 1 y 2 barras rotas.....	199
6.3.2.1.3 <i>Análisis cualitativo</i>	199
6.3.2.1.4 <i>Análisis cuantitativo</i>	216
6.4. VALIDACION EN MOTORES INDUSTRIALES REALES.....	219
6.4.1. ENSAYOS EFECTUADOS EN PLANTA DE PIENSO ANIMAL (M1 Y M2).....	219
6.4.2. ENSAYOS EFECTUADOS EN PLANTA DE DEPURACIÓN DE AGUAS (M3 Y M4).....	225
6.4.3. ENSAYOS EFECTUADOS EN MOTORES DE INDUSTRIA ALIMENTARIA (M5 Y M6).....	227
 CAPÍTULO 7. APUNTES PARA AUTOMATIZACIÓN DEL MÉTODO DE DIAGNÓSTICO.....	 231
7.1. INTRODUCCIÓN.....	231
7.2. AUTOMATIZACIÓN DEL DIAGNÓSTICO.....	234
7.2.1. AUTOMATIZACIÓN DE LA DETECCIÓN DEL PATRÓN DE FALLO.....	234
7.2.2. COMPUTACIÓN AUTOMÁTICA DEL INDICADOR DE SEVERIDAD DE FALLO γ_{D7}	239
7.2.2.1. Ensayos experimentales.....	241
7.2.2.2. Discusión de los resultados.....	246

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	249
8.1. CONCLUSIONES Y APORTACIONES DE LA TESIS.....	249
8.2. TRABAJOS FUTUROS.....	256
BIBLIOGRAFÍA.....	257