

1	La familia de los motores eléctricos	1
1.1	Introducción	1
1.2	El árbol genealógico de los motores eléctricos	3
1.3	Motores síncronos	5
1.3.1	Principios de funcionamiento y características	5
1.3.2	Ventajas del motor síncrono	13
1.3.3	Arranque de los motores síncronos	14
1.4	Motores asíncronos	16
1.4.1	Principio de funcionamiento y características	16
1.4.2	Ventajas de los motores asíncronos	21
1.4.3	Arranque de los motores asíncronos	22
1.5	Motores de corriente continua	22
1.5.1	Principios de funcionamiento y características	22
1.5.2	Tipos de excitación	25
1.5.3	Ventajas de los motores de corriente continua	26
1.5.4	Arranque de los motores de corriente continua	26
2	Características de accionamiento	28
2.1	Característica par motor-velocidad de cargas mecánicas	28
2.2	Característica par-velocidad de motores eléctricos	31
2.3	Punto de funcionamiento y estabilidad	35
2.4	Aceleración de la carga	37
2.4.1	Refinamiento del cálculo del tiempo de aceleración	40
2.4.2	Cálculo del tiempo de arranque utilizando el método simplificado	43
2.4.3	La expresión numérica del valor de la inercia	45
2.4.4	Momento de inercia de masa en traslación referido a un eje	49
2.4.5	Cadena cinemática	50
2.5	Las curvas de la corriente-velocidad angular (rotación) y de la corriente-tiempo durante la aceleración de un motor de inducción	54
2.6	Cálculo del tiempo de aceleración y curva de la corriente en función del tiempo con uso de ábaco	56
2.7	Categorías de motores de inducción de rotor en jaula	60
2.7.1	Inercias normalizadas	66
2.8	Potencia y energía durante el arranque	68
2.8.1	Dependencia entre par motor y corriente para el motor de inducción	70

2.9	Métodos de arranque de motores	74
2.9.1	Arranque estrella-triángulo	75
2.9.2	Arranque de motores con arrollamiento dividido	81
2.9.3	Arranque con autotransformador	82
2.9.4	Arranque con resistor primario	84
2.9.5	Arranque con reactancia primaria	84
2.9.6	Motores de inducción de anillos	84
2.9.7	Accionamientos con embragues en el arranque	95
2.10	Aplicación de motores en accionamientos de velocidad variable	105
2.10.1	Control discreto de velocidad	107
2.10.2	Principios de control continuo de velocidad para motores de corriente alterna	112
2.10.3	Estudios de la variación de la velocidad de motores de corriente continua	121
3	Aspectos constructivos	133
3.1	Elementos comunes	133
3.2	Elementos específicos	133
3.2.1	Motores asíncronos	140
3.2.2	Motores síncronos	142
3.2.3	Motores de corriente continua	142
3.2.4	Motores con imanes permanentes	146
3.3	Accesorios utilizados en máquinas eléctricas	148
3.3.1	Cajas de empalme	148
3.3.2	Intercambiadores térmicos	148
3.3.3	Tacómetros	148
4	Potencia, calentamiento y refrigeración de los motores eléctricos	152
4.1	Determinación de la potencia	152
4.2	Pérdidas en motores eléctricos	159
4.2.1	Condición de máximo rendimiento para transformadores-analogía con la condición de máximo rendimiento de motores	163
4.3	Estudio del comportamiento térmico de las máquinas eléctricas	166
4.4	Tipos de regímenes	173
4.4.1	Regímenes normalizados	175
4.4.2	Métodos de frenado	184
4.5	Métodos de refrigeración	191
5	Ensayos de motores eléctricos	197
5.1	Finalidad de los ensayos	197
5.2	Ensayos realizados	200
5.2.1	Ensayos ejecutados en motores trifásicos de inducción	201
5.2.2	Ensayos ejecutados en motores CC	206
5.2.3	Ensayos finales de entrega	208
5.2.4	Ensayos en máquinas grandes	208

5.2.5	Algunas consideraciones	211
5.3	Sugerencias para prescribir ensayos en ocasión de la compra	211
6	El medio ambiente	215
6.1	El medio ambiente como factor influyente en la selección del motor	215
6.2	La «agresividad» del medio ambiente	215
6.3	Grados de protección mecánica de las cubiertas de los motores	217
6.3.1	Instalaciones de aire libre (externas)	218
6.3.2	Comparación de normalizaciones	219
6.3.3	Ensayos de comprobación del grado de protección mecánica de las carcasas	220
6.3.4	Grados más usados de protección mecánica de las cubiertas	221
6.3.5	La taconita y el grado de protección IP-55	223
6.3.6	Drenaje	224
6.4	Ambientes agresivos típicos y las cubiertas de los motores ..	224
6.4.1	Resistencia a agentes químicos	226
6.5	Utilización de motores en áreas peligrosas	230
6.5.1	Clasificación de las áreas peligrosas	231
6.5.2	Tipos de motores para áreas clasificadas	237
6.5.3	Ensayos y certificación	244
6.5.4	Las áreas de particular interés	246
6.5.5	Consideraciones adicionales	247
7	El sistema aislante	249
7.1	Propiedades y definiciones	249
7.1.1	Resistencia y resistividad de aislamiento	249
7.1.2	Absorción dieléctrica	251
7.1.3	Constante dieléctrica	252
7.1.4	Pérdida dieléctrica	252
7.1.5	Factor de potencia	253
7.1.6	Factor de disipación	253
7.2	Tensión soportable	254
7.3	Deterioro del aislamiento	255
7.3.1	Teoría térmica	255
7.3.2	Teoría iónica	255
7.3.3	Teoría disruptiva	255
7.4	Clases de aislamiento y clasificación térmica	256
7.4.1	La vida útil y su determinación	257
7.4.2	La elevación de temperatura del motor y su medición	260
7.4.3	Algunas consideraciones	262
7.5	La temperatura y la altitud del medio ambiente	263
7.5.1	La temperatura	263
7.5.2	La altitud	265

7.5.3	Variación combinada de la temperatura y la altitud	267
7.6	Otros fenómenos implicados en el deterioro del aislamiento	269
7.6.1	Distancia de aislamiento	269
7.6.2	Corona	271
7.6.3	Distorsiones de campo	271
7.6.4	Sobretensiones debidas a enclavamiento	272
7.7	Efectos del ambiente sobre el aislamiento	272
7.7.1	Ambientes químicamente agresivos	273
7.8	Análisis de las causas de fallo de aislamiento	274
7.8.1	Fallos más frecuentes en el aislamiento	274
8	Aspectos de la instalación de motores que influyen en su selección	276
8.1	Formas constructivas y montajes	276
8.2	Dimensiones de montaje de los motores	278
8.2.1	Normalización de potencias y correspondencia carcasa-potencia (y velocidad angular) para motores de inducción	286
8.3	Esfuerzos mecánicos que actúan sobre el motor	287
8.3.1	Esfuerzos externos	287
8.3.2	Esfuerzos internos	288
8.4	Parámetros mecánicos del motor	288
8.4.1	Tensiones (o sollicitaciones) en el eje	289
8.4.2	Deflexiones en el eje	290
8.4.3	Velocidades angulares críticas	291
8.4.4	Cojinetes	292
8.5	Consideraciones relativas a los apoyos	298
8.6	Esfuerzos sobre la base	300
8.7	Transmisiones	301
8.7.1	Transmisiones por poleas y correas	302
8.7.2	Transmisiones por ruedas dentadas y cadena	305
8.7.3	Transmisiones por engranajes	306
8.7.4	Comentarios y conclusiones sobre transmisiones	307
8.8	Instalación de motores	308
8.8.1	Fijación del motor	308
8.8.2	Alineación del motor	309
8.8.3	Cuidados adicionales	311
8.9	Vibración	311
8.10	Ruido	313
8.10.1	Medidas sonoras	314
8.10.2	Respuesta en frecuencia	316
8.10.3	Fuente impulsiva de ruido	317
8.10.4	Bandas de octavas	317
8.10.5	Variación del nivel sonoro con la distancia-mediciones	318
8.10.6	Límites de ruido para motores	319
8.10.7	Ruido de propagación estructural	321
8.10.8	Orígenes del ruido en motores eléctricos y su reducción	322

9	Aspectos de mantenimiento que influyen en la selección de motores	326
9.1	Los cojinetes	327
9.1.1	Cojinetes de deslizamiento o fricción	328
9.1.2	Cojinetes de rodamientos	332
9.1.3	Lubricación	335
9.1.4	Mantenimiento de los cojinetes de motores a prueba de explosión	339
9.2	Contactos deslizantes	339
9.2.1	Colectores	339
9.2.2	Anillos rozantes o deslizantes	341
9.2.3	Portaescobillas	341
9.2.4	Dispositivo de elevación de las escobillas	342
9.2.5	Escobillas de carbón	343
9.3	Mantenimiento de los arrollamientos o devanados	344
9.4	El almacenaje de motores antes de su entrada en operación; los calentadores internos	345
9.4.1	La resistencia de aislamiento	347
9.4.2	Secado de los arrollamientos	350
9.4.3	Cuidados con los cojinetes	351
10	Protección de motores	353
10.1	Protecciones del estator	353
10.1.1	Protección contra cortocircuitos	353
10.1.2	Protección contra sobrepulsos de tensión	354
10.1.3	Protección contra sobrecargas	356
10.1.4	Protección contra faltas de tierra	357
10.1.5	Protección contra subtensiones	358
10.1.6	Protección diferencial	359
10.1.7	Protección contra falta y desequilibrio de fases	360
10.1.8	Protección contra la pérdida de sincronismo	360
10.2	Protecciones del motor	361
10.2.1	Protección contra tiempos de arranque muy largos y arranques sucesivos	361
10.2.2	Protección contra rotor bloqueado durante el funcionamiento	362
10.2.3	Protección contra rotor bloqueado durante el arranque	362
10.3	Protecciones por detectores de temperatura	363
10.3.1	Detectores de temperatura bimetálicos	364
10.3.2	Detectores de temperatura tipo termopar	364
10.3.3	Detectores de temperatura tipo resistencia dependiente de la temperatura	365
10.3.4	Detectores de temperatura tipo semiconductor (termistor)	365
11	Especificación de motores	368