

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRÁCTICAS EN MOTORES
ELÉCTRICOS, COMO APOYO A LA ASIGNATURA DISEÑO DE MÁQUINAS II**

**EYBAR FARITH CONTRERAS VILLAMIZAR
ROLANDO SÁNCHEZ RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2010**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRÁCTICAS EN MOTORES
ELÉCTRICOS, COMO APOYO A LA ASIGNATURA DISEÑO DE MÁQUINAS II**

**EYBAR FARITH CONTRERAS VILLAMIZAR
ROLANDO SÁNCHEZ RODRÍGUEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingenieros Mecánicos**

**Director
PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2010**

DEDICATORIA

A la Santísima Trinidad, a la Santísima Virgen María, a mis padres José Daniel y Myriam Cecilia, a mi hermana Marcia Erica y al amor de mi vida Leidy Sorelly.

Eybar Farith Contreras Villamizar

Principalmente a Dios que me ha dado la fuerza y la capacidad de haber cumplido esta meta en mi vida, a mi hermana Iraires Sánchez y a su esposo Dinael Hernández, a mi familia y amigos que me colaboraron y animaron permanentemente.

A mi madre Elsida Rodríguez y mi hermano Juan Baudilio quienes desearon verme llegar a este punto.

Rolando Sánchez Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos llegar tan lejos.

Al profesor y director de esta tesis Pedro José Díaz Guerrero por su constante colaboración intelectual, diligencia al momento de la búsqueda de soluciones adecuadas y dedicación de tiempo durante el desarrollo del trabajo.

Al profesor Carlos Borrás Pinilla por su oportuna orientación y opinión.

A todo el cuerpo de profesores de ingeniería mecánica por los conocimientos que nos impartieron durante el desarrollo de la carrera, por su constante apoyo y por haber hecho de nosotros ingenieros de alta calidad y competitividad.

A Henry Cruz Mejía y Gonzalo Calderón Caballero por su colaboración.

A Alba Luz Ramírez y a Mauricio García Zambrano asesores comerciales por su orientación y disposición.

A la comunidad colombiana que con sus aportes económicos hace posible que la Universidad Industrial de Santander siga ofreciendo carreras profesionales de tan alta calidad académica.

Los autores

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	29
1 PRELIMINARES	31
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	31
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	31
1.3 OBJETIVOS	32
1.3.1 Objetivo General.....	32
1.3.2 Objetivos Específicos.....	32
2 SEGURIDAD EN EL MANEJO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS	43
2.1 INTRODUCCIÓN	43
2.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA.....	43
2.3 DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS.....	43
2.3.1 Normas de seguridad eléctrica aplicables en Colombia.	43
2.3.2 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.	45
2.3.3 Riesgos eléctricos más comunes y prevenciones	47
2.3.4 Distancias mínimas seguras para evitar riesgo de arco eléctrico	49
2.3.5 Procedimientos seguros para el desarrollo de las prácticas	51
3 MEDIDORES DE VARIABLES ELÉCTRICAS	53
3.1 INTRODUCCIÓN	53
3.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA.....	53
3.3 DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS.....	53
3.3.1 Amperímetros	53
3.3.2 Voltímetros.....	54
3.3.3 Multímetros Digitales	55
4 DEFINICIONES DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	57
4.1 INTRODUCCIÓN	57

4.2	OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA.....	57
4.3	DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS.....	58
4.3.1	Conceptos generales de las máquinas eléctricas.....	58
4.3.2	Conceptos generales de los motores eléctricos.....	59
4.3.3	Clasificación de los motores eléctricos.....	69
4.3.4	Motores eléctricos DC.....	71
4.3.5	Motores eléctricos AC.....	79
4.3.6	Características de operación de motores eléctricos.....	92
4.3.7	Sistemas de aislamiento utilizados para los motores eléctricos.....	95
4.3.8	Tamaños normalizados de motores eléctricos.....	99
4.3.9	Problemas teóricos acerca de motores eléctricos.....	101
5	MÉTODOS DE ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	105
5.1	INTRODUCCIÓN.....	105
5.2	OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA.....	105
5.3	DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS.....	106
5.3.1	Normas colombianas acerca del uso de arrancadores.....	106
5.3.2	Métodos de arranque de motores eléctricos.....	106
5.3.3	Comparación de los métodos de arranque de motores eléctricos.....	117
5.3.4	Ejercicio teórico sobre arrancadores.....	120
6	CONTROLADORES DE VELOCIDAD DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	122
6.1	INTRODUCCIÓN.....	122
6.2	OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA.....	122
6.3	DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS.....	123
6.3.1	Determinación de la velocidad de motor síncrono.....	123
6.3.2	Determinación de la velocidad del motor asíncrono.....	123
6.3.3	Diferencia respecto de la velocidad de operación entre motor síncrono y motor asíncrono.....	124
6.3.4	Formas de control de velocidad a motores asíncronos.....	124
6.3.5	Potenciómetro.....	126

6.3.6	Variación de velocidad mediante variación de la frecuencia.....	127
7	RELÉS	130
7.1	INTRODUCCIÓN	130
7.2	OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA.....	130
7.3	DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS TEÓRICOS.....	131
7.3.1	Definición de relé	131
7.3.2	Clasificación de los relés	131
7.3.3	Tipos de relés de uso común.....	134
7.3.4	Tipos de contactos.....	136
7.3.5	Cómo seleccionar un relé	138
7.3.6	Circuitos donde se aplican relés	138
8	PROTECCIONES Y CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	141
8.1	INTRODUCCIÓN	141
8.2	OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA.....	141
8.3	DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS.....	142
8.3.1	Porque son necesarias las protecciones a motores eléctricos	142
8.3.2	Tipos de protecciones a motores eléctricos de uso común	143
8.3.3	Automáticos o tacos de protección	146
8.3.4	Determinación de la protección de sobrecarga a usar para motores eléctricos según norma colombiana.....	152
8.3.5	Inversión del sentido de giro a motores eléctricos	156
8.3.6	Ejercicios teóricos de selección de automáticos y protecciones de sobrecarga	157
9	ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y DE MONTAJE.....	161
9.1	INTRODUCCIÓN	161
9.2	ELEMENTOS A USAR EN LAS PRÁCTICAS	161
9.2.1	Contactador	161
9.2.2	Bloque auxiliar	162
9.2.3	Relé de sobrecarga	162

9.2.4	Relé de tiempo.....	164
9.2.5	Indicador (Piloto).....	165
9.2.6	Relé automático contra cortocircuito (<i>breaker</i>)	165
9.2.7	Pulsadores.....	166
9.2.8	Bornes	167
9.2.9	Riel DIN	168
9.2.10	Canaleta	169
9.2.11	Cajas.....	170
9.2.12	Prensaestopas.....	170
10	DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRÁCTICAS	172
10.1	INTRODUCCIÓN	172
10.2	LÓGICA DEL BANCO DE PRÁCTICAS EN MOTORES ELÉCTRICOS....	172
10.2.1	Como se logran las dos condiciones de energización del banco.....	173
10.2.2	Similitud en los circuitos de control de las cajas	176
10.2.3	Detalles de los accionamientos por muletilla y <i>microswitch</i>	178
10.2.4	Circuitos eléctricos de potencia y control del banco de prácticas	179
10.3	COMPONENTES DEL BANCO DE PRÁCTICAS	186
10.3.1	Cajas para montaje de los circuitos de las prácticas	186
10.3.2	Sistema de pilotos	187
10.3.3	Canaletas dieléctricas.....	187
10.3.4	Sistema de tubo flexible.....	188
10.3.5	Material eléctrico.....	188
11	PRÁCTICA NO 1: RECONOCIMIENTO DE MOTORES ELÉCTRICOS, MEDIDORES Y SEGURIDAD EN MANIPULACIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS	190
11.1	INTRODUCCIÓN	190
11.2	OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA.....	190
11.3	METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE	191
11.4	MATERIALES PARA LA PRÁCTICA	191

11.5	DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS.....	191
11.5.1	Responsabilidad sobre los implementos del banco de pruebas	191
11.5.2	Clasificación de motores eléctricos según NEMA.....	191
11.5.3	Reconocimiento de partes de motores y funcionalidad de las mismas...	192
11.5.4	Seguridad en el manejo de circuitos eléctricos.....	196
11.5.5	Funcionamiento del multímetro.....	199
12	GUÍA CONSOLIDADA DE LAS PRÁCTICAS NO 2 Y 3: SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE PROTECCIONES AUTOMÁTICAS O TACOS PARA CIRCUITOS CON MOTORES ELÉCTRICOS Y ARRANCADORES PARA MOTORES ELÉCTRICOS.....	205
12.1	INTRODUCCIÓN	205
12.2	OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA No 2	205
12.3	OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA No 3	206
12.4	METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE.....	207
12.5	MATERIALES PARA LA PRÁCTICA	207
12.6	DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS.....	208
12.6.1	Responsabilidad sobre los implementos del banco de pruebas	208
12.6.2	Método de arranque de motores eléctricos de uso común	208
12.6.3	Protecciones para motores eléctricos.....	211
12.6.4	Selección de protección para el arranque de motor de ½ HP monofásico mediante el método de arranque directo	211
12.6.5	Selección de protección para el arranque de motor de 2 HP trifásico mediante el método de arranque directo.....	212
12.6.6	Selección de protección para el arranque de motor de 2 HP trifásico mediante el método de arranque estrella triángulo	212
12.6.7	Arranque directo de motor de ½ HP monofásico	215
12.6.8	Arranque de motor de 2 HP trifásico mediante método directo	215
12.6.9	Arranque de motor de 2 HP trifásico mediante método estrella triángulo	219

13	GUÍA PRÁCTICA NO 4: VARIACIÓN DE VELOCIDAD A MOTORES ELÉCTRICOS	230
13.1	INTRODUCCIÓN	230
13.2	OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA.....	230
13.3	METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE.....	231
13.4	DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS.....	231
13.4.1	Responsabilidad sobre los implementos del banco de pruebas	231
13.5	DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS.....	231
13.5.1	Métodos de variación de velocidad a motores asíncronos	231
13.5.2	Funcionamiento del variador de frecuencia Siemens ® Micromaster Simovert 6SE30	232
13.5.3	Programación del variador de frecuencia	238
13.5.4	Realización de la práctica de la variación de velocidad.....	241
14	GUÍA PRÁCTICA NO 5: USO DE LOS RELÉS EN CIRCUITOS CON MOTORES ELÉCTRICOS	246
14.1	INTRODUCCIÓN	246
14.2	OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA.....	246
14.3	METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE.....	246
14.4	MATERIALES PARA LA PRÁCTICA	247
14.5	DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS.....	247
14.5.1	Responsabilidad sobre los implementos del banco de pruebas	247
14.5.2	Conceptualización	247
14.5.3	Desarrollo de la práctica	247
14.5.4	Arranque de motor de 2 HP trifásico mediante método estrella triángulo con accionamiento remoto por relé electromecánico:	247
15	GUÍA PRÁCTICA NO 6: INVERSIÓN DE GIRO DE MOTORES ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS	254
15.1	INTRODUCCIÓN	254
15.2	OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA.....	254

15.3	MATERIALES PARA LA PRÁCTICA	255
15.4	DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS.....	255
15.4.1	Responsabilidad sobre los implementos del banco de pruebas	255
15.4.2	Conceptualización	255
15.4.3	Inversión de giro a motor monofásico	256
15.4.4	Inversión de giro a motor trifásico de 2HP mediante método de arranque directo.....	258
16	RESULTADOS DE LAS PRÁCTICAS REALIZADAS	264
16.1	INTRODUCCIÓN	264
16.2	DESARROLLO DEL INFORME DE RESULTADOS.....	264
16.2.1	Resultados práctica No 2: selección y aplicación de protecciones automáticas o tacos para circuitos con motores eléctricos	264
16.2.2	Resultados práctica No 3: Arrancadores para motores eléctricos	267
16.2.3	Resultados práctica No 4: Variación de velocidad a motores eléctricos	273
16.2.4	Resultados práctica No 5: Variación de velocidad a motores eléctricos	274
16.2.5	Resultados práctica No 6: Inversión de giro de motores eléctricos monofásicos y trifásicos	275
17	CONCLUSIONES	277

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Zonas de tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas de 15 a 100 Hz	47
Figura 2. Límites de aproximación para evitar riesgo de arco eléctrico	50
Figura 3. Esquema de montaje de amperímetro en circuito eléctrico	54
Figura 4. Esquema de montaje de un voltímetro	55
Figura 5. Esquema simplificado de funcionamiento de un Ohmímetro	56
Figura 6. Formas de onda de corriente continua y alterna	60
Figura 7. Generador alterno monofásico	61
Figura 8. Forma de la onda monofásica obtenida con generador alterno monofásico	61
Figura 9. Generador de corriente directa	63
Figura 10. Esquema de un alternador trifásico	64
Figura 11. Forma de la onda trifásica obtenida con generador alterno trifásico	64
Figura 12. Flujo magnético alrededor de un conductor	65
Figura 13. Inducción electromagnética	66
Figura 14. Fuerza magnética en un conductor debido a la circulación de corriente y campo magnético	68
Figura 15. Diferencias constructivas debido a la velocidad de operación del motor eléctrico	70
Figura 16. Clasificación de motores eléctricos DC según NEMA	70
Figura 17. Clasificación de motores eléctricos AC según NEMA	71
Figura 18: Partes principales de un motor DC	73
Figura 19: Esquema de montaje general de un motor DC	73
Figura 20: Partes del rotor de un motor DC	74
Figura 21: Esquema eléctrico de un motor DC	75

Figura 22. Esquema de funcionamiento de un motor eléctrico	75
Figura 23. Esquemas eléctricos de motores DC	77
Figura 24. Conexiones de algunos motores DC	77
Figura 25. Partes principales de motor eléctrico AC trifásico de inducción	79
Figura 26. Disposición geométrica y montaje del estator en un motor AC trifásico de inducción	80
Figura 27. Construcción del rotor de un motor AC trifásico de inducción jaula de Ardilla	81
Figura 28. Montaje del rotor en un motor AC trifásico de inducción jaula de Ardilla	82
Figura 29. Recinto de motor AC trifásico de inducción	82
Figura 30. Rotores para tipos de motores AC	85
Figura 31. Rotores de las dos clases tipos de motores AC de tipo inducción	86
Figura 32. Conexión de un motor eléctrico AC de arrollamiento en serie	92
Figura 33. Curva representativa de velocidad-torque para motor NEMA B	93
Figura 34. Curvas características torque-velocidad para motores NEMA A, B, C, D y E	94
Figura 35. Valores de KVA/HP	96
Figura 36. Clasificación NEMA según tamaño del motor eléctrico	99
Figura 37. Explicación de la codificación NEMA para tamaños de motores eléctricos	100
Figura 38. Otras dimensiones ofrecidas según el código NEMA de tamaño	101
Figura 39. Especificaciones de motor NEMA B	103
Figura 40. Clasificación de los métodos de arranque de motores eléctricos	107
Figura 41. Esquema simplificado de arranque directo motor trifásico	108
Figura 42. Curva de corriente de arranque contra tiempo de motor NEMA B	108

Figura 43. Curvas características torque-velocidad para motores NEMA A, B, C, D y E	109
Figura 44. Esquema de arrancador con resistencias primarias de motor trifásico	110
Figura 45. Curva característica durante arranque con arrancador por resistencias primarias	110
Figura 46. Esquema de arrancador con autotransformador de motor trifásico	111
Figura 47. Curva de arranque de motor eléctrico usando autotransformador	112
Figura 48. Curva de arranque de motor eléctrico usando autotransformador al 65% del voltaje	113
Figura 49. Esquema de arrancador estrella triángulo con conmutador manual	114
Figura 50. Curva característica durante arranque con arrancador estrella triángulo	115
Figura 51. Esquema arrancador de devanado dividido	116
Figura 52. Curva durante arranque con arrancador devanado dividido	117
Figura 53. Comparación de métodos de arranque a tensión reducida	117
Figura 54. Valores de KVA/HP	121
Figura 55. Curvas características torque-velocidad para motores NEMA A, B, C, D y E	125
Figura 56. Formas para variar la velocidad de motores asíncronos o de inducción	125
Figura 57. Clasificación de los relés	131
Figura 58. Construcción física de un relé electromecánico	132
Figura 59. Ejemplo de relé de estado sólido	133
Figura 60. Esquema de un SPST (<i>Single Pole, Single throw</i>)	136
Figura 61. Esquema de un SPDT (<i>Single Pole, double throw</i>)	136
Figura 62. Esquema de un SPST (<i>Single Pole, Single throw</i>)	137
Figura 63. Esquema de un DPDT (<i>double Pole, double throw</i>)	137
Figura 64. Circuito de arranque directo de motor eléctrico de tres fases	

protegido por relés	139
Figura 65. Circuito de arranque directo de motor eléctrico de tres fases usando relé de control	140
Figura 66. Curva de corriente de arranque contra tiempo de motor NEMA B	143
Figura 67. Curvas de diferentes tipos de clases de relés de sobrecarga	144
Figura 68. Forma de funcionamiento de relé de sobrecarga con cinta bimetálica	145
Figura 69. Construcción física de relés de sobrecarga	146
Figura 70. Funcionamiento de los breakers	148
Figura 71 Apariencia física de un interruptor automático o <i>Breaker</i>	148
Figura 72. Página de catálogo de selección de <i>circuit breaker</i> Siemens	151
Figura 73. Clasificación según el nivel de servicio y potencia, para la definición de la protección a usar según la NTC 2050	153
Figura 74. Protección a aplicar al motor eléctrico para servicio continuo y potencia > 746 W (1 HP), acorde a NTC 2050	153
Figura 75. Protección a aplicar al motor eléctrico para servicio continuo y potencia ≤ 746 W (1 HP), acorde a NTC 2050	154
Figura 76. Protección a aplicar al motor eléctrico para servicio intermitente acorde a NTC 2050	155
Figura 77. Esquema de inversión de giro para motor eléctrico trifásico	156
Figura 78. Motor ejemplo para selección de automático o <i>breaker</i>	157
Figura 79. Motor ejemplo para selección de protección térmica	160
Figura 80. Contactor Chint ®	161
Figura 81. Bloques auxiliares para contactores Chint ®	162
Figura 82. Bloques auxiliares montado en contactor Chint ®	163
Figura 83. Relé de sobrecarga bimetálico Chint ®	164
Figura 84. Montaje de relé de sobrecarga bimetálico Chint ® en contactor	164
Figura 85. Relé de tiempo Stromelec ®	165
Figura 86. Indicador o piloto Chint ®	165

Figura 87. Breaker Chint ®	166
Figura 88. Pulsador E.B.C ®	167
Figura 89. Bloque para pulsador Chint ®	167
Figura 90. Bornes Chint ®	168
Figura 91. Tapas separadoras para bornes Chint ®	168
Figura 92. Riel para montaje de elementos	169
Figura 93. Canaleta eléctrica	169
Figura 94. Caja Chint ®	170
Figura 95. Prensaestopas Chint ®	171
Figura 96. Vista del banco para comprensión de la lógica	174
Figura 97. Incumplimiento de una de las dos condiciones	175
Figura 98. Violación de la seguridad pulsando el microswitch manualmente	176
Figura 99. Exterior de la caja de control	177
Figura 100. Interior de la caja de control	177
Figura 101. Muletilla con llave	178
Figura 102. <i>Microswitch</i>	178
Figura 103. Circuito de potencia de la red 110 monofásica	179
Figura 104. Circuito de control de la red 110 monofásica	180
Figura 105. Circuito de potencia 220 V 3~	181
Figura 106. Circuito de control red 220 V 3~	182
Figura 107. Circuito de potencia monofásico 220 V	183
Figura 108. Circuito de control monofásico 220 V	184
Figura 109. Circuito de potencia monofásico 220 V	185
Figura 110. Circuito de potencia monofásico 220 V	186
Figura 111. Cajas para montaje de circuitos	187
Figura 112. Vista general del banco de prácticas	189
Figura 113. Clasificación NEMA de motores eléctricos según naturaleza de la corriente eléctrica	192
Figura 114: Partes principales de un motor DC	193

Figura 115. Partes principales de motor eléctrico AC trifásico de inducción	193
Figura 116. Rotor jaula de ardilla	194
Figura 117. Rotor bobinado	195
Figura 118. Motor jaula de ardilla en corte	195
Figura 119. Límites de aproximación para evitar riesgo de arco eléctrico	197
Figura 120. Multímetro para prácticas	199
Figura 121. Medición de corriente con pinza voltiamperimétrica	200
Figura 122. Medición de voltaje con pinza voltiamperimétrica	200
Figura 123. Métodos de arranque: generalidades	209
Figura 124. Métodos de arranque: características de operación	210
Figura 125. Especificaciones de fabricante para corriente de arranque de un motor eléctrico	211
Figura 126. Especificaciones de fabricante para corriente de arranque de un motor eléctrico	214
Figura 127. Circuito de potencia para arrancador directo, motor de 2 HP trifásico	217
Figura 128. Circuito de control para arrancador directo, motor de 2 HP trifásico	218
Figura 129. Diagrama de conexión de borneras arranque directo, motor de 2 HP trifásico	219
Figura 130. Circuito de potencia para arrancador estrella triángulo, motor de 2 HP trifásico	221
Figura 131. Circuito de control para arrancador estrella triángulo, motor de 2 HP trifásico	222
Figura 132. Diagrama de conexión de borneras estrella triángulo para motor de 2 HP trifásico	223
Figura 133. Formas de variación de velocidad a motores asíncronos	234
Figura 134. Limitación en la variación de velocidad a motores asíncronos	235
Figura 135. Bornera de conexiones de potencia para el variador de frecuencia	236

Figura 136. Diagrama de conexiones de potencia del variador de frecuencia	236
Figura 137. Diagrama de conexión para energizar el variador de frecuencia	237
Figura 138. Diagrama de conexión de borneras para energizar el variador de frecuencia y controlar el motor de ½ HP trifásico	238
Figura 139. Tipos comunes de relés	248
Figura 140. Circuito de potencia para arrancador estrella triángulo, motor de 2 HP trifásico	249
Figura 141. Circuito de control con relé para arrancador estrella triángulo, motor de 2 HP trifásico	250
Figura 142. Conexiones de borneras para arrancador estrella triángulo con relé, motor de 2 HP trifásico	251
Figura 143. Esquemas simplificados de inversión del sentido de giro a motores eléctricos	256
Figura 144. Dispositivo de inversión de giro (<i>turn switch</i>) del motor de ½ HP monofásico	257
Figura 145. Dispositivo de embrague del motor monofásico de ½ HP	257
Figura 146. Circuito de potencia inversión de giro motor trifásico de 2HP mediante método de arranque directo	259
Figura 147. Circuito de control para inversión de giro motor trifásico mediante método de arranque directo	260
Figura 148. Diagrama de conexión de borneras para circuito de inversión de giro para motor 2 HP trifásico mediante arranque directo	261
Figura 149. Características de placa del motor monofásico	265
Figura 150. Breaker seleccionado para el motor de ½ HP monofásico de 110 V	265
Figura 151. Breaker seleccionado para el motor de 2 HP trifásico de 220 V para arranque directo	266
Figura 152. Arranque directo de motor de ½ HP monofásico	267
Figura 153. Detalle del panel de control en el arranque del motor de ½ HP	

monofásico	268
Figura 154. Curva de arranque motor monofásico de ½ HP	268
Figura 155. Arranque directo motor de 2 HP cableado	269
Figura 156. Curva de arranque directo motor trifásico de 2 HP	270
Figura 157. Arranque estrella triángulo de 2 HP cableado	271
Figura 158. Curva de arranque estrella-triángulo motor trifásico de 2 HP	272
Figura 159. Curva de arranque directo triángulo motor trifásico de 2 HP	272
Figura 160. Placa del variador de frecuencia	273
Figura 161. Sistema de variación de frecuencia cableado	274
Figura 162. Circuito de uso de relé para dar arranque a un motor de 2 HP mediante estrella triángulo	275
Figura 163. Circuito integrado de inversión de giro motor monofásico ½ HP	275
Figura 164. Circuito de inversión de giro motor trifásico 2 HP mediante método de arranque directo	276

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Porcentaje de personas que se protegen según la corriente de disparo	46
Tabla 2. Relación entre energía específica y efectos fisiológico	46
Tabla 3. Riesgos eléctricos más comunes y prevenciones	47
Tabla 4. Distancias de seguridad para prevención de riesgos por arco eléctrico	51
Tabla 5. Definiciones de los tipos de motores DC	76
Tabla 6. Comparación de las características de los cuatro tipos de motores DC	78
Tabla 7. Definiciones de los tres tipos de motores AC reconocidos por NEMA*	83
Tabla 8. Principio de funcionamiento de los tres tipos de motores AC reconocidos por NEMA	84
Tabla 9. Definiciones de motores AC de tipo inducción	85
Tabla 10. Velocidades nominales de giro para motores de inducción	88
Tabla 11. Características de motores de inducción y aplicaciones 2 y 3 fases, según la clasificación NEMA	88
Tabla 12. Características y aplicaciones de motores síncronos	91
Tabla 13. Tipos de recintos de uso común para motores eléctricos	96
Tabla 14. Velocidades de sincronismo de motor GPA10	104
Tabla 15. Comparación de las características de los métodos de arranque de motores eléctricos	118
Tabla 16. Valores de corriente de arranque estimados para motor NEMA B	121
Tabla 17. Características de los métodos de variación de velocidad de motores asíncronos	126
Tabla 18. Valores máximos de velocidad de rotación por seguridad para motores jaula de ardilla para voltajes ≤ 1000 Volts	128
Tabla 19. Máxima velocidad de operación segura para motores directamente	

acoplados usados para variar su velocidad mediante variación de frecuencia	129
Tabla 20. Resumen de características, ventajas y desventajas de las clases de relés	134
Tabla 21. Tipos de relés de uso común	135
Tabla 22. Tipos de automáticos o <i>breakers</i> para circuitos Siemens	149
Tabla 23. Algunas de las categorías de automáticos o <i>breakers</i> Siemens	150
Tabla 24. Tabla 430-22.a), Excepción. Porcentajes a aplicar en el cálculo de capacidad de corriente nominal de los conductores de los circuitos de motores	155
Tabla 25. Porcentaje de la corriente nominal para disparo de protecciones	158
Tabla 26. Principales riesgos eléctricos	196
Tabla 27. Relación entre energía específica y efectos fisiológicos	196
Tabla 28. Distancias de seguridad para prevención de riesgos por arco eléctrico	197
Tabla 29. Formato del informe para la guía práctica No 1	201
Tabla 30. Formato del informe para la guía práctica No 2	224
Tabla 31. Formato del informe para la guía práctica No 3	227
Tabla 32. Parámetros del variador de velocidad	239
Tabla 33. Fallas del variador de velocidad	240
Tabla 34. Parametrización inicial del variador de velocidad	243
Tabla 35. Formato del informe para la guía práctica No 4	244
Tabla 36. Formato del informe para la guía práctica No 5	252
Tabla 37. Formato del informe para la guía práctica No 6	262
Tabla 38. Datos de arranque de motor ½ HP monofásico	268
Tabla 39. Datos de arranque de motor 2 HP trifásico	270
Tabla 40. Datos de arranque de motor 2 HP trifásico estrella-triángulo	271
Tabla 41. Datos de arranque de motor 2 HP en triángulo	272

GLOSARIO

AC: *Alternating Current* (corriente alterna).

Arm: *Armature* (rotor de motor DC).

DC: *Direct Current* (corriente directa).

F.E.M: Fuerza Electromotriz.

F.E.M.S: Fuerzas Electromotrices.

HP: *Horse Power* (caballo de fuerza).

IEC: *International Electrotechnical Commission*.

NEMA: *National Electrical Manufacturers Association*.

NFPA: *National Fire Protection Association*.

NTC: Norma Técnica Colombiana.

RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

RPM: Revoluciones por Minuto.

VAC: *Voltage Alternating Current* (voltaje de corriente alterna).

VDC: *Voltage Direct Current* (voltaje de corriente directa).

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRÁCTICAS EN MOTORES ELÉCTRICOS, COMO APOYO A LA ASIGNATURA DISEÑO DE MÁQUINAS II.*

AUTORES:

Eybar Farith Contreras Villamizar
Rolando Sánchez Rodríguez**

PALABRAS CLAVES:

Control de motores, Protección, Arranque, Inversión, Giro, variación.

DESCRIPCIÓN:

En el ejercicio de la profesión, los ingenieros mecánicos deben enfrentarse a los sistemas electromecánicos cuya fuente motriz generalmente son motores eléctricos. Es por esto; que el objetivo de este proyecto fue generar una serie de prácticas para que los estudiantes de pregrado de ingeniería mecánica adquieran un conocimiento técnico que complemente los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura diseño de máquinas II.

El control industrial de motores eléctricos se enfoca generalmente a su arranque, variación de velocidad, inversión de giro y operación remota de los circuitos de control. Siendo necesario proteger la operación de los mismos mediante la adecuada selección de los elementos de protección según normatividades como la NTC 2050. Además es fundamental reconocer y diferenciar tipos de rotores y motores al observarlos físicamente.

El resultado de este proyecto fue la construcción de un banco que permite a los estudiantes reconocer tipos de motores eléctricos, realizar la selección de protecciones según NTC 2050 y mediante catálogos comerciales, construir los circuitos de: arranque directo, arranque estrella-triángulo, inversión de giro, variación de velocidad, operación remota a 12 VDC mediante relevo del arranque estrella-triángulo.

Los estudiantes deben cablear los circuitos usando los elementos reales y apoyándose en diagramas eléctricos, con la finalidad de que adquieran experiencia técnica y reconozcan los circuitos y elementos con los que posiblemente tendrán contacto en su vida profesional.

Los estudiantes manipulan los elementos de medición de variables eléctricas, pudiendo generar curvas de arranque para los diferentes métodos de arranque de que se compone este proyecto y lográndose comparar entre ellas.

Al ser operado por estudiantes, el banco está diseñado para evitar el contacto de los mismos con la corriente eléctrica mediante un sistema de seguridad que inhabilita la energización de los circuitos cuando las cajas de montaje están abiertas.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director Ing. Pedro José Díaz Guerrero

SUMMARY

TITLE:

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BANK OF ELECTRIC MOTORS, HOW SUPPORT TO COURSE MACHINE DESIGN II. *

AUTHORS:

Eybar Farith Contreras Villamizar
Rolando Sánchez Rodríguez **

KEY WORDS:

Motors's control, Protection, Start, Inversion, Turn, Variation.

DESCRIPTION:

In the exercise of the profession, mechanical engineers must deal with electromechanical systems where prime source are usually electric motors. That is why; the aim of this project was to generate a series of practice for undergraduate students of mechanical engineering to acquire technical knowledge to complement the theoretical knowledge acquired in the course machine design II.

The industrial control of electric motors generally focuses its start, variable speed, reverse rotation and remote operation of control circuits. As necessary to protect their operation by proper selection of protective elements according to regulations such as NTC 2050. It is also essential to recognize and differentiate between types of rotors and engines to see them physically

The result of this project was the construction of a bank that allows students to recognize types of electric motors, making the selection of protections under NTC 2050 and through trade catalogs, build circuits: direct starting, star-delta starter, investment rotation, variable speed control, remote operation to 12 VDC through relay of the star-delta starter.

Students must build the circuits using the real elements and relying on electrical diagrams, in order to acquire expertise and recognize the circuits and elements that may have contact in their professional lives.

Students manipulate the elements for measuring electric variables, and can start generating curves for different starting methods that make up this project and achieving compare between them.

To be operated by students, the bank is designed to prevent contact of them with electric current through a security system that disables the energizing circuit assembly when the boxes are open.

* Graduation Project

** Faculty of Physics-Mechanic Engineerings, School of Mechanic Engineering, Director Ing. Pedro José Díaz Guerrero.

INTRODUCCIÓN

El área de los motores eléctricos no es el área de desempeño de los egresados de ingeniería mecánica, pero esta constituye una parte fundamental de la formación técnica que debe poseer dicho profesional en el campo laboral. Se busca entonces aumentar de manera sustancial el conocimiento técnico en esta área, para facilitar y potenciar en el egresado su desempeño.

Este objetivo se logra por medio de la construcción de un banco que permita formar en el egresado las competencias que se listan a continuación:

1. Decidir cuál es el tipo de motor más adecuado para aplicaciones específicas.
2. Conocer la normatividad vigente acerca de las instalaciones eléctricas en Colombia.
3. Conocer los diferentes tipos de arrancadores para motores eléctricos que se usan en la industria.
4. Conocer los circuitos más usados con el fin de arrancar de manera correcta los motores eléctricos.
5. Conocer las formas más comunes a través de las cuales se realiza el control de velocidad a los motores eléctricos.
6. Conocer las formas más comunes para invertir el giro de motores eléctricos.
7. Reconocer la diferencia entre los motores eléctricos trifásicos y monofásicos. Además de las consecuencias operativas y constructivas que conlleva usar uno u otro.
8. Conocer las protecciones más usadas para circuitos con motores eléctricos.
9. Conocer procedimientos de seguridad en la manipulación de circuitos eléctricos.
10. Poseer experiencia en el cálculo de picos de corriente y determinación de rangos de variación de velocidad.

11. Poseer experiencia en la selección de protecciones eléctricas y relés mediante tablas y catálogos.
12. Poseer experiencia en el montaje de circuitos de: arranque, control de velocidad, inversión de giro, protección para sobrecargas, protecciones automáticas y protección del personal mediante el uso de relés.
13. Poseer experiencia en el uso de medidores de variables eléctricas de tipo industrial.

Dichas competencias se formarán a través de guías teóricas y guías para el desarrollo de las prácticas, además de material físico y esquemas. Siendo esta información para el estudiante un contacto desde lo teórico hasta lo práctico. Permitiéndole interactuar de manera real mediante el desarrollo de las prácticas planteadas en los objetivos y formar una base de conocimientos teórico-prácticos, que al final se convertirán en la experiencia que todo profesional necesita.

1 PRELIMINARES

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Dentro de la formación curricular que se plantea en la asignatura diseño de máquinas II para los estudiantes de ingeniería mecánica, se presenta el tema de los motores eléctricos, dentro del cual se da una base teórica que incluye su clasificación, funcionamiento y variables de selección, así como las diferentes aplicaciones en el ámbito de la ingeniería.

Se ha detectado que no se posee dentro de la formación una práctica exclusiva para mecánicos en donde los estudiantes puedan tener una interacción física que permita una formación técnica con respecto a las variables de funcionamiento, arranque, control y protección de motores eléctricos.

No es de olvidar que en general los egresados poseen deficiencias técnicas en los temas relacionados con los motores eléctricos.

Es de esta manera que se plantea la necesidad de desarrollar un banco de prácticas de laboratorio en el área de motores eléctricos como complemento de la teoría presentada en la asignatura diseño de máquinas II.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Con el objetivo de contribuir con la responsabilidad académica de la Universidad Industrial de Santander, posibilitando el uso de tecnologías que permiten una formación teórico-práctica, teniendo como base la academia, que busca generar una base de conocimientos prácticos, se realizará el diseño y construcción de un

banco para la realización de prácticas en motores eléctricos, como apoyo a la asignatura diseño de máquinas II.

Con el desarrollo de este proyecto de grado se posibilitará la formación en el conocimiento práctico de los futuros ingenieros mecánicos, en el área de motores eléctricos y en consecuencia se redundará en un incentivo hacia la generación de nuevas competencias de los profesionales egresados en el área de selección, arranque, control y protección de motores eléctricos.

El conocimiento técnico que se logrará mediante las prácticas desarrolladas en el banco generará en el estudiante una mayor confianza y visualización de los aspectos reales a los que debe enfrentarse cuando deba hacer uso de motores eléctricos para solucionar problemas de ingeniería que conlleven el uso de dichos motores. De esta manera el egresado presentará soluciones más acertadas cuando deba hacer uso de los conceptos de motores eléctricos en su vida profesional.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Contribuir con la formación de ingenieros mecánicos de gran calidad técnica mediante el diseño y construcción de un banco para la realización de prácticas en motores eléctricos, como apoyo a la asignatura diseño de máquinas II.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar las guías de conocimiento teórico necesarias para el desarrollo de las prácticas. Dichas guías se presentan a continuación, listando los objetivos que se lograrán en cada una de ellas:

Estas guías se proporcionarán al estudiante por parte del profesor de la asignatura, con anterioridad al desarrollo de las prácticas.

A. Seguridad en el Manejo de Circuitos Eléctricos.

- a. Presentar normas de seguridad eléctrica aplicables en Colombia.
- b. Listar los riesgos a los que se expone el personal que manipula circuitos eléctricos.
- c. Listar las precauciones de seguridad eléctrica comunes.
- d. Presentar procedimientos de seguridad para la manipulación de circuitos al interior del banco.

B. Medidores de Variables Eléctricas.

- a. Describir el funcionamiento y uso de los amperímetros.
- b. Describir el funcionamiento y uso de los voltímetros.
- c. Describir el funcionamiento y uso de los multímetros.
- d. Mostrar circuitos donde se aplique el uso de los anteriores medidores de variables eléctricas.

C. Definiciones de Motores Eléctricos.

- a. Identificar y clasificar los tipos de motores eléctricos.
- b. Definir la fuerza electromotriz.
- c. Explicar las ventajas y desventajas de los distintos tipos de motores eléctricos.
- d. Esquematizar las formas de onda de una y tres fases.
- e. Enumerar las características de los motores de jaula de ardilla.
- f. Definir el deslizamiento en un motor.
- g. Entender la operación de los motores de una sola fase.

- h. Determinar cómo el número de polos afecta a la velocidad del motor eléctrico a distintas frecuencias.
- i. Determinar cómo la frecuencia de alimentación afecta la velocidad de los motores eléctricos.
- j. Calcular la potencia de un motor dados ciertos valores.
- k. Describir la clasificación de los sistemas de aislamiento utilizados para los motores.
- l. Conocer algunas curvas de velocidad y torque para motores eléctricos.
- m. Realizar problemas teóricos acerca de motores eléctricos, para cálculo de potencia y velocidad de giro.

D. Métodos de Arranque de Motores Eléctricos.

- a. Presentar normas colombianas acerca del uso de arrancadores.
- b. Listar los métodos más comunes de arranque de motores eléctricos.
- c. Explicar cómo operan algunos arrancadores de uso común.
- d. Mostrar en diagramas las curvas para diferentes tipos de arrancadores.
- e. Describir el arrancador estrella-triángulo y explicar la forma como trabaja.
- f. Listar las ventajas y desventajas del arrancador estrella-triángulo.
- g. Identificar el tipo menos costoso de arrancador para condiciones específicas.
- h. Esquematizar diferentes circuitos eléctricos de tipos de arrancadores de uso común para motores eléctricos.
- i. Seleccionar un arrancador para características dadas.
- j. Calcular mediante ejercicios teóricos los valores de picos de corriente del arrancador estrella-triángulo y del arranque directo.

E. Controladores de Velocidad de Motores Eléctricos.

- a. Describir cómo se controla la velocidad de un motor eléctrico.
- b. Explicar la diferencia entre un motor síncrono y un motor de inducción.
- c. Explicar cómo determinar la velocidad de un motor síncrono.
- d. Explicar cómo determinar la velocidad de un motor asíncrono.
- e. Enumerar los tipos de control de velocidad más comunes para motores eléctricos asíncronos.
- f. Explicar el funcionamiento de un potenciómetro.
- g. Describir cómo cambiar la frecuencia se usa para cambiar la velocidad de giro del motor.

F. Protecciones y Control de Motores Eléctricos.

- a. Describir la operación de arranque directo.
- b. Describir el "arranque suave" método de control de motor eléctrico.
- c. Enumerar las ventajas y desventajas de conectar un motor eléctrico.
- d. Describir los métodos más comunes de protecciones para motores eléctricos.
- e. Describir el procedimiento de inversión de giro en los motores de corriente directa.
- f. Describir el procedimiento de inversión de giro en los motores de corriente alterna.
- g. Explicar cómo se realiza la reversibilidad en un motor de tres fases de corriente alterna.
- h. Explicar cómo se realiza la reversibilidad en un motor de una fase de corriente alterna.
- i. Conocer las tablas y catálogos de selección de automáticos o tacos.

- j. Realizar ejercicios teóricos de selección de protecciones de sobrecarga para motores eléctricos y automáticos.

G. Relés.

- a. Conocer las funciones y reconocer las características físicas de un relé.
- b. Identificar los usos para los relés.
- c. Listar las piezas esenciales de un relé.
- d. Conocer mediante diagramas cuáles son los tipos más comunes de relés.
- e. Conocer mediante cuadro comparativo las características, ventajas y desventajas de los tipos más comunes de relés.
- f. Explicar cómo trabaja un Triac.
- g. Explicar cómo trabaja un SCR.
- h. Explicar cómo trabaja un Diac.
- i. Saber que es un SPST, SPDT, y un DPDT.
- j. Conocer cómo seleccionar un relé.
- k. Mostrar circuitos eléctricos donde se haga uso de relés.

2. Generar las prácticas a desarrollar en el banco y el material de apoyo consistente en guías de práctica y acetatos para el estudiante. Las prácticas y sus objetivos se presentan a continuación.

Las prácticas se desarrollarán en grupos de 3 estudiantes como máximo.

- A. Reconocimiento de Motores Eléctricos, Medidores y Seguridad en Manipulación de Circuitos Eléctricos.

- a. Conocer la clasificación de los motores eléctricos, utilizando diagramas y/o esquemas de motores eléctricos.
 - b. Reconocer las partes que constituyen un motor eléctrico, mediante la observación de cortes de distintos tipos de motores y la ayuda didáctica mediante acetatos.
 - c. Identificar la función que cumple cada parte dentro del motor eléctrico.
 - d. Describir a partir del corte, el funcionamiento del motor eléctrico, especificando el tipo de motor.
 - e. Conocer mediante acetatos la normatividad vigente acerca de la interacción humana con circuitos eléctricos.
 - f. Conocer mediante acetatos los riesgos en la manipulación de circuitos eléctricos.
 - g. Conocer mediante acetatos las prevenciones necesarias para la manipulación de elementos y circuitos eléctricos.
 - h. Conocer los procedimientos de seguridad eléctrica al interior del banco.
 - i. Conocer el funcionamiento de un Multímetro.
 - j. Presentar informe acerca de las partes de los motores en corte, el uso del Multímetro y las prevenciones de seguridad eléctrica.
- B. Selección y Aplicación de Protecciones Automáticas o Tacos Para Circuitos con Motores Eléctricos.
- a. Conocer la reglamentación Colombiana para el uso de Automáticos según RETIE.
 - b. Seleccionar mediante el uso de tablas y catálogos; los automáticos correspondientes, para el circuito de motor de 2 HP

trifásico y el motor de $\frac{1}{2}$ HP monofásico, para el método de arranque directo.

- c. Documentar el proceso de selección de los correspondientes automáticos.
- d. Comparar la selección realizada con los automáticos correctamente seleccionados que se encuentran dentro del banco.
- e. Reconocer los circuitos de protección, mediante un diagrama de instalación de protecciones automáticas para arranque directo y arranque con estrella-triángulo.
- f. Construir los circuitos de protección para encender los motores de $\frac{1}{2}$ HP monofásico y 2 HP trifásico que se encuentran en el banco.
- g. Encender el motor de 2 HP trifásico usando las protecciones, mediante los dos tipos de arrancador (directo y estrella-triángulo) y concluir acerca del automático seleccionado.
- h. Concluir acerca del automático previamente seleccionado en el primer ítem de esta práctica, respecto de si podría ser de menor capacidad dependiendo del tipo de arranque en el caso del motor de 2 HP trifásico.
- i. Presentar informe con la selección de los automáticos, los procedimientos llevados a cabo, observaciones y conclusiones.

C. Arrancadores Para Motores Eléctricos.

- a. Identificar los tipos más comúnmente utilizados para el arranque de motores eléctricos, mediante el uso de sus gráficas y acetatos con información al respecto.
- b. Arrancar el motor de 2 HP trifásico mediante el método directo y medir el pico de corriente.

- c. Reconocer las partes constitutivas del circuito de estrella-triángulo en el plano de eléctrico del mismo.
- d. Ubicar en el banco los elementos para construir el circuito estrella-triángulo.
- e. Armar el circuito de estrella-triángulo mediante el uso de las partes que para ese fin se encuentran en el banco.
- f. Arrancar el motor de 2 HP trifásico usando el arrancador estrella-triángulo y medir el pico de corriente durante el arranque.
- g. Comparar el pico de corriente en el arranque de un motor de 2 HP, trifásico, mediante el arranque directo y con arrancador de estrella-triángulo.
- h. Arrancar mediante el método directo un motor monofásico de $\frac{1}{2}$ HP, explicar la diferencia con los motores trifásicos respecto al arranque y medir el pico de corriente en el arranque.
- i. Presentar resultados, identificando los valores picos durante el arranque y ubicarlos en las respectivas gráficas de arranque.
- j. Concluir acerca de los métodos de arranque de motores eléctricos.

D. Variación de Velocidad Para Motores Eléctricos.

- a. Reconocer los métodos más comunes para realizar la variación de la velocidad de distintos tipos de motores eléctricos.
- b. Determinar la forma de uso del variador de velocidad.
- c. Determinar el rango de variación de velocidad mediante el uso de variador de velocidad.
- d. Variar la velocidad del motor de $\frac{1}{2}$ HP trifásico mediante el uso de un variador de velocidad.
- e. Reconocer las partes que constituyen el circuito de potenciómetro.

- f. Determinar el rango de variación de velocidad mediante el uso de potenciómetro.
- g. Construir el circuito de potenciómetro.
- h. Variar la velocidad del motor de 2 HP trifásico mediante el uso de un potenciómetro en el rango posible.
- i. Listar las ventajas y desventajas de los variadores usados en la práctica.
- j. Comparar el costo de los variadores de velocidad usados en la práctica.
- k. Presentar informe con los cálculos, procedimientos llevados a cabo, conclusiones y observaciones de la práctica.

E. Uso de Los Relés en Circuitos con Motores Eléctricos.

- a. Reconocer mediante diagramas o figuras lo tipos de relés más usados.
- b. Seleccionar el relé más adecuado para arrancar el motor de 2HP trifásico de manera remota.
- c. Reconocer en un diagrama el circuito de encendido del motor trifásico usando arrancador estrella-triángulo de manera remota.
- d. Construir el circuito estrella triángulo para arrancar el motor de 2 HP trifásico, de manera remota mediante el uso de relé.
- e. Listar ventajas y desventajas del uso de relés en los circuitos con motores eléctricos.
- f. Realizar informe con observaciones y conclusiones.

F. Inversión de Giro de Motores Eléctricos Monofásicos y Trifásicos.

- a. Reconocer mediante un diagrama el circuito de inversión de giro para el motor de 2 HP trifásico.
- b. Reconocer mediante un diagrama el circuito de inversión de giro para motor de ½ HP monofásico.
- c. Construir el circuito de inversión de giro para el motor de 2 HP trifásico.
- d. Realizar la inversión de giro del motor eléctrico de 2 HP trifásico, mediante el uso de circuito de inversión para este tipo de motor.
- e. Realizar la inversión de giro del motor eléctrico monofásico mediante el uso de circuito de inversión integrado en el motor.
- f. Presentar informe acerca de los circuitos de inversión de giro y la diferencia entre los mismos, conclusiones y observaciones.

3. Construir el banco (en material metálico) donde se llevarán a cabo las prácticas definidas en el anterior objetivo, e instrumentarlo con los siguientes elementos:

- Motor de 2 HP, trifásico.
- Motores de ½ HP, monofásico y trifásico.
- Circuito de arranque estrella-triángulo.
- Circuito de arranque directo.
- Circuito de potenciómetro.
- Variador de velocidad.
- Circuito inversor de giro para motor trifásico de 2 HP.
- Circuito de control y de seguridad eléctrica para evitar corto circuitos por montajes incorrectos de los circuitos. Con el que se logrará evitar que el circuito arranque si este se encuentra montado erróneamente o si se exponen a peligros de contacto eléctrico directo los estudiantes.

- Automáticos para protecciones de sobrecarga.
- Relé.
- Multímetro.
- Guías para prácticas.
- Acetatos de ayuda.
- Cortes de motores eléctricos.
- Cableado.

4. Realizar las prácticas y presentar los resultados, que servirán como parámetro de comparación para las prácticas que lleven a cabo en el banco los estudiantes.

2 SEGURIDAD EN EL MANEJO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

2.1 INTRODUCCIÓN

En el desempeño de actividades que tengan relación al uso de energía eléctrica se deben poseer conocimientos preliminares acerca de los riesgos a los que se expone el personal, las prevenciones y procedimientos que se deben seguir con el fin de lograr proteger la vida de quienes manipulan o tienen algún tipo de relación con el manejo de circuitos eléctricos.

2.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA

- Presentar normas de seguridad eléctrica aplicables en Colombia.
- Listar los riesgos a los que se expone el personal que manipula circuitos eléctricos.
- Listar las precauciones de seguridad eléctrica comunes.
- Presentar procedimientos de seguridad para la manipulación de circuitos al interior del banco.

2.3 DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS

2.3.1 Normas de seguridad eléctrica aplicables en Colombia. El Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia es el organismo encargado entre otros de adoptar la política nacional en materia de exploración, explotación, transporte, refinación, procesamiento, beneficio, transformación y distribución de minerales e hidrocarburos, así como la política sobre generación, transmisión, interconexión, distribución y establecimiento de normas técnicas en materia de energía eléctrica, sobre el uso racional de energía y el desarrollo de fuentes alternas, y en general, sobre todas las actividades técnicas, económicas, jurídicas,

industriales y comerciales relacionadas con el aprovechamiento integral de los recursos naturales no renovables y de la totalidad de las fuentes energéticas del país en concordancia con los planes generales de desarrollo ¹.

El Ministerio de Minas y Energía desarrolló El RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas), que contempla las obligaciones y responsabilidades de todos los actores involucrados en los procesos de generación, transmisión, transformación, distribución y uso final de la energía eléctrica.

Desde el 1 de Mayo de 2005 el RETIE se encuentra vigente ², mediante resolución 180398 del 7 de abril de 2004 del Ministerio de Minas y Energía.

La última actualización del RETIE se realizó mediante las resoluciones 181294 y 180195 del 6 de Agosto de 2008 y del 12 de Febrero de 2009 respectivamente, ambas del Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia.

Título de la resolución 181294: Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE.

Título de la resolución 180195: Por la cual se establecen mecanismos transitorios para demostrar la conformidad con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE y se dictan otras disposiciones.

¹ COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Decreto 0070 (17, enero, 2001). Por el cual se modifica la estructura del Ministerio de Minas y Energía. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2001. No. 44297. p. 2.

² COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Comunicado 374 (2, mayo, 2005). Mayor seguridad en las instalaciones eléctricas empieza a regir el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2005. p 1.

2.3.2 Efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano. *Riesgo Eléctrico:*

Es la posibilidad de que una persona sufra un determinado daño debido al uso de la energía eléctrica.

Acerca del riesgo eléctrico, el artículo 5 del RETIE según decreto 181294 del Ministerio de Minas y Energía ³, presenta los valores de corriente eléctrica con los que una persona puede morir, la manera de desarrollar la evaluación del nivel de riesgo, los factores de riesgo eléctrico más comunes y las medidas de prevención, el procedimiento cuando existe alto riesgo y finalmente la manera para reportar un accidente. A continuación se presentará la información más relevante contenida en este artículo.

El profesor C.F. Dalziel ha establecido los niveles de disparo de los dispositivos de protección que evitan la muerte del 0 al 100%, como se ven en la tabla 1.

El Dr. G. Biegelmeier estableció la relación entre la *energía específica* $I^2.t$ y los efectos fisiológicos como puede verse en la tabla 2. Es importante saber que cuando se presenta la rigidez muscular se pueden presentar dos reacciones naturales: una expulsión del elemento energizado y la otra apretarlo y no soltarlo. En el segundo caso el tiempo se vuelve un factor crítico y se debe tener especial cuidado al momento de soltar a la persona del elemento energizado.

Cuando se diseña una instalación eléctrica se deben tener en cuenta las reacciones fisiológicas del cuerpo humano al contacto con la corriente, es por ello que teniendo en cuenta la norma NTC (Norma Técnica Colombiana) 4120, con referente IEC (*International Electrotechnical Commission*) 60479-2, el RETIE

³ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 33.

decide que la curva máxima para diseño de instalaciones eléctricas sea la **ZONA 1** de la figura 1.

Tabla 1. Porcentaje de personas que se protegen según la corriente de disparo

Corriente de disparo	de 6 mA (rms)	10 mA (rms)	20 mA (rms)	30 mA (rms)
Hombre	100%	98,5%	7,5%	0%
Mujeres	99,5%	60%	0%	0%
Niños	92,5%	7,5%	0%	0%

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 34.

Tabla 2. Relación entre energía específica y efectos fisiológicos

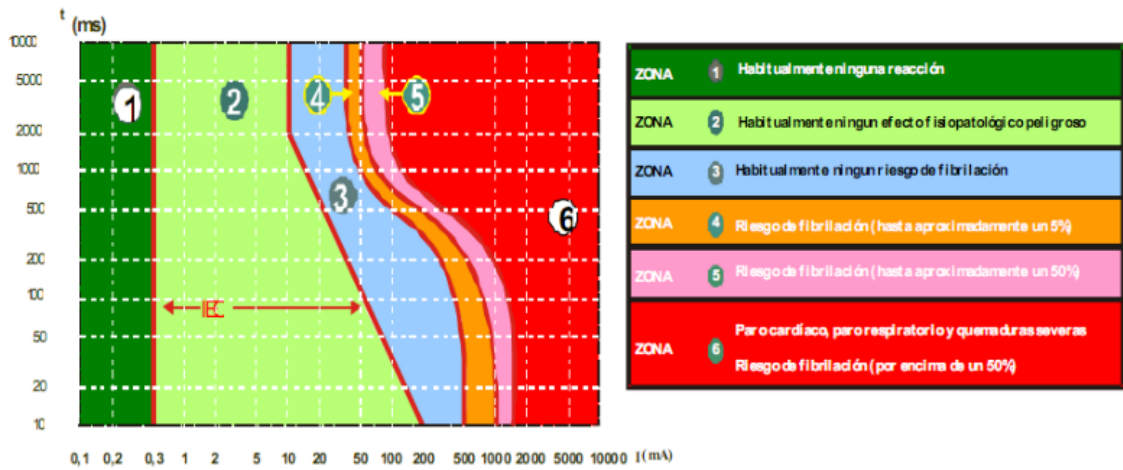
Energía Específica $I^2.t.(10^6)$	Percepciones y reacciones fisiológicas
4 a 8	Sensaciones leves en dedos y tendones de los pies.
10 a 30	Rigidez muscular suave en dedos, muñecas y codos.
15 a 45	Rigidez muscular en dedos, muñecas, codos y hombros. Sensación en las piernas.
40 a 80	Rigidez muscular y dolor en brazos y piernas.
70 a 120	Rigidez muscular, dolor y ardor en brazos, hombros y piernas.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 34.

En esta misma figura pueden verse los efectos de la corriente en el cuerpo humano según el valor de la corriente y la duración del contacto con la misma. Los valores seguros de corriente son muy bajos, por eso debe tenerse especial cuidado al diseñar instalaciones y hacer que las mismas cumplan con el RETIE.

Respecto del análisis de riesgo, este debe hacerse por una persona calificada en electrotecnia y debe hacerse acorde al RETIE.

Figura 1. Zonas de tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas de 15 a 100 Hz



Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 35.

2.3.3 Riesgos eléctricos más comunes y prevenciones. En la tabla 3, se presentan acorde al RETIE los riesgos eléctricos más comunes y la forma de prevención a adoptar para evitar que estos se presenten.

Debido a que el aire es un excelente aislante eléctrico, al estar cerca de circuitos eléctricos se deben cumplir las distancias de seguridad que contempla el RETIE en su capítulo 13. Uno de los riesgos más comunes es que se genere un arco eléctrico, las distancias de seguridad para este tipo de riesgo se presentan en la tabla 4.

Tabla 3. Riesgos eléctricos más comunes y prevenciones

Arco Eléctrico	
Descripción	Salto de corriente desde un conductor o equipo energizado a una persona.
Possible Causa	Malos contactos, cortocircuitos, aperturas de interruptores con carga, apertura o cierre de seccionadores.
Medida de	Utilizar materiales envolventes resistentes a los arcos, mantener una distancia de

Prevención	seguridad, usar gafas de protección contra rayos ultravioleta.
Contacto Directo	
Descripción	Se presenta cuando existe contacto directo con los conductores.
Posible Causa	Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos.
Medida de Prevención	Distancias de seguridad, aislamiento de partes activas, interposición de obstáculos, utilización de interruptores diferenciales, elementos de protección personal, puesta a tierra y probar ausencia de tensión.
Contacto Indirecto	
Descripción	Se presenta cuando se hace contacto con estructuras u objetos que contengan conductores eléctricos u otra forma de conducción de electricidad.
Posible Causa	Falta de aislamiento en cables, mal mantenimiento, falta de puesta a tierra.
Medida de Prevención	Separación de circuitos, uso de muy baja tensión, distancias de seguridad, conexiones equipotenciales, sistemas de puesta a tierra, interruptores diferenciales, mantenimiento preventivo y correctivo.
Corto Circuito	
Descripción	la corriente eléctrica pasa directamente del conductor activo o fase al neutro o tierra en sistemas monofásicos de corriente alterna, entre dos fases o igual al caso anterior para sistemas polifásicos, o entre polos opuestos en el caso de corriente continua.
Posible Causa	Fallas de aislamiento, impericia de los técnicos, accidentes externos, vientos fuertes, humedades.
Medida de Prevención	Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles.
Electricidad Estática	
Descripción	Acumulación de cargas eléctricas en un objeto.
Posible Causa	Unión y separación constante de materiales como aislantes, conductores, sólidos o gases con la presencia de un aislante.
Medida de Prevención	Sistemas de puesta a tierra, conexiones equipotenciales, aumento de la humedad relativa, ionización del ambiente, eliminadores eléctricos y radioactivos, pisos conductivos.
Equipo Defectuoso	
Descripción	Cuando un equipo presenta daños físicos que comprometan el sistema eléctrico.
Posible Causa	Mal mantenimiento, mala instalación, mala utilización, tiempo de uso, transporte

Causa	inadecuado.
Medida de Prevención	Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de las instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.
Rayos	
Descripción	El rayo es una poderosa descarga electrostática natural, producida durante una tormenta eléctrica.
Posible Causa	Fallas en el diseño, construcción, operación, mantenimiento del sistema de protección.
Medida de Prevención	Pararrayos, bajantes, puesta a tierra, equipotencialización, apantallamientos, topología de cableados, además suspender actividades de alto riesgo, cuando se tenga personal al aire libre.
Sobrecarga	
Descripción	Cuando la suma de la potencia de los aparatos que están conectados, es superior a la potencia para la cual está diseñado el circuito de la instalación.
Posible Causa	Superar los límites nominales de los equipos o de los conductores, instalaciones que no cumplen las normas técnicas, conexiones flojas, armónicos.
Medida de Prevención	Interruptores automáticos con relés de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con cortacircuitos, cortacircuitos, fusibles, dimensionamiento adecuado de conductores y equipos.
Tensión de Contacto	
Descripción	Cuando en contacto con estructuras que posiblemente se energicen se recibe una descarga.
Posible Causa	Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación a distancias de seguridad.
Medida de Prevención	Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.
Tensión de Paso	
Descripción	Cuando estando cerca a estructuras que posiblemente se energicen se recibe una descarga debido a la diferencia de potencial en el suelo cercano a esta.
Posible Causa	Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas, retardo en el despeje de la falla.
Medida de Prevención	Puestas a tierra de baja resistencia, restricción de accesos, alta resistividad del piso, equipotencializar.

* Compilado por los autores a partir de RETIE Vigente
Fuente: Los autores.

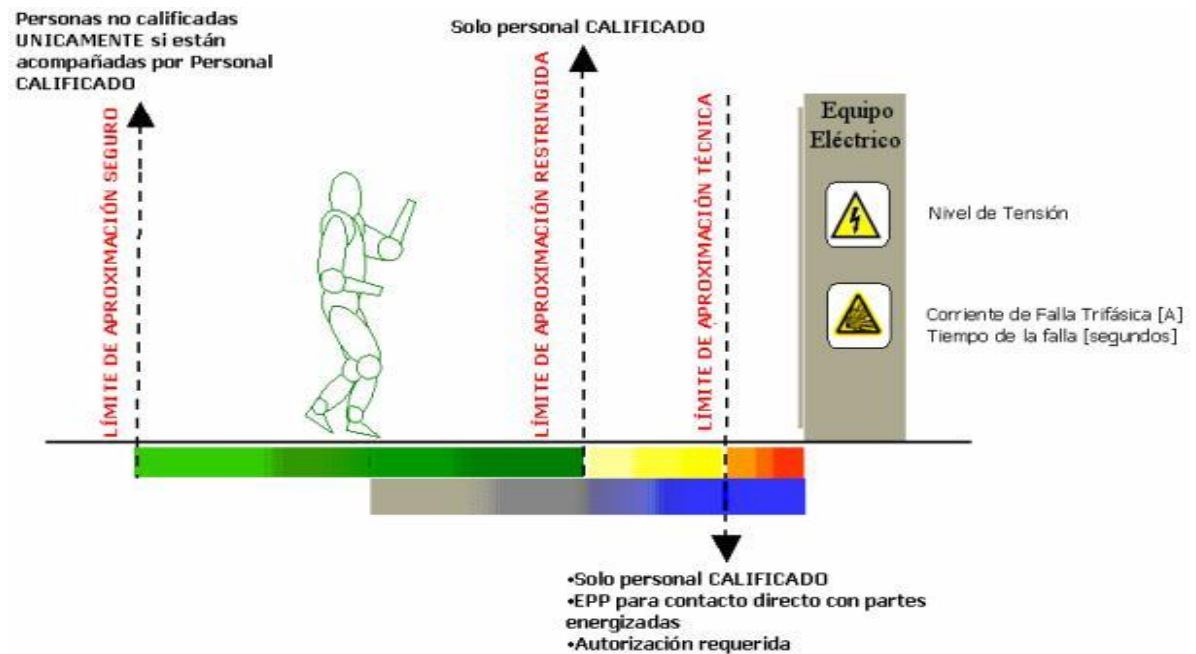
2.3.4 Distancias mínimas seguras para evitar riesgo de arco eléctrico. " El arco eléctrico es un hecho frecuente en trabajos eléctricos, genera radiación térmica hasta de 20000 °C, aumento súbito de presión hasta de 30t/m², con

niveles de ruido arriba de 120 dB y que expide vapores metálicos tóxicos por desintegración de productos”⁴.

Para evitar este tipo de riesgo se establecen las distancias seguras según la figura 2, todas ellas adoptadas de la NFPA (*National Fire Protection Association*) 70 E (Seguridad eléctrica en el lugar de trabajo) y contenidas en el RETIE.

En la tabla 4 se presentan las distancias seguras en circuitos energizados, teniendo en cuenta la figura 2 como ejemplificación de dichas distancias.

Figura 2. Límites de aproximación para evitar riesgo de arco eléctrico



Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 56.

⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 55.

Tabla 4. Distancias de seguridad para prevención de riesgos por arco eléctrico

Tensión nominal del sistema (fase-fase)	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida [m] Incluyendo movimientos involuntarios	Límite de aproximación Técnica
	Parte móvil expuesta	Parte fija Expuesta		
51V-300V	3,00	1,10	Evitar contacto	Evitar contacto
301V-750V	3,00	1,10	0,30	0,025
751 V – 15kV	3,00	1,50	0,66	0,18
15,1 kV – 36 kV	3,00	1,80	0,78	0,25
36,1 kV- 46 kV	3,00	2,44	0,84	0,43
46,1kV–72,5kV	3,00	2,44	0,96	0,63
72,6kV-121kV	3,25	2,44	1,00	0,81
138kV-145kV	3,35	3,00	1,09	0,94
161kV-169kV	3,56	3,56	1,22	1,07
230kV-242kV	3,96	3,96	1,60	1,45
345kV-362kV	4,70	4,70	2,60	2,44
500kV-550kV	5,80	5,80	3,43	3,28

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 55.

2.3.5 Procedimientos seguros para el desarrollo de las prácticas. Las siguientes prevenciones deben cumplirse al momento de desarrollar las prácticas:

- Previamente a la práctica debe leerse el material teórico, este permitirá conocer los conceptos necesarios para el desarrollo de la misma.
- No olvidar que se está trabajando con tensiones desde 110 hasta 440 Volts y que este nivel de tensión puede causar **la muerte o lesiones graves**.
- Ser responsable al momento de desarrollar las prácticas, el banco no es un lugar para juegos, bromas, etc., ellas podrían ocasionar la muerte.
- Usar zapatos cerrados y con suela de caucho.
- No usar aretes, anillos, cadenas, manillas u otro objeto conductor de electricidad o que pueda causar el atascamiento del cuerpo en el banco.
- Usar guantes de protección.
- Comprobar que el sistema se encuentra desenergizado al momento de llegar al banco.

- Antes de construir un circuito eléctrico, asegurarse de que los elementos para construirlo son los que corresponden de acuerdo al esquema del circuito de la práctica.
- Antes de construir un circuito eléctrico asegurarse de que el cableado no esté expuesto (daños en la integridad del recubrimiento) y que los elementos no posean daños físicos que puedan comprometer la integridad personal.
- Respetar las distancias mínimas de seguridad contenidas en la tabla 4.
- Seguir exactamente las instrucciones para el desarrollo de la práctica, esta contienen procedimientos para energizar el circuito.
- Nunca energizar un circuito si no se está seguro de que está construido de acuerdo con el esquema del circuito eléctrico de la práctica, ante las dudas consultar con el docente.
- Previamente al momento de energizar el circuito, estar seguro de que las personas en el banco *NO* tienen contacto y están a distancias seguras del circuito.
- Luego de energizar el circuito *NO* entrar en contacto con el mismo, esta acción puede causar la muerte o lesiones graves.
- En caso de cortocircuito *NO* intentar desenergizar, esta es función de las protecciones del circuito y en caso de que estas fallen debe proteger su vida. Si se desenergiza el circuito debido a fuerza mayor, debe realizarse esta acción por personal competente y de manera segura.

3 MEDIDORES DE VARIABLES ELÉCTRICAS

3.1 INTRODUCCIÓN

Para realizar control a las instalaciones eléctricas en general, se deben medir las variables de operación del mismo, entre estas variables se encuentran: la corriente eléctrica, el valor de tensión y la resistencia. Todas posibles de medir mediante el uso de los medidores expuestos en el material teórico mostrado a continuación.

3.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA

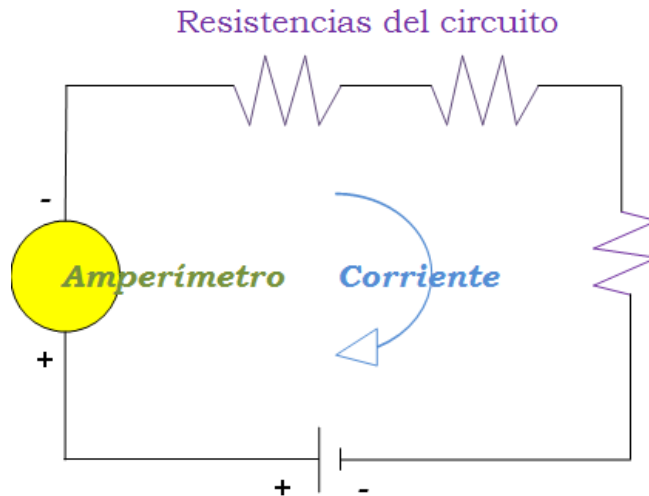
- Describir el funcionamiento y uso de los amperímetros.
- Describir el funcionamiento y uso de los voltímetros.
- Describir el funcionamiento y uso de los Ohmímetros.
- Describir el funcionamiento y uso de los multímetros.
- Mostrar circuitos donde se aplique el uso de los anteriores medidores de variables eléctricas.

3.3 DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS

3.3.1 Amperímetros. Un amperímetro es un dispositivo capaz de medir corriente eléctrica que pasa por él. Como la corriente a medir debe pasar directamente por el amperímetro, este debe estar conectado en serie con los otros elementos del circuito. La corriente debe entrar al instrumento por el terminal positivo y debe salir por el terminal negativo. Debido a que la idea es medir la corriente sin variar su calor, el amperímetro debe poseer resistencia cero idealmente, pero en la realidad lo que se debe cumplir es que la resistencia del amperímetro sea lo más pequeña posible comparada con el valor de resistencia de los componentes del circuito,

para afectar en menor grado el valor de la corriente que está midiendo. En la figura 3 se muestra el esquema de montaje de un amperímetro.

Figura 3. Esquema de montaje de amperímetro en circuito eléctrico

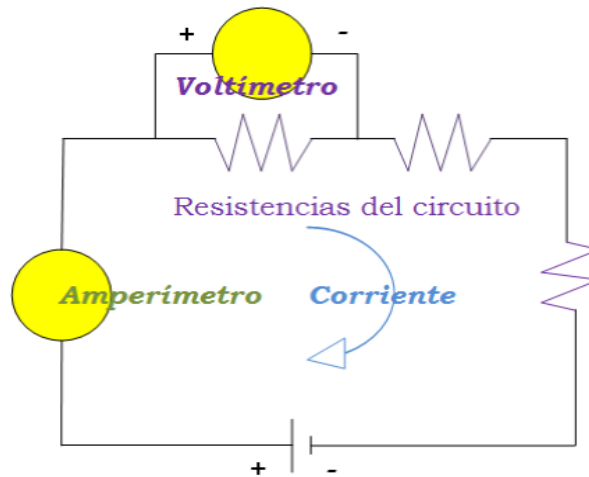


Fuente: Los autores.

3.3.2 Voltímetros. Miden la diferencia de potencial entre dos puntos en un circuito, para medir la diferencia de potencial entre dos puntos del circuito no se debe interrumpir el circuito, en cambio este debe montarse en paralelo con los dos puntos. Para este efecto la terminal positiva del voltímetro debe conectarse con el punto a mayor potencial y el terminal negativo debe conectarse con el punto de menor potencial.

Idealmente un voltímetro posee resistencia infinita, en concordancia con la ley de Ohm no circula corriente por un voltímetro. En la realidad lo que se hace es que el voltímetro tenga una resistencia muy grande comparada con la del conductor al que medirá el voltaje. . En la figura 4 se muestra el esquema de montaje de un voltímetro.

Figura 4. Esquema de montaje de un voltímetro



Fuente: Los autores.

Según la ley de Ohm, para un voltaje fijo de la batería, la corriente depende del valor de la resistencia bajo medida, entonces, a menor resistencia mayor intensidad de corriente y viceversa.

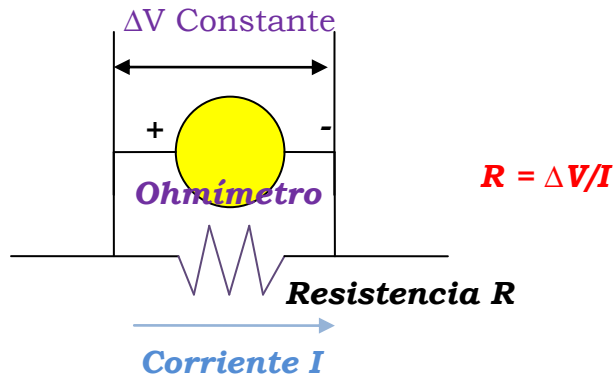
Hay otros tipos de óhmetros más exactos, en los que la batería ha sido sustituida por un circuito que genera una corriente de intensidad constante I , la cual se hace circular a través de la resistencia y, mediante otro circuito se mide el voltaje en los extremos de la resistencia. Se calcula entonces el valor de la resistencia despejando en la ley de Ohm.

Un esquema simplificado de funcionamiento se muestra en la figura 5.

3.3.3 Multímetros Digitales. Los multímetros digitales son instrumentos capaces de medir: tensión, corriente y resistencia, en múltiples rangos y presentar numéricamente el resultado. Hay multímetros que permiten además otras magnitudes como conductancia, frecuencia, fase y capacidad, detectar circuitos abiertos y capacidad, y probar diodos. Con sondas adecuadas temperatura,

potencia, tensiones muy altas, pero de baja energía, e intensidad de circuito sin tener que abrir el circuito.

Figura 5. Esquema simplificado de funcionamiento de un Ohmímetro



Fuente: Los autores.

Las ventajas de los multímetros digitales es que poseen: menor incertidumbre, mayor resolución y velocidad simultáneas. Además ofrecen funciones tales como indicación de polaridad, presentación de unidades frente al valor medido, almacenamiento y transmisión de lecturas, retención de lecturas máximas o de lecturas cuando su valor es estable, indicación visual o acústica de sobrecarga ⁵.

⁵ PALLÁS Areny, Ramón. Instrumentos Electrónicos Básicos. España: Marcombo, 2006. p. 93.

4 DEFINICIONES DE MOTORES ELÉCTRICOS

4.1 INTRODUCCIÓN

Mediante esta guía teórica se pretende que el estudiante forme una base teórica respecto de las generalidades de los motores eléctricos y que los pueda comprender de manera clara y sencilla.

4.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA

- Enmarcar los motores eléctricos dentro de las máquinas eléctricas.
- Definir la fuerza electromotriz.
- Identificar y clasificar los tipos de motores eléctricos.
- Explicar las ventajas y desventajas de los distintos tipos de motores eléctricos.
- Enumerar las características de los motores de jaula de ardilla.
- Esquematizar las formas de onda de una y tres fases.
- Entender la operación de los motores de una sola fase.
- Definir el deslizamiento en un motor.
- Determinar cómo el número de polos afecta a la velocidad del motor eléctrico a distintas frecuencias.
- Determinar cómo la frecuencia de alimentación afecta la velocidad de los motores eléctricos.
- Calcular la potencia de un motor dados ciertos valores.
- Describir la clasificación de los sistemas de aislamiento utilizados para los motores.
- Conocer algunas curvas de velocidad y torque para motores eléctricos.
- Realizar problemas teóricos acerca de motores eléctricos, para cálculo de potencia y velocidad de giro.

4.3 DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS

4.3.1 Conceptos generales de las máquinas eléctricas. “ *Las máquinas eléctricas son el resultado de una aplicación inteligente de los principios del electromagnetismo y en particular de la ley de inducción de Faraday. Las máquinas eléctricas se caracterizan por tener circuitos eléctricos y magnéticos entrelazados. Durante todo el proceso histórico de su desarrollo desempeñaron un papel rector, que determinaba el movimiento de toda la ingeniería eléctrica, merced a su aplicación en los campos de la generación, transporte, distribución y utilización de la energía eléctrica. Las máquinas eléctricas realizan una conversión de energía de una forma a otra, una de las cuales, al menos, es eléctrica. En base a este punto de vista, estrictamente energético, es posible clasificarlas en tres tipos fundamentales:*

1. Generador: *que transforma la energía mecánica en eléctrica. La acción se desarrolla por el movimiento de una bobina en un campo magnético, resultando una f.e.m. inducida que al aplicarla a un circuito externo produce una corriente que interacciona con el campo y desarrolla una fuerza mecánica que se opone al movimiento. En consecuencia, el generador necesita una energía mecánica de entrada para producir la energía eléctrica correspondiente.*

2. Motor: *que transforma la energía eléctrica en mecánica. La acción se desarrolla introduciendo una corriente en la máquina por medio de una fuente externa, que interacciona con el campo produciendo un movimiento de la máquina; aparece entonces una f.e.m. inducida que se opone a la corriente y que por ello se denomina fuerza contraelectromotriz. En consecuencia, el motor necesita una energía eléctrica de entrada para producir la energía mecánica correspondiente.*

3.Transformador: *que transforma una energía eléctrica de entrada (de AC) con determinadas magnitudes de tensión y corriente en otra energía eléctrica de salida (de AC) con magnitudes diferentes.*

Los generadores y motores tienen un acceso mecánico y por ello son máquinas dotadas de movimiento, que normalmente es de rotación; por el contrario, los transformadores son máquinas eléctricas que tienen únicamente accesos eléctricos y son máquinas estáticas.

Cada máquina en particular cumple el principio de reciprocidad electromagnética, lo cual quiere decir que son reversibles, pudiendo funcionar como generador o como motor (en la práctica, existe en realidad alguna diferencia en su construcción, que caracteriza uno u otro modo de funcionamiento) ”⁶.

4.3.2 Conceptos generales de los motores eléctricos

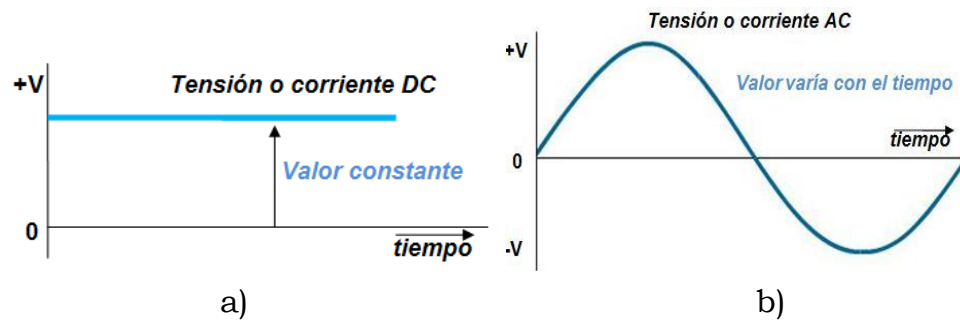
4.3.2.1 Corriente Eléctrica. La AC se caracteriza porque su sentido de circulación varía periódicamente, debido a que su polaridad varía continuamente, es por lo tanto un tipo de corriente *bidireccional*, al contrario de la DC que es *unidireccional*. La comparación de la forma de onda de estos dos tipos de corriente se muestra en la figura 6.

4.3.2.2 Corriente Alterna Monofásica. Un generador monofásico es usado para generar AC monofásica, mediante el giro del mismo debido a una fuente externa que haga girar el rotor del generador (turbinas hidráulicas, turbinas de gas, etc.), este giro del devanado se presenta dentro de un campo magnético fijo en el

⁶ FRAILE Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2003. p. 87.

estator del generador y debido a que durante el giro del devanado, este corta las líneas de campo magnético, se induce un voltaje en el mismo que varía con el tiempo debido a que existen puntos donde el devanado corta mas líneas de flujo, además de que se invierte la dirección del mismo, logrando ser en medio periodo positivo y en el otro medio periodo negativo.

Figura 6. Formas de onda de corriente continua y alterna



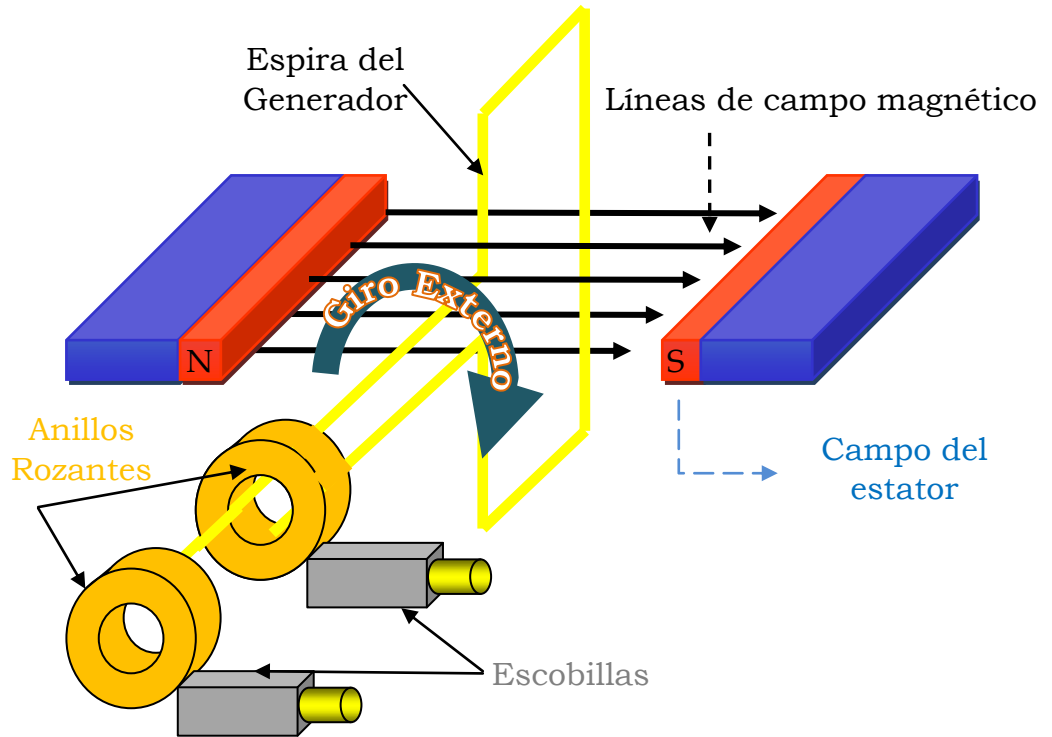
Fuente: Los autores.

4.3.2.3 Corriente Alterna Monofásica. Un generador monofásico es usado para generar AC monofásica, mediante el giro del mismo debido a una fuente externa que haga girar el rotor del generador (turbinas hidráulicas, turbinas de gas, etc.), este giro del devanado se presenta dentro de un campo magnético fijo en el estator del generador y debido a que durante el giro del devanado, este corta las líneas de campo magnético, se induce un voltaje en el mismo que varía con el tiempo debido a que existen puntos donde el devanado corta mas líneas de flujo, además de que se invierte la dirección del mismo, logrando ser en medio periodo positivo y en el otro medio periodo negativo.

La forma de funcionamiento básica de un generador monofásico se muestra en la figura 7, la forma de la onda de voltaje o corriente que se obtiene es de tipo *senoidal*, con la mitad de la onda positiva y la mitad negativa, debido a la inversión

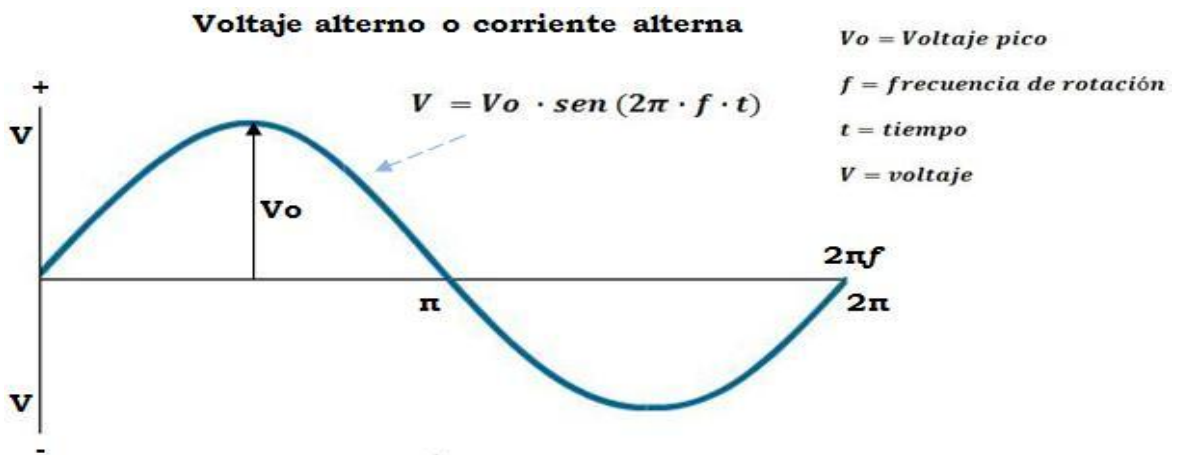
de la corriente durante la mitad del giro de la espira dentro del generador, este tipo de onda se muestra en la figura 8.

Figura 7. Generador alterno monofásico



Fuente: Los autores.

Figura 8. Forma de la onda monofásica obtenida con generador alterno monofásico



Fuente: Los autores.

4.3.2.4 Corriente Directa. La generación de corriente se hace de manera que se obtiene una onda *senoidal*, lo que no es conveniente para máquinas eléctricas que trabajen con DC.

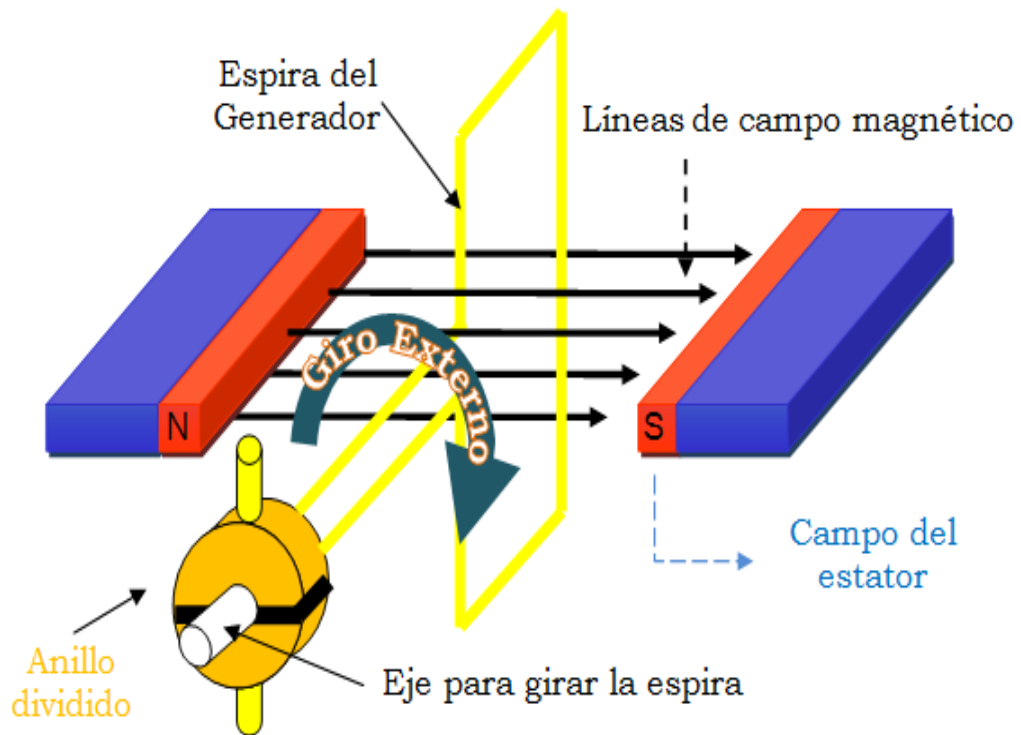
Si una armadura gira entre dos polos magnéticos fijos, la corriente en la armadura circula en un sentido durante la mitad de cada revolución, y en el otro sentido durante la otra mitad.

Para producir un flujo constante de corriente en un sentido, o corriente continua, en un aparato determinado, es necesario disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador una vez durante cada revolución. En los generadores antiguos esta inversión se llevaba a cabo mediante un conmutador, un anillo de metal partido montado sobre el eje de una armadura. Las dos mitades del anillo se aislaban entre sí y servían como bornes de la bobina. Las escobillas fijas de metal o de carbón se mantenían en contacto con el conmutador, que al girar conectaba eléctricamente la bobina a los cables externos. Cuando la armadura giraba, cada escobilla estaba en contacto de forma alternativa con las mitades del conmutador, cambiando la posición en el momento en el que la corriente invertía su sentido dentro de la bobina de la armadura. Así se producía un flujo de corriente de un sentido en el circuito exterior al que el generador estaba conectado. En algunas máquinas más modernas esta inversión se realiza usando rectificadores de diodos semiconductores o tiristores.

En la figura 9 se muestra un generador de corriente directa.

4.3.2.5 Corriente Alterna Trifásica. Un generador alterno trifásico es usado para generar AC, los devanados que producen cada fase están desfasados 120° entre ellos dentro de la armadura, su configuración básica se muestra en la figura 10.

Figura 9. Generador de corriente directa



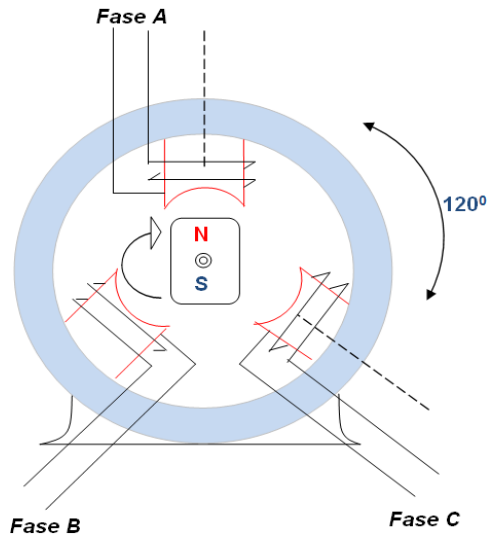
Fuente: Los autores.

En este tipo de alternadores, cada devanado proporciona una fase cuya forma de onda se muestra en la figura 11. La corriente o el voltaje que se produce por este tipo de generadores tiene forma *senoidal* y las ondas presentan un desfase de 120° entre ellas.

A partir de este tipo de alternadores se tiene la posibilidad de usar la llamada corriente alterna trifásica.

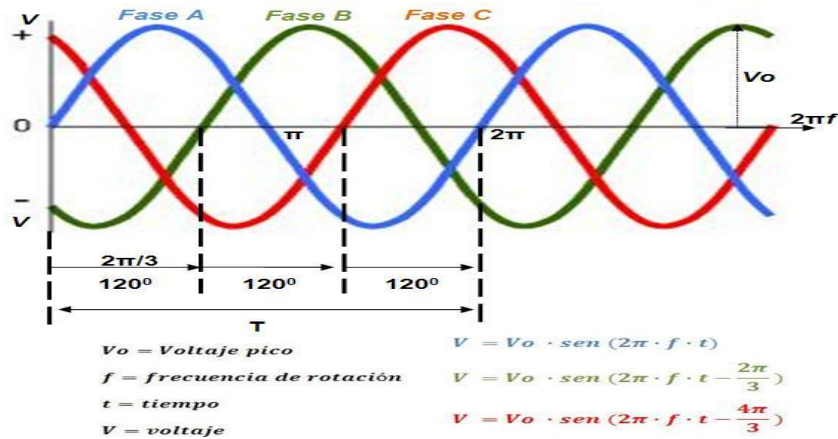
4.3.2.6 Principios de operación de motores eléctricos. La operación de los motores eléctricos depende de la interacción de campos magnéticos. Para definir como opera un motor, se deben definir las reglas del magnetismo, así como la relación que existe entre el flujo de corriente y el campo magnético.

Figura 10. Esquema de un alternador trifásico



Fuente: Los autores.

Figura 11. Forma de la onda trifásica obtenida con generador alterno trifásico



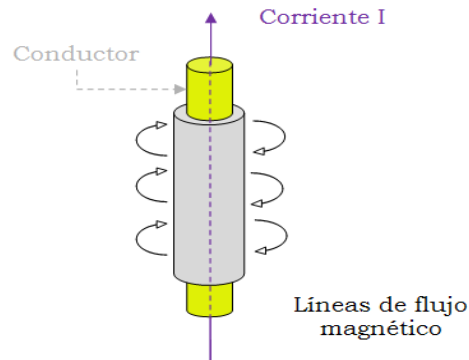
Fuente: Los autores.

4.3.2.7 Fundamentos de Magnetismo. Un imán puede ser permanente o temporal. Si una pieza de hierro o de metal se magnetiza y retiene el magnetismo se le conoce como imán permanente, este se usa en motores de pequeño tamaño.

Cuando una corriente circula a través de una bobina, se crea un campo magnético con un polo norte y sur, como si se tratara de un imán permanente. Sin embargo

cuando la corriente se interrumpe, desaparece el campo magnético. A este tipo de magnetismo temporal se le conoce como electromagnetismo. Cuando una corriente eléctrica circula a través de un conductor, las líneas de fuerza magnética (flujo magnético) se crean alrededor del mismo (figura 12).

Figura 12. Flujo magnético alrededor de un conductor

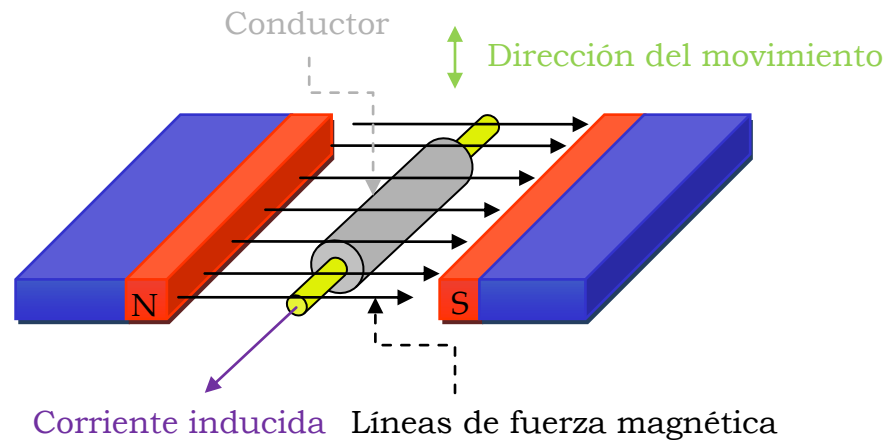


Fuente: Los autores.

Cuando la sección de un conductor se hace pasar a través de un campo magnético, se dice que se induce un voltaje y se crea la electricidad en el conductor o alambre. De esta manera puede comprobarse la relación entre el magnetismo y la electricidad.

4.3.2.8 La inducción electromagnética. Si el alambre conductor se mueve dentro de un campo magnético, de manera que el conductor corte las líneas de dicho campo, se origina una fuerza electromotriz producida en dicho conductor. Induciendo la fuerza electromotriz, mediante el movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético, se presenta lo que se conoce como *la inducción electromagnética*, se inducirá un voltaje en este conductor y mediante el uso de un medidor puede comprobarse que circula corriente por el conductor, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Inducción electromagnética



Fuente: Los autores.

4.3.2.9 La Ley inducción electromagnética de Faraday. En 1831 Joseph Faraday hizo uno de los descubrimientos más importantes del electromagnetismo que actualmente se conoce como: *La ley inducción electromagnética de Faraday*, que relaciona fundamentalmente el voltaje y el flujo en el circuito. El enunciado de la ley es:

- Si se tiene un flujo magnético que eslabona a una espira y, además, varía con el tiempo, se induce un voltaje entre los terminales.
- El valor del voltaje inducido es proporcional al índice de cambio del flujo.

Por definición y de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades, cuando el flujo varía en 1 weber por segundo, se induce un voltaje de 1 volt entre sus terminales; en consecuencia si el flujo varía entre una bobina de N espiras, el voltaje inducido se da por la expresión:

$$E = N \Delta\Phi / \Delta T \quad (4.1)$$

Donde:

$E = \text{Voltaje inducido en Volts}$

$N = \text{Número de espiras de la bobina}$

$\Delta\Phi = \text{Cambio de flujo dentro de la espira o bobina}$

$\Delta T = \text{Intervalo de tiempo durante el cual el flujo cambia}$

La ley de Faraday, establece las bases para las aplicaciones prácticas en el estudio de transformadores, generadores y motores de corriente alterna.

4.3.2.10 Voltaje inducido en un conductor. En algunos motores y generadores, los conductores o bobinas se mueven respecto a un flujo constante. El movimiento rotativo produce un cambio en el eslabonamiento de flujo de las bobinas y, en consecuencia un voltaje inducido de acuerdo con la Ley de Faraday de la siguiente manera:

$$E = B \cdot L \cdot V \quad (4.2)$$

Donde:

$E = \text{Voltaje inducido en Volts}$

$B = \text{Densidad de flujo en Tesla}$

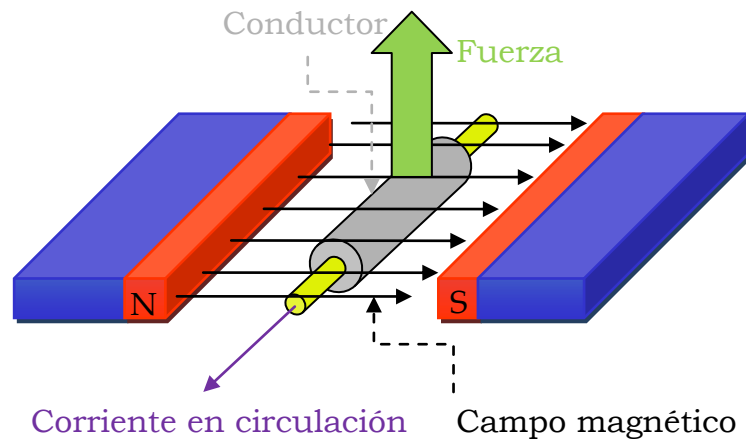
$L = \text{Longitud activa de los conductores en el campo magnético}$

$V = \text{Velocidad relativa del conductor } \frac{m}{s}$

Los motores eléctricos operan bajo el principio de que un conductor colocado dentro de un campo magnético experimenta una fuerza cuando una corriente circula por el mismo como se ve en la figura 14.

La magnitud de la fuerza varía directamente con la intensidad del campo magnético y la magnitud de la corriente que circula por el conductor, de acuerdo con la expresión:

Figura 14. Fuerza magnética en un conductor debido a la circulación de corriente y campo magnético



Fuente: Los autores.

$$F = I \cdot B \cdot L \quad (4.3)$$

Donde:

$F =$ Fuerza en Newtons

$I =$ Corriente en circulación

$B =$ Flujo magnético $\frac{\text{weber}}{\text{m}^2}$ o Tesla

$L =$ Longitud del conductor en metros

En general el rotor de un motor eléctrico queda dentro del campo magnético creado por el estator. Se induce una corriente dentro del rotor y la fuerza resultante (y por lo tanto el par) produce la rotación.

4.3.2.11 Potencia y par de un motor eléctrico. La potencia mecánica de los motores se expresa en caballos de fuerza (HP) o Kilowatts, medidas que cuantifican la cantidad de trabajo que un motor eléctrico es capaz de realizar en un periodo específico de tiempo. Dos factores importantes que determinan la potencia mecánica en los motores son: *el par y la velocidad de rotación*.

El par es una medida de la fuerza que tiende a producir la rotación, se mide en Libras-pie o Newton-metro. *La velocidad del motor* se establece comúnmente en revoluciones por minuto (RPM). La relación entre la potencia, el par y la velocidad se da por la siguiente expresión:

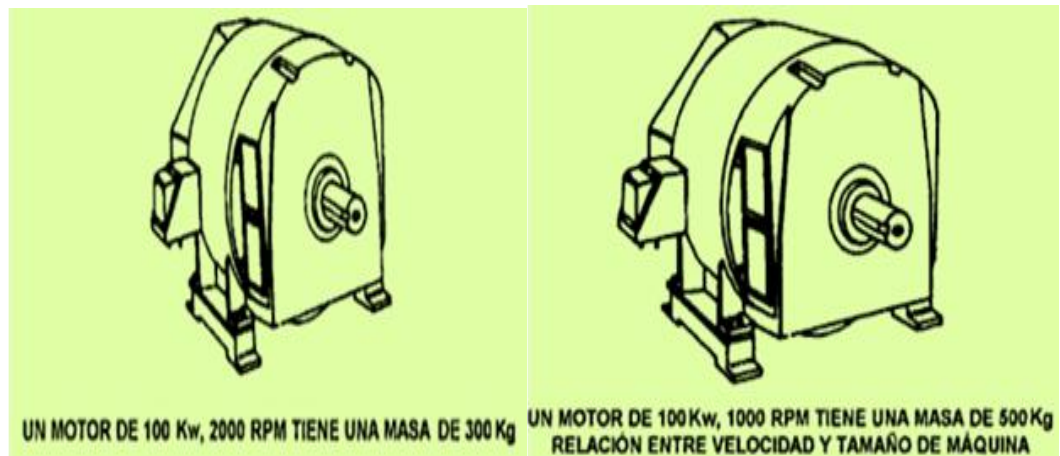
$$Potencia = Velocidad \times Par \quad (4.4)$$

A menor velocidad existe mayor par para entregar la misma potencia, entonces los motores de baja velocidad necesitan componentes más robustos que los de alta velocidad para igual potencia nominal. Se aprecia esta situación en la figura 15.

4.3.3 Clasificación de los motores eléctricos. Atendiendo a la naturaleza de la corriente eléctrica existen dos tipos de motores eléctricos reconocidos por NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*): motores de corriente directa (DC) y motores de corriente alterna (AC)⁷.

⁷ NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA Standards publication MG 1-2006: Motors and Generators. Rosslyn: NEMA 2006. p. 44.

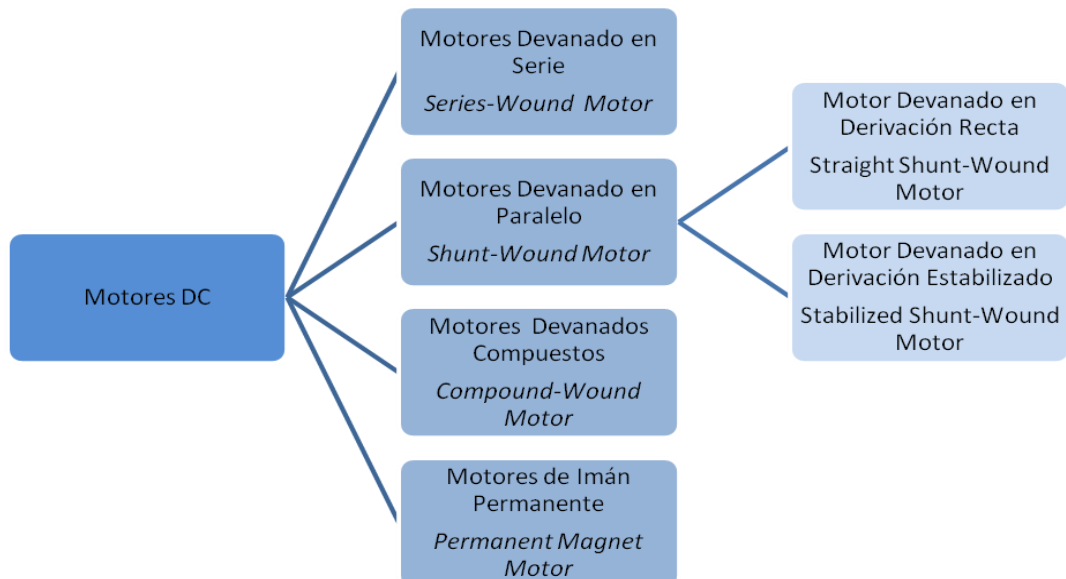
Figura 15. Diferencias constructivas debido a la velocidad de operación del motor eléctrico



Fuente: HARPER Enríquez. El ABC del control electrónico de las máquinas eléctricas. México: Limusa, 2003. p. 144.

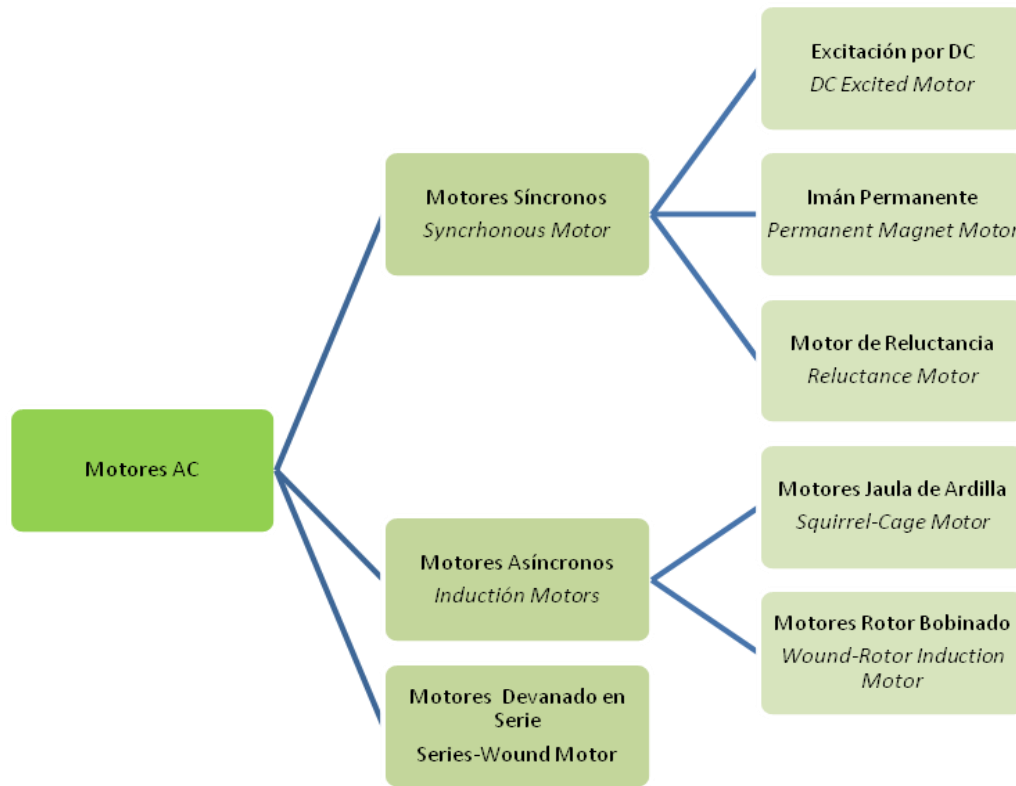
En las figuras 16 y 17, se muestra la clasificación según la naturaleza de la corriente eléctrica acorde con NEMA, de los motores eléctricos DC y AC respectivamente.

Figura 16. Clasificación de motores eléctricos DC según NEMA



Fuente: Los autores.

Figura 17. Clasificación de motores eléctricos AC según NEMA



Fuente: Los autores.

4.3.4 Motores eléctricos DC. Un motor DC está compuesto principalmente por el rotor (*armature*) y el inductor (*stator*) que a su vez se componen de:

- *Un imán fijo* que constituye el inductor (*stator*)
- *Un bobinado* denominado inducido que es capaz de girar en el interior del primero, cuando recibe una DC.
- *Escobillas (brush assembly)* cuya función es la de transmitir la corriente proveniente de la fuente DC al colector o conmutador. Las escobillas son de grafito, material menos duro que el del conmutador, con el fin de evitar el desgaste del mismo. Debido a que el acercamiento de las escobillas al conmutador debe ser continuo para evitar las chispas entre una conmutación y otra, las escobillas poseen un sistema de resortes que

proveen la presión suficiente para generar un contacto adecuado entre estas y el conmutador. Hace parte de la estructura (*frame*).

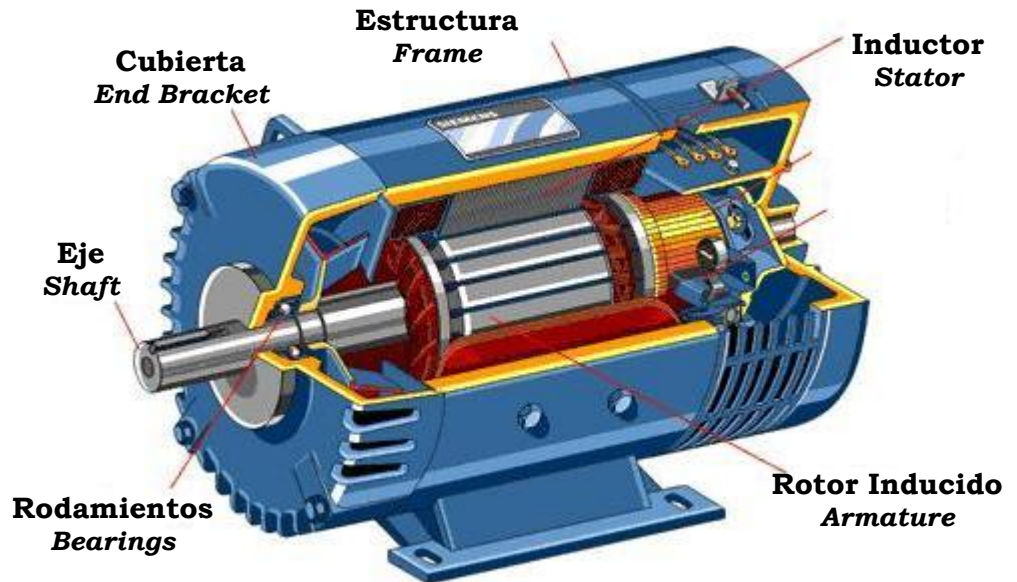
- *El colector o conmutador (commutator)* es un conjunto de láminas (delgas) que van montadas sobre el rotor, separadas entre sí y del eje por medio de materiales aislantes para evitar el contacto eléctrico con estos. Su función es la de mantener la corriente que viene de las escobillas en un flujo unidireccional y comunicándola de esta manera al inducido.
- *Eje (shaft)* que tiene como responsabilidad ser la parte móvil del rotor y sobre el que van montados: el inducido, el colector o conmutador y el núcleo del inducido. Para facilitar su movimiento giratorio está soportado sobre cojinetes.

En la figura 18 se pueden observar las partes principales de un motor DC.

Generalmente los motores DC tienen la disposición de montaje que se muestra en la figura 19, donde es posible apreciar las dos partes más importantes del motor DC que son el rotor (*Arm*) y el inductor (*stator*). También se ve en esta figura uno de los polos (*pole*) del imán que poseen este tipo de motores y que es el responsable del campo magnético. Además se aprecia la forma mecánica en la que las escobillas entran en contacto con las delgas del conmutador que gira con el rotor y se esquematiza de manera sencilla los resortes usados con el fin de mejorar el contacto y evitar *las chispas* por mal contacto entre el conmutador y el rotor.

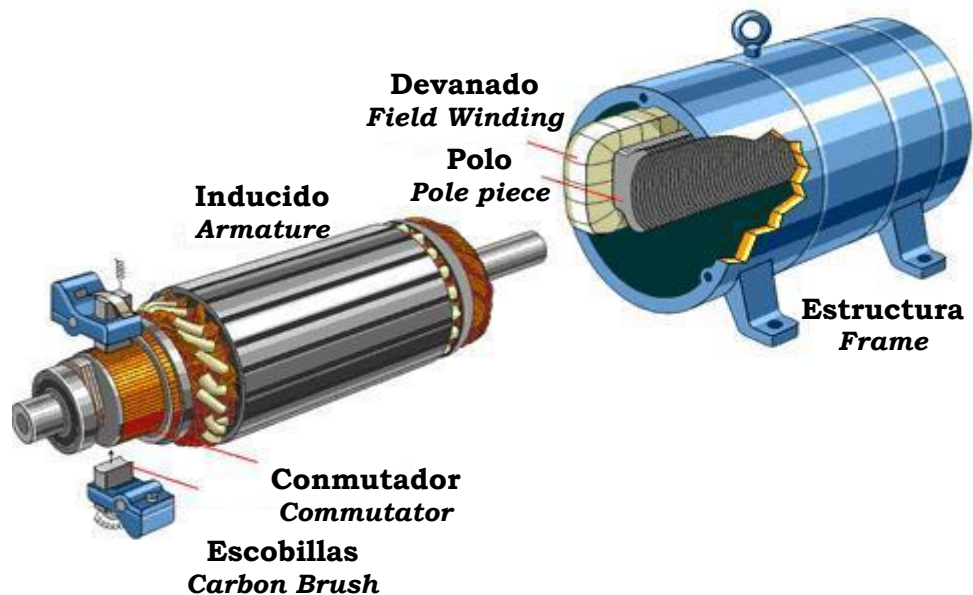
En la figura 20 se presentan las partes del rotor de un motor DC. Se aprecia el núcleo laminado (*core*) cuya función es alojar el devanado que constituye en inducido. Además se aprecian otras partes de las que se expusieron anteriormente.

Figura 18: Partes principales de un motor DC



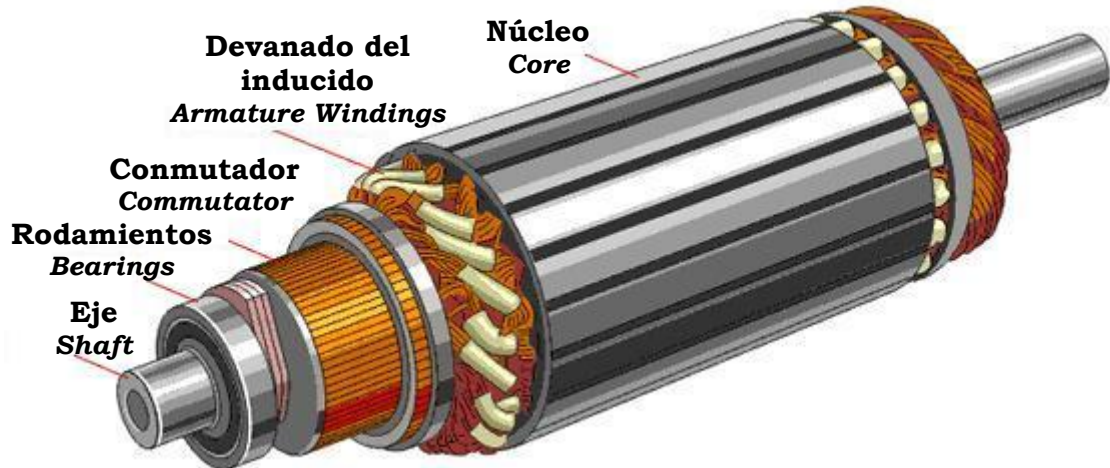
Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of DC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?dcd:1:1:1>.

Figura 19: Esquema de montaje general de un motor DC



Fuente: Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of DC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?dcd:1:1:1>.

Figura 20: Partes del rotor de un motor DC



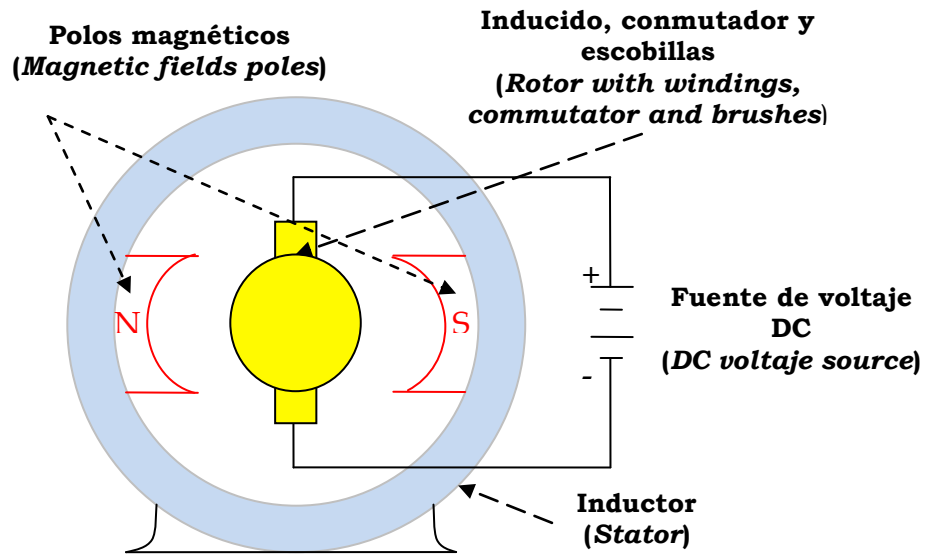
Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of DC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?dcd:1:1:1>.

En la figura 21 se muestra un esquema eléctrico de un motor DC.

Un motor DC gira debido a que cuando una DC pasa a través de un cable conductor inmerso en un campo magnético, la fuerza magnética produce un par el cual provoca el giro del motor DC, realizándose este proceso mediante el inductor que provee el campo magnético y el inducido en el que se genera un par debido a que es recorrido por una DC que entra por el conmutador, y al estar inmerso en el campo se generan fuerzas (par) que lo hacen girar.

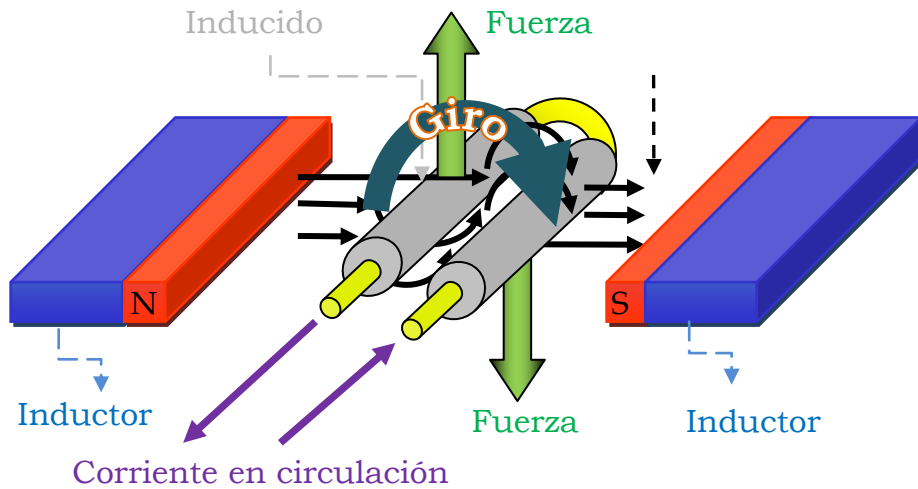
Un esquema de funcionamiento de un motor DC se presenta en la figura 22, donde se ve una espira del bobinado inmersa en el campo del inductor y recorrida por una DC, generándose un par que produce el giro.

Figura 21: Esquema eléctrico de un motor DC



Fuente: DALE R., Patrick; STEPHEN W., Fardo. Industrial Electronics: Devices and Systems. 2 ed. United States of America: Fairmont Press, 2000.

Figura 22. Esquema de funcionamiento de un motor eléctrico



Fuente: Los autores.

Los motores DC a su vez se subdividen en ⁸: motor de excitación en serie (*series-wound motor*), motor de excitación en paralelo (*shunt-wound motor*), motor de excitación compuesta (*compound-wound motor*) y motor de imán permanente (*permanent magnet motor*). Las características de estos motores se presentan en las tablas 5 y 6.

Tabla 5. Definiciones de los tipos de motores DC

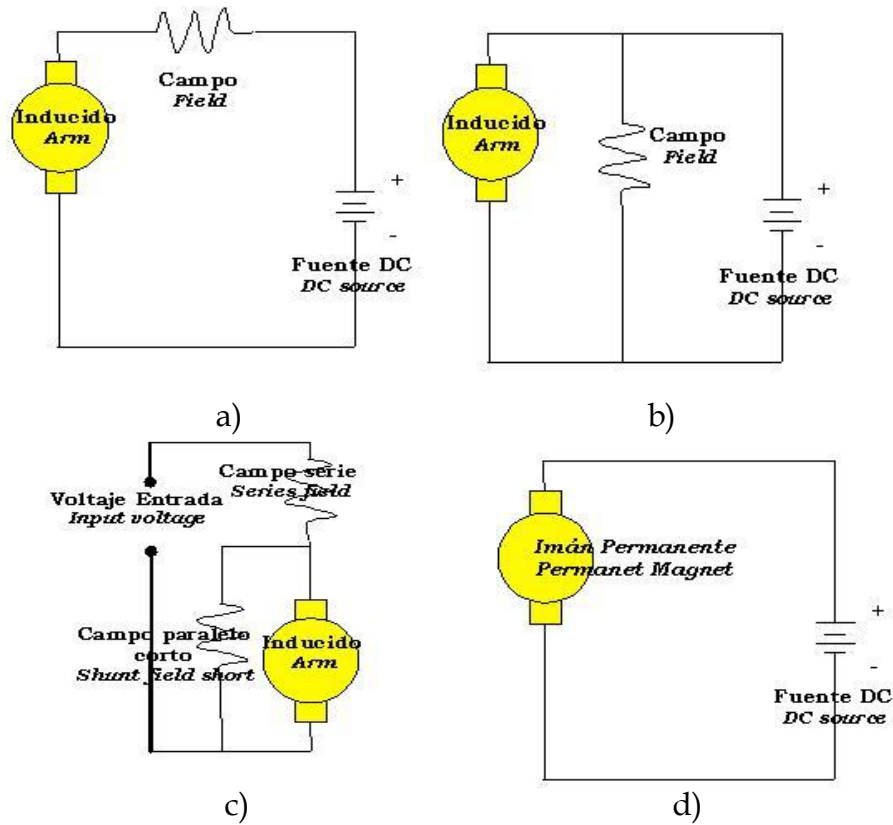
Motor Excitación en Serie (<i>Series-Wound Motor</i>)	Motor Excitación en Paralelo (<i>Shunt-Wound Motor</i>)	Motor Excitación Compuesto (<i>Compound-Wound Motor</i>)	Motor de Imán Permanente (<i>Permanent magnet Motor</i>)
Es un tipo de motor eléctrico DC en el cual el inducido (<i>Arm</i>) y el devanado inductor o de excitación (bobinas de campo o <i>field</i>) van conectados en serie. Si esta se desconecta de los bornes de salida del motor, quedara interrumpido el circuito de excitación y por lo tanto no se producirá en el inducido tensión alguna. Ver figuras 23a) y 24a).	Es un motor eléctrico DC cuyo bobinado inductor principal (<i>field</i>) está conectado en derivación o paralelo con el circuito formado por los bobinados inducido (<i>Arm</i>) e inductor auxiliar. Ver figura 23b) y 24b).	Es un motor eléctrico DC cuya excitación es originada por dos bobinados inductores independientes (<i>field</i>); uno dispuesto en serie (<i>series field</i>) con el bobinado inducido (<i>Armature</i>) y otro conectado en derivación (<i>shunt field</i>) con el circuito formado por los bobinados inducido, inductor serie e inductor auxiliar. Pueden ser de campo en derivación corto o largo (<i>Shunt field short or long</i>). Ver figura 23c).	El suministro DC (<i>source</i>) está conectado directamente a los conductores de la armadura (<i>Arm</i>) mediante las escobillas. El campo magnético principal es producido por imanes permanentes (PM) (<i>permanent magnets</i>) montados en el estator. Pero tienen la desventaja de ser susceptibles a la desmagnetización por cargas de choque eléctricas o mecánicas. Ver figura 23d y 24c).

Fuente: Los autores.

La tabla 6 presenta la comparación de los cuatro tipos de motores DC respecto de algunas de sus características de diseño y operación.

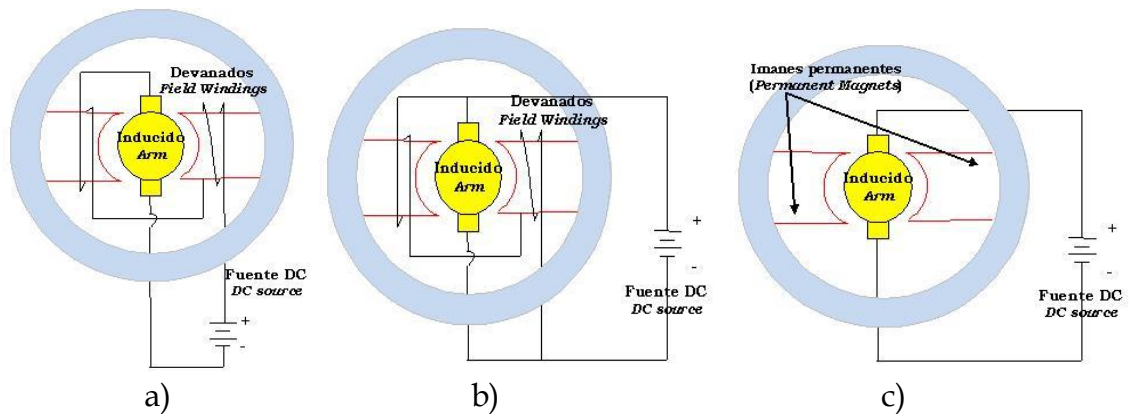
⁸ NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA Standards publication MG 1-2006: Motors and Generators. Rosslyn: NEMA 2006. p. 49.

Figura 23. Esquemas eléctricos de motores DC



Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 138-140.

Figura 24. Conexiones de algunos motores DC



Fuente: DALE R., Patrick; STEPHEN W., Fardo. Industrial Electronics: Devices and Systems. 2 ed. United States of America: Fairmont Press, 2000. p. 263-265.

Tabla 6. Comparación de las características de los cuatro tipos de motores DC

Regulación de Velocidad	Control de Velocidad	Par de Arranque	Par Límite	Aplicaciones
Motor de Excitación en Serie (<i>Series-Wound DC Motor</i>)				
Varía inversamente con la carga. Marcha en cargas bajas y plena tensión.	Cero a máximo dependiendo del control de la carga.	Alto. Varía con el cuadrado del voltaje. Limitado por la conmutación, el calentamiento y la capacidad de la línea	Alto, limitado por la conmutación, calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando alto torque es requerido y la velocidad puede ser regulada. Grúas, montacargas, puentes y motores de arranque.
Motor de Excitación en Paralelo (<i>Shunt-Wound DC Motor</i>)				
Pérdidas del 3 al 5% desde no carga a carga plena.	Cualquier rango decidido dependiendo del diseño del motor y del tipo de sistema.	Bueno con campos constantes, es directamente proporcional a la tensión aplicada a la armadura.	Alto, limitado por la conmutación, calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando se necesita velocidad constante y el par de arranque no es severo. Ventiladores, bombas, sopladores y transportadores.
Motor de Excitación Compuesta (<i>Compound-Wound DC Motor</i>)				
Pérdidas del 3 al 20% desde no carga a carga plena. Dependiendo de la cantidad de composición.	Cualquier rango decidido dependiendo del diseño del motor y del tipo de sistema.	Tan grande como los Shunt, dependiendo de la cantidad de composición.	Alto, limitado por la conmutación, calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando se requiere alto par de arranque combinado con velocidad completamente constante. Bombas de émbolo, prensas punzonadoras, cizallas, ascensores de engranajes, cintas transportadoras, elevadores.
Motor de Imán Permanente (<i>Permanent Magnet DC Motor</i>)				
	Su velocidad puede ser cambiada mediante el ajuste de la tensión de alimentación ^[9] .		Alto, limitado por la conmutación, calentamiento y capacidad de la línea.	Cuando se requiere una cantidad baja de carga. Usados para control de velocidad y de posición.

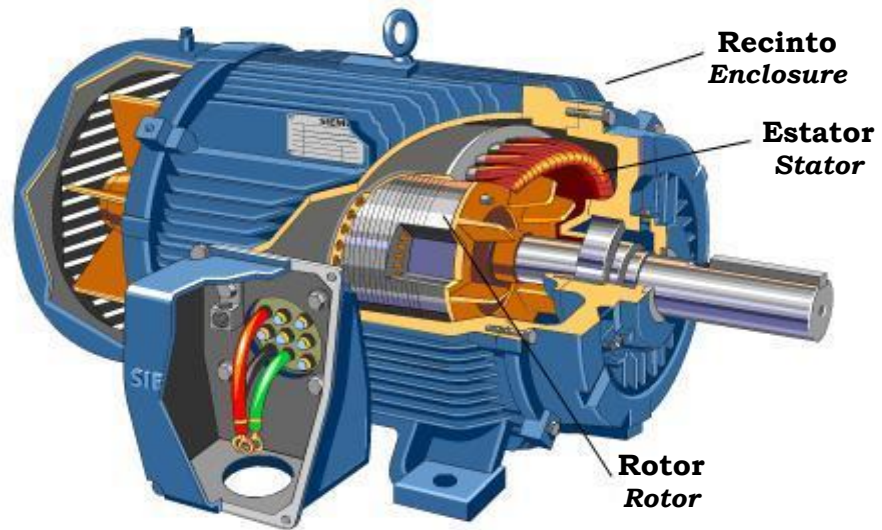
*Traducida por los autores desde su fuente original, el motor de imán permanente se toma de⁹.

Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 141.

⁹ DALE R., Patrick; STEPHEN W., Fardo. Industrial Electronics: Devices and Systems. 2 ed. United States of America: Fairmont Press, 2000. p. 263-264.

4.3.5 Motores eléctricos AC. De la clasificación mostrada en el apartado 4.3.3, el motor de uso más común en la industria es el motor de tres fases de inducción ¹⁰, este tipo de motor será el que se usará para describir las partes de un motor AC. Este tipo de motores posee tres partes principales: el rotor, el estator (*stator*) y el recinto (*enclosure*). Pueden verse las tres partes mencionadas en la figura 25.

Figura 25. Partes principales de motor eléctrico AC trifásico de inducción



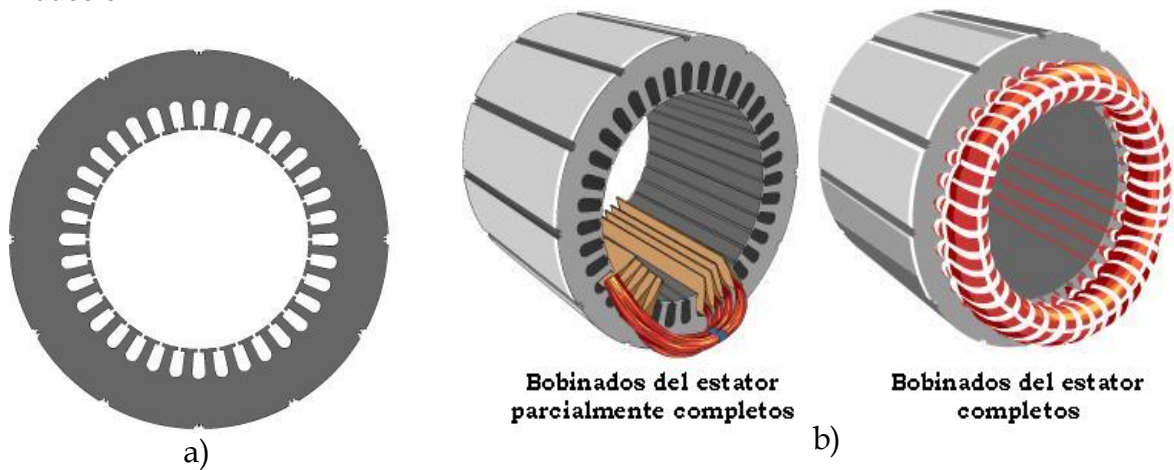
Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/acmotors/index.htm>.

El estator es la parte estacionaria del circuito electromagnético del motor. El núcleo del estator (*stator core*) se compone de muchas hojas de metal delgado, llamadas láminas, que se utilizan para reducir las pérdidas de energía que se obtendrían si se utiliza un núcleo sólido. Puede verse la forma del estator en la figura 26a).

¹⁰ SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/acmotors/index.htm>.

Las láminas del estator se apilan formando un cilindro hueco. Bobinas de cable aislado se insertan en las ranuras del núcleo del estator. Cuando el motor está en operación, los bobinados del estator están conectados directamente a la fuente de alimentación. Cada grupo de bobinas, junto con el núcleo de acero que rodea, se convierte en un electroimán, cuando se aplica la corriente. El electromagnetismo es el principio básico de funcionamiento del motor. Pueden verse los bobinados del estator en la figura 26b).

Figura 26. Disposición geométrica y montaje del estator en un motor AC trifásico de inducción



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/acmotors/index.htm>.

El rotor es la parte giratoria del circuito electromagnético del motor. El tipo más común de rotor utilizado en un motor de inducción de tres fases es un rotor de jaula de Ardilla. El rotor de jaula de ardilla se llama así porque su construcción es una reminiscencia de las ruedas de ejercicio de rotación se encuentran en las jaulas de los Hámster pero probablemente existen este mismo tipo de estructuras para ardillas domésticas. El núcleo de un rotor de jaula de ardilla se hace por apilamiento de finas láminas de acero (ver figura 27) para formar un cilindro.

Figura 27. Construcción del rotor de un motor AC trifásico de inducción jaula de Ardilla



Rotor

Láminas del Rotor

Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/acmotors/index.htm>.

En lugar de usar rollos de alambre como conductores, se usan barras conductoras en las ranuras equidistantes entre sí alrededor del cilindro. La mayoría de los rotores de jaula de ardilla son hechos en fundición de aluminio para formar las barras conductoras.

Después de la fundición a presión, las barras conductoras del rotor son mecánicamente y eléctricamente conectado con anillos extremos. El montaje se presiona sobre un eje de acero para formar un conjunto rotor. Puede verse el montaje en la figura 28.

El recinto consta de un marco (o palanca) y dos grupos de cajas de cojinetes. El estator está montado en el interior del marco. El rotor se ajusta en el interior del estator con una ligera capa de aire (*air gap*: entrehierro) que lo separa del estator. No hay conexión física directa entre el rotor y el estator.

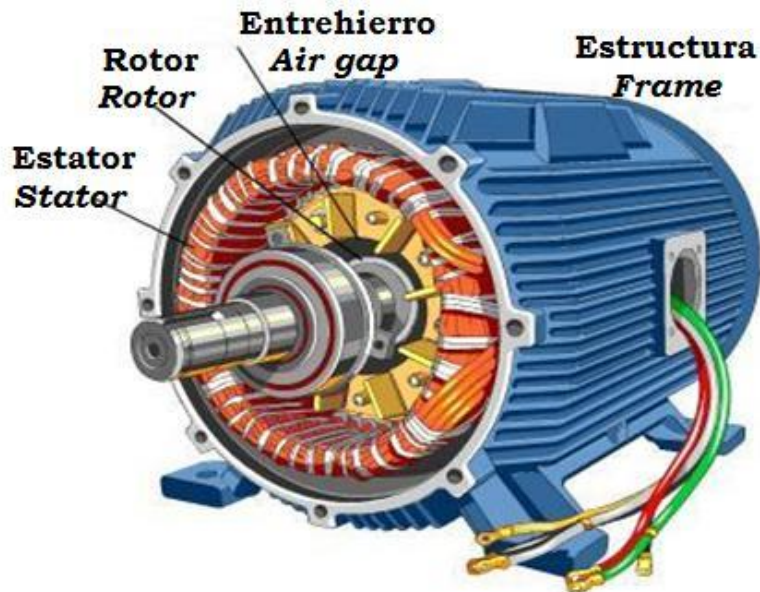
El recinto protege las partes internas del motor del agua y otros elementos del medio ambiente. El grado de protección depende del tipo de recinto. En la figura 29 se muestra un recinto con las partes del motor montadas en el.

Figura 28. Montaje del rotor en un motor AC trifásico de inducción jaula de Ardilla



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/acmotors/index.htm>.

Figura 29. Recinto de motor AC trifásico de inducción



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/acmotors/index.htm>.

Tres clases de motores eléctricos AC son reconocidos por NEMA de acuerdo a la naturaleza de la corriente eléctrica ¹¹: motor AC de inducción (*induction AC motor*),

¹¹ NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA Standards publication MG 1-2006: Motors and Generators. Rosslyn: NEMA 2006. p. 45-46.

motor AC síncrono (*synchronous AC motor*) y motor AC de arrollamiento en serie (*series-wound AC motor*). Las definiciones se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Definiciones de los tres tipos de motores AC reconocidos por NEMA*

Motor de Inducción <i>Induction Motor</i>	Motor Síncrono <i>synchronous Motor</i>	Motor Arrollamiento en Serie <i>Series-Wound Motor</i>
Un motor de inducción es una máquina de inducción en la que un miembro (por lo general el estator) se conecta a la fuente de energía, y un devanado polifásico secundario o un devanado en jaula de Ardilla secundario en el otro miembro (usualmente el rotor) lleva corriente inducida ^[11] .	Son máquinas eléctricas cuya velocidad de rotación n (RPM) está vinculada rígidamente con la frecuencia f de la red de AC, con la cual trabaja, de acuerdo con la expresión ¹² : $n = 60 f / p$ Donde p es el número de pares de polos del motor. Es conocida como velocidad de sincronismo.	Es un motor de conmutador donde el inductor y el inducido están conectados en serie ^[1] .

* Reconocidos según la naturaleza de la corriente eléctrica, en este caso AC.

Fuente: Los autores.

En la tabla 8 se exponen los principios operativos de las que se valen los diferentes tipos de motores de AC para funcionar.

¹² FRAILE Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2003. p. 380.

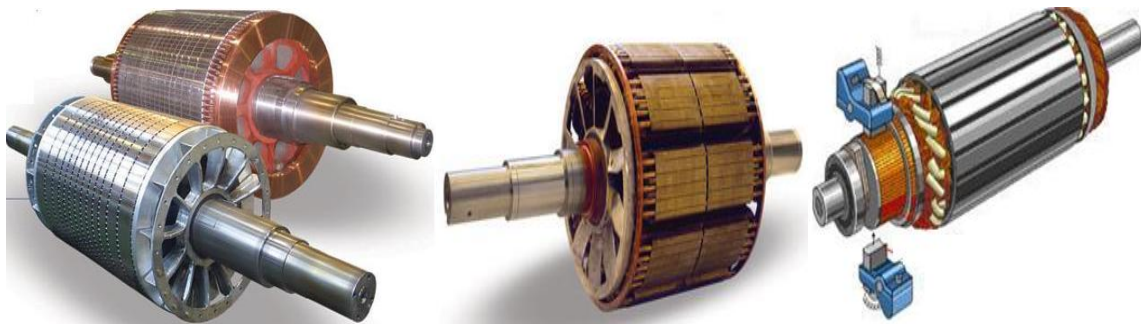
Tabla 8. Principio de funcionamiento de los tres tipos de motores AC reconocidos por NEMA

Motor de Inducción o Asíncronos <i>Induction Motor</i>	Motor Síncrono <i>synchronous Motor</i>	Motor Arrollamiento en Serie <i>Series-Wound Motor</i>
<p>Al hacer conectar el estator a una fuente AC, circulará una AC por el estator, en el que se generará un campo magnético que inducirá una FEM en el circuito del rotor y hará circular una corriente inducida en este, produciéndose un par de fuerzas que al final representará su rotación. A mayor carga el rotor irá más despacio que el campo magnético del estator, perdiendo velocidad respecto de la velocidad de sincronismo, por lo tanto aparece un deslizamiento que es la diferencia entre la velocidad de sincronismo y la velocidad real del motor que depende a su vez de la carga del mismo. Se muestra su rotor en la figura 30a).</p>	<p>Es similar a un motor con rotor de jaula de ardilla. Además de las barras del rotor, devanados de bobina también se utilizan. Los devanados de bobina están conectados a una fuente DC de alimentación externa mediante anillos colectores y escobillas. Cuando se inicia el motor se aplica al estator AC, y el motor síncrono se inicia como un motor con rotor jaula de Ardilla. Se aplica DC a las bobinas del rotor después de que el motor se ha acelerado. Esto produce un fuerte campo magnético con polaridad fija en el rotor. El campo magnético del estator atrae al campo magnético fijo del rotor y ambos giran a la misma velocidad estableciéndose la velocidad de sincronismo sin ocurrir deslizamiento. El rotor puede verse en la figura 30b).</p>	<p>La polaridad magnética instantánea de la armadura y el rotor se oponen. Esto significa que el motor girará. Al invertir la corriente, se invierte la polaridad de la entrada (estator). Pero este aún opone a la polaridad magnética de la armadura (rotor). Esto se debe a la inversión afecta a la armadura y el campo por estar estos conectados en serie. La entrada de corriente alterna hace que estas inversiones tengan lugar de forma continua y el motor sigue girando en la misma dirección. El rotor puede verse en la figura 30c).</p>

* Reconocidos según la naturaleza de la corriente eléctrica, en este caso AC.

Fuente: Los autores.

Figura 30. Rotores para tipos de motores AC



a) Rotor Jaula de Ardilla b) Rotor Síncrono c) Rotor serie

Fuente: GENERAL ELECTRIC. Medium AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www.gemotors.com.br/products/motors/synchronous/> and SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of DC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/default.html>.

4.3.5.1 Motores de inducción (*induction motors*). NEMA reconoce dos subclasificaciones de motores eléctricos de tipo inducción ^[7]: motores jaula de ardilla (*squirrel-cage induction motors*) y motores de rotor bobinado (*wound-rotor induction motors*). Se presentan definiciones en la tabla 9.

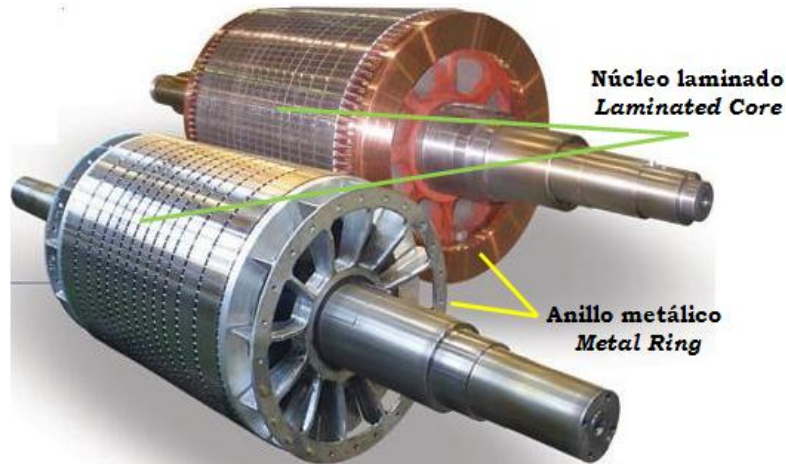
Tabla 9. Definiciones de motores AC de tipo inducción

Motor Jaula de Ardilla <i>Squirrel-Cage Induction Motor</i>	Motor de Rotor Bobinado <i>Wound-Rotor Induction Motor</i>
Es un motor de inducción donde el circuito secundario (jaula de Ardilla) consiste de un número de barras conductoras teniendo sus extremos conectados por anillos metálicos o platos en cada extremo ^[11] . Ver figura 31a).	Se llama así debido a que su bobinado está devanado en las ranuras. Está formado por paquetes de láminas troqueladas, montadas sobre el eje. Las bobinas se devanan sobre el eje y su arreglo depende del número de polos y de fases ¹³ . Ver figura 31b).

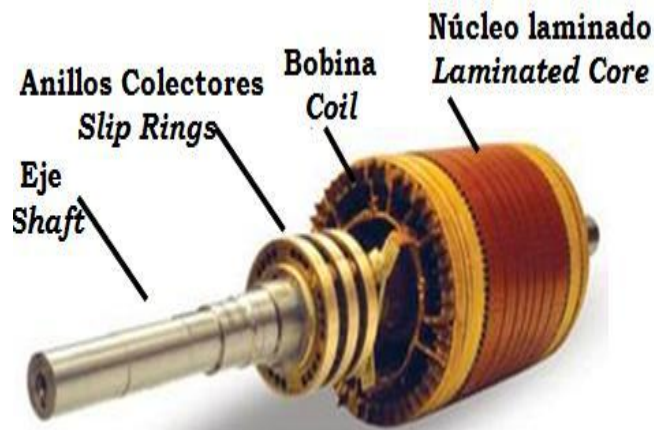
Fuente: Los autores.

¹³ HARPER, Enríquez. Curso de Transformadores y Motores de Inducción. 4 ed. México: Limusa, 2005. P. 325.

Figura 31. Rotores de las dos clases tipos de motores AC de tipo inducción



a)



b)

Fuente: GENERAL ELECTRIC. Medium AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www.gemotors.com.br/products/motors/wound/>.

La diferencia de la máquina asíncrona con los demás tipos de máquinas se debe a que no existe corriente *conducida* a uno de los arrollamientos. La corriente que circula por uno de los devanados (generalmente el situado en el rotor) se debe a la FEM inducida por la acción del flujo del otro, y por esta razón se denominan *máquinas de inducción*. También reciben el nombre de *máquinas asíncronas* debido a que la velocidad de giro del rotor no es la de sincronismo impuesta por la frecuencia de la red. La importancia de los motores asíncronos se debe a su construcción simple y robusta, sobre todo en el caso del rotor en forma de jaula,

que les hace trabajar en las circunstancias más adversas, dando un excelente servicio con pequeño mantenimiento. Hoy en día se puede decir que más del 80 por 100 de los motores eléctricos industriales emplean este tipo de máquina, trabajando con una frecuencia de alimentación constante¹⁴.

El devanado del estator está constituido por tres arrollamientos desfasados 120° en el espacio y de 2p polos; al introducir por ellos corrientes de una red trifásica de frecuencia f, se produce velocidad de sincronismo (ver tabla 10) que viene expresada por:

$$n = 60 \frac{f}{p} \quad (4.5)$$

El rotor de un motor de inducción no puede girar a la misma velocidad que el campo magnético giratorio. Si las velocidades fuesen las mismas, no existiría movimiento relativo entre los campos del estator y el rotor. Sin movimiento relativo no habría tensión inducida en el rotor. Para el movimiento relativo que existe entre los dos, el rotor debe girar a una velocidad más lenta que la del campo magnético giratorio. La diferencia entre la velocidad del campo giratorio del estator y la velocidad del rotor se denomina *deslizamiento*. Cuanto más pequeño es el deslizamiento, más cerca la velocidad del rotor se aproxima a la velocidad de campo del estator.

La velocidad del rotor depende de los requisitos de par de la carga: cuanto mayor sea la carga, mayor será la fuerza de giro necesario para girar el rotor. La fuerza aumenta sólo si la FEM inducida en el rotor aumenta. Esta FEM sólo puede aumentar si los cortes de campo magnético a través del rotor son más rápidos. Para aumentar la velocidad relativa entre el campo y el rotor, el rotor debe reducir

¹⁴ FRAILE Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2003. p. 259.

la velocidad. Esto significa que para cargas más pesadas el motor de inducción se vuelve más lento que para cargas más ligeras. El deslizamiento es directamente proporcional a la carga en el motor.

Tabla 10. Velocidades nominales de giro para motores de inducción

No. de Polos	Velocidad (RPM) a f 60 Hz	Velocidad (RPM) a f 50 Hz
2	3600	3000
4	1800	1500
6	1200	1000
8	900	750
10	720	600
12	600	500

Fuente: Los autores.

Debido al deslizamiento la velocidad de rotación real del motor bajo carga es menor, por ejemplo normalmente cuando un rotor está diseñado para rotar a 1800 RPM, este gira a 1725 RPM debido al deslizamiento ¹⁵.

Los motores jaula de ardilla (*squirrel-cage AC motor*) poseen las características que se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Características de motores de inducción y aplicaciones 2 y 3 fases, según la clasificación NEMA

Jaula de Ardilla Propósito General (clase B NEMA)	
Regulación de velocidad:	Pérdidas del 3 al 5% para tamaños pequeños.
Control de velocidad:	Ninguna, excepto motores especiales diseñados para dos a cuatro velocidades fijas.
Par de arranque:	200% de carga plena para 2 polos a 105% para 16 polos.
Par máximo:	200 % de plena carga.
Aplicaciones:	Para aplicaciones a velocidad constante, cuando el torque

¹⁵ MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 145-150.

requerido no es alto: ventiladores, sopladores, compresores rotativos y bombas centrífugas.

Jaula de Ardilla Alto Torque (clase C NEMA)

Regulación de velocidad:	Pérdidas del 3 al 6% para tamaños pequeños.
Control de velocidad:	Ninguna, excepto motores especiales diseñados para dos a cuatro velocidades fijas.
Par de arranque:	250% de carga plena para diseños de alta velocidad a 200% para diseños de baja velocidad.
Par máximo:	200 % de plena carga.
Aplicaciones:	Para aplicaciones a velocidad constante, cuando el torque de arranque requerido es alto a intervalos poco frecuentes con corrientes de arranque de 400% del valor a carga nominal: bombas reciprocantes, compresores y trituradoras.

Jaula de Ardilla Alto Deslizamiento (clase D NEMA)

Regulación de velocidad:	Pérdidas del 10 al 15% desde no carga a carga plena.
Control de velocidad:	Ninguna, excepto motores especiales diseñados para dos a cuatro velocidades fijas.
Par de arranque:	225 a 300% de carga plena dependiendo de la velocidad con la resistencia del rotor.
Par máximo:	200 % de plena carga. Generalmente no será puesto a par máximo, que se produce en reposo.
Aplicaciones:	Para aplicaciones a velocidad constante, cuando el torque de arranque requerido es alto, a intervalos no frecuentes y para tomar las cargas de alto pico, con o sin volantes: prensas punzonadoras, cizallas, ascensores.

Jaula de Ardilla Bajo Torque (clase F NEMA)

Regulación de velocidad:	Pérdidas del 3 al 5% para tamaños pequeños.
Control de velocidad:	Ninguna, excepto motores especiales diseñados para dos a cuatro velocidades fijas.
Par de arranque:	50% de carga plena para diseños de alta velocidad a 90% para diseños de baja velocidad.
Par máximo:	150 a 170 % de plena carga.
Aplicaciones:	Para aplicaciones a velocidad constante, cuando el torque de arranque es ligero: ventiladores, sopladores, bombas centrífugas

o cargas similares.

Rotor Bobinado

Regulación de velocidad:	Con rotor de anillo en corto circuito pérdidas del 3 al 5% para tamaños pequeños.
Control de velocidad:	La velocidad puede ser reducida en 50% por la resistencia del rotor para obtener un funcionamiento estable.
Par de arranque:	Arriba de 300%, dependiendo de la resistencia externa para obtener funcionamiento estable. La velocidad varía inversamente con la carga.
Par máximo:	200 % cuando el deslizamiento de los anillos del rotor se presenta en corto circuito.
Aplicaciones:	Para alto par de arranque con baja corriente de arranque o cuando control limitador de velocidad es requerida: ventiladores, bombas centrífugas y de émbolo, transportadores, montacargas y grúas.

*Traducida por los autores desde su fuente original al Español.

Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 147.

4.3.5.2 Motores síncronos (*synchronous motors*). Son diseñados ya sea como monofásicos o trifásicos. Generalmente son usados sin carga, debido a que pueden corregir el factor de potencia. Son más caros que otros tipos en los índices de menor potencia, pero posiblemente pueden ser más económicos para los 100 HP o más elevados.

En la tabla 12 se presentan las características de este tipo de motores.

4.3.5.3 Motores de arrollamiento en serie (*series-wound motors*). La conexión eléctrica de este tipo de motor se muestra en la figura 32.

Característicamente, los motores en serie AC y DC son similares. Ambos tienen una característica de velocidad variable. Bajas velocidades son posibles para

grandes cargas y cargas ligeras producen altas velocidades. La velocidad varía directamente con el tamaño de la carga. Cuanto mayor sea la carga, más lenta es la velocidad.

Tabla 12. Características y aplicaciones de motores síncronos

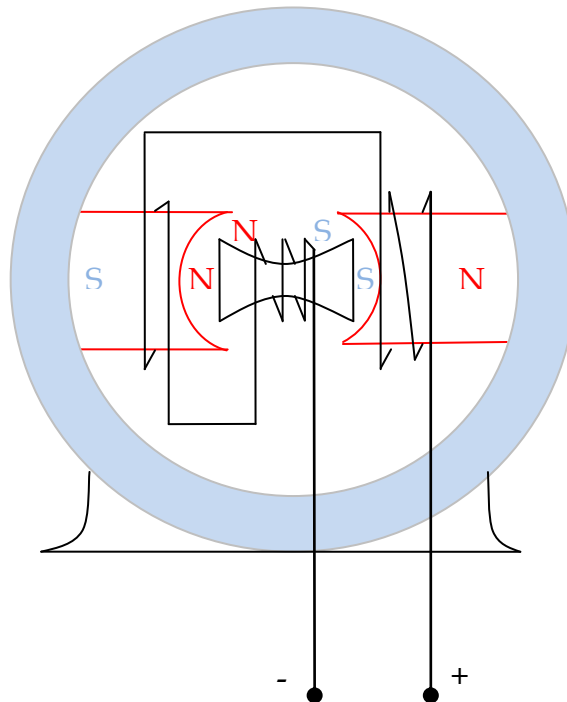
Motores Síncronos	
Regulación de velocidad:	Constante.
Control de velocidad:	Ninguna, excepto motores especiales diseñados para dos velocidades fijas.
Par de arranque:	40% para baja velocidad a 160% para medias velocidades 80% factor de potencia. Diseños especiales desarrollan altos torques.
Par máximo:	Unidad de motores 170%; 80% factor de potencia 225%. Diseños especiales arriba de 300%.
Aplicaciones:	Para aplicaciones a velocidad constante, conexión directa a máquinas de baja velocidad y cuando el factor de corrección de potencia se requiere.

*Traducida por los autores desde su fuente original.

Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 146.

Los motores de arrollamiento en serie AC-DC, también llamados motores universales, están especialmente diseñados para usar ambos tipos de corriente. Generalmente se hacen en tamaños de pocos caballos de fuerza, por lo general menos de 1 KW, y se utilizan con más frecuencia en las aspiradoras. Los motores universales no pueden ser operados con AC polifásica.

Figura 32. Conexión de un motor eléctrico AC de arrollamiento en serie



Fuente: los autores.

4.3.6 Características de operación de motores eléctricos

4.3.6.1 Torque y potencia. Estas dos características determinan en tamaño del motor para un trabajo particular.

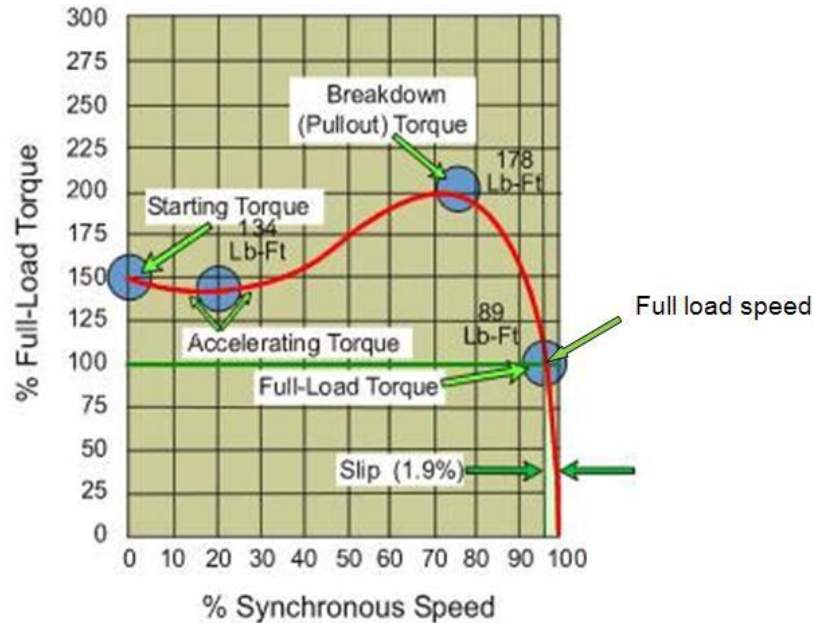
En la figura 33 se muestran las características de la curva de Torque contra velocidad de un motor NEMA clase B.

Full Load Torque: torque a carga nominal, es el 100% (89 Lb-Ft) y es la referencia para los demás valores de torque.

Starting Torque: también conocido como *Locked Rotor Torque.* Un motor de inducción está hecho para desarrollar una cantidad extra de torque para arrancar

la carga. En la figura 33 es del 150 % del torque nominal (*full load torque*) de operación a carga plena 100%.

Figura 33. Curva representativa de velocidad-torque para motor NEMA B



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses: Basic of AC Drives, AC Motors Basic, NEMA Terms, NEMA B. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?ac_drives:2:4:1.

Break Down Torque: ocasionalmente ocurre que existe una sobrecarga en el motor, entonces el motor ofrece un valor de torque de operación alto, en el caso de la figura 33 es del 200% del torque nominal (*full load torque*), pero el operar el motor en este punto por intervalos grandes de tiempo causa calentamiento excesivo del motor y puede dañarlo.

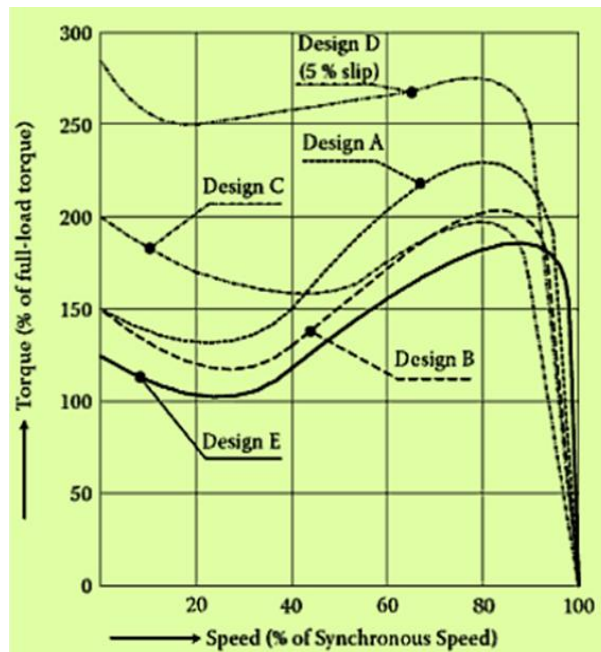
Accelerating torque: como el motor se acelera, disminuye ligeramente el par, pero este sigue en aumento hasta llegar al valor máximo de un 200% del torque nominal en este caso.

Slip: Deslizamiento debido a la carga externa al rotor del motor de inducción, este es la diferencia entre la velocidad de sincronismo del motor y la velocidad de operación a carga plena.

Full Load Speed: Es la velocidad de operación real del motor a carga plena y es menor que la velocidad de sincronismo.

Las curvas características de torque-velocidad para diseños NEMA A,B,C,D y E de motores jaula de ardilla se muestran en la figura 34.

Figura 34. Curvas características torque-velocidad para motores NEMA A, B, C, D y E



Fuente: KHAN, Shoaib. Industrial Power Systems. United States of America: CRC Press, 2008. p. 201.

La definición sencilla de cada diseño se presenta a continuación.

- Motor diseño A: Torque y corriente normales de arranque. Están saliendo de uso en la industria debido a que el diseño B usa menor cantidad de corriente en el arranque con valores de torque cercanos.
- Motor diseño B: Torque normal y baja corriente de arranque. Es usado de manera común, catalogado como de propósito general.
- Motor diseño C: Torque alto y baja corriente de arranque.
- Motor diseño D: Motor de alto deslizamiento.
- Motor diseño E: Diseño más eficiente que el diseño B. Diseño nuevo.

4.3.6.2 Corriente de arranque del motor de inducción. Existe un código NEMA de letras para la corriente de arranque directa de un motor eléctrico AC, este código NEMA se conoce como *locked rotor code*, se da por letras y en cuanto esta letra avance más en el abecedario desde la A hacia la Z, el consumo de corriente es mayor. Es posible estimar la corriente de arranque en *Amperes* mediante el uso de la siguiente expresión:

$$\text{corriente de arranque} = \frac{1000 \times \text{HP} \times \text{KVA/HP}}{1.73 \times \text{Volts}} \quad (4.6)$$

En la figura 35 se dan a conocer los valores de *KVA/HP*, dependiendo de la designación por código (*locked rotor code*) del motor. Entonces con el valor *KVA/HP*, el voltaje desde el que se alimenta al motor (ejemplo: 220 Volts) y la potencia del motor, es posible determinar la corriente que consumirá el motor mediante arranque directo.

4.3.7 Sistemas de aislamiento utilizados para los motores eléctricos. *El recinto* de un motor no sólo tiene la función de alojar los componentes del motor en conjunto, sino que también protege los componentes internos de la humedad,

los contaminantes y explosiones. Además, el tipo de recinto afecta el enfriamiento del motor. En la tabla 13 se muestran los recintos NEMA más comunes¹⁶.


Figura 35. Valores de KVA/HP

Cod*.	KVA/HP	Cod*.	KVA/HP	Cod*.	KVA/HP	Cod*.	KVA/HP
A	0-3.15	F	5.00-5.60	L	9.00-10.0	S	16.0-18.0
B	3.15-3.55	G	5.60-6.30	M	10.0-11.2	T	18.0-22.0
C	3.55-4.00	H	6.30-7.10	N	11.2-12.5	U	20.0-22.4
D	4.00-4.50	J	7.10-8.00	P	12.5-14.0	V	22.4- más
E	4.50-5.00	K	8.00-9.00	R	14.0-16.0		

* Código para *locked rotor KVA/HP*.

Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 151.

Tabla 13. Tipos de recintos de uso común para motores eléctricos

Tipo de Recinto	
Recinto Abierto a Prueba de Goteo (<i>Open Drip Proof (ODP)</i>)	
Este recinto tiene salidas de ventilación que permiten el flujo de aire. Las aspas del ventilador se mueven cuando el rotor está girando. Los respiraderos están colocados de modo que los líquidos y sólidos que caen desde arriba en ángulos de hasta 15 ° de la vertical no puede entrar en el interior del motor cuando el motor está montado sobre una superficie horizontal. Cuando el motor está montado sobre una superficie vertical, como una pared o panel, una cubierta especial puede ser necesaria.	
Ventilación	

¹⁶ Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/acmotors/index.htm>.

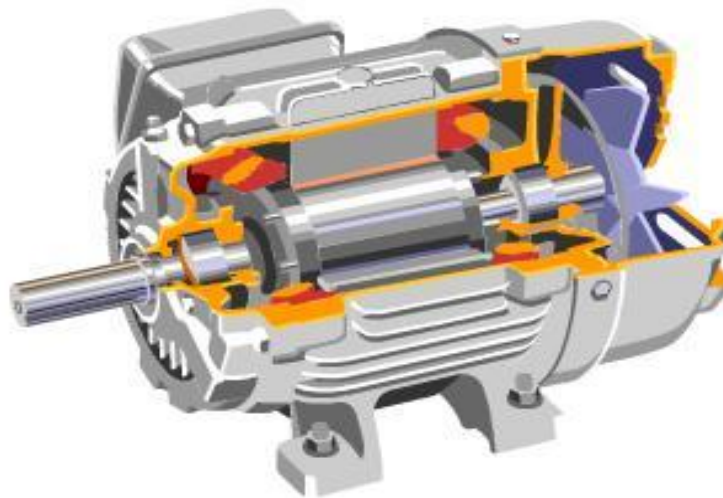
Totalmente Cerrado No Ventilado (*Totally Enclosed Non-Ventilated (TENV)*)

En algunas aplicaciones, el aire que rodea el motor contiene elementos corrosivos o dañinos que pueden dañar las partes internas de un motor. Este tipo de recinto limita el flujo de aire en el motor, pero no es hermético. Sin embargo, un sello impide que el agua, el polvo y otros elementos extraños entren en el motor a lo largo del eje. La ausencia de aberturas de ventilación significa que todo el calor desde el interior del motor debe disiparse a través de la caja por conducción.



Totalmente Cerrado Ventilado (*Totally Enclosed Fan-Cooling (TEFC)*)

Es similar a un *TENV*, pero tiene un ventilador externo montado en el extremo opuesto de la unidad de motor. El aire del ventilador sopla sobre el exterior del motor para un enfriamiento adicional. El ventilador está cubierto por una tapa para evitar que alguien lo toque. *TEFC* puede ser utilizado en ambientes sucios, húmedos o ligeramente ambientes corrosivos.



A Prueba de Explosiones (*Explosion-Proof Enclosure (XP)*)

Trabajos peligrosos se encuentran comúnmente en los procesos químicos, minería, fundición, celulosa y papel, manejo de residuos, y las industrias petroquímicas. En estas aplicaciones, los motores tienen que cumplir con las más estrictas normas de seguridad para la protección de la vida, las máquinas y el medio ambiente. Esto a menudo requiere el uso del motor a prueba de explosión (*XP*). Un motor *XP* es similar en apariencia a un motor *TEFC*, sin embargo, la mayoría de los recintos de *XP* son de hierro fundido.

Nunca se debe especificar o sugerir el tipo de clasificación para lugares peligrosos, es responsabilidad del ingeniero cumplir con la norma que aplique para el caso en Colombia. Los lugares definidos como peligrosos, según el RETIE numeral 17.8 de la resolución 181294 del 6 de agosto de 2008¹⁷, se encuentran especificados en la NTC 2805.



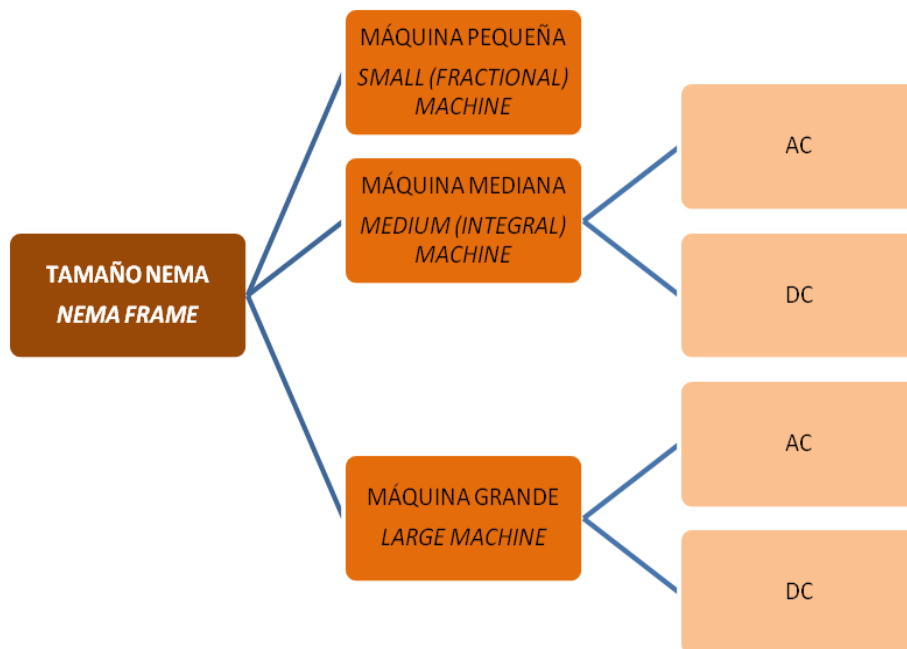
* Compilado por los autores a partir de¹⁶.
Fuente: los autores.

¹⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 89.

4.3.8 Tamaños normalizados de motores eléctricos. NEMA clasifica y estandariza los motores de acuerdo al tamaño ¹⁸, osea a las dimensiones físicas de los motores (*frame*), de esta manera el ingeniero podrá distribuir adecuadamente el espacio con el que cuenta para construir tan solo conociendo el código de tamaño del motor a usar. En la figura 36 se muestra la clasificación general de NEMA según el tamaño del motor eléctrico.

NEMA clasifica los motores con un número natural y le adiciona una T o una U luego del número (por ejemplo: 143T), la T significa que el motor cumple con el estándar de la normatividad vigente NEMA, la U significa que cumple con el estándar NEMA que se dio entre los años 1952 a 1964.

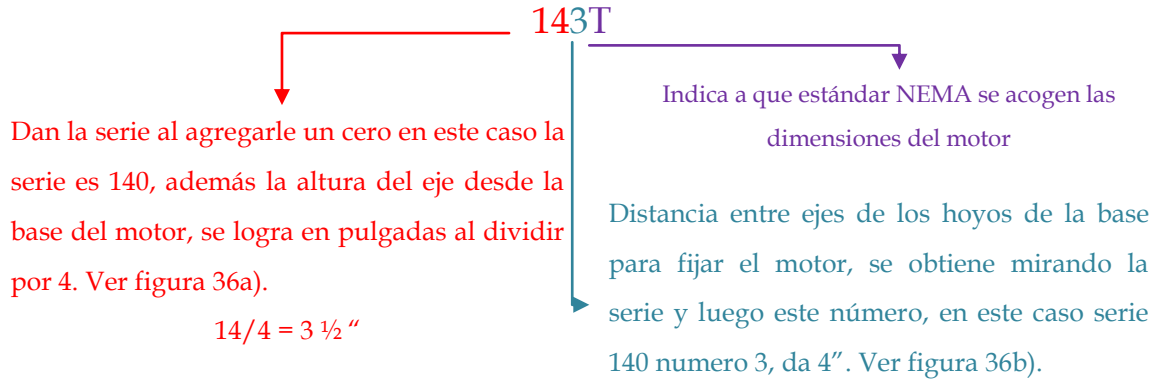
Figura 36. Clasificación NEMA según tamaño del motor eléctrico



Fuente: Los autores.

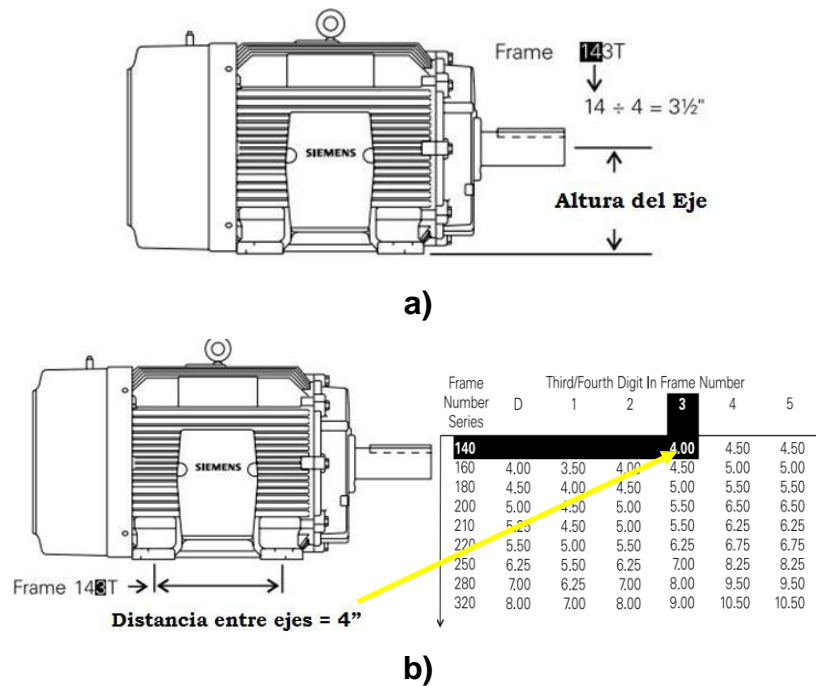
¹⁸ NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA Standards publication MG 1-2006: Motors and Generators. Rosslyn: NEMA 2006. p. 3.

La codificación NEMA se descifra a continuación para el motor *NEMA 143T*:



La anterior explicación se puede comprender de manera más sencilla con las características mostradas en la figura 37, determinadas del código NEMA.

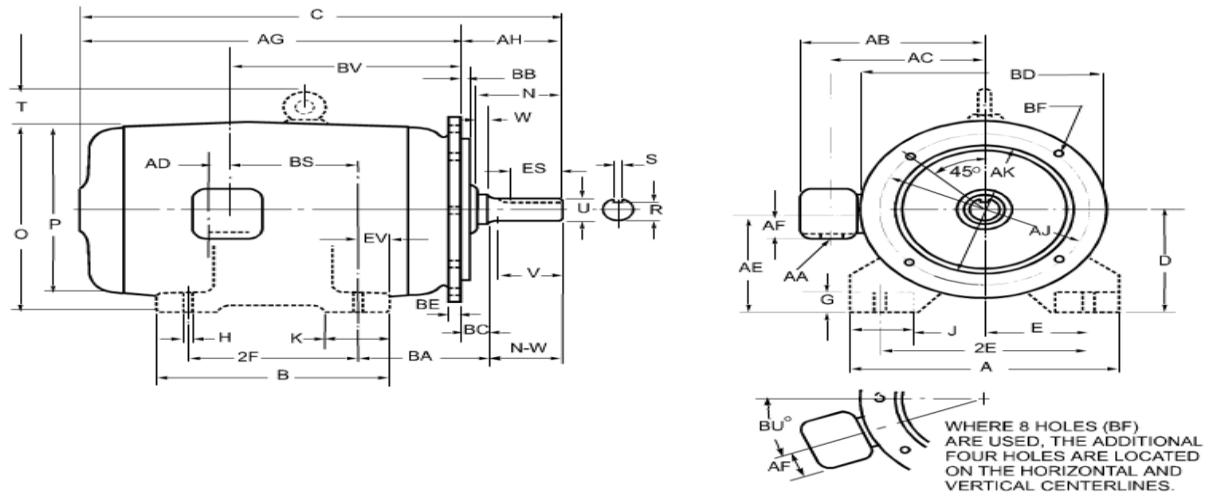
Figura 37. Explicación de la codificación NEMA para tamaños de motores eléctricos



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/acmotors/index.htm>.

Además NEMA ofrece otras dimensiones según el *frame* del motor (ej.: 143T) y permite conocer de manera precisa la mayoría de dimensiones físicas del motor eléctrico. Un ejemplo de estas medidas se presenta en la figura 38.

Figura 38. Otras dimensiones ofrecidas según el código NEMA de tamaño



Fuente: NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA Standards publication MG 1-2006: Motors and Generators. Rosslyn: NEMA 2006. p. 114.

4.3.9 Problemas teóricos acerca de motores eléctricos

4.3.9.1 Cálculo de potencia de un motor eléctrico. En un laboratorio se encontró un motor eléctrico que no posee placa de identificación, del que se sabe es de tres fases y funciona con AC. Para incentivar la curiosidad de los estudiantes se unió el motor a una bomba centrífuga y se le realizaron pruebas al motor mediante un mecanismo brazo de palanca unido a la carcasa (que se montó sobre rodamientos) para mediante una celda de carga medir la reacción del motor cuando se ponía en funcionamiento, obteniéndose mediante la longitud del brazo y la fuerza detectada por la celda de carga un valor de torque T , además mediante un tacómetro se midió directamente en el eje la velocidad de giro del mismo, midiéndose un valor de velocidad de giro W . Adicionalmente en el momento que

se encontraba funcionando en régimen estable se midieron la corriente I y el voltaje V que alimentaban al motor.

El profesor entonces realizó una pregunta a los estudiantes: ¿Es posible determinar la potencia de placa para la que está hecho este motor con las pruebas realizadas?

Solución

Con los valores de torque y velocidad de giro se determina la potencia que el motor entrega a la bomba centrífuga. Con los valores de corriente y voltaje se conoce la potencia que consume el motor de la red AC, con la carga de la bomba y las pérdidas del motor eléctrico. La diferencia entre estos dos valores permite conocer la potencia que se pierde a través del motor eléctrico, osea la eficiencia global del mismo en el punto de funcionamiento en el que se encuentre.

La potencia de placa de un motor eléctrico es aquella que el motor puede suministrar a la carga sin que se eleve la corriente lo suficiente para que este se sobrecaliente, además de que este sobrecalentamiento puede ocurrir cuando se mantiene funcionando a la potencia de placa durante cierto tiempo especificado en placa.

La respuesta correcta que deben dar los estudiantes es que *no es posible* con solo esos datos, debido a que mediante pruebas lo que debería medirse es la temperatura del devanado, aumentando la carga al eje, para obligarlo a que consuma más corriente hasta que este llegue a un valor de corriente conocido como *full load current* o corriente nominal que le proporcionará la máxima corriente de carga con la que puede funcionar durante cierto tiempo sin sobrecalentarse. Aunque aún así debería determinarse también el factor de potencia que es la capacidad del motor de funcionar en sobrecarga durante cierto tiempo sin

sobrecalentarse, o sea consumiendo corrientes mayores a la nominal durante cierto tiempo.

4.3.9.2 Cálculo de la velocidad del motor eléctrico. Para cierta aplicación se preseleccionó el motor NEMA B con recinto TEFC (*Totally Enclosed Fan-Cooling*), de la empresa Siemens catalogado como GP10A ¹⁹, este motor se instalará en Colombia, ¿cuáles son las velocidades de sincronismo del mismo en las series de polos que posee dicha referencia de motor?. Las especificaciones se presentan en la figura 39.

Figura 39. Especificaciones de motor NEMA B

GP10A	
	
Enclosure	General Purpose - TEFC
Efficiency	High (EPAct)
HP Range	1-20
Number of Poles	2/4/6/8
Frame Size	140-250
Power	3-Phase
Frequency	60 Hertz
Standard Voltage	208-230/460 & 575
Service Factor	1.15
Electrical Design	NEMA B
Insulation Class	F with B Rise @ 1.0SF
Frame Material	Die Cast Aluminum
↓ PDF Catalog Page	↓ PDF Product Page

Fuente: SIEMENS. NEMA AC Motors: General purpose, GP10A. [online]. [cited 26 february 2010]. Available from internet: <http://www.sea.siemens.com/us/Products/Electric-Motors/NEMA-AC-Motors/Pages/General-Purpose.aspx>.

¹⁹ Fuente: SIEMENS. NEMA AC Motors: General purpose, GP10A. [online]. [cited 26 february 2010]. Available from internet: <http://www.sea.siemens.com/us/Products/Electric-Motors/NEMA-AC-Motors/Pages/General-Purpose.aspx>.

Solución

La ecuación matemática que determina el valor de la velocidad de sincronismo es:

$$n = 60 \frac{f}{p} \quad (4.7)$$

Donde: f es la frecuencia (HZ) de alimentación de AC y p es el número de pares de polos del motor.

Para el caso, al estar en Colombia la frecuencia de alimentación es de 60 HZ, el motor es NEMA B, que es un motor jaula de ardilla de propósito general y que posee 2/4/6 y 8 polos, según especificaciones del fabricante, por lo que posee 1/2/3 y 4 pares de polos p . Las velocidades calculadas de sincronismo se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. Velocidades de sincronismo de motor GPA10

No. Pares de polos p	Velocidad de sincronismo n (RPM)
1	3600
2	1800
3	1200
4	900

Fuente: Los autores.

5 MÉTODOS DE ARRANQUE DE MOTORES ELÉCTRICOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En la práctica y debido a las restricciones impuestas por la normatividad eléctrica a los valores picos de corriente posibles en las líneas, es necesario que los motores eléctricos sean arrancados de manera que los valores picos de corriente durante el arranque sean lo suficientemente bajos para evitar las altas caídas de tensión en la red. Esto se logra con la aplicación de los métodos expuestos en esta guía.

5.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA

- Presentar normas colombianas acerca del uso de arrancadores.
- Listar los métodos más comunes de arranque de motores eléctricos.
- Explicar cómo operan algunos arrancadores de uso común.
- Mostrar en diagramas las curvas para diferentes tipos de arrancadores.
- Describir el arrancador estrella-triángulo y explicar la forma como trabaja.
- Listar las ventajas y desventajas del arrancador estrella-triángulo.
- Identificar el tipo menos costoso de arrancador para condiciones específicas.
- Esquematizar diferentes circuitos eléctricos de tipos de arrancadores de uso común para motores eléctricos.
- Seleccionar un arrancador para características dadas.
- Calcular mediante ejercicios teóricos los valores de picos de corriente del arrancador estrella-triángulo y del arranque directo.

5.3 DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS

5.3.1 Normas colombianas acerca del uso de arrancadores. La norma NTC 2805 regula el uso de arrancadores para motores.

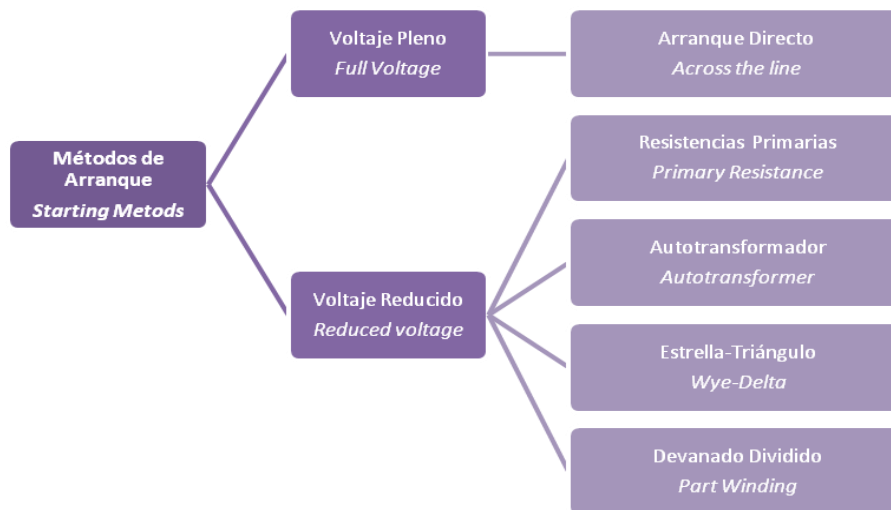
5.3.2 Métodos de arranque de motores eléctricos. Los métodos de arranque son:

- **Arranque a voltaje pleno** (*full voltage starting*): consiste en arrancar el motor aplicando toda la tensión de la línea a los bornes del motor durante el periodo de arranque. Se presenta entonces disponibilidad del 100% del torque de bloqueo del motor (*locked rotor torque* ver figura 33 atrás) y se pueden generar picos de corriente muy altos, produciendo caídas de tensión en la red de alimentación del motor, además de que pueden presentarse sacudidas violentas en la máquina conducida por el motor eléctrico, debido a la aplicación del 100% del torque de bloqueo del rotor. En motores eléctricos >5 KW, el pico de corriente producido está regulado por la norma NTC 2805 y es necesario usar arrancadores suaves, no pudiéndose aplicar este método de arranque para motores de 5 KW o superiores.
- **Arranque a voltaje reducido** (*reduced voltage starting*): consiste en alimentar los bornes del motor a tensión reducida, osea inferior a la nominal de la línea de alimentación, durante el periodo de arranque. Es importante en este método de arranque corroborar que el par de arranque sea capaz de acelerar el motor eléctrico hasta su velocidad nominal de operación con carga. Se presentan picos de corriente inferiores a los que se presentan durante el arranque a voltaje pleno, dependiendo de la disminución el voltaje de alimentación durante el arranque, además de que la máquina

conducida sufre menos sacudidas debido a la aplicación gradual del torque durante la aceleración del motor en el arranque.

En general los métodos de arranque de uso común en la industria se clasifican de la manera indicada en la figura 40.

Figura 40. Clasificación de los métodos de arranque de motores eléctricos



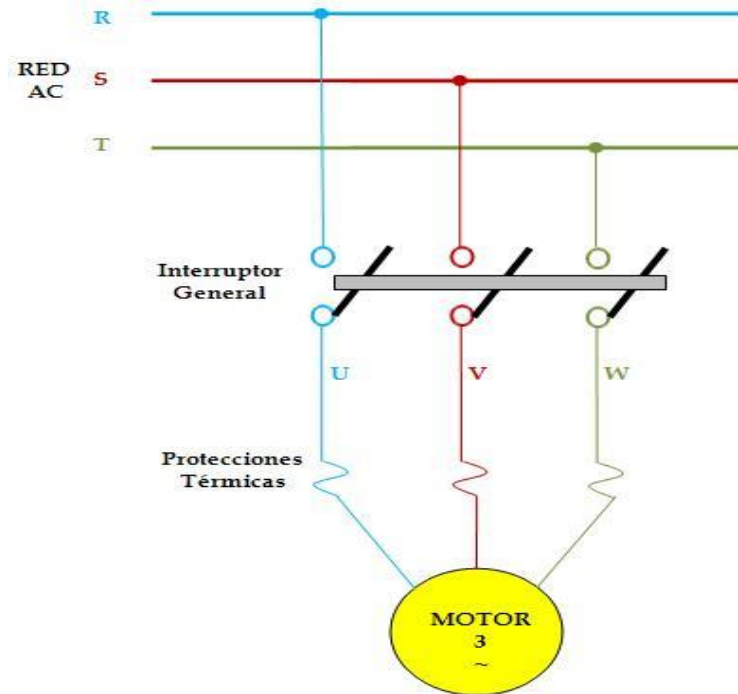
Fuente: Los autores.

5.3.2.1 Arranque directo (*across the line*). Es un método de arranque en el que se usa el voltaje total de la línea, se hace simplemente conectando los conductores del motor a los conductores de la línea principal mediante un interruptor. En la figura 41 se observa el circuito simplificado de un arrancador de este tipo para un motor trifásico de inducción.

Como se ve en dicha figura, la conexión se hace de manera directa a las líneas AC de la red de distribución, teniendo todo el voltaje de la misma aplicada entre los bornes del motor y contando con el 100% del torque de arranque del motor (*locked rotor torque*). Durante este arranque la corriente es de aproximadamente el 600% del valor de corriente nominal (*full load*) y la duración de la aceleración del

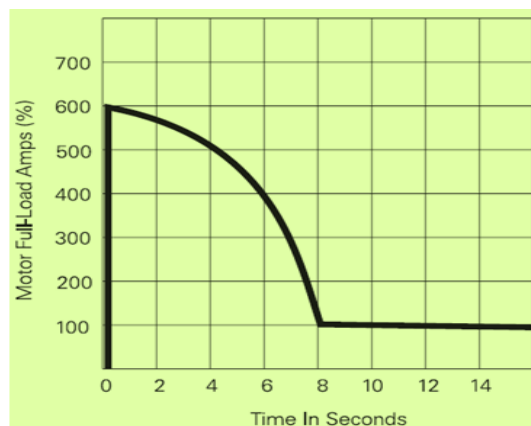
motor es de aproximadamente 8 segundos, como se aprecia en la figura 42 para un motor NEMA B.

Figura 41. Esquema simplificado de arranque directo motor trifásico



Fuente: FRAILE Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2003. p. 317.

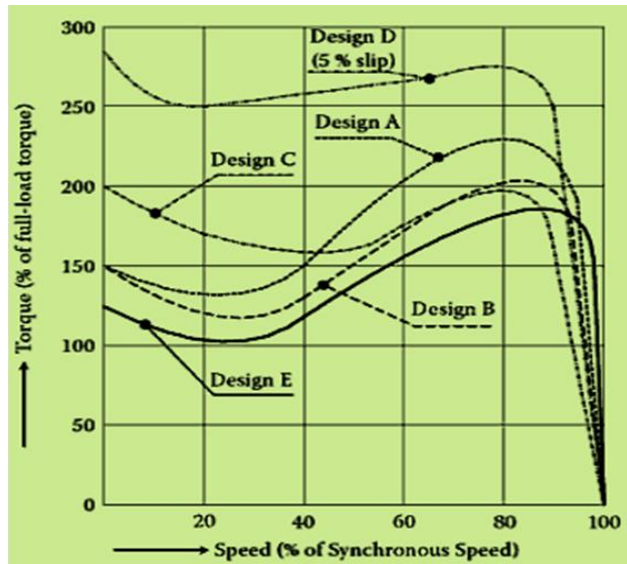
Figura 42. Curva de corriente de arranque contra tiempo de motor NEMA B



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses: Basic of Control Componets. [online]. [cited 26, february, 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/components/index.htm>.

Las curvas características de torque-velocidad para diferentes motores NEMA jaula de ardilla presentan la forma que se aprecia en la figura 43, dichas curvas son para el método de arranque directo (*across the line*).

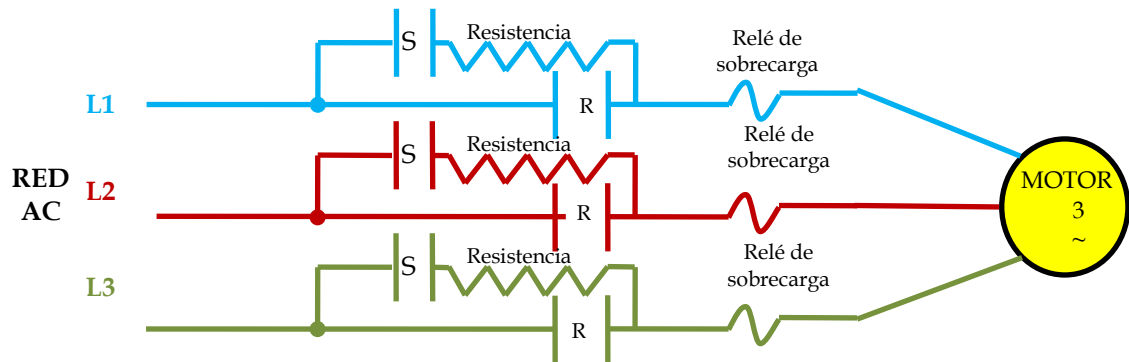
Figura 43. Curvas características torque-velocidad para motores NEMA A, B, C, D y E



Fuente: KHAN, Shoaib. Industrial Power Systems. United States of America: CRC Press, 2008. p. 201.

5.3.2.2 Arranque por resistencias primarias (*primary resistance*). Es un arranque a *tensión reducida*, donde una resistencia es conectada en serie en cada línea del motor (en el caso monofásico, solo en una línea), con el fin de producir una caída de voltaje debido a la corriente de arranque del motor y disminuir el voltaje que puede usar el motor en su arranque. Un relé de tiempo es usado para que cambie de voltaje reducido a voltaje pleno luego de que el motor se ha acelerado. Un esquema de este arrancador se muestra en la figura 44, para arrancar deben estar cerrados todos los contactores S (*start*) y abiertos todos los contactores R (*run*), para funcionamiento después del arranque deben estar cerrados todos los contactores R (*run*) y abiertos todos los contactores S (*start*).

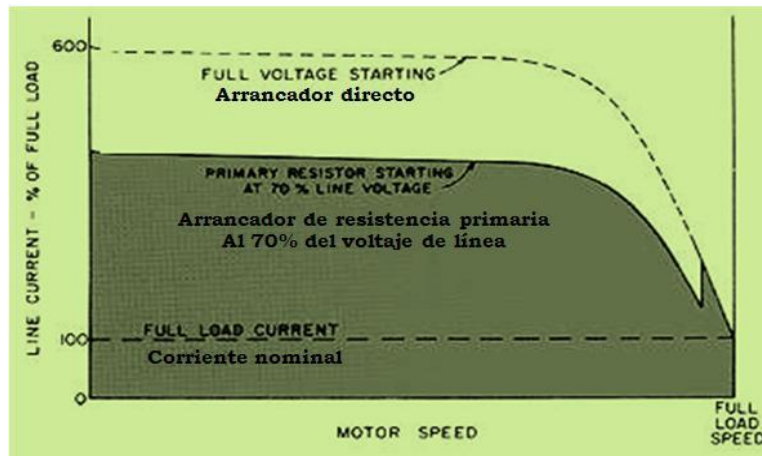
Figura 44. Esquema de arrancador con resistencias primarias de motor trifásico



Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 209.

La curva de corriente (*line current*) - velocidad (*motor speed*) para el motor usando resistencias primarias (*primary resistor starting*) comparativamente con la de arranque directo (*full voltage starting*) para un motor eléctrico, se muestra en la figura 45. Donde se aprecia que el valor de la corriente de arranque disminuye significativamente al usar resistencias primarias.

Figura 45. Curva característica durante arranque con arrancador por resistencias primarias

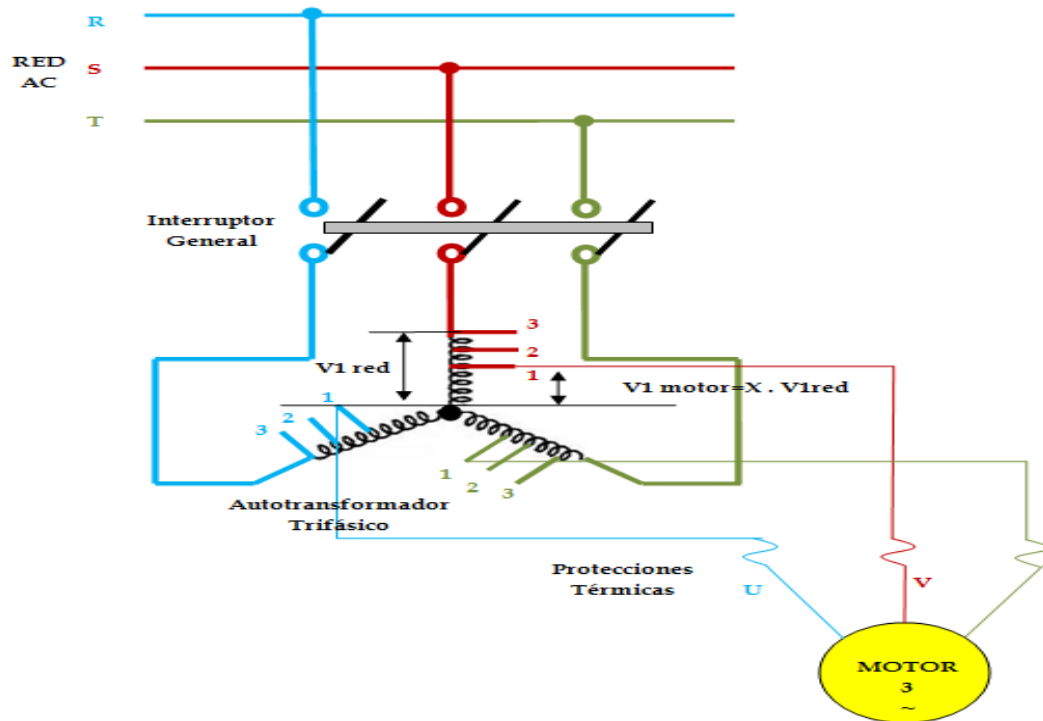


Fuente: GOSS POWER PRODUCTS. Frequently Asked Questions: FAQs. [online]. [cited 27, february, 2010]. Available from internet: <http://www.p3power.ca/faqs.html>.

5.3.2.3 Arranque con autotransformador (*autotransformer*). Consiste en alimentar el motor a tensión reducida durante el arranque, siendo este valor de

tensión creciente hasta lograr el valor de tensión nominal de la línea de alimentación. El crecimiento de la tensión de alimentación se logra mediante puntos de funcionamiento del autotransformador, pueden ser 2 a 3 puntos de funcionamiento. Consecuencia de la reducción de la tensión de alimentación del motor, es la reducción de corriente y el par durante el periodo de arranque del motor eléctrico. Un esquema de este tipo de arrancador se muestra en la figura 46, puede apreciarse que el autotransformador tiene 3 posiciones que varían la reducción del voltaje de la red ($V1_{red}$) durante el arranque dejando una porción disminuida de voltaje ($V1_{motor} = X \cdot V_{red}$) al arranque durante el arranque.

Figura 46. Esquema de arrancador con autotransformador de motor trifásico

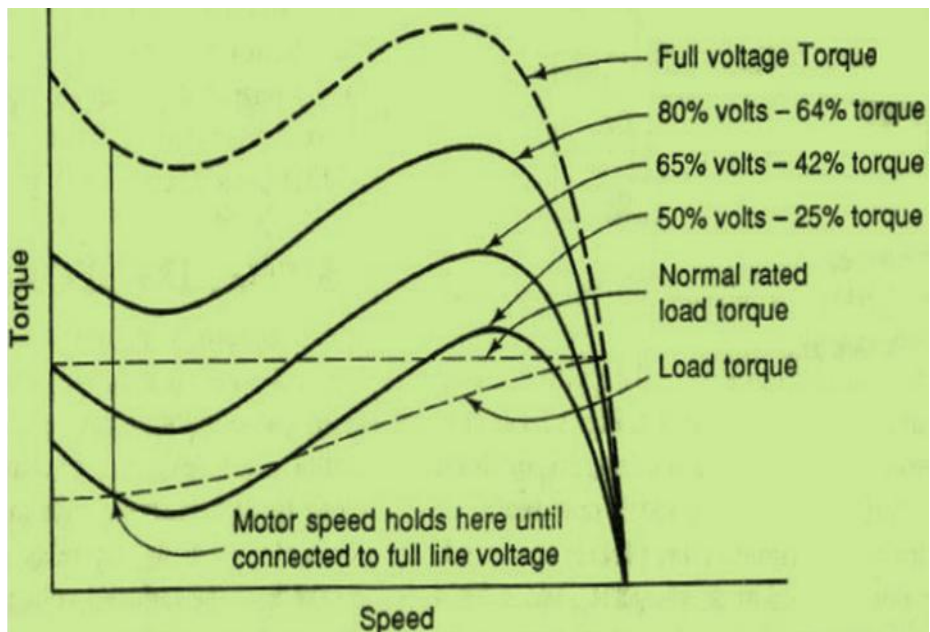


Fuente: FRAILE Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2003. p. 318.

La curva de arranque del motor eléctrico aplicando autotransformador se muestra en la figura 47, en esta se ve que el torque durante el arranque con autotransformador disminuye comparado con el arranque directo (*full voltage*), debido a la disminución del voltaje (que se logra mediante el autotransformador).

Esta reducción en el voltaje aplicado al motor eléctrico durante el arranque produce una disminución de la corriente de arranque, pero también provoca disminución del torque disponible para el arranque.

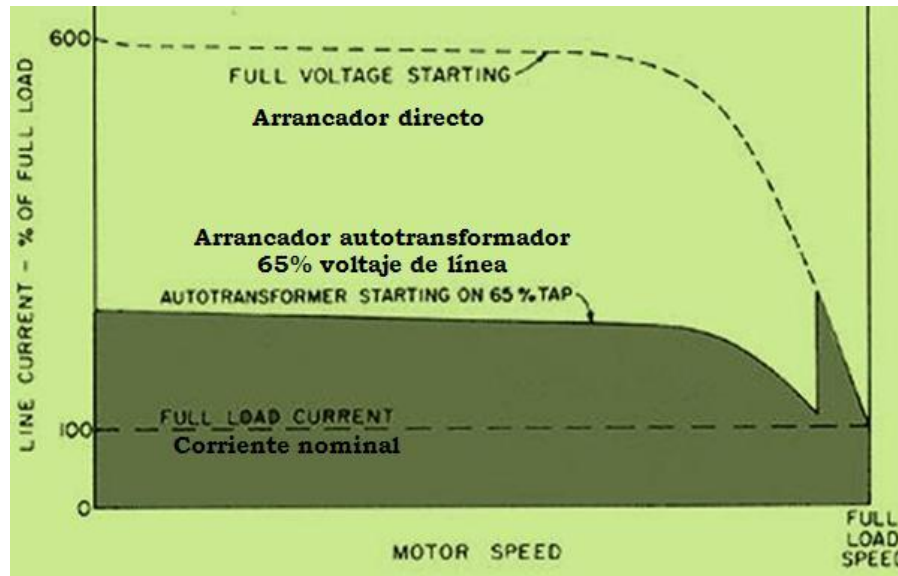
Figura 47. Curva de arranque de motor eléctrico usando autotransformador



Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 210.

La disminución de corriente durante el arranque aplicando autotransformador se puede ver en la figura 48, donde se presenta la comparación con el arranque directo (*full voltage starting*) y el arranque con autotransformador (*autotransformer starting*) cuando este disminuye al 65% el voltaje de la línea, y se ve claramente que la corriente de arranque es mucho menor que la del método de arranque directo.

Figura 48. Curva de arranque de motor eléctrico usando autotransformador al 65% del voltaje

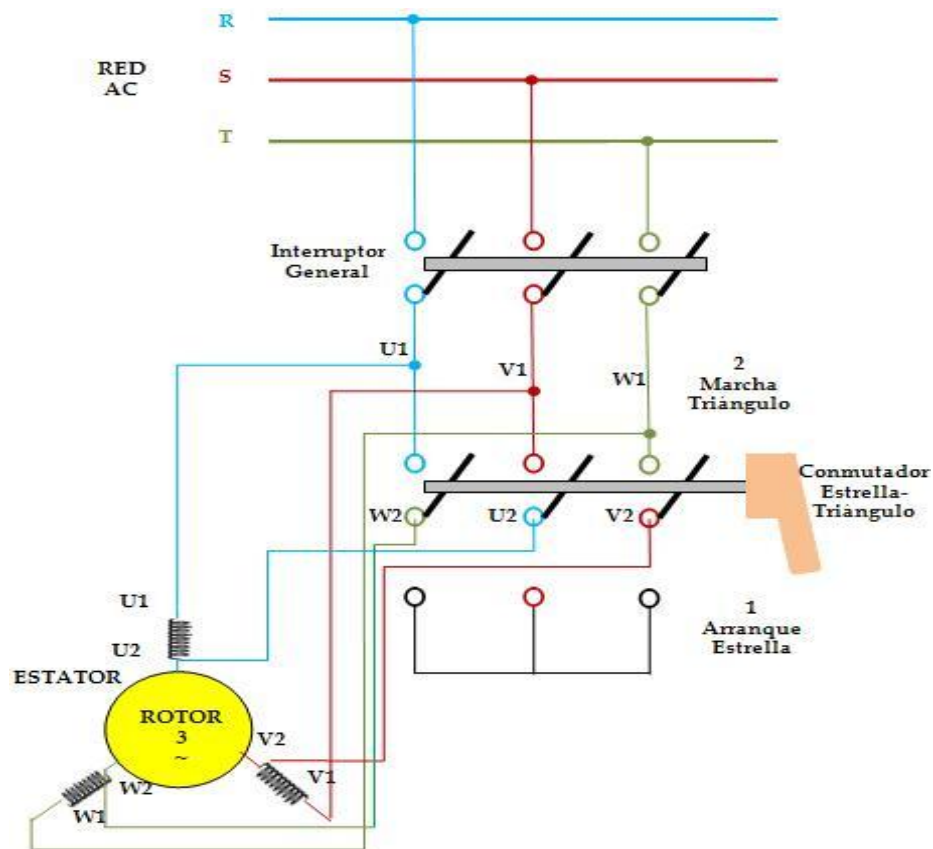


Fuente: GOSS POWER PRODUCTS. Frequently Asked Questions: FAQs. [online]. [cited 28, february, 2010]. Available from internet: <http://www.p3power.ca/faqs.html>.

5.3.2.4 Arranque con estrella-triángulo (*wye-delta*). Este método solo puede usarse en motores que estén preparados para funcionar en estrella con la red de AC. El motor se conecta durante el arranque en estrella y luego de que se ha acelerado se pasa a triángulo. Generalmente se usan relés de tiempo para hacer la conmutación de estrella a triángulo, preestableciendo en este relé un tiempo de conmutación adecuado a la aceleración del motor eléctrico. Este sistema de uso común posee el inconveniente de que debido a su conexión en estrella durante el arranque, el torque del motor es de tan solo $1/3$ del valor del torque de bloqueo del rotor (*locked rotor torque*), es por este motivo que se debe usar con cautela en el sentido de que se debe comprobar si la máquina conducida puede arrancar con este valor de torque. Se muestra un esquema en la figura 49, donde al cerrar el interruptor general se conecta el motor a la red de AC, recibiendo la alimentación por U1, V1 y W1. Cuando se posiciona el conmutador en 1 se arranca en estrella y el conmutador puentea U2, V2 y W2. Al conmutar nuevamente se puentea U1 con W2, V1 con U2, W1 con V2 quedando el motor en triángulo. Esta nomenclatura

generalmente se usa en los bornes de los motores eléctricos, con el fin de evitar errores se debe usar el catálogo del motor para realizar la conexión adecuadamente.

Figura 49. Esquema de arrancador estrella triángulo con conmutador manual

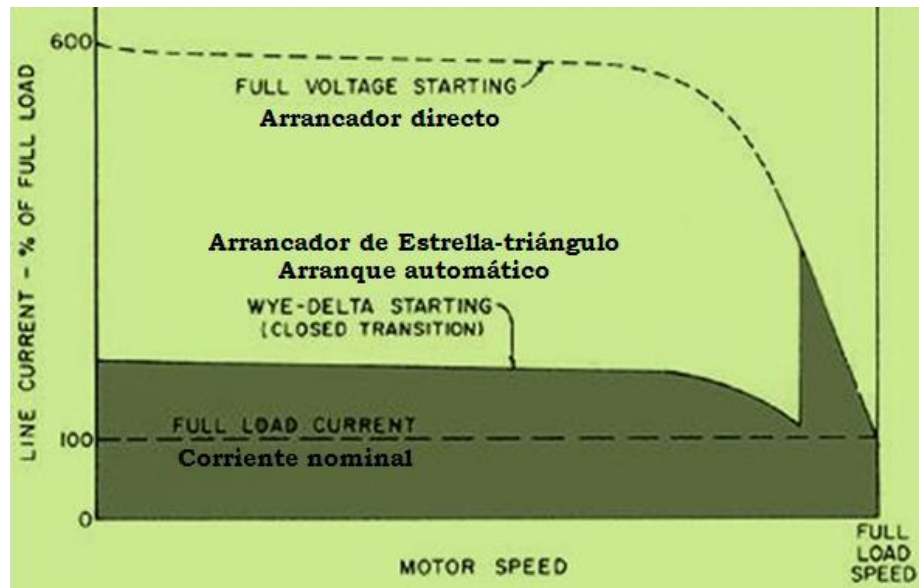


Fuente: FRAILE Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2003. p. 318.

La disminución de la corriente de arranque usando el arrancador estrella-triángulo en comparación con el arranque directo se presenta en la figura 50. Donde puede verse que la corriente de arranque disminuye en gran medida. La configuración que se muestra es cuando se realiza un arranque con transición cerrada (*closed transition*); osea un arranque en el que el motor en ningún momento queda desconectado de la red de AC, situación que si ocurre cuando se hace transición

abierta y al conmutar de estrella a triángulo el motor queda desconectado de la red de AC.

Figura 50. Curva característica durante arranque con arrancador estrella-triángulo



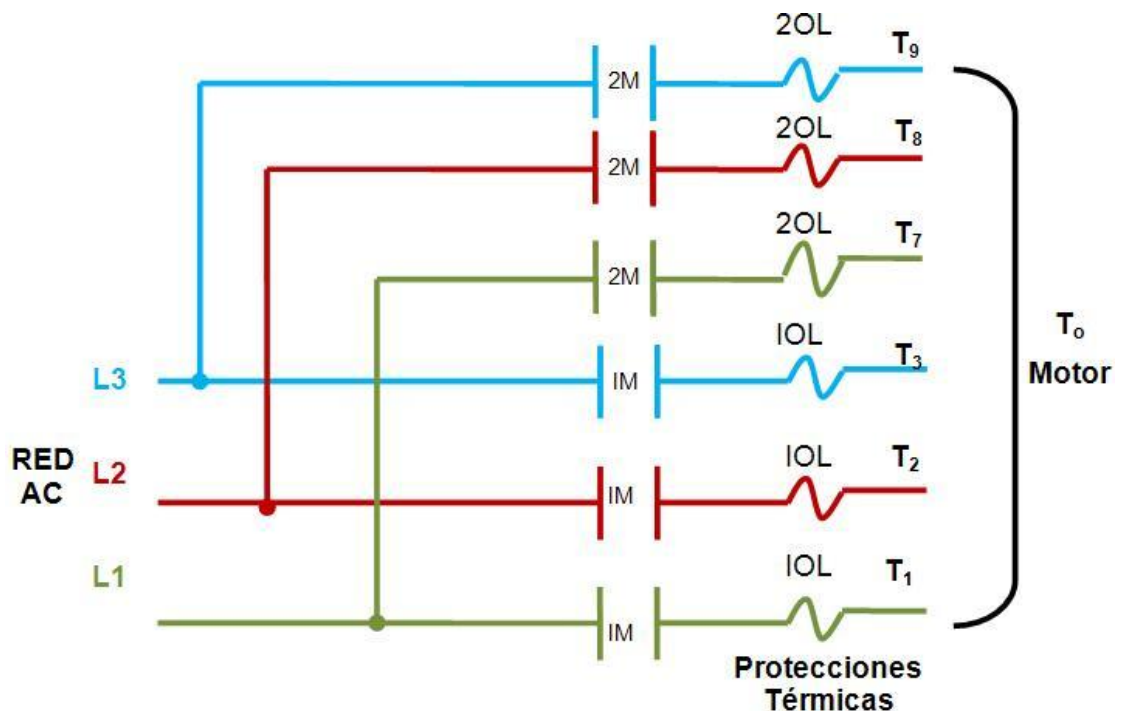
Fuente: GOSS POWER PRODUCTS. Frequently Asked Questions: FAQs. [online]. [cited 28, february, 2010]. Available from internet: <http://www.p3power.ca/faqs.html>.

5.3.2.5 Arranque con devanado dividido (*part winding*). Este arrancador se basa en un diseño especial de motor que se conoce como motor de devanado dividido (*part-winding motor*), que es un motor con un devanado dividido en dos partes iguales, que pueden ser energizados en secuencia para proveer corriente y torque de arranque reducidos. Estos devanados divididos funcionan en paralelo.

Cuando una de las partes del devanado es energizado se produce el 50% del torque del que se produciría si se energizaran las dos partes del devanado y la corriente es del 60 al 70% del valor si se energizaran ambas partes del devanado. El arrancador de devanado dividido no es un arrancador a voltaje reducido, pero se clasifica así debido a que reduce la corriente y el torque, característica esta de los arrancadores a tensión reducida.

En la figura 51 se muestra un esquema de un arrancador de devanado dividido, donde para arrancar se deben energizar los contactos 1M con el fin de energizar la mitad del devanado (T1, T2 y T3 terminales del motor) y luego que el motor ha acelerado se cierran los contactos 2M para energizar la otra mitad del devanado (T7, T8 y T9 terminales del motor).

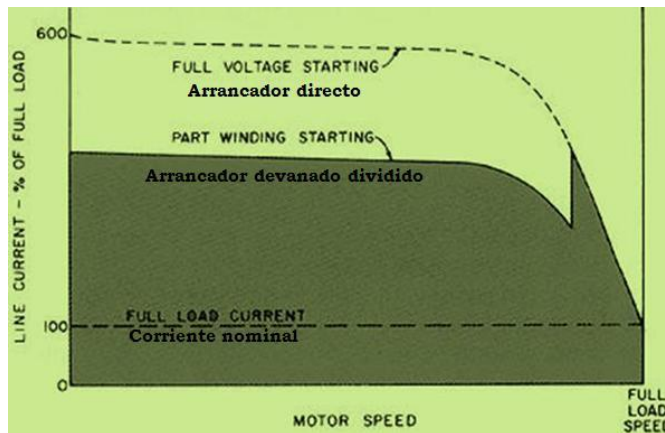
Figura 51. Esquema arrancador de devanado dividido



Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 212.

La disminución de la corriente de arranque usando el arrancador de devanado dividido (*part winding starting*) en comparación con el arranque directo (*full voltage starting*) se presenta en la figura 52. Donde puede verse que la corriente de arranque disminuye cuando se usa el arranque de devanado dividido, pero es de recordar que este arrancador exige un motor de diseño especial.

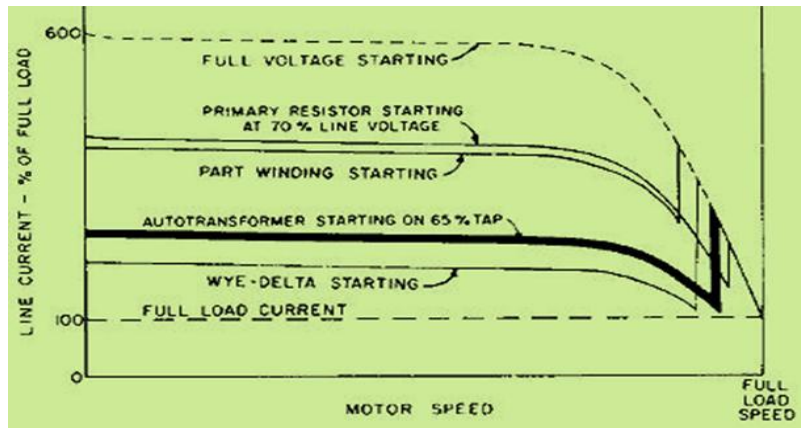
Figura 52. Curva durante arranque con arrancador devanado dividido



Fuente: GOSS POWER PRODUCTS. Frequently Asked Questions: FAQs. [online]. [cited 27, february, 2010]. Available from internet: <http://www.p3power.ca/faqs.html>.

5.3.3 Comparación de los métodos de arranque de motores eléctricos. La mejor forma de expresar esta comparación es sobreponiendo para el mismo motor, las curvas de los diferentes tipos de arranques, como en la figura 53.

Figura 53. Comparación de métodos de arranque a tensión reducida



Fuente: GOSS POWER PRODUCTS. Frequently Asked Questions: FAQs. [online]. [cited 27, february, 2010]. Available from internet: <http://www.p3power.ca/faqs.html>.

En la tabla 15 se presenta la comparación de las características de los métodos presentados en este capítulo para el arranque de motores eléctricos.

Tabla 15. Comparación de las características de los métodos de arranque de motores eléctricos

Método de Arranque	Operación	Corriente de arranque (% corriente de bloqueo del motor)		Torque de arranque (%Torque de bloqueo del motor)	Transición de abierto a cerrado	Características Básicas	
						Ventajas	Desventajas
Directo <i>across the line full voltage</i>	Conexión directa del motor a la red eléctrica.	100%		100%	Ninguno	1. Bajo costo 2. Alto torque de arranque 3. Usado en cualquier motor estándar 4. Poco mantenimiento	1. Alta corriente de arranque 2. Alto torque de arranque 3. Puede sacudir la máquina conducida
Resistencias primarias <i>Primary resistance</i>	Adicionando resistencias en serie durante el arranque.	50-80%		25-64%	Cerrado	1. Arranque suave 2. Sacudida suave a la máquina conducida 3. Usado en cualquier motor estándar	1. Alta pérdida debido al calentamiento de los resistores. 2. El calentamiento debe ser disipado. 3. Bajo torque 4. Alto costo
Autotransformador <i>Autotransformer</i>	Usando autotransformador para reducir el voltaje aplicado al motor.	Voltaje Reducido			Cerrado	1. Altas cargas. 2. Torque de arranque ajustable. 3. Cualquier motor estándar. 4. Menos tensión en el motor.	1. Puede sacudir la máquina conducida 2. Alto costo
	1-50%	25%	25%				
	2- 65%	42%	42%				
	3- 80%	64%	64%				

Estrella-triángulo <i>Wye-delta</i>	Iniciando el motor en conexión estrella y conmutando a conexión triángulo.	33%	33%	Abierto a Cerrado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Costo medio. 2. Baja corriente de arranque. 3. Menos tensión en el motor. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bajo torque de arranque 2. Requiere motor que se pueda conectar en estrella.
Devanado dividido <i>Part winding</i>	Arrancando el motor con solo una parte del devanado y luego adicionando la otra parte para el funcionamiento.	70-80%	50-60%	Cerrado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bajo costo. 2. Método de uso común para aplicaciones de nivel de torque medio. 3. Bajo mantenimiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No es bueno para arranques frecuentes. 2. Requiere motor de devanado dividido. 3. No puede cumplir la velocidad cuando arranca con carga.

* Traducido por los autores desde su fuente original.

Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 208.

5.3.4 Ejercicio teórico sobre arrancadores. Se tiene un motor NEMA B, con 1 HP de potencia de placa, y código *locked rotor code* K, que se conectará a una red de alimentación en la que se tienen 3 posibilidades: 110 Volts, 220 Volts y 440 Volts. El método de arranque que se usará es directo. ¿Cuál es la corriente de arranque en los casos?, Además se quiere determinar ¿Cuál será la corriente de arranque si se arranca el motor usando estrella-triángulo?

Solución

La corriente de arranque por el método de arranque directo se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$corriente\ de\ arranque = \frac{1000 \times HP \times KVA/HP}{1.73 \times Volts} \quad (5.1)$$

Donde el valor *KVA/HP* se obtienen de la figura 54, donde se puede apreciar que para el motor NEMA B, con código *locked rotor code*, el valor está entre 8.00-9.00, para usar el caso crítico en el arranque se toma 9.00. Para el caso de arranque con estrella-triángulo en la tabla 15 (atrás) se ve que la corriente de arranque se disminuye al 33% del valor calculado para el arranque directo. Al utilizar la expresión anterior y aplicar el criterio de la tabla 15 para el arranque estrella triángulo se obtienen los resultados mostrados en la tabla 16.

Es de tener en cuenta que para conocer el valor real del arranque directo es necesario consultar esta información del catálogo del fabricante del motor, debido a que estos continuamente mejoran la eficiencia de los motores eléctricos y existe la posibilidad de que las corrientes de arranque disminuyan.

Figura 54. Valores de KVA/HP

Cod*.	KVA/HP	Cod*.	KVA/HP	Cod*.	KVA/HP	Cod*.	KVA/HP
A	0-3.15	F	5.00-5.60	L	9.00-10.0	S	16.0-18.0
B	3.15-3.55	G	5.60-6.30	M	10.0-11.2	T	18.0-22.0
C	3.55-4.00	H	6.30-7.10	N	11.2-12.5	U	20.0-22.4
D	4.00-4.50	J	7.10-8.00	P	12.5-14.0	V	22.4- más
E	4.50-5.00	K	8.00-9.00	R	14.0-16.0		

* Designación NEMA.

Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 151.

Tabla 16. Valores de corriente de arranque estimados para motor NEMA B

Método de arranque	Voltaje de arranque Volts (V)	Corriente pico de arranque Amperes (A)
Directo	110	47,29
Directo	220	23,65
Directo	440	11,82
Estrella-triángulo	110	15,76
Estrella-triángulo	220	7,89
Estrella-triángulo	440	3,94

Fuente: Los autores.

6 CONTROLADORES DE VELOCIDAD DE MOTORES ELÉCTRICOS

6.1 INTRODUCCIÓN

En algunas aplicaciones es necesario variar la velocidad de giro del motor eléctrico con el fin de satisfacer los requerimientos de alguna máquina conducida. Por ejemplo: cuando se quiere variar el caudal de las bombas de desplazamiento positivo, cuyo valor es el resultado de multiplicar las revoluciones del motor por el desplazamiento de la misma (in^3/rev), en algunos casos no es posible variar el desplazamiento de la bomba debido a que este es fijo gracias a su construcción, entonces la única forma de variar el caudal es mediante la variación de la velocidad de giro del motor eléctrico que la conduce. A continuación se dan a conocer los métodos comunes para variar la velocidad de motores eléctricos y otras consideraciones al respecto.

6.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA

- Describir cómo se controla la velocidad de un motor eléctrico.
- Explicar cómo determinar la velocidad de un motor síncrono.
- Explicar cómo determinar la velocidad de un motor asíncrono.
- Explicar la diferencia entre un motor síncrono y un motor de inducción.
- Enumerar los tipos de control de velocidad más comunes para motores eléctricos asíncronos.
- Explicar el funcionamiento de un potenciómetro.
- Describir cómo cambiar la frecuencia se usa para cambiar la velocidad de giro del motor.

6.3 DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS

6.3.1 Determinación de la velocidad de motor síncrono. La determinación de la velocidad de un motor síncrono se hace mediante la expresión ²⁰:

$$n = 60 \cdot \frac{f}{p} \quad (6.1)$$

Donde: n (RPM) es la velocidad de rotación del rotor del motor eléctrico, f es la frecuencia de alimentación de la red de AC y, p es el número de pares de polos del motor. Esta velocidad es conocida como *velocidad de sincronismo*.

6.3.2 Determinación de la velocidad del motor asíncrono. *El deslizamiento (s)* del motor: es la fracción de diferencia entre el valor de la velocidad de sincronismo (n) y el valor de giro real (n_1) del motor de inducción.

$$s = \frac{n - n_1}{n} \quad (6.2)$$

La determinación de la velocidad de un motor asíncrono puede hacerse mediante la expresión del deslizamiento del motor, si se supone un valor de deslizamiento (s) entre el 0,3 y el 0,8 a plena carga ²¹.

Otra manera es hacer uso de la curva representativa de velocidad-torque para el tipo de motor NEMA que se prevea usar. En esta contiene el valor de la velocidad de funcionamiento bajo carga, ya descontando el efecto que provoca el deslizamiento. En la figura dentro del recuadro es posible ubicar este valor de

²⁰ FRAILE Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2003. p. 380.

²¹ FRAILE Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2003. p. 267.

velocidad en porcentaje respecto del 100% de la velocidad de sincronismo que es fácilmente calculable.

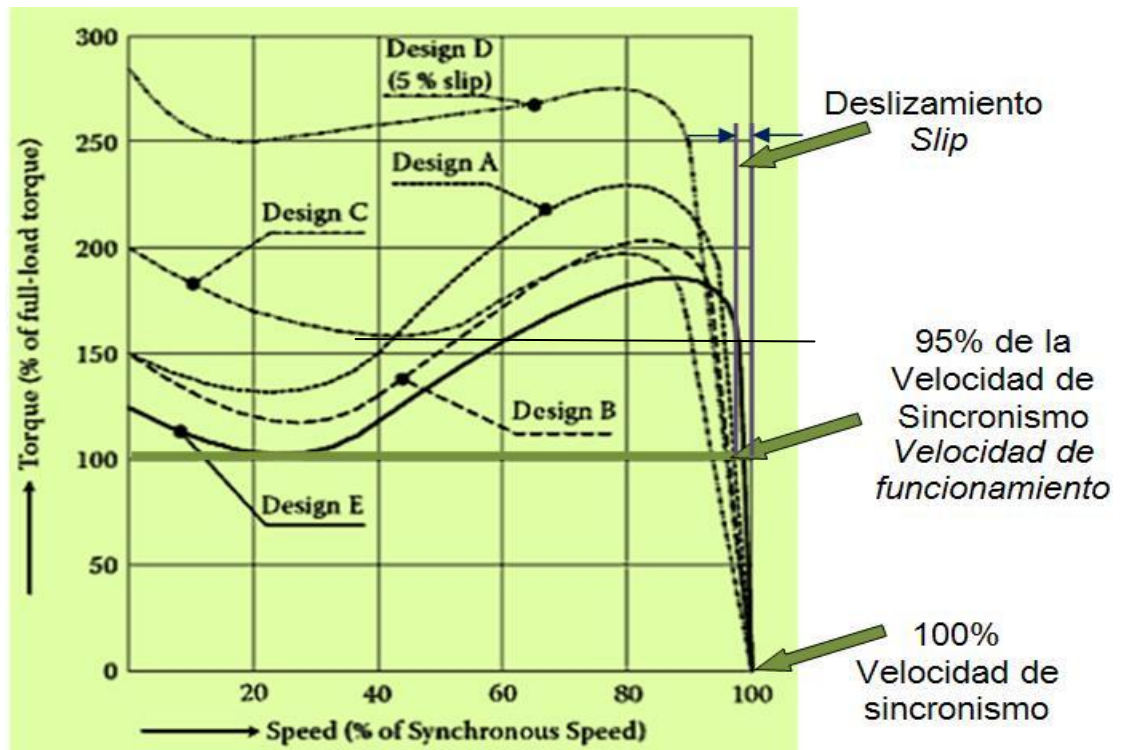
La manera práctica para conocer el valor de la velocidad de giro de un motor eléctrico asíncrono es mediante la medición directa en condiciones de carga de la velocidad del eje del rotor. Midiendo con tacómetros mecánicos, tacómetros inductivos, máquinas estroboscópicas, encoders acoplados al eje del motor o sensores ópticos.

6.3.3 Diferencia respecto de la velocidad de operación entre motor síncrono y motor asíncrono. El motor síncrono presenta una velocidad impuesta por la frecuencia de la red AC conocida como la *velocidad del sincronismo*, mientras que el motor de inducción aunque parte de esta misma velocidad, posee un término que se le resta a esta velocidad, y que determina el deslizamiento del motor, que depende directamente de la carga que se aplique sobre el rotor, dando como resultado una velocidad menor de operación que la velocidad correspondiente de sincronismo. Debido a que los motores de inducción no marchan a la velocidad impuesta por la frecuencia de la red AC se conocen como motores *asíncronos*.

En la figura 55 puede verse que se presenta deslizamiento (*slip*), la velocidad nominal de operación de los motores (*squirrel cage* NEMA), que se muestra es menor al 100% de la máxima posible (que es la velocidad de sincronismo) para una frecuencia fija de la red AC, y pares de polos fijos del motor.

6.3.4 Formas de control de velocidad a motores asíncronos. Las formas en las que se puede hacer variación de velocidad a este tipo de motores se muestra en la figura 56 y sus características se explican en la tabla 17.

Figura 55. Curvas características torque-velocidad para motores NEMA A, B, C, D y E



Fuente: KHAN, Shoaib. Industrial Power Systems. United States of America: CRC Press, 2008. p. 201.

Figura 56. Formas para variar la velocidad de motores asíncronos o de inducción



Fuente: Los autores.

Tabla 17. Características de los métodos de variación de velocidad de motores asíncronos

Método de Variación de Velocidad
Variación del Número de polos
Se varía el número de polos del estator, esto varía la velocidad del campo giratorio y por ende la velocidad de la máquina. Es necesario que el rotor sea <i>jaula de ardilla</i> , debido a que este adapta automáticamente por <i>inducción</i> el número de polos al existente en el estator.
Variación del deslizamiento
Se hace mediante el control del voltaje de alimentación al rotor, al disminuirlo, también disminuye la velocidad del mismo, pero causa también una disminución del torque del motor.
Variación de la frecuencia
Se hace mediante la variación de la frecuencia de alimentación del motor, mediante el uso de un aparato variador de la frecuencia entre la red AC y los bornes del motor eléctrico.

Fuente: Los autores.

6.3.5 Potenciómetro. Un potenciómetro es un resistor al que se le puede variar el valor de la resistencia, posibilitando al conectarlo en serie el control de la corriente que circula por la línea y al conectarlo en paralelo, el voltaje de entrega a una máquina eléctrica.

La variación de velocidad a motores de inducción puede hacerse actuando sobre el deslizamiento mediante la variación del voltaje de llegada al motor. Disminuyendo el valor del voltaje, también disminuye el torque y este a su vez actúa sobre el deslizamiento del motor, que reduce la velocidad de giro del motor de inducción debido a la disminución del propio deslizamiento del motor eléctrico. Entonces el potenciómetro aumenta el deslizamiento y disminuye la velocidad de rotación mediante la disminución del voltaje de llegada al motor. Debido a que la resistencia del potenciómetro es variable, también lo es la variación del voltaje y por ende la variación de velocidad al motor de asíncrono.

6.3.6 Variación de velocidad mediante variación de la frecuencia. El valor que determina la velocidad base de un motor eléctrico ya sea síncrono o asíncrono es la velocidad de sincronismo. Cuando se tienen valores fijos de la cantidad de pares de polos (por la construcción fija del motor), y no se hace variación de velocidad por deslizamiento (disminución de torque por disminución de voltaje), la única forma de variar dicha velocidad es modificando el valor de la frecuencia de alimentación de la red de AC. Como puede verse en la expresión:

$$n = 60 \cdot \frac{f}{p} \quad (6.3)$$

Donde: n (RPM) es la *velocidad de sincronismo* del rotor del motor eléctrico, f es la frecuencia de alimentación de la red de AC y, p es el número de pares de polos del motor.

Logrando variar la frecuencia de alimentación de la red AC, es posible variar la velocidad de sincronismo del motor. Es de esta manera que al actuar sobre la frecuencia de la red, mediante un variador de frecuencia o convertidor de frecuencia (*conocido comúnmente como variador de velocidad*) se puede variar la velocidad de sincronismo, dependiendo de la capacidad del aparato variador de frecuencia.

Es de recordar que si el motor es asíncrono, el deslizamiento se presentará disminuyendo el valor de la velocidad a un valor de operación menor a la velocidad de sincronismo modificada con la variación de la f .

La variación de velocidad debe realizarse de manera segura para el motor eléctrico. En la normatividad mundial existen valores máximos seguros hasta los que un motor puede funcionar sin comprometer su integridad. En la tabla 18 se

muestran los valores máximos de velocidad para motores jaula de ardilla, según el número de estructura NEMA y el número de polos del motor, tomada de IEC 60034-1.

Tabla 18. Valores máximos de velocidad de rotación por seguridad para motores jaula de ardilla para voltajes ≤ 1000 Volts

Frame number	2 pole	4 pole	6 pole
≤ 100	5 200	3 600	2 400
112	5 200	3 600	2 400
132	4 500	2 700	2 400
160	4 500	2 700	2 400
180	4 500	2 700	2 400
200	4 500	2 300	1 800
225	3 600	2 300	1 800
250	3 600	2 300	1 800
280	3 600	2 300	1 800
315	3 600	2 300	1 800
NOTE The above values may have to be reduced to meet the requirements of IEC 60079.			

Fuente: INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60034-1 (21, april, 2004). International Standard: Rotating electrical machine, part 1: Rating and performance. 11 ed. Geneva, IEC, 2004. p. 113.

También existen valores recomendados de máxima velocidad en la NEMA, para motores operando entre 0-40 °C, dependiendo del valor de la velocidad sincrónica a 60 Hz, la potencia del motor eléctrico y el tipo de recinto del motor. Estos valores máximos se muestran en la tabla 19 y son los máximos posibles que se pueden alcanzar mediante la variación de frecuencia. No se debe elevar arriba de estos valores la velocidad de los motores transformando la frecuencia de la red, porque podría incurrirse en daños catastróficos al motor.

La variación de velocidad con transformación de frecuencia es una herramienta útil que no conlleva a actuar directamente sobre la estructura del motor, como en el

caso de la variación del número de pares de polos. Es importante recordar en el ejercicio de la práctica que la variación de velocidad debe realizarse hasta los márgenes seguros de operación mostrados en las tablas citadas en este numeral.

Tabla 19. Máxima velocidad de operación segura para motores directamente acoplados usados para variar su velocidad mediante variación de frecuencia

Horsepower	Totally Enclosed Fan-Cooled			Open Dripproof		
	Synchronous Speed at 60 Hz					
	3600	1800	1200	3600	1800	1200
	Maximum Safe Operating Speed					
1/4	7200	3600	2400	7200	3600	2400
1/3	7200	3600	2400	7200	3600	2400
1/2	7200	3600	2400	7200	3600	2400
3/4	7200	3600	2400	7200	3600	2400
1	7200	3600	2400	7200	3600	2400
1.5	7200	3600	2400	7200	3600	2400
2	7200	3600	2400	7200	3600	2400
3	7200	3600	2400	7200	3600	2400
5	7200	3600	2400	7200	3600	2400
7.5	5400	3600	2400	7200	3600	2400
10	5400	3600	2400	5400	3600	2400
15	5400	3600	2400	5400	3600	2400
20	5400	3600	2400	5400	3600	2400
25	5400	2700	2400	5400	2700	2400
30	5400	2700	2400	5400	2700	2400
40	4500	2700	2400	5400	2700	2400
50	4500	2700	2400	4500	2700	2400
60	3600	2700	2400	4500	2700	2400
75	3600	2700	2400	3600	2700	2400
100	3600	2700	1800	3600	2700	1800
125	3600	2700	1800	3600	2700	1800
150	3600	2700	1800	3600	2700	1800
200	3600	2250	1800	3600	2700	1800
250	3600	2250	1800	3600	2300	1800
300	3600	2250	1800	3600	2300	1800
350	3600	1800	1800	3600	2300	1800
400	3600	1800	-	3600	2300	-
450	3600	1800	-	3600	2300	-
500	3600	1800	-	3600	2300	-

Fuente: NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA Standards publication MG 1-2006: Motors and Generators. Rosslyn: NEMA 2006. p. 509.

7 RELÉS

7.1 INTRODUCCIÓN

El control de los circuitos siempre será una necesidad imperante dentro del manejo de circuitos de potencia, debido a que con los circuitos de control se manejan bajos valores de tensión y corriente, comparados con los valores alcanzados en los circuitos de potencia, donde estos valores pueden llegar a ser muy elevados, poniendo en peligro la vida humana. Es entonces necesario un dispositivo que funcione a baja corriente y tensión y que sea capaz de conmutar circuitos de alta potencia, este dispositivo se conoce como relé y se verá durante el transcurso de este capítulo.

7.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA

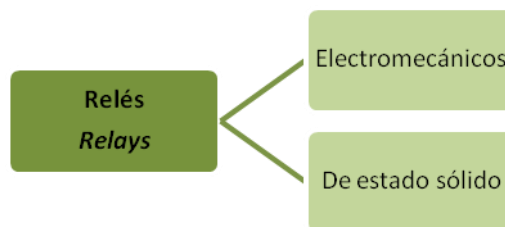
- Conocer las funciones y reconocer las características físicas de un relé.
- Identificar los usos para los relés.
- Listar las piezas esenciales de un relé.
- Conocer mediante diagramas cuáles son los tipos más comunes de relés.
- Conocer mediante cuadro comparativo las características, ventajas y desventajas de los tipos más comunes de relés.
- Explicar cómo trabaja un TRIAC.
- Explicar cómo trabaja un SCR.
- Explicar cómo trabaja un DIAC.
- Saber que es un SPST, SPDT, DPST y DPDT.
- Conocer cómo seleccionar un relé.
- Mostrar circuitos eléctricos donde se haga uso de relés.

7.3 DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS TEÓRICOS

7.3.1 Definición de relé. Un relé es un dispositivo diseñado para control remoto de otro dispositivo. Un relé usa bajo voltaje y poca corriente para causar la conmutación de dispositivos de alto voltaje o alta corriente, usualmente se coloca a distancias remotas de estos ²².

7.3.2 Clasificación de los relés. Se clasifican comúnmente en 2 clases como se muestra en la figura 57.

Figura 57. Clasificación de los relés



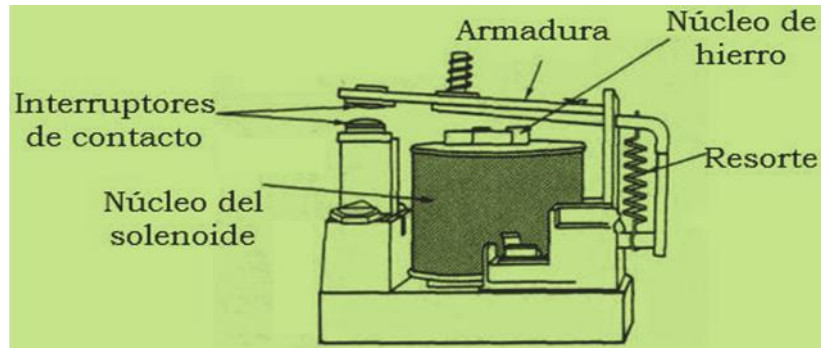
Fuente: Los autores.

7.3.2.1 Relés electromecánicos. Consiste de un electroimán que consta de una bobina de alambre colocado en un núcleo de hierro. Cuando la corriente fluye alrededor del núcleo, la barra de hierro, atrae la armadura debido a que con este flujo de corriente se genera un campo magnético en la bobina que atrae la armadura, de esta manera se cierran los contactos o interruptores, esto se logra con poca corriente y se conecta un circuito de alta corriente si se desea. Cuando se desenergiza la bobina del relé, el resorte separa los contactos y corta el paso de corriente entre los contactos.

²² MILLER, Rex; MILLER, Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 114.

Las partes más importantes del relé electromecánico son: el núcleo de hierro, la bobina alrededor del núcleo de hierro, la armadura y el resorte de reposicionamiento. La construcción física de un relé electromecánico se muestra en la figura 58.

Figura 58. Construcción física de un relé electromecánico



Fuente: MILLER, Rex; MILLER, Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 114.

7.3.2.2 Relés de estado sólido (*solid state relay (SSR)*). Son hechos de silicio o germanio. En comparación con los relés electromecánicos, no existen bobinas ni contactos. Utiliza un interruptor de estado sólido (por ejemplo un TRIAC, SCR, etc.), en lugar de contactos mecánicos (como los de los relés electromecánicos), para conmutar cargas de potencia a partir de señales eléctricas de control de bajo nivel. Este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico, además de poder conmutar altos amperajes que en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos, además de producir ionización del aire circundante a los contactos del relé. En comparación con los relés electromecánicos, los *SSR (Solid State Relays)* son más livianos, rápidos, silenciosos, no producen ionización del aire circundante, entre otras ventajas. Un ejemplo de relé de estado sólido se muestra en la figura 59.

Figura 59. Ejemplo de relé de estado sólido



Fuente: OMRON. Solid State Relays: G3TA. [online]. [cited 3, mars, 2010]. Available from internet: http://www.ia.omron.com/product/family/999/index_fea.html.

Algunos de los componentes que pueden hacer parte de un *SSR (solid state relay)* se exponen a continuación:

TRIAC (*Triode For Alternating Current*: Triodo Para Corriente Alterna)

Es un dispositivo semiconductor, de la familia de los transistores. Es bidireccional respecto de la dirección de la corriente eléctrica y solo acepta el uso de corriente alterna. Es un interruptor capaz de conmutar la corriente alterna, osea que actúa en semejanza a los contactos del relé electromecánico.

SCR (*Silicon Controlled Rectifier*: Rectificador Controlado de Silicio)

Es un dispositivo capaz de operar como un interruptor, es básicamente un rectificador, capaz de conducir corriente en un solo sentido. Puede tener solo dos posiciones: abierto (*ON*) o cerrado (*OFF*), la conmutación de una posición a la otra es rápida debido a que es un dispositivo de estado sólido. Puede usarse como los contactos del relé electromecánico.

DIAC (*Diode For Alternative Current*: Diodo Para Corriente Alterna)

Es un diodo bidireccional disparable que conduce la corriente sólo tras haberse superado su tensión de disparo, y mientras la corriente circulante no sea inferior al

valor característico para ese dispositivo. Esta diseñado especialmente para disparar *TRIAC*’s y tiristores. Osea hace control de la carga que maneja el *TRIAC*.

Las ventajas y desventajas de las clases de relés se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Resumen de características, ventajas y desventajas de las clases de relés

Relé Electromecánico	
Características	Es un relé usado para conmutar circuitos de alta potencia con bajos voltajes y corrientes, la conmutación se hace a través de contactos mecánicos.
Ventajas	Bajo precio comparado con los relés de estado sólido.
Desventajas	Posibilidad de ionización del gas circundante cuando ocurre la conmutación de los contactos, si las conmutaciones son constantes o a altas corrientes ocurre desgaste prematuro de los contactos, generan un poco de ruido.
Relé de estado sólido	
Características	Es un relé usado para conmutar circuitos de alta potencia con bajos voltajes y corrientes, usando componentes de estado sólido como <i>TRIAC</i> o <i>SCR</i> en lugar de contactos mecánicos.
Ventajas	Livianos, rápidos, silenciosos, no producen ionización del gas circundante cuando ocurre la conmutación, puede conmutarse muchas veces con poco daño.
Desventajas	Alto precio comparado con los relés electromecánicos.

Fuente: Los autores.

7.3.3 Tipos de relés de uso común. Los relés de uso común son dos categorías: relés de monitoreo (*monitoring relays*) y relés de tiempo (*time relays*), sus características de exponen en la tabla 21.

Es necesario conocer algunos de los tipos de contactos que existen en el mercado con el fin de ampliar el panorama de conmutación que se puede manejar al momento de diseñar circuitos eléctricos. Algunos de los tipos más comunes de contactos se presentan adelante.

Tabla 21. Tipos de relés de uso común

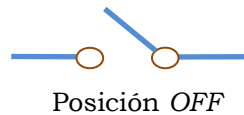
Tipo de relé	Tipo específico de relé	Descripción
<p align="center">Relé de monitoreo <i>Monitoring relay</i></p>	<p align="center">Relé de voltaje <i>Voltage relay</i></p>	<p>Funciona monitoreando el valor de la tensión que alimenta un equipo eléctrico y se dispara cuando ese valor de tensión está por arriba o por abajo del rango de funcionamiento normal del aparato eléctrico.</p>
	<p align="center">Relé de corriente <i>Current relay</i></p>	<p>Funciona monitoreando el valor de la corriente dentro de un rango normal de funcionamiento, además detecta ruptura de cable o falta de la fase.</p>
	<p align="center">Relé monitor de temperatura <i>Temperature monitor</i></p>	<p>Funciona monitoreando la temperatura de sólidos, líquidos o gases mediante sensores y actúa el relé cuando se alcanzan valores extremos de temperatura dentro del rango de temperatura aceptable. Ejemplo es su aplicación en aires acondicionados.</p>
	<p align="center">Relé termistor <i>Thermistor relay</i></p>	<p>La protección de motor por termistor es un sistema de protección dependiente de la temperatura. Se vigila directamente el devanado del motor por medio de termistores. Los termistores son incrustados dentro del devanado del motor cuando éste se fabrica. En motores trifásicos lleva 1 por cada fase.</p>
	<p align="center">Relé térmico de sobrecarga <i>Thermal overload relay</i></p>	<p>Son relés que se basan en el uso ciertos materiales en combinación denominados bimetálicos que bajo el efecto del calor generado por la sobrecarga se doblan y actúan el relé.</p>
<p align="center">Relé de tiempo <i>Time relay</i></p>	<p align="center">Relé de tiempo <i>Time relay</i></p>	<p>Son relés que se abren o cierran después de cierto tiempo graduable. Son usados por ejemplo para conmutar automáticamente de estrella a triángulo en el arranque de motores eléctricos de manera automática.</p>

Fuente: Los autores.

7.3.4 Tipos de contactos

7.3.4.1 SPST (*Single Pole, Single throw*: Polo único con un solo hilo). Es el más simple de los contactos, es un contacto *ON/OFF*, un ejemplo es el interruptor para apagar y encender la luz en las casas. Se muestra en la figura 60.

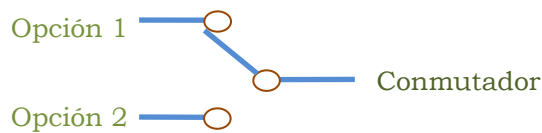
Figura 60. Esquema de un SPST (*Single Pole, Single throw*)



Fuente: Los autores.

7.3.4.2 SPDT (*Single pole, double throw*: Polo único con dos hilos). Es un conmutador que permite conectar una red de alimentación a uno de dos contactos posibles. (Como en la lógica eléctrica un *OR*: o sea uno u otro pero no ambos al tiempo). Se muestra en la figura 61.

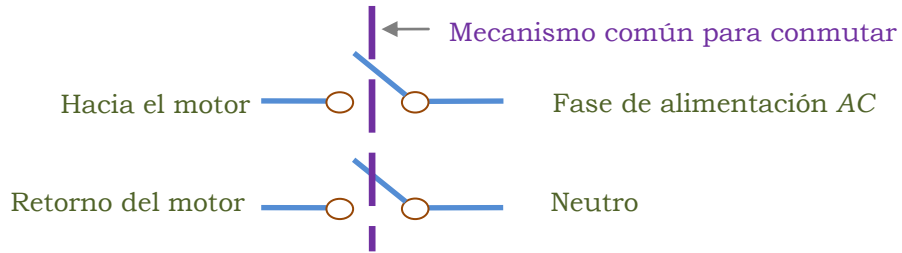
Figura 61. Esquema de un SPDT (*Single Pole, double throw*)



Fuente: Los autores.

7.3.4.3 DPST (*Double pole, single throw*: Polo doble con un hilo). Es similar a colocar dos *SPST* actuados por un solo mecanismo de conmutación. Se usa por ejemplo para alimentar dos fases de la red a una máquina eléctrica, manteniendo cerrado en una posición y abierto en la otra, una aplicación es manejar motores monofásicos, un contacto maneja la fase de alimentación y el otro el neutro, mediante el mismo mecanismo de conmutación, como se muestra en la figura 62.

Figura 62. Esquema de un SPST (*Single Pole, Single throw*)

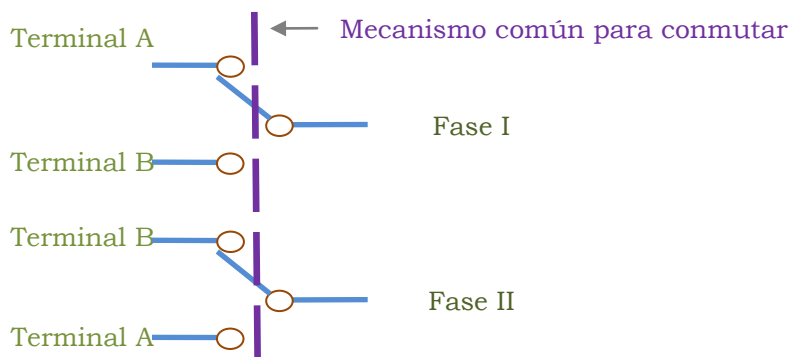


Fuente: Los autores.

7.3.4.4 DPDT (*Double pole, double throw: Polo doble con dos hilos*). Es similar a colocar dos *SPDT* activados por un solo mecanismo de conmutación. Una aplicación es invertir dos de las fases de un motor eléctrico trifásico AC con el fin de invertir el sentido de giro del mismo.

Para un sentido de giro, la fase I de la red AC con el terminal A del motor y la fase II con el terminal B, para el sentido inverso de giro se conmuta mediante el mecanismo conectando ahora la Fase I de la red con el terminal B del motor y la fase II con el terminal A, como se muestra en la figura 63.

Figura 63. Esquema de un DPDT (*double Pole, double throw*)



Fuente: Los autores.

7.3.5 Cómo seleccionar un relé. Acerca de este procedimiento, es necesario conocer el catálogo específico dependiendo del tipo de relé que se necesite, pero los factores que en general se tienen en cuenta son:

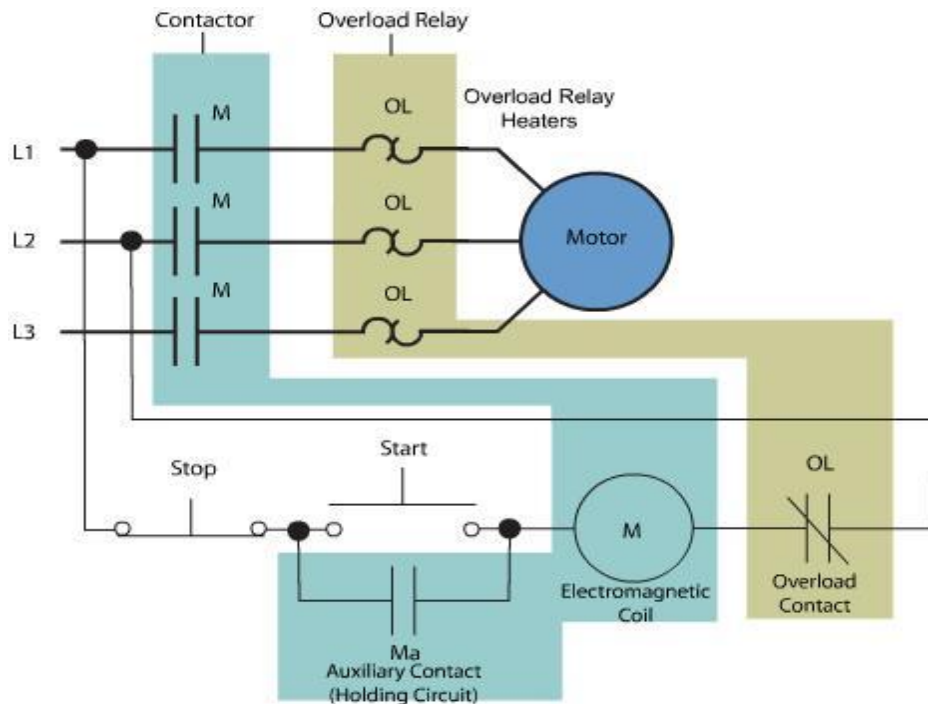
- La cantidad de conmutaciones que se deben realizar en periodos de tiempo, esto con el fin de escoger entre un relé electromecánico y un relé de estado sólido.
- El capital con el que se cuenta debido a que la diferencia de costo entre relés electromecánicos y relés de estado sólido puede ser alta.
- La capacidad nominal que se requiere en el caso por ejemplo de los relés de sobrecarga.
- El intervalo de tiempo de conmutación por ejemplo en los relés de tiempo.
- La cantidad de polos que debe poseer el relé.
- El voltaje y la corriente que se pretenden manejar.

7.3.6 Circuitos donde se aplican relés. En la figura 64 se aprecia el esquema de arranque directo de un motor eléctrico de tres fases, donde se ven: contactores (*contactors*), los relés de sobrecarga (*overload relays*), las líneas de alimentación y el motor eléctrico. Se muestran dos circuitos, el circuito de control abajo (líneas tenues) y el de potencia arriba (líneas gruesas). El contactor (*contactor*), resaltado en verde, incluye la bobina electromagnética (*electromagnetic coil*), los contactos del motor (M), y el contacto auxiliar (Ma). El relé de sobrecarga (*overload relay*), resaltado en marrón claro, incluye los calentadores de sobrecarga del relé (*overload relay heaters*) y el contacto de relé de sobrecarga (OL).

En la figura 64, cuando el pulsador de inicio (*start*) es presionado, fluye corriente hacia la bobina electromagnética (*electromagnetic coil*) y los contactos (M) asociados a esta se cierran y se da arranque al motor. Cuando el botón de inicio se libera el contacto auxiliar (Ma) permanece energizado y el sistema funciona

continuamente con el botón *start* liberado. El motor seguirá funcionando a no ser que el botón de parada (*stop*) se presione o los relés de sobrecarga se disparen debido a una sobrecarga, o sea se abra el contacto de sobrecarga (*overload contact*).

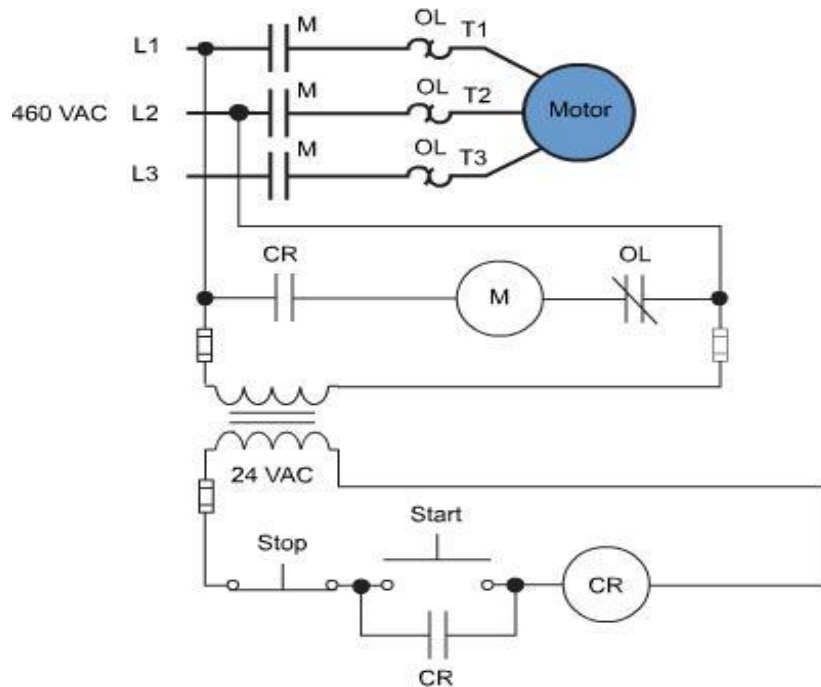
Figura 64. Circuito de arranque directo de motor eléctrico de tres fases protegido por relés



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Basic of Control Components. [online]. [cited 4 mars of 2010]. Available internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/components/index.htm>.

En la figura 65, se muestra el arranque de un motor trifásico con el método directo mediante un relé electromecánico donde se manejan dos voltajes: 24 Volts para el control (líneas tenues) y de 460 Volts (líneas gruesas) para la potencia del motor (VAC: Volts AC).

Figura 65. Circuito de arranque directo de motor eléctrico de tres fases usando relé de control



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Basic of Control Componets. [online]. [cited 4 mars of 2010]. Available internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/components/index.htm>.

En la figura 65, para arrancar el motor se presiona el pulsador de inicio (*start*), este energiza la bobina del relé de control (CR), e inmediatamente se energiza el auxiliar (como en el caso anterior) de la bobina pudiéndose soltar el pulsador *start*. Debido a que se energizó la bobina del relé de control esta crea un campo magnético que atrae la armadura y cierra los contactos de potencia (relé electromecánico) y se energiza el circuito de potencia, pasando corriente ahora hacia la bobina de arranque M, que al ser energizada cierra los tres contactos M y se da arranque al motor eléctrico. Este permanecerá funcionando hasta que se oprima el botón de parada y se desenergize la bobina del relé y se abran los contactos de potencia o cuando ocurra una sobrecarga y el relé de sobrecarga (OL) se abra e interrumpa el paso de corriente al motor.

8 PROTECCIONES Y CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS

8.1 INTRODUCCIÓN

El uso de motores eléctricos como soluciones de ingeniería, conlleva la necesidad de plantear formas de proteger el motor eléctrico y la red de suministro de las eventuales elevaciones de corriente que puedan generarse debido a situaciones internas y externas al motor eléctrico y, que acarrearán daños en el mismo y en las redes, es por esto que se aborda este tema durante este capítulo. Además se presentará lo concerniente al control de la inversión de la dirección de rotación de los motores eléctricos.

8.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA TEÓRICA

- Describir la operación de arranque directo.
- Describir el "arranque suave" método de control de motor eléctrico.
- Enumerar las ventajas y desventajas de conectar un motor eléctrico.
- Describir los métodos más comunes de protecciones para motores eléctricos.
- Describir el procedimiento de inversión de giro en los motores de corriente directa.
- Describir el procedimiento de inversión de giro en los motores de corriente alterna.
- Explicar cómo se realiza la reversibilidad en un motor de tres fases de corriente alterna.
- Explicar cómo se realiza la reversibilidad en un motor de una fase de corriente alterna.
- Conocer las tablas y catálogos de selección de automáticos o tacos.
- Realizar ejercicios teóricos de selección de protecciones de sobrecarga para motores eléctricos y automáticos.

8.3 DESARROLLO DE OBJETIVOS TEÓRICOS

8.3.1 Porque son necesarias las protecciones a motores eléctricos. En el momento de que un motor se decide usar para una aplicación definida, es necesario proveer al mismo de la seguridad suficiente; primero para evitar accidentes y segundo para proteger la vida e integridad misma del motor y la red.

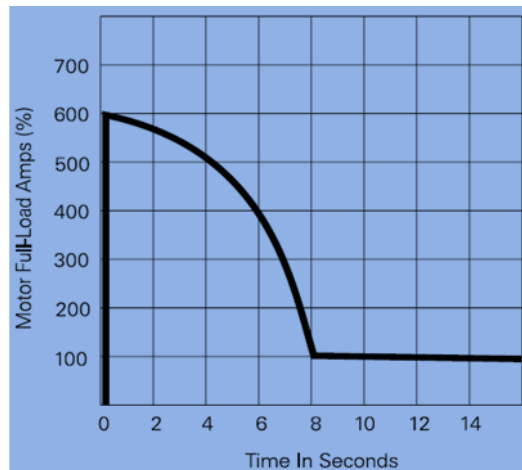
La necesidad fundamental del uso de protecciones es debida a la esencia misma del trabajo que realiza el motor eléctrico. Es conocido en este nivel de lectura del estudiante que es posible que se presenten fallas en operación: bloqueo del rotor, sobrecarga mecánica u otros factores que pueden contribuir a que se genere un consumo elevado de corriente por parte del motor, trayendo consigo una elevación de la temperatura del motor, pudiéndolo llevar hasta la incineración del mismo y de la red, debido al establecimiento de estas corrientes excesivas durante periodos de tiempo, que producen un calor excesivo que el conductor no está capacitado para soportar. Entonces previendo que estas situaciones se pueden presentar de manera espontánea, es necesario proteger tanto el motor como la red de suministro de los valores elevados de corriente (consumida por el motor eléctrico).

Es importante para el lector reconocer que el procedimiento de arranque de un motor eléctrico con el método directo (*across the line*) produce corrientes del 600% de la corriente nominal y aún mayores, según el modelo de motor, pero estas se conocen como *sobrecargas temporales* y no son procesos anómalos para el motor, por el contrario son el resultado del proceso de aceleración del mismo que puede tardarse alrededor de 8 segundos²³. Entonces cuando se protege el motor por sobrecarga en el arranque, se hace por valores superiores al 600% de la corriente nominal o dependiendo del diseño el valor máximo permitido de corriente

²³ Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Basic of Control Componets. [online]. [cited 3, mars, 2010]. Available internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/components/index.htm>.

en el arranque, durante el tiempo permitido. En la figura 66 puede verse una curva normal de arranque directo de un motor NEMA B, donde durante la primera fase del arranque la corriente toma el valor del 600% del valor nominal (100%), para luego después de 8 segundos caer al valor de corriente nominal del motor.

Figura 66. Curva de corriente de arranque contra tiempo de motor NEMA B



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Basic of Control Componets. [online]. [cited 5 mars of 2010]. Available internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/components/index.htm>.

8.3.2 Tipos de protecciones a motores eléctricos de uso común

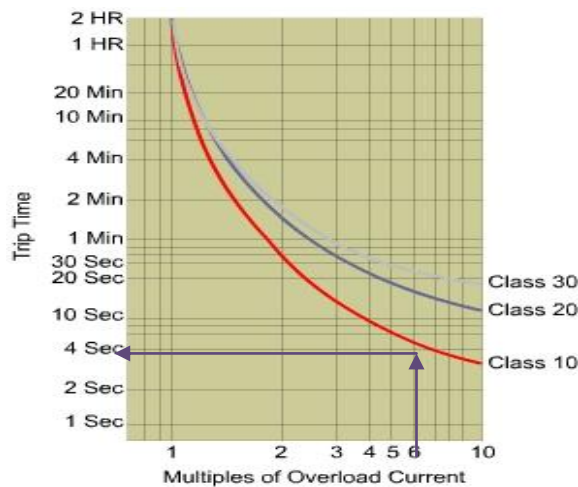
8.3.2.1 Relés de sobrecarga

- Permiten sobrecargas de corta duración sin desconectar el circuito.
- Cortan y abren el circuito para proteger el motor si la corriente se mantiene por encima del valor nominal durante un tiempo suficiente.
- Pueden reiniciarse para permitir que el motor pueda volver a energizarse después de que la sobrecarga ha desaparecido.

Relés de sobrecarga tipo trinquete (*trip class*). Este relé se dispara cuando la corriente de consumo del motor eléctrico es de cierta cantidad de veces el valor de

la corriente nominal, y se mantiene por un periodo de tiempo específico. La selección depende de la curva de tiempo vs sobrecarga permitido por la clase de relé. Las clases de relés más comunes son de 5, 10, 20 y 30. En la figura 67 se muestran las curvas de algunos de las clases de relés, donde se puede ver que para determinado valor de corriente (múltiplos de la corriente de sobrecarga: *multiples of overload current*), se sube hasta encontrar la curva de la clase de relé y al moverse a la izquierda en el eje ordenado se encuentra el tiempo de disparo (*trip time*) en esas condiciones.

Figura 67. Curvas de diferentes tipos de clases de relés de sobrecarga

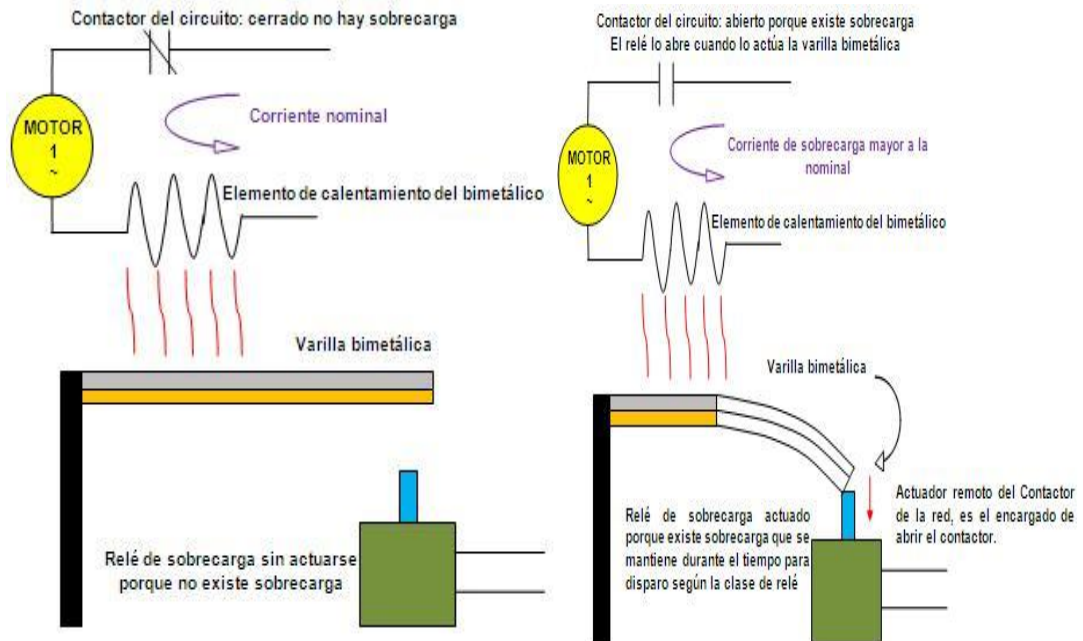


Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Basic of Control Componets. [online]. [cited 5 mars of 2010]. Available internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/components/index.htm>.

Relés bimetálicos de sobrecarga (*bimetallic overload relay*). Algunos relés de sobrecarga utilizan una cinta bimetálica para detectar una condición de sobrecarga. Un relé de sobrecarga bimetálico incorpora un pequeño calentador conectado en serie con el motor y una tira bimetálica que funciona como una palanca de disparo. La cinta bimetálica está hecha de dos metales diferentes unidos entre sí. Estos metales tienen diferentes características de dilatación térmica, haciendo que la cinta bimetálica se doble cuando se calienta.

En condiciones normales de funcionamiento, el calor generado por el elemento calentador hace que la cinta bimetálica se doble ligeramente, lo que no es suficiente para el disparo del relé de sobrecarga, en condiciones de corriente elevada esta se dobla lo suficiente para actuar el disparo del relé. Son llamados *térmicos*. La forma de funcionamiento se muestra en la figura 68.

Figura 68. Forma de funcionamiento de relé de sobrecarga con cinta bimetálica



Fuente: Los autores.

Existen modelos de relés bimetálicos que compensan la temperatura ambiente, de manera que no reaccionan al aumento de esta. En el modelo no compensado por temperatura ambiente, la deformación del bimetálico está determinada por la temperatura debida a la corriente y la temperatura ambiente, si la última aumenta, la deformación también lo hace y, la duración de sobrecarga se disminuye y produce disparo anticipado del relé de sobrecarga. En la figura 69 se muestra un relé de sobrecarga bimetálico, clase 10, trifásico, marca Siemens.

permita su uso como único protector de sobrecarga para algunos tipos de motores, esto se verá más adelante en detalle.

Son conocidos normalmente como " *breakers*", o también en la industria se conocen como: " *circuit breakers*", " *interruptores automáticos*" o " *tacos*".

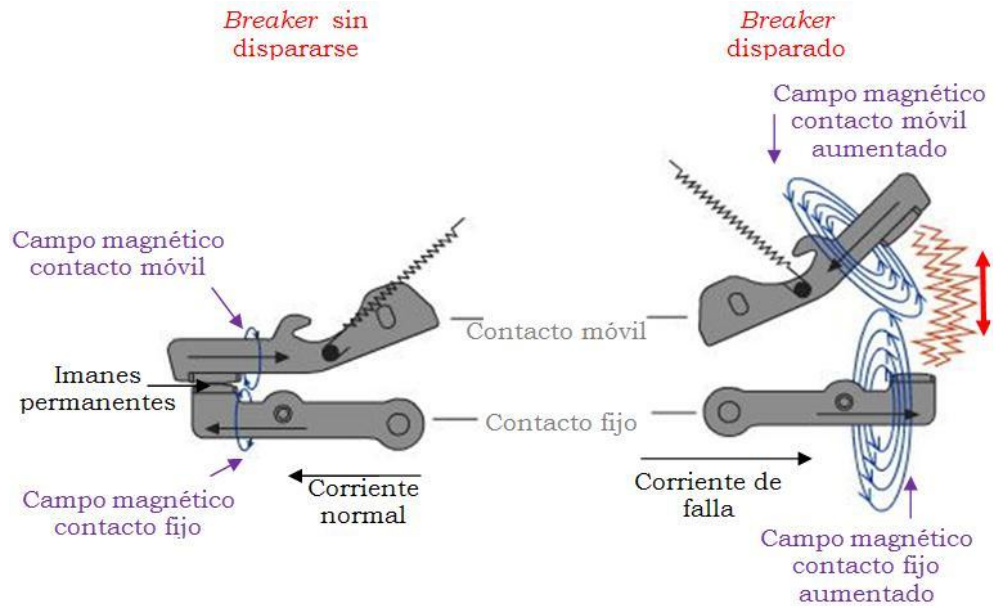
El funcionamiento de los mismos es sencillo y básicamente se separan los conductores dentro del mismo interrumpiendo el flujo de corriente cuando una corriente de falla pasa a través del dispositivo.

El conjunto cuenta con dos contactos; uno fijo y uno móvil, que se mantienen unidos por medio de imanes fijos en sus extremos. Por los contactos circula la corriente en sentidos opuestos generándose campos magnéticos opuestos incapaces de abrir los contactos, cuando circula la corriente de falla, los campos se incrementan y son capaces de forzar los contactos a separarse, cortando el paso de la corriente. El esquema de funcionamiento de los *breakers* se muestra en la figura 70.

Un interruptor automático debe poderse actuar de manera manual, teniendo dos posiciones en una palanca de mando: *ON* (conectado: contactos cerrados) y *OFF* (desconectado: contactos abiertos). Existen *breakers* que poseen una tercera posición para indicar que se efectuó el corte automático, esta posición se puede ver marcada como *TRIPPED* (mecanismo de trinquete actuado: cuando se efectúa el corte automático por sobrecorriente), para reiniciar el *breaker* es necesario llevar de *TRIPPED* a *OFF* y luego a *ON*.

Existen *breakers* de 1, 2 y 3 polos, según las fases de la carga que se conecten a la red.

Figura 70. Funcionamiento de los breakers



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution Courses: Basics of Circuit Breakers. [online]. [cited 6 mars 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/Flash/circuitbreakers/index.htm>.

Un ejemplo de breaker de 3 polos, de propósito general (*general purpose*), que permite protección entre 25-125 A, marca Siemens se muestra en la figura 71.

Figura 71 Apariencia física de un interruptor automático o Breaker



Fuente: SIEMENS. General Application Molded Case Circuit Breakers: NGG 15A to 125A Frame Circuit Breakers. [online]. [cited 7 mars 2010]. Available from internet: http://www.sea.siemens.com/us/Products/PowerDistribution/Product/Circuit-Breakers/Pre-Sales_info/Documents/NGGProductGuideVersion4Final.pdf.

8.3.3.1 Selección de automáticos. Como ejemplo de selección, se usará el catálogo 2010 online de la empresa Siemens ²⁴. Queda claro que esta no es la única empresa que distribuye este tipo de elementos eléctricos en Colombia, el lector puede hacer uso del catálogo de la empresa que desee cuando requiera hacer una selección. No se está obligando al mismo a que se incline por la marca usada como ejemplo en este numeral.

Con el objetivo de seleccionar el automático es necesario reconocer: el voltaje que se usará, los tipos de automáticos (*breakers*) mostrados en la tabla 22, además de las categorías que se muestran en la tabla 23. A partir de estos es posible determinar una preselección del automático a usar.

Tabla 22. Tipos de automáticos o *breakers* para circuitos Siemens

Tipos de <i>Circuit Breakers</i> Siemens
<p><i>Instantaneous Magnetic Trip-Only Circuit Breakers</i> (automático de corte contra cortocircuitos)</p> <p>Solo proveen protección contra cortocircuitos en la red, no protegen contra sobrecargas. Se usan normalmente cuando se usa un relé térmico de sobrecarga con el motor.</p>
<p><i>Thermal-Magnetic Circuit Breakers</i> (automáticos térmico-magnéticos)</p> <p>Detecta el calor generado por una sobrecarga y censa el campo magnético generado por un corto circuito, se dispara inmediatamente ante un cortocircuito y da un tiempo antes de dispararse ante una sobrecarga.</p>
<p><i>Interchangeable Trip Circuit Breakers</i> (automáticos con unidad de corte intercambiable)</p> <p>En la mayoría de los <i>breakers</i> la capacidad de corte no puede ser modificada, en este tipo se permite cambiar la corriente a la cual se realizará el corte solo reemplazando la unidad <i>trip</i> (unidad de corte), sin sustituir todo el <i>breaker</i>, esto permite variedad de valores de corte.</p>
<p><i>Molded Case Switch</i> (interruptor moldeado)</p> <p>Usa el mismo sistema de los <i>thermal-magnetic</i> y <i>magnetic only</i>. Pero presenta una función instantánea instalada en la fábrica que realiza el corte ante una alta corriente de falla. Pero no provee protección térmica contra sobrecarga ni protección contra cortocircuito.</p>

²⁴ Fuente: SIEMENS. Section 17: Circuit Breakers. [online]. [cited 8, mars, 2010]. Available internet: http://cmsapps.sea.siemens.com/controls/icc2010/10IndControl_%20pdfs/10IC_17/10IC_17.pdf.

<p align="center">Current limiting Circuit Breakers (limitador de corriente)</p> <p>Para equipo muy costoso una corriente de falla puede ocasionarle daños, entonces se usa un <i>breaker</i> que funciona disminuyendo la corriente que pasa por una red donde se presenta corriente de falla.</p>
<p align="center">Solid State Circuit Breakers (automáticos de estado sólido)</p> <p>Trabajan de manera similar a los <i>breakers</i> térmicos, pero contienen una unidad de corte de estado sólido, que se encarga de censar los valores de corriente y enviar una corriente al mecanismo de corte cuando una sobrecarga preprogramada en la unidad se presenta. Presentan la flexibilidad de la programación, gracias a la inclusión de un microprocesador que es el encargado de enviar la señal de corte al mecanismo.</p>

Fuente: Los autores.

En la tabla 23 se presentan algunas de las categorías con que cuenta la empresa Siemens en el catalogo 2010, respecto a *circuit breakers*.

Tabla 23. Algunas de las categorías de automáticos o *breakers* Siemens

Categorías de <i>Circuit Breakers</i> Siemens
<p align="center">Residencial <i>Circuit Breakers</i> (automático residenciales)</p> <p>Usados en aplicaciones para edificios residenciales y aplicaciones comerciales ligeras.</p>
<p align="center">Panelboard <i>Circuit Breakers</i> (Panel de mando de automáticos)</p> <p>Incluye unos pocos tipos de interruptores moldeados (<i>molded case switch</i>) utilizados en paneles de mando de <i>breakers</i>.</p>
<p align="center">General Purpose Thermal-Magnetic <i>Circuit Breakers</i> (automáticos de propósito general térmico-magnéticos)</p> <p>Esta categoría incluye <i>breakers</i> tipo térmico-magnético en varios tamaños, con capacidades hasta de 2000 A. Son de propósito general industrial.</p>
<p align="center">Solid State Trip Unit <i>Circuit Breakers</i> (interruptores de estado sólido)</p> <p>Incluye <i>breakers</i> de estado sólido en varios tamaños hasta 600 A de capacidad.</p>
<p align="center">VL <i>Circuit Breakers</i> (automáticos VL)</p> <p>Son los modelos más nuevos y pueden ser equipados con sistemas térmico-magnéticos o sistemas de estado sólido hasta una capacidad de 600 A.</p>
<p align="center">WL <i>Circuit Breakers</i> (automáticos WL)</p> <p>Son otros de los modelos más nuevos, de 3 polos, en 3 tamaños y con capacidades desde 200 a 5000 A.</p>

Fuente: Los autores.

La preferencia al seleccionar

Comúnmente el automático que debe ser la primera opción será el automático categoría de propósito general (*general purpose*) y del tipo térmico magnético (*thermal-magnetic circuit breakers*). Luego en las tablas de selección se buscará por el voltaje que se desee manejar. Con la información presentada es suficiente para hacer una preselección que conduzca de manera adecuada la selección en el catálogo Siemens 2010. Una tabla de selección de la empresa Siemens se muestra en la figura 72, para un *breaker* de propósito general y del tipo térmico-magnético. Puede verse en esta figura la información general respecto del mismo.

Figura 72. Página de catálogo de selección de *circuit breaker* Siemens

General Information

Ratings and Markings

Type	Current Range (A)	HACR Rated	SWD Marked	HID Marked
1 pole	15 - 125	15 - 125	15 - 20	15 - 50
2 pole	15 - 125	15 - 125	—	15 - 50
3-pole	15 - 125	15 - 125	—	15 - 50

Shipping Weight: 0.9 lbs. / 0.4 kgs. 1 Pole
1.9 lb. / 0.9 kgs. 2 Poles
2.9 lbs. / 1.2 kgs. 3 Poles

Interrupting Ratings (max. RMS symmetrical amperes kA)

Poles	UL489						EC 60947-2 (Ics = 50% Icu)				
	120	240	277	347	480	600Y/347	125	125/250	240	415	125/250
1	65	—	25	14	—	—	1.6	—	25	—	—
2,3	—	65	—	14	25	14	1.6	1.4 (1)	65	25	14

Poles	UL489						EC 60947-2 (Ics = 50% Icu)				
	120	240	277	347	480Y/277	600Y/347	125	125/250	240	415	125/250
1	100	—	25	14	—	—	1.6	—	25	—	—
2,3	—	100	—	—	—	—	—	1.4 (1)	65	25	14

40°C, 50/60Hz

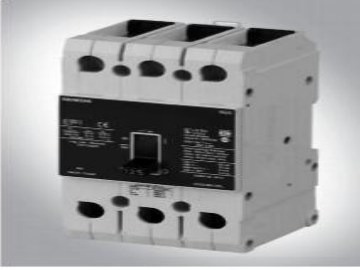
Ordering Information
Type NGG/NGB 1, 2 and 3 Poles

Ampere Rating In	NGG Catalog Number (Cable In - Cable Out)	NGB Catalog Number (Panelboard Mounting)
15	NGG 8015L	NGB 8015B
20	NGG 8020L	NGB 8020B
25	NGG 8025L	NGB 8025B
30	NGG 8030L	NGB 8030B
35	NGG 8035L	NGB 8035B
40	NGG 8040L	NGB 8040B
45	NGG 8045L	NGB 8045B
50	NGG 8050L	NGB 8050B
60	NGG 8060L	NGB 8060B
70	NGG 8070L	NGB 8070B
80	NGG 8080L	NGB 8080B
90	NGG 8090L	NGB 8090B
100	NGG 8100L	NGB 8100B
110	NGG 8110L	NGB 8110B
125	NGG 8125L	NGB 8125B

1 = 1 pole
2 = 2 pole
3 = 3 pole

1 = 1 pole
2 = 2 pole
3 = 3 pole

(1) This "1" indicates Line/In and Load Side lugs are supplied as standard. To order an NGG without lugs, remove the "L" suffix.
(2) This "B" indicates Load Side lugs are supplied as standard. To order an NGB without lugs, remove the "B" suffix.



Fuente: SIEMENS. Circuit Breakers: General purpose: Siemens NGG 15A to 125A Frame Circuit Breakers. [online]. [cited 8, mars, 2010]. Available from internet: http://www.sea.siemens.com/us/Products/PowerDistribution/Product/Circuit-Breakers/Pre-Sales_info/Documents/NGGProductGuideVersion4Final.pdf.

8.3.4 Determinación de la protección de sobrecarga a usar para motores eléctricos según norma colombiana. La norma NTC 2050 ("*Código Eléctrico Colombiano*"), se refiere en su capítulo 4, en la sección 430 ("*Motores, circuitos de motores y controladores*")²⁵, entre otros a las protecciones para motores eléctricos y es la referencia que se debe consultar para conocer el método de protección a usar.

Para empezar se define en la NTC 2050: "*La sobrecarga de los artefactos eléctricos es una sobrecorriente en funcionamiento que, si se mantiene durante un tiempo suficientemente largo, podría causar daños o sobrecalentamiento peligroso de los aparatos. Esto no incluye los cortocircuitos ni las fallas a tierra*"²⁶ "

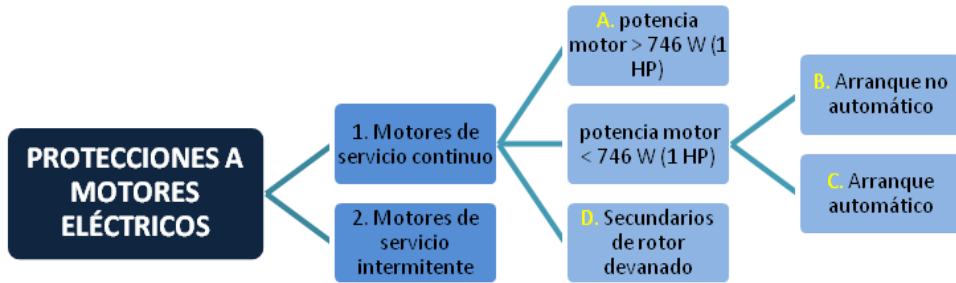
En la sección 430 de la NTC 2050, se presenta la disposición legal de las protecciones de sobrecarga a usar según el nivel de servicio del motor eléctrico y la potencia del mismo. Esta clasificación para determinar la protección más adecuada se muestra en la figura 73.

En la figura 74 se presenta la selección de la protección a aplicar en el motor eléctrico de servicio continuo y potencia del motor > 746 W (1 HP), a partir de la norma NTC 2050, sección 430. Puede observarse los 4 tipos de protecciones posibles y sus condicionalidades en cada caso en dicha figura.

²⁵ Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 180398 (7, abril, 2004). Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE y anexos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2004. No. 45592. p. 149.

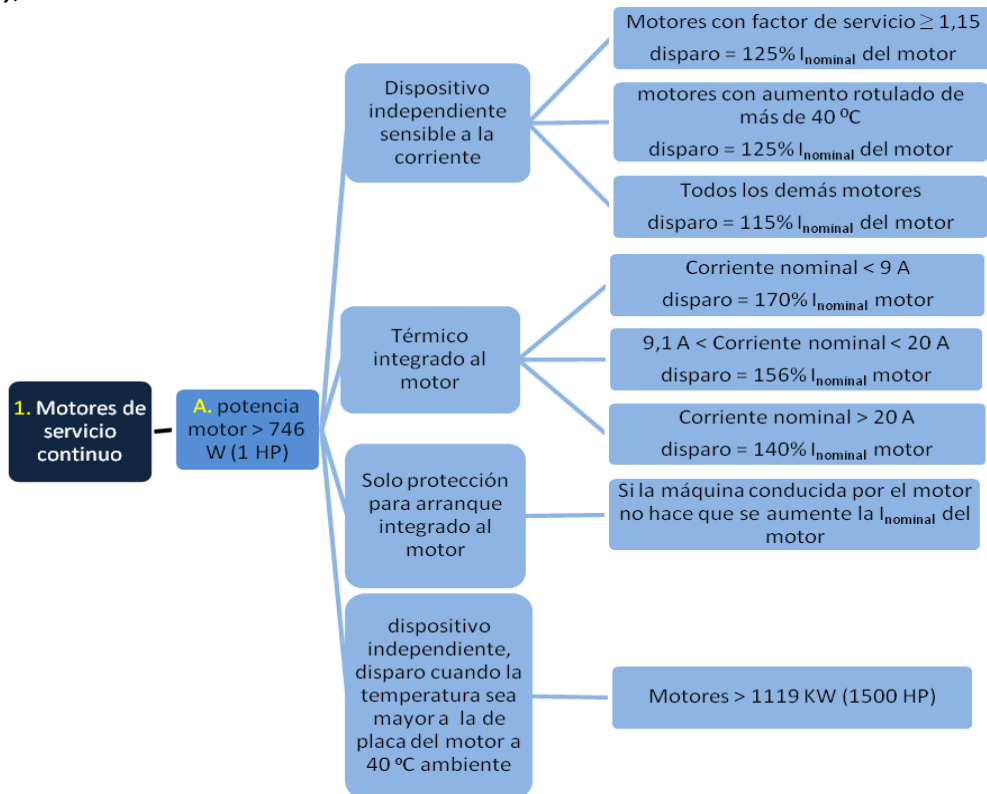
²⁶ Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 180398 (7, abril, 2004). Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE y anexos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2004. No. 45592. p. 153.

Figura 73. Clasificación según el nivel de servicio y potencia, para la definición de la protección a usar según la NTC 2050



Fuente: Los autores.

Figura 74. Protección a aplicar al motor eléctrico para servicio continuo y potencia > 746 W (1 HP), acorde a NTC 2050

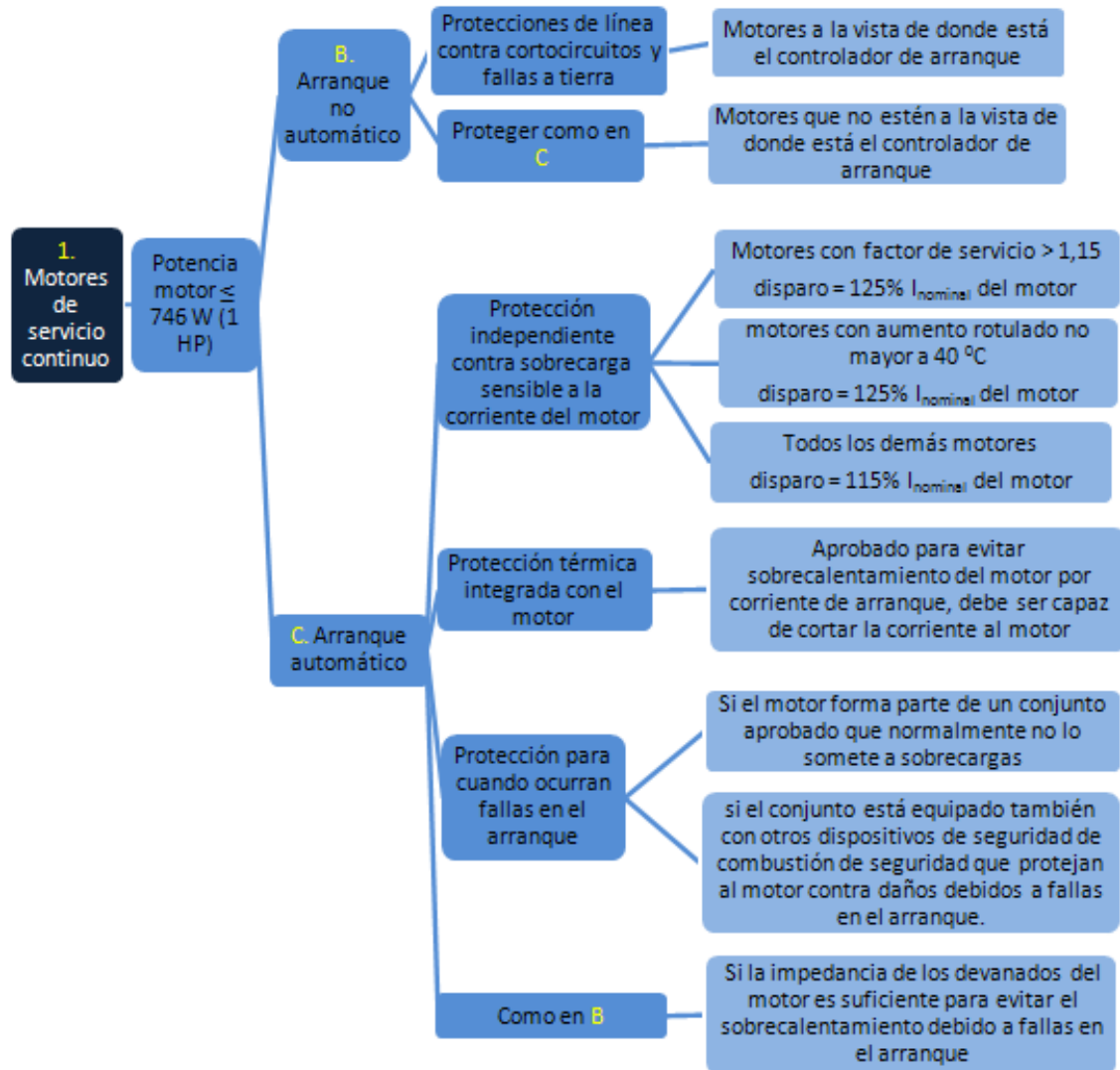


Fuente: Los autores.

En la figura 75 se muestra la selección a aplicar en el motor eléctrico de servicio continuo y potencia del motor < 746 W (1 HP), a partir de la norma NTC 2050,

sección 430. Pueden verse las opciones de protecciones de sobrecarga según si el arranque es automático o no lo es.

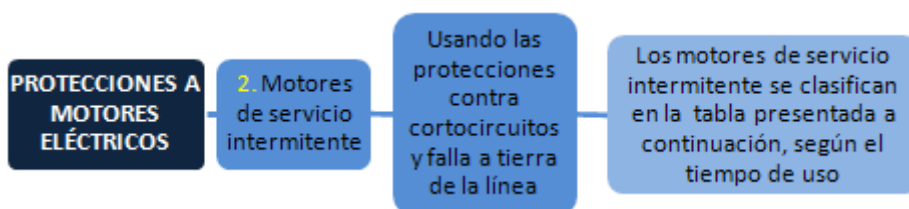
Figura 75. Protección a aplicar al motor eléctrico para servicio continuo y potencia ≤ 746 W (1 HP), acorde a NTC 2050



Fuente: Los autores.

En la figura 76 se muestra la selección de protecciones a aplicar en el motor eléctrico de servicio intermitente, a partir de la norma NTC 2050, sección 430.

Figura 76. Protección a aplicar al motor eléctrico para servicio intermitente acorde a NTC 2050



Fuente: Los autores.

Son motores intermitentes aquellos que cumplan con los tiempos de intermitencia mostrados en la tabla 24 a continuación. Los demás se considerarán de servicio continuo.

Tabla 24. Tabla 430-22.a), Excepción. Porcentajes a aplicar en el cálculo de capacidad de corriente nominal de los conductores de los circuitos de motores

Clasificación del servicio	Porcentaje de la corriente nominal por placa de características Tiempo designado de servicio del motor			
	5 min	15 min	30 y 60 min	continuo
Servicio por corto tiempo: motores de válvulas, de levantamiento o bajada de rodillos, etc.	110	120	150	–
Servicio intermitente: ascensores y montacargas, cabezales de herramientas, bombas, puentes levadizos, plataformas giratorias, etc. Para soldadores de arco ver artículo 630-21.	85	85	90	140
Servicio periódico: rodillos, máquinas de manipulación de minerales y carbón, etc.	85	90	90	140
Servicio variable.	110	120	150	200

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 180398 (7, abril, 2004). Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE y anexos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2004. No. 45592. p. 152.

Para la adecuada selección usando catálogos de empresas, es necesario primero determinar según se explicó anteriormente el tipo de protección que por norma NTC 2050 debe ser usado en el motor específico objeto de uso.

8.3.5 Inversión del sentido de giro a motores eléctricos

8.3.5.1 Inversión del sentido de giro a motores DC. El sentido de giro de cualquier tipo de motor DC puede ser invertido mediante la inversión del sentido de la corriente en el circuito.

8.3.5.2 Inversión del sentido de giro en motores AC

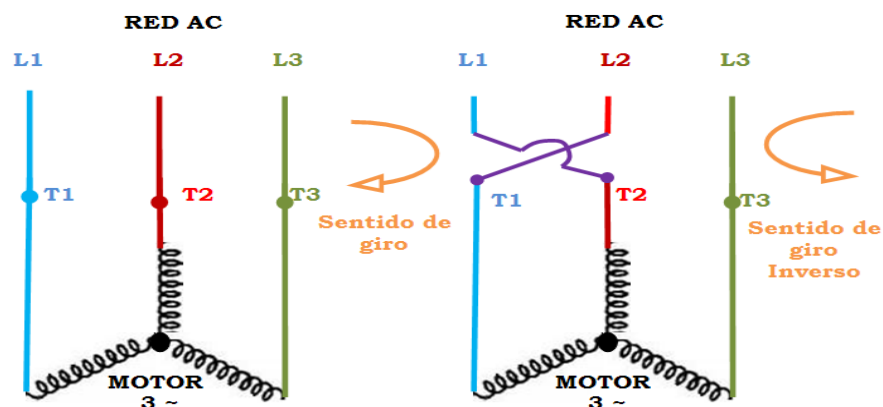
Inversión del Sentido de Giro de Motor Monofásico AC

Si se desea invertir el giro de un motor monofásico únicamente es necesario invertir las terminales del motor.

Inversión del Sentido de Giro de Motor Trifásico AC

Para invertir el giro de un motor trifásico es necesario permutar dos de sus fases como se ejemplifica en la figura 77, donde L1,L2 Y L3 son las fases de la red AC y T1, T2 Y T3 los terminales del motor eléctrico.

Figura 77. Esquema de inversión de giro para motor eléctrico trifásico



Fuente: WHITMAN, William C.; JHONSON, William M. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado: fundamentos. 1 ed. España: Thomson, 2000. p. 286.

8.3.6 Ejercicios teóricos de selección de automáticos y protecciones de sobrecarga

8.3.6.1 Selección de automático o *breaker*. Se tiene un motor eléctrico trifásico de 1 HP, que será usado intermitentemente en períodos de 15 minutos para impulsar una bomba de llenado de un tanque superior. Este motor se arrancará directamente mediante un pulsador (arranque no automático). Se requiere seleccionar el método de protección adecuado. Las especificaciones del motor NEMA B, de propósito general, se presentan en la figura 78 resaltadas en el recuadro verde claro.

Figura 78. Motor ejemplo para selección de automático o *breaker*

Velocidad 3600 rpm, 2 polos, 60 Hz															
Código	Tipo	Frame IEC Tamaño	Potencia		F.S.	In		Eficiencia η %	Factor de potencia $\cos \phi$	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte. de arranque larr / In	Momento de inercia kg m ²	Peso kg
			HP	kW		220V A	440V A								
25000001083	1LA7 070-2YA60	71M	0,75	0,56	1,15	2,40	1,20	79	0,79	3430	1,56	2,7	6	0,00035	4,3
25000001085	1LA7 073-2YA60	71M	1	0,75	1,15	3,50	1,75	65	0,89	3320	2,15	2,5	4,7	0,00045	6
25000001086	1LA7 080-2YC60	80M	1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	68	0,90	3400	2,51	2,3	4,9	0,00085	8,4
25000001087	1LA7 080-2YA60	80M	1,5	1,12	1,15	5,30	2,65	69	0,90	3370	3,17	1,8	3,7	0,00085	8,4
25000001089	1LA7 083-2YA60	80M	2	1,49	1,15	6,20	3,10	74	0,86	3410	4,18	3,3	6,3	0,0011	10
25000001090	1LA7 090-2YC60	90S/L	2,4	1,79	1,15	7,00	3,50	79	0,83	3460	4,94	2,4	5,5	0,0015	11,7
25000001091	1LA7 090-2YA60	90S/L	3	2,24	1,15	9,00	4,50	76	0,84	3490	6,12	2,7	5,7	0,0015	13,7
25000001093	1LA7 096-2YA60	90S/L	4	2,98	1,15	12,20	6,10	82	0,88	3440	8,28	2,3	5,9	0,002	15
25000001094	1LA7 112-2YA60	112M	5	3,73	1,15	16,00	8,00	71,1	0,86	3480	10,24	2	5,2	0,0055	28
25000001095	1LA7 113-2YA60	112M	6,6	4,92	1,05	19,00	9,50	79	0,86	3480	13,51	2,6	6,8	0,0055	30,8

Fuente: SIEMENS REGIÓN ANDINA. Motores de inducción trifásicos, catálogo de motores trifásicos. [online]. [cited 12, mars, 2010]. Available from internet: http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/templates/get_download_Framework_1_1.aspx?id=322&type=PDFS.

El primer paso es determinar mediante la norma NTC 2050 el tipo de protección que se debe usar, como el servicio del motor es intermitente porque el tiempo de operación periódica es similar a los mostrados en la tabla 24 (atrás), se concluye que la protección a usar puede ser la misma que las protecciones de la línea como se ve en la figura 76 (atrás).

La capacidad nominal de los automáticos debe estar calculada según la tabla 25 que corresponde a la tabla 430-152 de la NTC 2050, presentada a continuación, tomada del numeral 430-52 ²⁷ (contenido en la sección D: Protección de circuitos ramales de motores contra cortocircuito y falla a tierra) de la NTC 2050 que se presenta como un anexo del RETIE del año 2004.

Tabla 25. Porcentaje de la corriente nominal para disparo de protecciones

Tipo de motor	En porcentaje de la corriente a plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo	Fusible con retardo de tiempo (elemento dual)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso
Monofásicos	300	175	800	250
Polifásicos de C.A. distintos a los de rotor devanado				
De jaula de ardilla				
Todos menos los de diseño E	300	175	800	250
Los de diseño E	300	175	1100	250
Sincrónicos	300	175	800	150
Con rotor devanado	150	150	800	150
De c.c. (Tensión constante)	150	150	250	150

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 180398 (7, abril, 2004). Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE y anexos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2004. No. 45592. p. 152.

²⁷ Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 180398 (7, abril, 2004). Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE y anexos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2004. No. 45592. p. 155.

En la tabla anterior *tiempo inverso* significa que entre mayor sea la sobreintensidad, menor tiempo tarda en dispararse el *automático*.

En la tabla 25 atrás se observa que, para Motor NEMA B (jaula de ardilla), e interruptor de disparo instantáneo, se tiene que dimensionar el *breaker* hasta por 800% de la corriente nominal del motor (I_n), que para las especificaciones mostradas en la figura 78, es de 2,40 A a 220 Volts y 1,20 A a 220 Volts, también se sabe de las especificaciones que durante el arranque este motor consume 600% de la corriente nominal ($I_{arr}/I_n=6$, o sea $I_{arranque}/I_{nominal}=6$), se debe respetar el tiempo de arranque por lo tanto el interruptor automático de disparo instantáneo debe estar dimensionado arriba del 600% de la $I_{nominal}$, para permitir el arranque del motor, si el motor quedase bloqueado y se incrementara la corriente lo suficiente para llegar al 800% de la I_n , entonces el interruptor abrirá inmediatamente el circuito y desenergizará el motor. El motor estará protegido.

La corriente para la que se debe seleccionar el *automático o breaker* es de $I_{disparo} = I_n * 8 = 2,4 * 8 = 19,2$ A a 220 Volts y $I_{disparo} = I_n * 8 = 1,2 * 8 = 9,6$ A a 440 Volts. Este será el criterio para seleccionar el automático tipo disparo inmediato de catálogos.

8.3.6.2 Selección de protección térmica para motor eléctrico. Se tiene un motor eléctrico trifásico de 2 HP, que será usado de manera continua para impulsar una bomba de llenado de un tanque superior. Este motor se arrancará directamente mediante un pulsador. Se requiere seleccionar el método de protección adecuado.

Las especificaciones del motor NEMA B se presentan en la figura 79 resaltadas en el recuadro azul claro.

Figura 79. Motor ejemplo para selección de protección térmica

Velocidad 3600 rpm, 2 polos, 60 Hz															
Código	Tipo	Frame IEC Tamaño	Potencia		F.S.	In		Eficiencia η %	Factor de potencia Cos ϕ	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m ²	Peso kg
			HP	kW		220V A	440V A								
25000001083	1LA7 070-2YA60	71M	0,75	0,56	1,15	2,40	1,20	79	0,79	3430	1,56	2,7	6	0,00035	4,3
25000001085	1LA7 073-2YA60	71M	1	0,75	1,15	3,50	1,75	65	0,89	3320	2,15	2,5	4,7	0,00045	6
25000001086	1LA7 080-2YC60	80M	1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	68	0,90	3400	2,51	2,3	4,9	0,00085	8,4
25000001087	1LA7 080-2YA60	80M	1,5	1,12	1,15	5,30	2,65	69	0,90	3370	3,17	1,8	3,7	0,00085	8,4
25000001089	1LA7 083-2YA60	80M	2	1,49	1,15	6,20	3,10	74	0,86	3410	4,18	3,3	6,3	0,0011	10
25000001090	1LA7 090-2YC60	90S/L	2,4	1,79	1,15	7,00	3,50	79	0,83	3460	4,94	2,4	5,5	0,0015	11,7
25000001091	1LA7 090-2YA60	90S/L	3	2,24	1,15	9,00	4,50	76	0,84	3490	6,12	2,7	5,7	0,0015	13,7
25000001093	1LA7 096-2YA60	90S/L	4	2,98	1,15	12,20	6,10	82	0,88	3440	8,28	2,3	5,9	0,002	15
25000001094	1LA7 112-2YA60	112M	5	3,73	1,15	16,00	8,00	71,1	0,86	3480	10,24	2	5,2	0,0055	28
25000001095	1LA7 113-2YA60	112M	6,6	4,92	1,05	19,00	9,50	79	0,86	3480	13,51	2,6	6,8	0,0055	30,8

Fuente: SIEMENS REGIÓN ANDINA. Motores de inducción trifásicos, catálogo de motores trifásicos. [online]. [cited 12, mars, 2010]. Available from internet: http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/templates/get_download_Framework_1_1.aspx?id=322&type=PDFS.

Para este motor la corriente nominal (I_n), es de 6,20 A a 220 Volts y 3,10 A a 440 Volts. Según la figura 74, para motor de servicio continuo con potencia > 1 HP, es posible usar las siguientes opciones:

- *Dispositivo térmico integrado al motor:* con una $I_{disparo}$ del mínimo del 170% de la I_n del motor.
- *Dispositivo independiente sensible a la corriente:* $I_{disparo}$ = mínimo del 125% de la I_n del motor. (*térmico independiente al motor es posible*).

Con los datos anteriores es posible seleccionar de catálogo el dispositivo independiente sensible a la corriente, debido a que el dispositivo térmico integrado generalmente se instala en la fábrica al motor.

9 ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y DE MONTAJE

9.1 INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de que el estudiante reconozca los elementos de los que hará uso durante las prácticas se presentarán una serie de imágenes y breves explicaciones de cada una de ellas.

9.2 ELEMENTOS A USAR EN LAS PRÁCTICAS

9.2.1 Contactor. Es un interruptor accionado mediante interacción electromagnética, mediante una bobina que al circular corriente por ella, genera un campo magnético que atrae la armadura y cierra los contactos permitiendo el paso de la corriente eléctrica a través del contactor. En la figura 80 se muestra un contactor.

Figura 80. Contactor Chint ®



Fuente: CHINT. Productos: Contactores NC1. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: <http://www.chint.es/Spanish/bigjpg/Products/Contactor/NC1.JPG>.

9.2.2 Bloque auxiliar. El contactor normalmente posee un contacto normalmente abierto (*NO*) y en ocasiones como es el caso del arrancador estrella-triángulo simple y con inversión de giro, es necesario contar con bloques de contactos *NO* (*Normally Open*) y *NC* (*Normally Close*) adicionales al contactor, para ello se han diseñado bloques de contactos que son auxiliares al contactor.

Los bloques auxiliares se proveen generalmente en 2 tipos de bloques: bloques de 1 contacto normalmente abierto (*NO*) y 1 contacto normalmente cerrado (*NC*) y bloques de 2 contactos normalmente abiertos (*NO*) y 2 contactos normalmente cerrados (*NC*). Los dos tipos de bloques auxiliares se muestran en la figura 81.

Estos bloques se montan sobre el riel que viene dispuesto en la cara frontal del contactor como se muestran en la figura 82.

Figura 81. Bloques auxiliares para contactores Chint ®

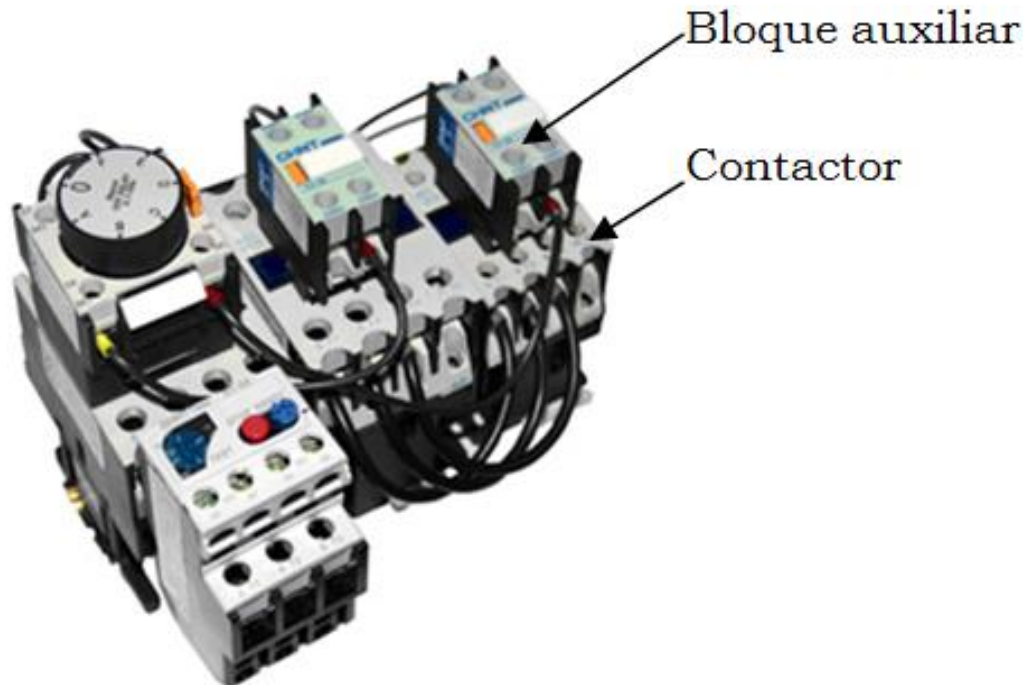


Fuente: CHINT. Productos: Contactores NC1. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: http://www.mechint.es/rcs_prod/CONT_CAT.pdf.

9.2.3 Relé de sobrecarga. Es un relé que debido a una sobrecarga en el circuito desconecta el mismo de la red de alimentación. La sobrecarga (corriente incrementada) debe ser tal que se presente durante cierto tiempo (determinado por la curva de la clase de relé de sobrecarga) suficiente para que se produzca el

calentamiento de la cinta bimetálica (que se dobla con el calor) y esta actuó el mecanismo que genera la desconexión del circuito.

Figura 82. Bloques auxiliares montado en contactor Chint ®



Fuente: CHINT. Maniobra y protección. [en línea]. [citado 16, marzo, 2010]. Disponible en internet: <http://www.mechint.es/cas/catalogoDetalle.php?id=3971&Familia=1482>.

Estos relés poseen un dial donde es posible seleccionar en un rango la corriente de disparo (al girar el dial se cambia ubica un valor en el rango), además un botón (*stop*) para actuar el relé de desconexión de manera directa y posee un dial (*reset*) para seleccionar la manera de reiniciar la conexión luego de que el relé ha sido actuado debido a una sobrecarga, este reinicio se puede seleccionar entre manual (*H*) y automático (*A*). Un relé de sobrecarga se muestra en la figura 83.

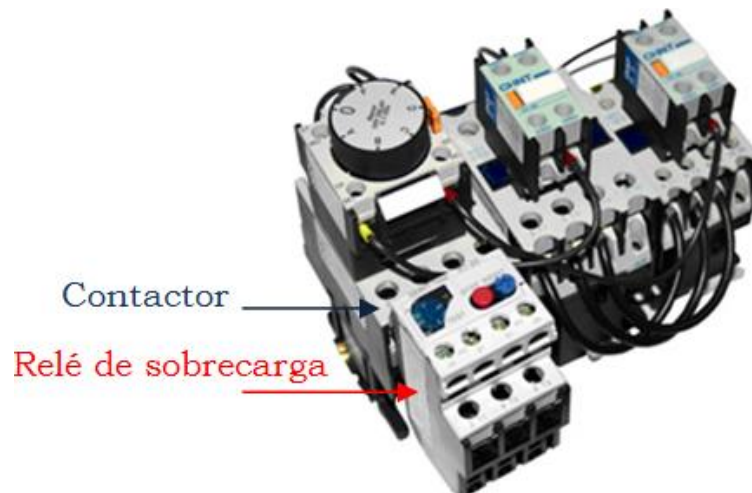
Los relés de sobrecarga se ensamblan a los contactores como se muestra en la figura 84.

Figura 83. Relé de sobrecarga bimetalico Chint ®



Fuente: CHINT. Productos: Relé sobrecarga. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: <http://www.chint.es/Spanish/bigjpg/Products/Over-load%20Relay/NR2.JPG>.

Figura 84. Montaje de relé de sobrecarga bimetalico Chint ® en contactor



Fuente: CHINT. Maniobra y protección. [en línea]. [citado 16, marzo, 2010]. Disponible en internet: <http://www.mechint.es/cas/catalogoDetalle.php?id=3971&Familia=1482>.

9.2.4 Relé de tiempo. Es un relé que retarda una señal eléctrica el tiempo que se estipule en un dial que es manipulable por el estudiante (*recomendado entre 5 a 10 segundos para que el motor alcance a tomar el 80% de la velocidad nominal antes de conmutar a triángulo*), este valor de tiempo determina el tiempo en que el motor funciona en estrella antes de conmutar a triángulo.

Figura 85. Relé de tiempo Stromelec ®



Fuente: Stromelec. Productos: Relé de tiempo. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: www.stromelec.com.

9.2.5 Indicador (Piloto). Estos indican (al estar encendidos ciertas) situaciones que ocurren dentro del circuito, en el caso de las prácticas.

Figura 86. Indicador o piloto Chint ®



Fuente: CHINT. Productos: Piloto. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: <http://www.chint.es/Spanish/bigjpg/Products/Pilot%20Device/NFM1.JPG>.

9.2.6 Relé automático contra cortocircuito (breaker). Es un dispositivo de disparo automático e instantáneo, reacciona ante elevaciones instantáneas de corriente arriba del rango predeterminado de fábrica, estas elevaciones de

corriente se deben a cortocircuitos debido a malas conexiones o fallas a tierra a través del circuito.

Figura 87. Breaker Chint ®



Fuente: CHINT. Productos: Relé sobrecarga. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: <http://www.chint.es/Spanish/bigjpg/Products/MCB/UB.JPG>.

9.2.7 Pulsadores. Los pulsadores son mecanismos para pulsar que actúan contactos eléctricos normalmente abiertos (*NO*) o normalmente cerrados (*NC*) y que se usan para conectar o desconectar momentáneamente (mientras el pulsador se encuentre actuado) parte de un circuito. Un pulsador se muestra en la figura

Se pueden hacer lógicas con los pulsadores mediante la adición de bloques auxiliares de contactos cerrados o abiertos, estos al estar conectados a un mismo pulsador (un mismo mecanismo de accionamiento) presentaran combinaciones como *NO* y *NC* al pulsar o cualquier combinación que se requiera de dos o mas contactos *NO* o *NC*.

Figura 88. Pulsador E.B.C ®



Fuente: Los autores.

Figura 89. Bloque para pulsador Chint ®

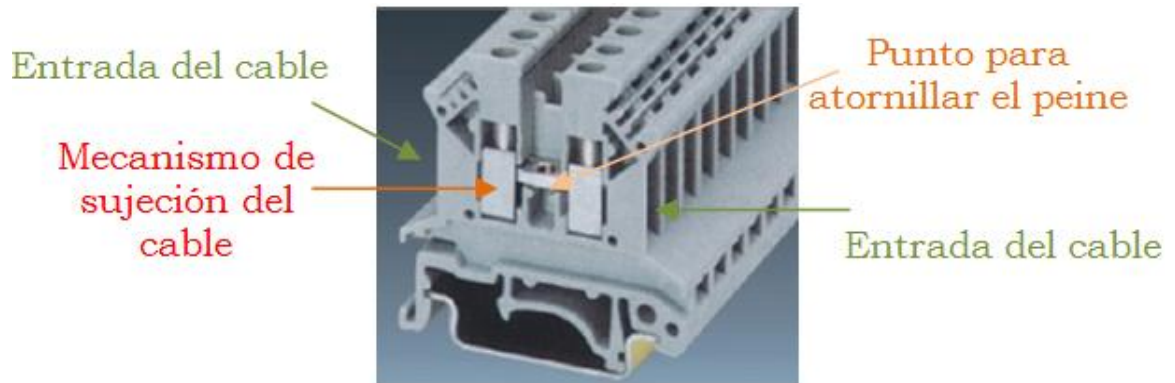


Fuente: CHINT. Productos: Auxiliares de mando. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: <http://www.mechint.es/cas/novedad.php?idn=11692>.

9.2.8 Bornes. Los bornes son simples conexiones eléctricas con dos puntos que se usan para conectar dos partes de un circuito o generar puntos comunes mediante la unión eléctrica de dos o más bornes mediante peines (uniones metálicas que se atornillan a cada borne y al atornillar dos o más bornes conforman uniones eléctricas de 4 o más puntos). La gran ventaja de los bornes es se pueden montar de manera modular como se muestra muestran en la figura 90.

Para separar grupos de bornes de otros sin dejar separación o finalizar grupos de bornes, es posible usar tapas de finales de grupo como la que se muestra en la figura 91.

Figura 90. Bornes Chint ®



Fuente: CHINT. Materiales para armarios y cajas: Bornas. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: <http://www.mechint.es/cas/catalogoDetalle.php?id=8236&Familia=1542>.

Figura 91. Tapas separadoras para bornes Chint ®



Fuente: CHINT. Materiales para armarios y cajas: Bornas. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: http://www.mechint.es/rccs_prod/BORNAS.pdf.

9.2.9 Riel DIN. Con el objetivo de lograr una estandarización del montaje de los equipos, DIN ha definido el riel mostrado en la figura 92 en el que se montan todos

los elementos eléctricos que serán parte de un circuito, por ejemplo: bornes, contactores, bases de relés de tiempo, bases de relés de voltaje, etc.

Figura 92. Riel para montaje de elementos



Fuente: CHINT. Materiales para armarios y cajas: carril DIN. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: http://www.mechint.es/racs_prod/CI_CARRIL_DIN_AIREADOR_2.pdf.

9.2.10 Canaleta. Al realizar montaje de tableros de control o de potencia, es necesario mantener orden en el mismo, es por este motivo que existen canales que se cortan a medida de la caja y permiten llevar dentro el cable de las conexiones y además derivar cable mediante ranuras laterales. Esta se construye de material aislante. Una sección de canaleta se muestra en la figura 93.

Figura 93. Canaleta eléctrica



Fuente: Los autores.

9.2.11 Cajas. Con el objetivo de mantener los circuitos aislados del contacto humano, es necesario realizar el montaje de los mismos en cajas destinadas a tal fin.

Las cajas se acondicionan con riel y canaletas, algunas de las cajas traen predispuesto un conjunto de canaletas para conducir el cable, pero resultan muy costosas y para aplicaciones específicas, la mejor opción es comprar la caja y la canaleta por separado y realizar su montaje. Una caja se muestra en la figura 94.

Figura 94. Caja Chint ®



Fuente: CHINT. Armarios y cajas: Armario plástico. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010]. Disponible en internet: <http://www.mechint.es/cas/catalogoDetalle.php?id=5284&Familia=1697>.

9.2.12 Prensaestopas. A la caja entran los conductores por perforaciones realizadas por quien construye el circuito o predeterminadas de fábrica, estas entradas deben proveerse de tapones que industrialmente son conocidos como prensaestopas y que permiten el ingreso del cableado, pero no de partículas que puedan contaminar el interior de la caja. Esto se logra mediante el apriete de la cabeza de la prensaestopas que presiona los cables y disminuye el espacio hasta no permitir más espacio que el necesario para la entrada o salida de cableado de la caja. Un prensaestopas se muestra en la figura 95.

Figura 95. Prensaestopas Chint ®



Fuente: CHINT. Materiales para armarios y cajas: carril DIN. [en línea]. [citado 15, marzo, 2010].
Disponible en internet: <http://www.mechint.es/cas/catalogoDetalle.php?id=4621&Familia=1542>.

10 DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRÁCTICAS

10.1 INTRODUCCIÓN

El banco se diseñó con la necesidad de que este sea muy seguro, debido a que será manipulado por estudiantes con poca experticia en sistemas eléctricos, es por eso que la mayor parte del diseño del banco, aparte de la funcionalidad y de cumplir los objetivos de las prácticas, se centra en la seguridad propia del banco, a continuación se presentarán todos los aspectos que se tuvieron en cuenta para el diseño del banco de prácticas en motores eléctricos.

10.2 LÓGICA DEL BANCO DE PRÁCTICAS EN MOTORES ELÉCTRICOS

Principalmente la lógica del banco se centra en que el banco funciona cuando dos condiciones se cumplan:

- 1.la puerta de la caja donde se montó un circuito debe estar cerrada.
- 2.Una muletilla con llave debe ser accionada por el auxiliar del laboratorio.

Con esto se logra que el control de la energización de las cajas se haga por dos personas diferentes y estratificadas de la siguiente manera:

- 1.Estudiante: Este podrá cerrar la tapa de la puerta donde esté cableando pero al no estar accionada la muletilla mediante su llave, no existirá corriente al interior de la caja.
- 2.Auxiliar: Este podrá revisar los montajes y luego de su evaluación del montaje y valiéndose de que posee las llaves de las muletillas, puede decidir energizar o no energizar las cajas para probar los circuitos.

Es de esta manera que el auxiliar tiene el control de la energización de las cajas y los estudiantes tendrán que consultar la posibilidad de energizar el banco a este auxiliar, que posee más experiencia y seguramente conoce más el banco y los circuitos que los estudiantes.

10.2.1 Como se logran las dos condiciones de energización del banco. El circuito de control está instalado en la caja inferior del banco a la que los estudiantes no tienen acceso y consta de un contactor que en caso de que las dos condiciones mencionadas en la sección anterior no se cumplan, no podrá conmutarse y no existirá paso de corriente por este.

El circuito de control de cada una de las cajas es independiente debido a dos razones:

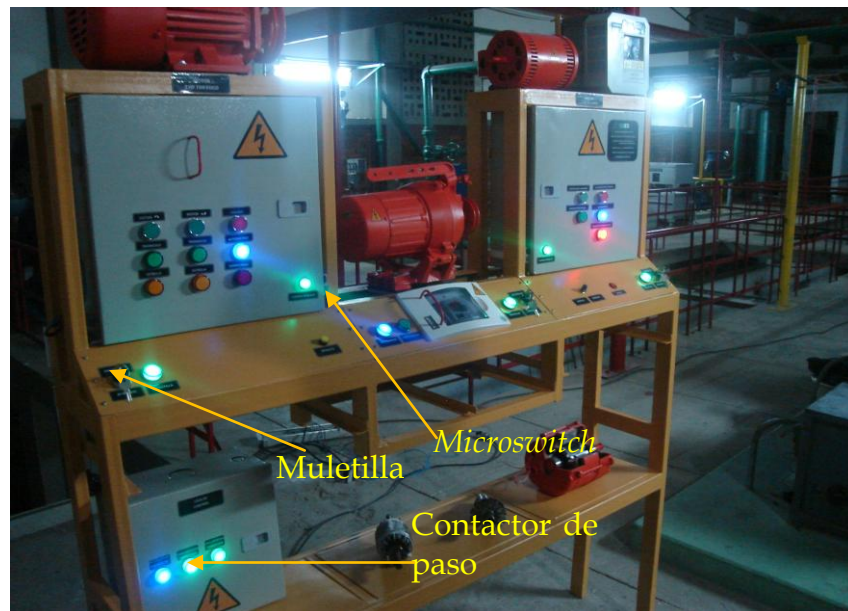
1. Se manejan 4 tipos de corriente diferente para energizar los motores, estas corrientes son:
 - a. Corriente trifásica a 220 VAC.
 - b. Corriente monofásica a 220 VAC.
 - c. Corriente monofásica a 110 VAC.
 - d. Corriente monofásica 12 VDC.

2. Se decidió que es más conveniente para la seguridad de los estudiantes que los sistemas sean independientes y similares, de esta manera, la falla de un sistema no afecta los otros dos sistemas.

Para lograr energizar del banco es necesario que la muletilla tenga la llave y esta se gire a la posición de encendido (posición cerrada o sea permite el paso de la corriente), haciendo esto la energía viaja de la línea hasta la entrada de la muletilla, pero no llega a la caja hasta que la puerta se cierra y un *microswitch*

pasa de normalmente abierto a normalmente cerrado y comanda con una señal eléctrica un contactor que permite el paso de la corriente hasta la caja. Es de aclarar que el cableado hasta la muletilla está completamente aislado por un sistema de canaletas dieléctricas y el giro de la llave de la muletilla no hace conmutar el contactor que permite el paso desde la acometida al banco hasta la caja, porque la energización de la caja necesita de la condición de que la puerta esté cerrada además del giro de la muletilla para comandar la bobina del contactor y permitir el paso de corriente a la caja. A continuación se presentan figuras que permiten ubicar al lector en el sistema de control del banco.

Figura 96. Vista del banco para comprensión de la lógica



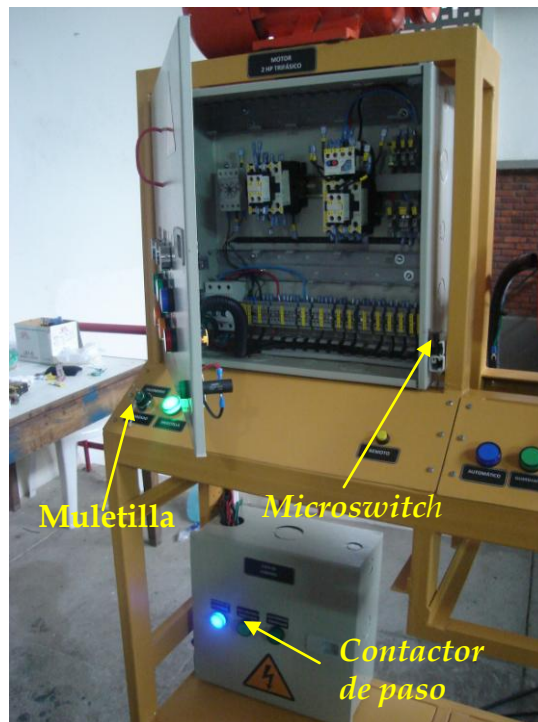
Fuente: Los autores.

En la figura 96 existe corriente dentro de la caja porque se cumplen las dos condiciones: muletilla en posición encendido (cerrada) y *microswitch* cerrado mediante un pulsador que se acciona con el cierre de la tapa. Se corrobora que existen las dos condiciones debido a que los pilotos (verdes) de la muletilla y el *microswitch* están encendidos. Inmediatamente se observa en la caja inferior que

el piloto del contactor de paso está encendido por lo tanto el contactor está conmutado y permite el paso de la corriente a través de él y por conexiones internas a la caja de trabajo.

En la figura 97 se presenta la situación cuando la puerta está abierta y se puede observar que el contactor de paso de la caja de control (abajo izquierda) esta desenergizado ya que su piloto se encuentra apagado y no hay corriente en la caja.

Figura 97. Incumplimiento de una de las dos condiciones

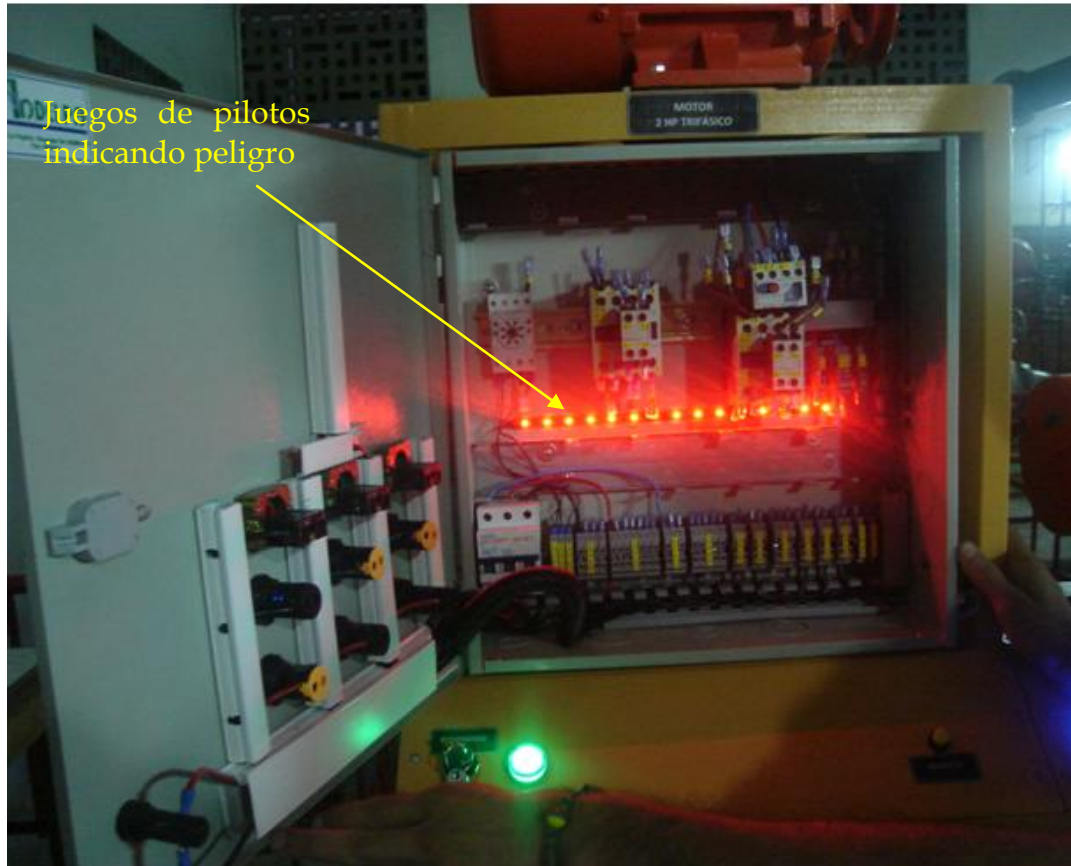


Fuente: Los autores.

En el caso de que alguien viole la seguridad del banco sustituyendo el cierre del *microswitch* mediante la tapa por el pulso directo del mismo ya sea con la mano u otro objeto, el banco le avisará a la persona mediante un juego de pilotos color

rojo que existe corriente al interior de la caja y puede sufrir riesgo de lesiones graves o aún la muerte. En la figura 98 se muestra esta situación.

Figura 98. Violación de la seguridad pulsando el microswitch manualmente



Fuente: Los autores.

10.2.2 Similitud en los circuitos de control de las cajas. Cada una de las cajas posee un contactor de paso en la caja de control y son accionados independientemente por muletilla y *microswitch* montados por pareja en cada caja.

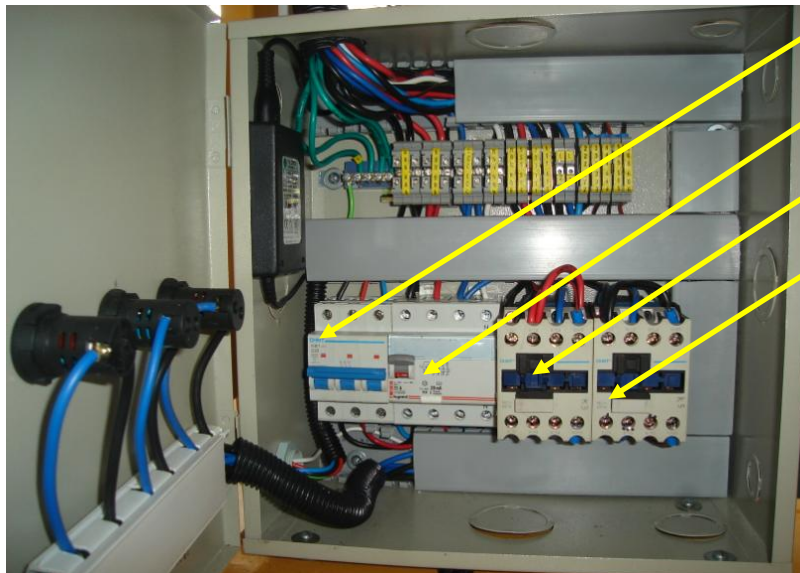
En la figura 99 se muestra la caja de control cerrada y abierta, en ella podemos ver tres elementos que son: Interruptor diferencial (se hablará más adelante de él), contactor de paso caja derecha y contactor de paso caja izquierda.

Figura 99. Exterior de la caja de control



Fuente: Los autores.

Figura 100. Interior de la caja de control



- Taco totalizador
- Interruptor diferencial
- Contactador de paso caja izquierda
- Contactador de paso caja derecha

Fuente: Los autores.

10.2.3 Detalles de los accionamientos por muletilla y *microswitch*. A continuación se presentan los accionamientos que se usan para generar la lógica dentro del banco, ellos se muestran en las figuras

Figura 101. Muletilla con llave



Fuente: Los autores.

Figura 102. *Microswitch*



Fuente: Los autores.

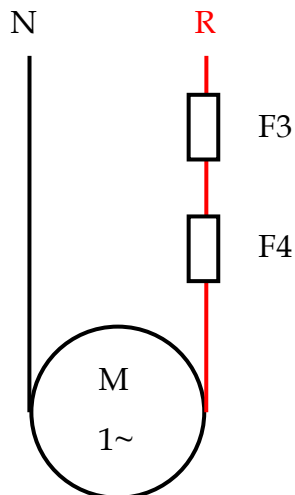
10.2.4 Circuitos eléctricos de potencia y control del banco de prácticas.

Son los encargados de que la lógica del banco se lleve a cabo, a continuación se presentan detalladamente.

10.2.4.1 Circuito motor ½ HP monofásico. El circuito de potencia monofásico 110 V, se usa para energizar un motor de ½ HP monofásico, por norma NTC 2050, al ser motores de uso intermitente (no más de 20 minutos cada encendido), el sistema puede ser protegido por los dispositivos de contra cortocircuitos y fallas a tierra. Para ello se hace uso de un automático de disparo instantáneo y la protección a tierra se logra mediante la red de alimentación al banco. La tierra de la línea 110 V monofásica, se aterrizará mediante la tierra de la acometida en el punto donde se instale el banco de prácticas.

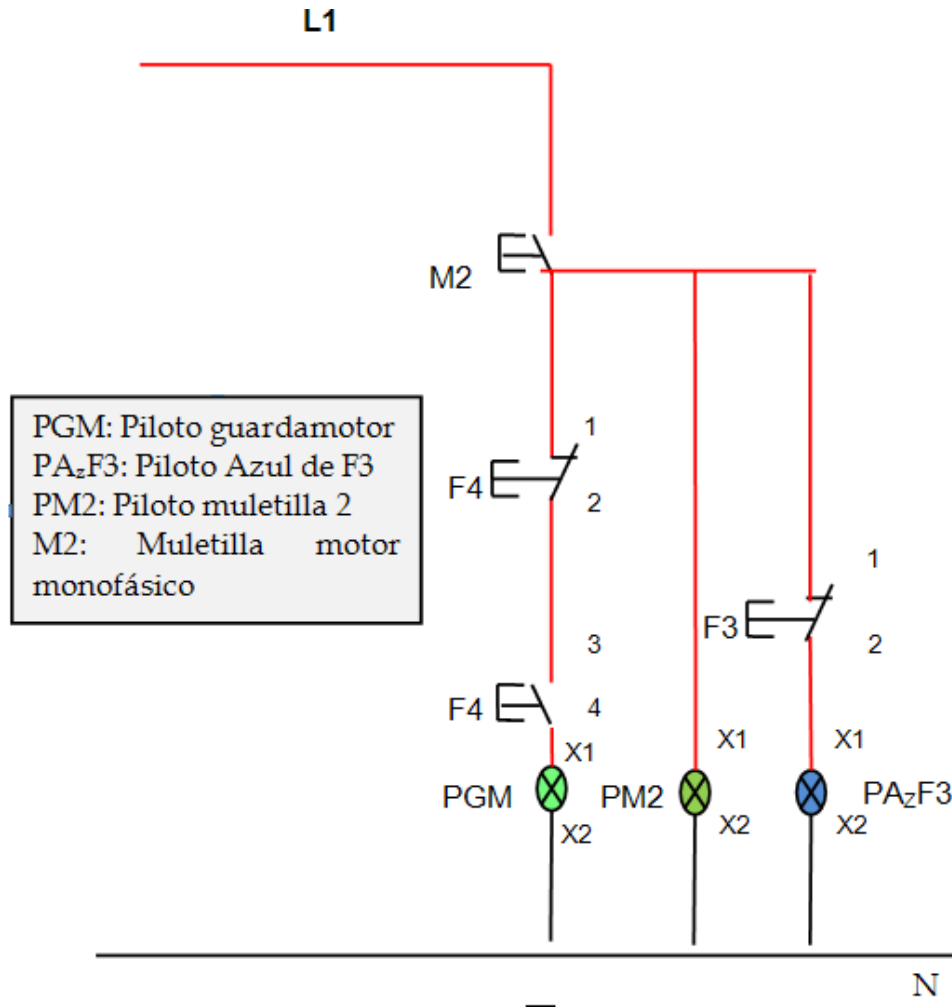
En las figuras 103 y 104 se muestran los circuitos de potencia y control para la línea 110 V monofásica.

Figura 103. Circuito de potencia de la red 110 monofásica



Fuente: Los autores.

Figura 104. Circuito de control de la red 110 monofásica

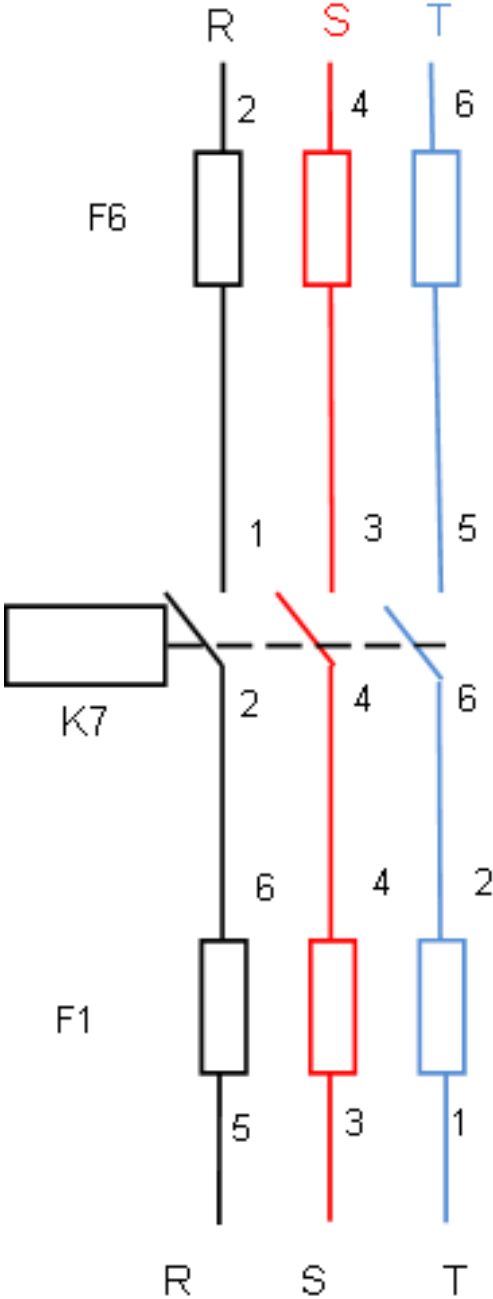


Fuente: Los autores.

10.2.4.2 Circuito motor de 2 HP trifásico. Esta red usa una protección especial adicional a la protección de tierra que consiste en un interruptor diferencial, cuya función es que cuando la corriente de alguna de las fases disminuye en 30 mA en relación con las otras se abre y no deja pasar la corriente trifásica.

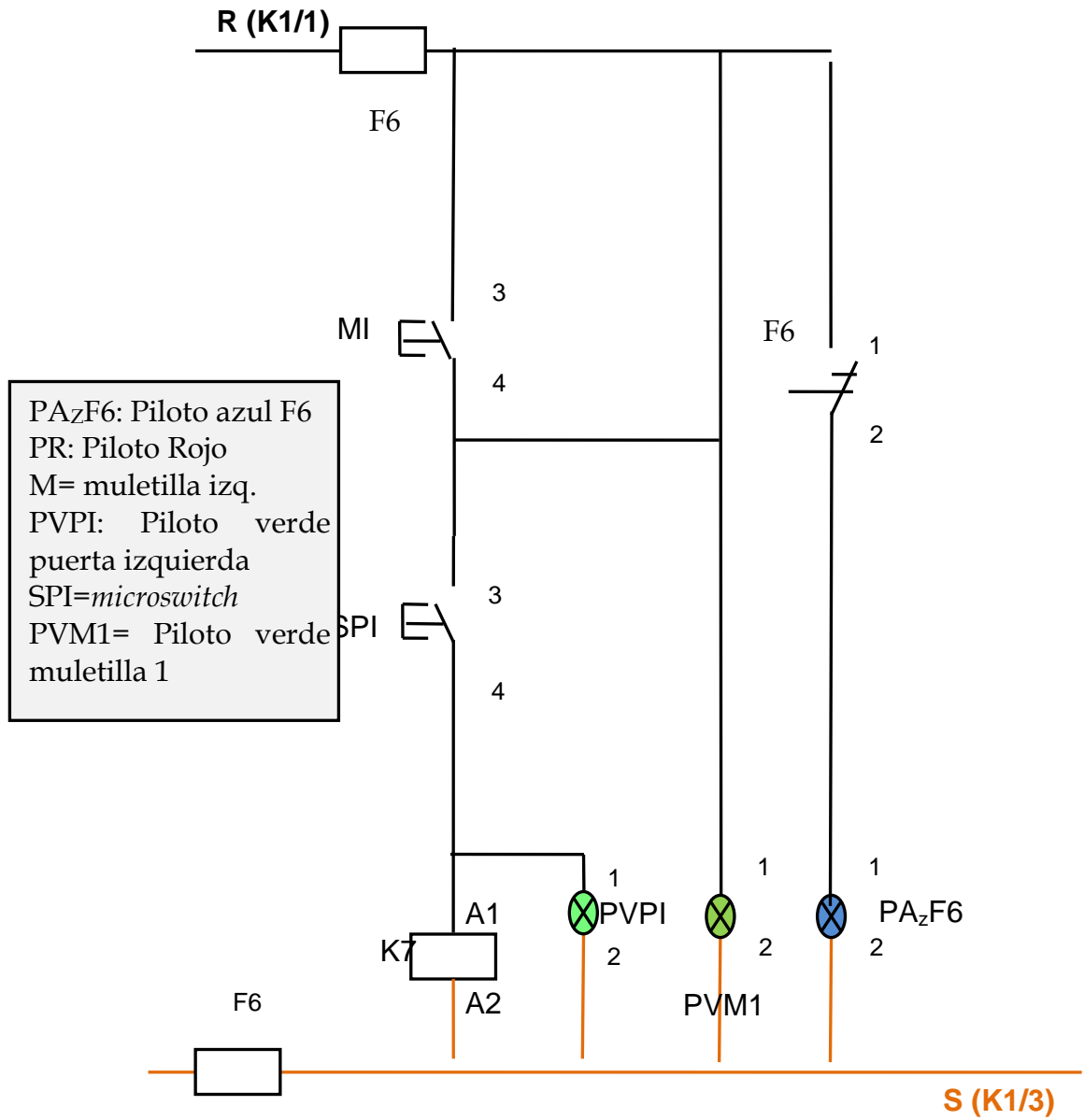
El circuito se usa para energizar el motor de la caja izquierda mediante 220 V a 3~, En las figuras 105 y 106 se muestran los circuitos de potencia y control para la línea 220 V trifásica.

Figura 105. Circuito de potencia 220 V 3~



Fuente: Los autores.

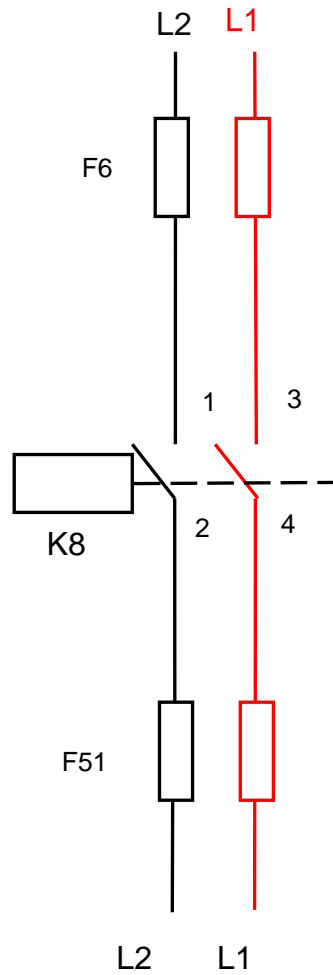
Figura 106. Circuito de control red 220 V 3~



Fuente: Los autores.

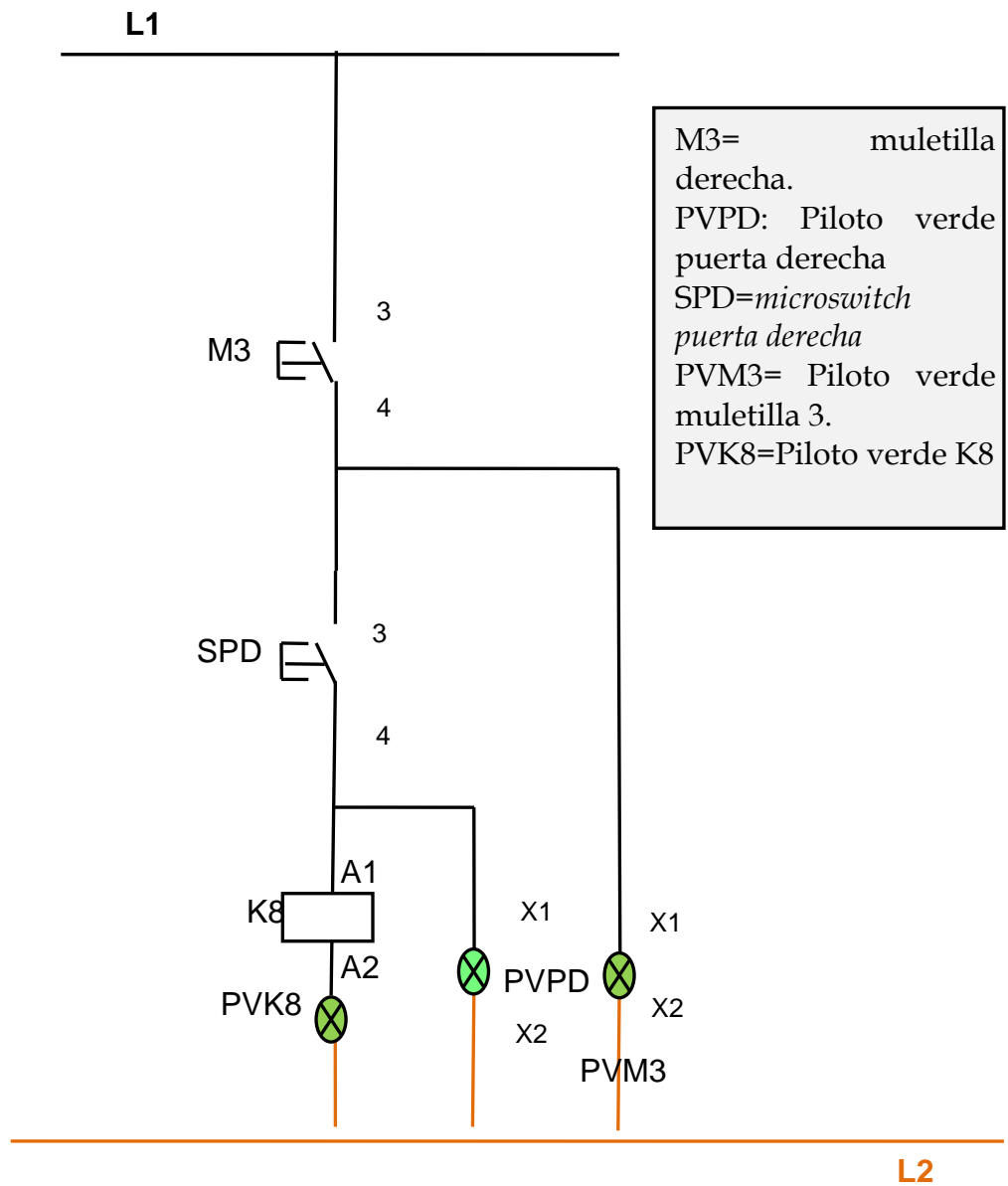
10.2.4.3 Circuito ½ HP trifásico monofásico a 220 V. El circuito de potencia monofásico se usará para alimentar el variador de frecuencia que a su vez comandará al motor. En las figuras 107 y 108 se presentan los circuitos de potencia y control de esta red.

Figura 107. Circuito de potencia monofásico 220 V



Fuente: Los autores.

Figura 108. Circuito de control monofásico 220 V

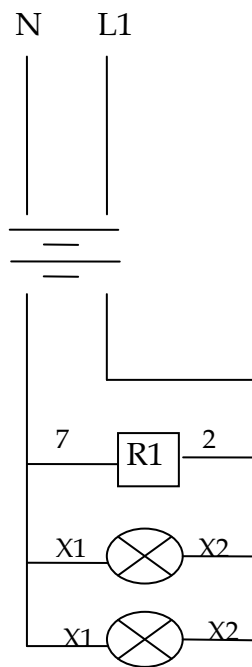


Fuente: Los autores.

10.2.4.4 Circuito alimentación a 12 V DC. Este circuito se usa para alimentar los indicadores de aviso cuando la puerta está abierta, además en el circuito de arranque remoto de estrella triángulo, este circuito alimenta el relé con 12 VDC.

En las figuras 109 se muestra el circuito de potencia para generar los 12VDC necesarios en el relé y los leds.

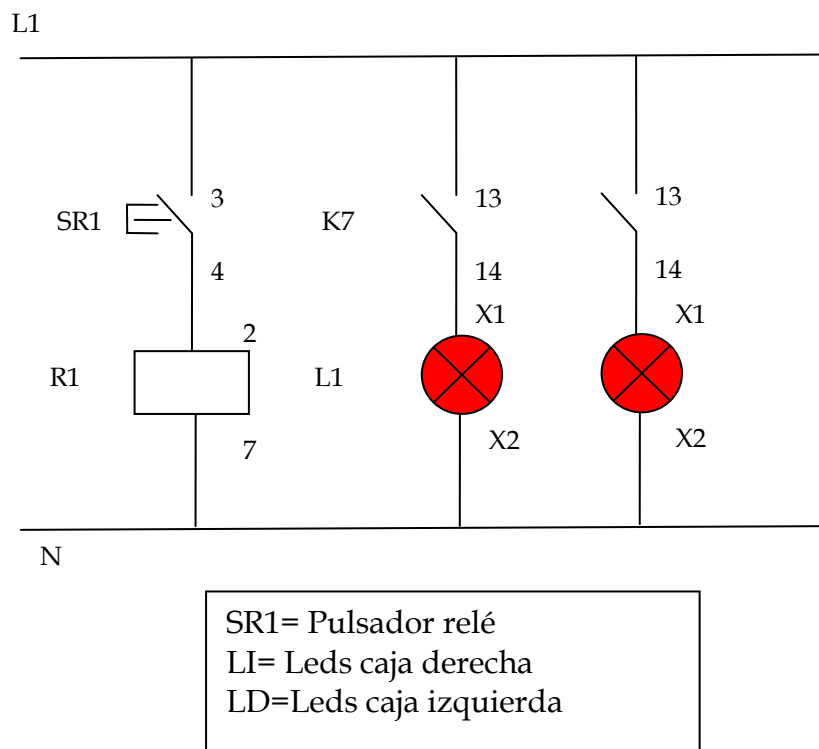
Figura 109. Circuito de potencia monofásico 220 V



Fuente: Los autores.

El circuito de control se muestra en la figura 110.

Figura 110. Circuito de potencia monofásico 220 V



Fuente: Los autores.

10.3 COMPONENTES DEL BANCO DE PRÁCTICAS

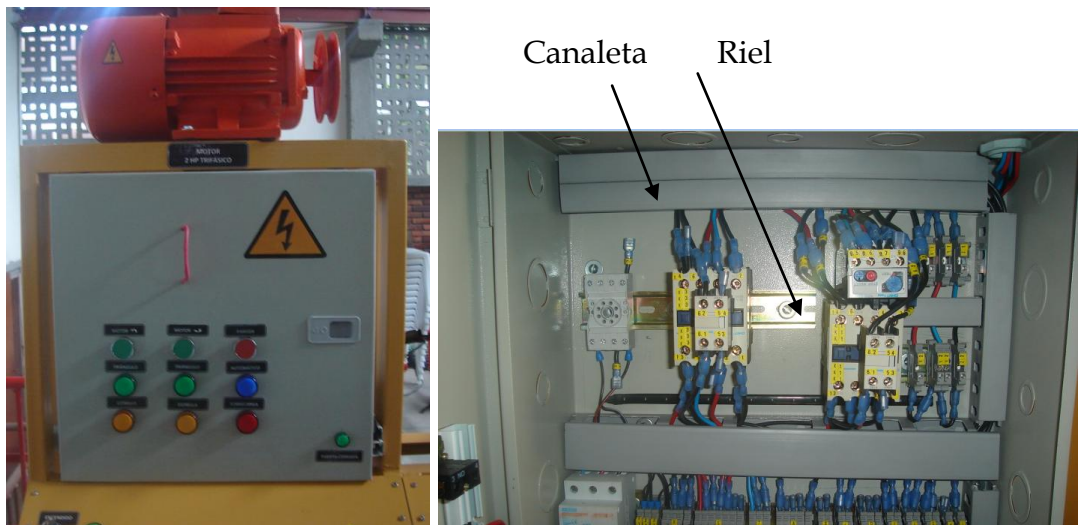
10.3.1 Cajas para montaje de los circuitos de las prácticas. El sistema es modular mediante el uso de riel DIN que es el riel que se usa industrialmente para montar contactores y todo tipo de elementos eléctricos y para el que la mayoría de elementos eléctricos industriales traen una cavidad con la que estos encajan de manera precisa en el canal del riel quedando fijos y pudiéndose desmontar nuevamente.

Además se dotaron las cajas de canaleta ranurada con el fin de que al final del montaje los estudiantes guarden el cable al interior de la canaleta y las conexiones que salen de estas sean rectas verticales u horizontales que le den armonía y

orden a las mismas, con esto se busca incentivar a los estudiantes a hacer montajes ordenados y cumplir con los requerimientos de orden para circuitos eléctricos.

Se dotó el banco con 2 cajas de uso industrial 40X40X20, que poseen pintura dieléctrica, tapas de apertura fácil, totalmente cerradas y aisladas. En la figura 103 se muestra una de las cajas que se usan en el banco.

Figura 111. Cajas para montaje de circuitos



Fuente: Los autores.

10.3.2 Sistema de pilotos. Este sistema permite reconocer cual es el funcionamiento del circuito dependiendo de la práctica que se esté cableando dentro de la caja. En cada práctica el estudiante reconoce la información indicativa de la práctica mediante la observación y análisis del plano y la guía que se le suministra por parte del auxiliar de las pruebas.

10.3.3 Canaletas dieléctricas. Con el objetivo de evitar que los estudiantes entren en contacto con cable energizado (puesto que esta fuera de las cajas y viaja por las canaletas) se diseñó una conducción completamente cerrada de

canaletas que permite evitar posibles contactos, además de que es el encargado de distribuir energía a todo el banco de prácticas.

10.3.4 Sistema de tubo flexible. Este permite canaletear el cableado de salida de los motores para mantenerlo lejos de la interacción con los estudiantes.

10.3.5 Material eléctrico. El banco tiene un juego de contactores NC1 marca CHINT ®, para una capacidad de 25 A, cable calibre 14 y 12 de 20 y 25 A respectivamente de capacidad, relés térmicos de sobrecarga, borneras con capacidad para 35 A, sistema de acople para facilitar el cableado (sistema de terminales rápidos tipo 14-16 para 20 A) y todos los implementos necesarios para el desarrollo de las prácticas.

En la figura 112 se presenta una visión general del banco de prácticas, donde se aprecian de izquierda a derecha: Caja del motor de 2 HP trifásico, sección del motor de ½ HP monofásico, caja del motor de ½ HP trifásico y variador de velocidad.

El banco posee un *socket* con IP 45 para servicio pesado en ambiente contaminado, que permite que sea usado en condiciones extremas y que preste su función sin riesgos para el personal. Al ensamblar completamente el *socket* la conexión es completamente compacta, aislada y protegida.

Figura 112. Vista general del banco de prácticas



Fuente: Los autores.

11 PRÁCTICA No 1: RECONOCIMIENTO DE MOTORES ELÉCTRICOS, MEDIDORES Y SEGURIDAD EN MANIPULACIÓN DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS

11.1 INTRODUCCIÓN

Para el estudiante de ingeniería mecánica es fundamental reconocer diferentes aspectos constructivos que determinan características funcionales de los motores eléctricos, además debe conocerse la manera de utilizar medidores de variables eléctricas y prever procedimientos seguros al manipular circuitos eléctricos.

11.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA

- Conocer la clasificación de los motores eléctricos, utilizando diagramas y/o esquemas de motores eléctricos.
- Reconocer las partes que constituyen un motor eléctrico, mediante la observación de cortes de distintos tipos de motores y la ayuda didáctica mediante acetatos.
- Identificar la función que cumple cada parte dentro del motor eléctrico.
- Describir a partir del corte, el funcionamiento del motor eléctrico, especificando el tipo de motor.
- Conocer mediante acetatos la normatividad vigente acerca de la interacción humana con circuitos eléctricos.
- Conocer mediante acetatos los riesgos en la manipulación de circuitos eléctricos.
- Conocer mediante acetatos las prevenciones necesarias para la manipulación de elementos y circuitos eléctricos.
- Conocer los procedimientos de seguridad eléctrica al interior del banco.
- Conocer el funcionamiento de un multímetro.

- Presentar informe acerca de las partes de los motores en corte, el uso del multímetro y las prevenciones de seguridad eléctrica.

11.3 METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE

Con previa lectura de los capítulos teóricos 2, 3 y 4 del presente libro, la guía se desarrollará por los estudiantes mediante material didáctico: figuras importantes (*anexos para la práctica*), corte de motor, diferentes tipos de rotores, figuras explicativas de los cortes (*anexos para la práctica*) y un multímetro para la medición de variables eléctricas.

11.4 MATERIALES PARA LA PRÁCTICA

- Motor jaula de ardilla en corte.
- Rotores: jaula de ardilla y rotor bobinado.
- Multímetro.
- Láminas.

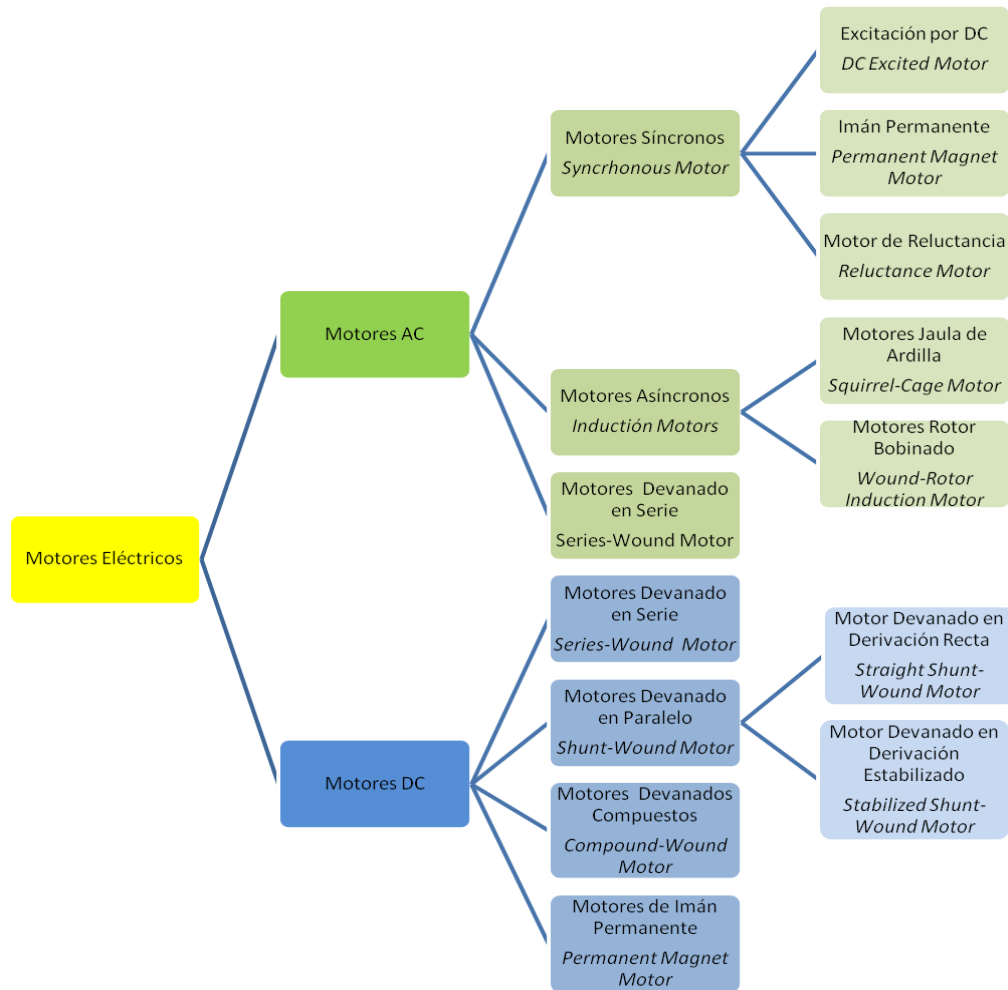
11.5 DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS

11.5.1 Responsabilidad sobre los implementos del banco de pruebas. La responsabilidad cuando ocurra pérdida de algún tipo de material del banco, recaerá sobre los estudiantes responsables de realizar la práctica, así que estos deben asegurarse de dejar todos los implementos en su lugar y de no permitir que personal ajeno a la práctica tome estos elementos. Estos son costosos y tendrán que devolverse en tiempo muy corto.

11.5.2 Clasificación de motores eléctricos según NEMA. La forma más adecuada de reconocer la clasificación de los motores eléctricos según la

naturaleza de la corriente eléctrica es mediante la información contenida en NEMA al respecto, para ello se ha dispuesto la figura 113.

Figura 113. Clasificación NEMA de motores eléctricos según naturaleza de la corriente eléctrica

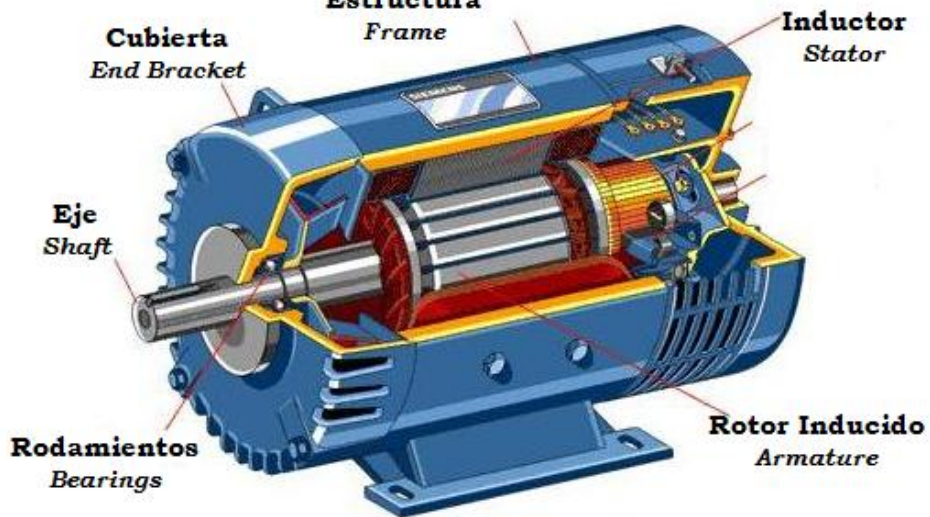


Fuente: Compilada por los autores de NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA Standards publication MG 1-2006: Motors and Generators. Rosslyn: NEMA 2006. p. 44-50.

11.5.3 Reconocimiento de partes de motores y funcionalidad de las mismas.

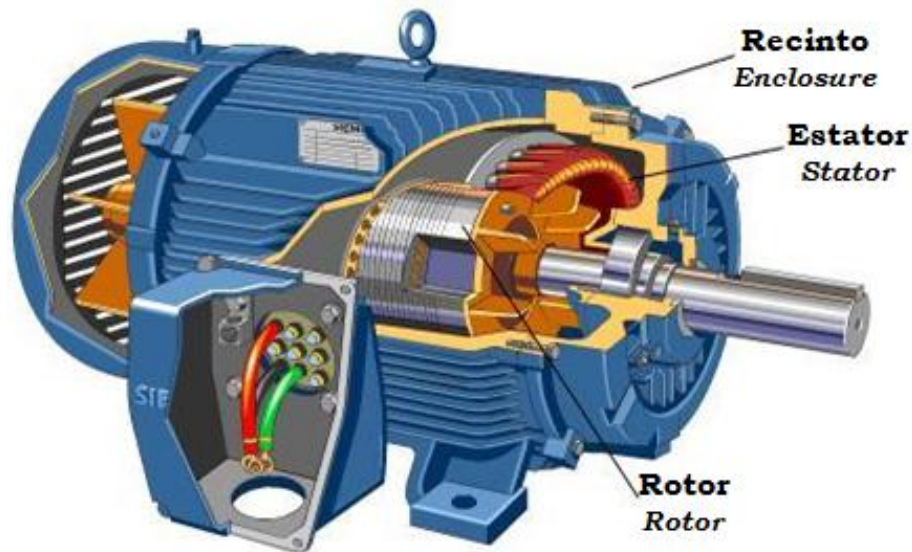
Los motores DC y AC generalmente se componen de las partes mostradas en las figuras 114 y 115 respectivamente.

Figura 114: Partes principales de un motor DC



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of DC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?dcd:1:1:1>.

Figura 115. Partes principales de motor eléctrico AC trifásico de inducción



Fuente: SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/acmotors/index.htm>.

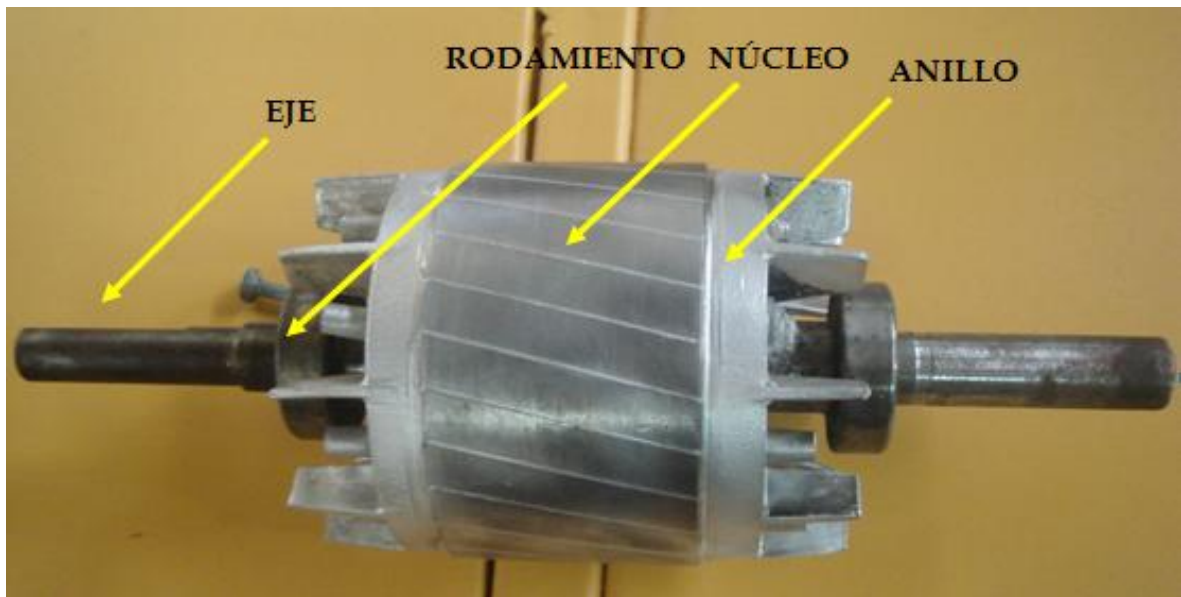
El estudiante encontrará en el banco 1 motor jaula de ardilla en corte, 1 rotor bobinado y 1 rotor jaula de ardilla.

Pasos para desarrollar la prueba:

- Identificar las partes de los elementos mencionados anteriormente, y describir la función de cada una de ellas.
- Observar el motor en corte e identificar las partes.
- Reconocer las partes de los rotores y describir su función.
- Redactar el informe.

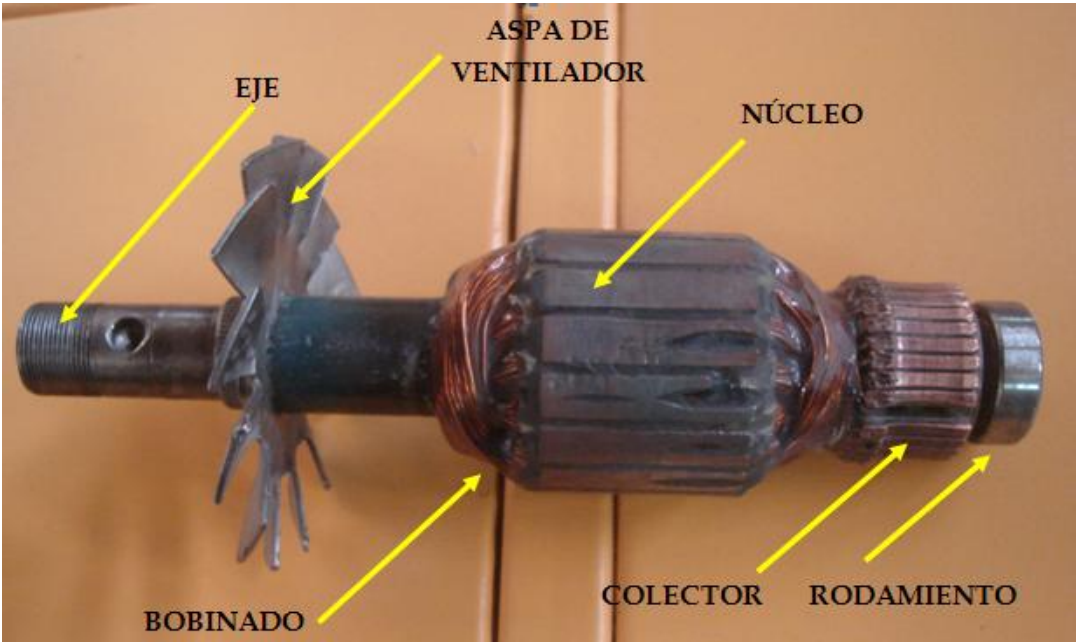
Las siguientes ayudas didácticas (figura 116, 117 y 118) se encuentran en el banco para guiar al estudiante durante la realización de la práctica:

Figura 116. Rotor jaula de ardilla



Fuente: Los autores.

Figura 117. Rotor bobinado



Fuente: Los autores.

Figura 118. Motor jaula de ardilla en corte



Fuente: Los autores.

11.5.4 Seguridad en el manejo de circuitos eléctricos. El Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia ha desarrollado el RETIE y en su capítulo 5 presenta la normatividad acerca de seguridad eléctrica. Los principales riesgos eléctricos se presentan en la tabla 26, las reacciones fisiológicas ante el contacto con partes energizadas en la tabla 27 y las distancias mínimas de seguridad en la tabla 28 y su explicación en la figura 119.

Tabla 26. Principales riesgos eléctricos

Riesgo	Descripción
Arco eléctrico	Salto de corriente desde un conductor a una persona.
Contacto directo	Tocar sin protección conductores energizados.
Contacto indirecto	Tocar estructura que está en contacto con conductores desnudos.
Corto circuito	Dos fases o viva y neutro se tocan sin resistencia entre ellos.
Electricidad estática	Equipo cargado electrostáticamente se descarga por una persona.
Equipo defectuoso	Equipo eléctrico con daños en el sistema eléctrico.
Rayos	Alta descarga de corriente por acción natural.
Sobrecarga	Corriente en un conductor que produce peligro de incendio.
Tensión de contacto	Estar en contacto con estructuras que puedan ser energizadas.
Tensión de paso	Estar cerca de una estructura que puede ser energizada.

Fuente: Los autores.

Tabla 27. Relación entre energía específica y efectos fisiológicos

Energía Específica $I^2 \cdot t \cdot (10^6)$	Percepciones y reacciones fisiológicas
4 a 8	Sensaciones leves en dedos y tendones de los pies.
10 a 30	Rigidez muscular suave en dedos, muñecas y codos.
15 a 45	Rigidez muscular en dedos, muñecas, codos y hombros. Sensación en las piernas.
40 a 80	Rigidez muscular y dolor en brazos y piernas.
70 a 120	Rigidez muscular, dolor y ardor en brazos, hombros y piernas.

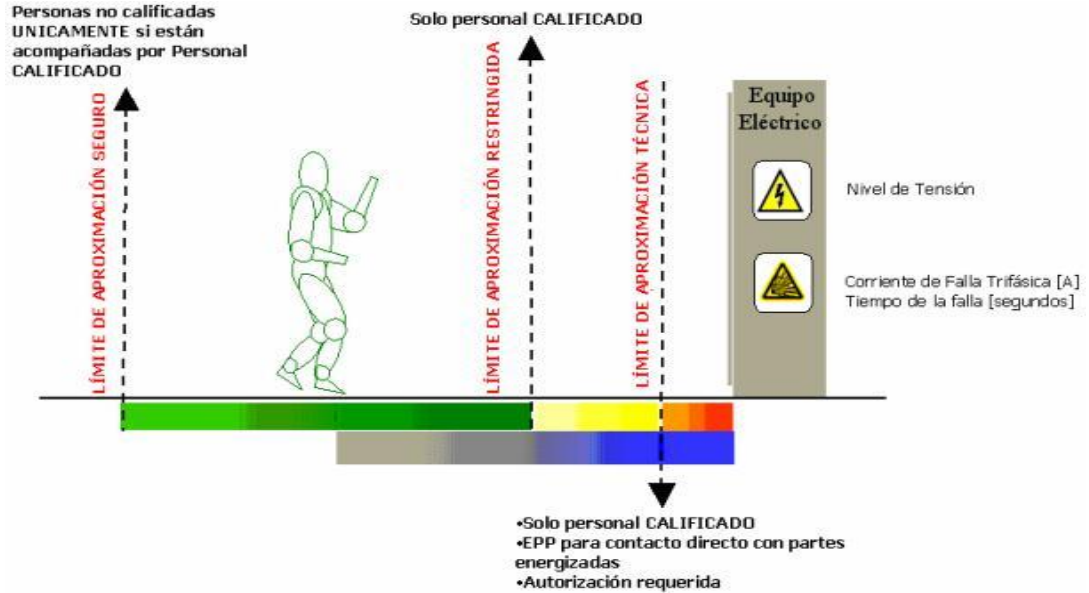
Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 34.

Tabla 28. Distancias de seguridad para prevención de riesgos por arco eléctrico

Tensión nominal del sistema (fase-fase)	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida [m] Incluyendo movimientos involuntarios	Límite de aproximación Técnica
	Parte móvil expuesta	Parte fija Expuesta		
51V-300V	3,00	1,10	Evitar contacto	Evitar contacto
301V-750V	3,00	1,10	0,30	0,025
751 V – 15kV	3,00	1,50	0,66	0,18
15,1 kV – 36 kV	3,00	1,80	0,78	0,25
36,1 kV- 46 kV	3,00	2,44	0,84	0,43
46,1kV-72,5kV	3,00	2,44	0,96	0,63
72,6kV-121kV	3,25	2,44	1,00	0,81
138kV-145kV	3,35	3,00	1,09	0,94
161kV-169kV	3,56	3,56	1,22	1,07
230kV-242kV	3,96	3,96	1,60	1,45
345kV-362kV	4,70	4,70	2,60	2,44
500kV-550kV	5,80	5,80	3,43	3,28

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 55.

Figura 119. Límites de aproximación para evitar riesgo de arco eléctrico



Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. p. 56.

Para el buen desarrollo de las prácticas deben cumplirse las siguientes normas de seguridad al interior del banco:

- Previamente a la práctica debe leerse el material teórico, este permitirá conocer los conceptos necesarios para el desarrollo de la misma.
- No olvidar que se está trabajando con tensiones desde 110 hasta 220 Volts y que este nivel de tensión puede causar **la muerte o lesiones graves**.
- Ser responsable al momento de desarrollar las prácticas, el banco no es un lugar para juegos, bromas, etc., ellas podrían ocasionar la muerte.
- Usar zapatos cerrados y con suela de caucho.
- No usar aretes, anillos, cadenas, manillas u otro objeto conductor de electricidad o que pueda causar el atascamiento del cuerpo en el banco.
- Usar guantes de protección.
- Comprobar que el sistema se encuentra desenergizado al momento de llegar al banco.
- Antes de construir un circuito eléctrico, asegurarse de que los elementos para construirlo son los que corresponden de acuerdo al esquema del circuito de la práctica.
- Antes de construir un circuito eléctrico asegurarse de que el cableado no esté expuesto (daños en la integridad del recubrimiento) y que los elementos no posean daños físicos que puedan comprometer la integridad personal.
- Respetar las distancias mínimas de seguridad contenidas en la tabla 28.
- Seguir exactamente las instrucciones para el desarrollo de la práctica, esta contienen procedimientos para energizar el circuito.
- Nunca energizar un circuito si no se está seguro de que está construido de acuerdo con el esquema del circuito eléctrico de la práctica, ante las dudas consultar con el docente.

- Previamente al momento de energizar el circuito, estar seguro de que las personas en el banco *NO* tienen contacto y están a distancias seguras del circuito.
- Luego de energizar el circuito *NO* entrar en contacto con el mismo, esta acción puede causar la muerte o lesiones graves.
- En caso de cortocircuito *NO* intentar desenergizar, esta es función de las protecciones del circuito y en caso de que estas fallen debe proteger su vida. Si se desenergiza el circuito debido a fuerza mayor, debe realizarse esta acción por personal competente y de manera segura.

11.5.5 Funcionamiento del multímetro. El multímetro que se usará en las prácticas se presenta en la figura 120, y el modo de funcionamiento para medir voltaje y corriente se presenta en la figuras 121, 122 respectivamente.

Figura 120. Multímetro para prácticas



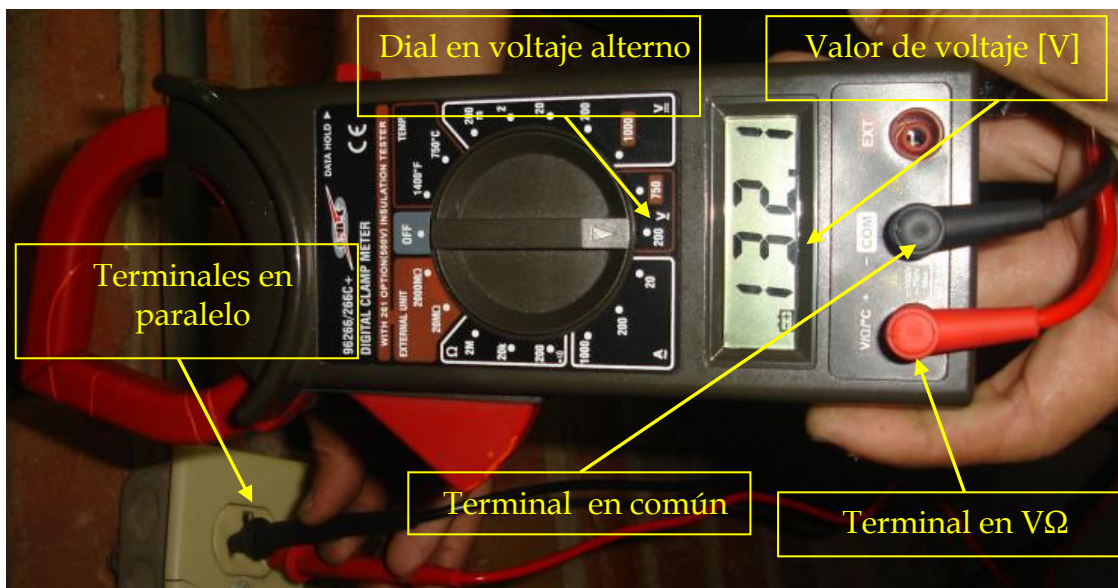
Fuente: Los autores.

Figura 121. Medición de corriente con pinza voltiamperimétrica





Fuente: los autores.

Figura 122. Medición de voltaje con pinza voltiamperimétrica



Fuente: los autores.

Tabla 29. Formato del informe para la guía práctica No 1

						Laboratorio de Diseño de Máquinas Banco de Prácticas en Motores Eléctricos	
INFORME GUÍA PRÁCTICA No. 1							
Grupo	Nombre	Apellidos	Código	Fecha	Calificación		
<input type="text"/>				<i>D</i>	<input type="text"/>		
				<i>M</i>			
				<i>A</i>			
INFORMACIÓN SOLICITADA							
MOTOR EN CORTE <input type="text"/>	<i>Partes: Nombre y función</i>			<i>Forma de funcionamiento del motor (breve explicación)</i>			
Hoja 1/4							

<p>ROTOR JAULA DE ARDILLA</p> <p><i>Tipo de motor al que pertenece:</i></p> <div data-bbox="281 638 529 745" style="border: 1px solid black; height: 66px; width: 118px; margin: 10px 0;"></div>	<p><i>Partes: Nombre y función</i></p>	<p><i>Forma de funcionamiento del motor (breve explicación)</i></p>
<p>ROTOR BOBINADO</p> <p><i>Tipo de motor al que pertenece:</i></p> <div data-bbox="281 1097 529 1205" style="border: 1px solid black; height: 66px; width: 118px; margin: 10px 0;"></div>	<p><i>Partes: Nombre y función</i></p>	<p><i>Forma de funcionamiento del motor (breve explicación)</i></p> <p style="text-align: right;">Hoja 2 / 4</p>

<p>NORMAS DE SEGURIDAD</p>	<p><i>Aspectos relevantes acerca de la normatividad</i></p>	<p><i>Riesgos eléctricos más comunes (Nombre y explicación breve)</i></p>
<p>MANEJO DE MULTÍMETRO</p>	<p><i>¿Cómo se conecta para medir corriente?:</i></p> <hr/> <p><i>¿Cómo se conecta para medir voltaje?:</i></p> <hr/>	

OBSERVACIONES	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
CONCLUSIONES	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

Fuente: Los autores.

12 GUÍA CONSOLIDADA DE LAS PRÁCTICAS No 2 y 3: SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE PROTECCIONES AUTOMÁTICAS O TACOS PARA CIRCUITOS CON MOTORES ELÉCTRICOS Y ARRANCADORES PARA MOTORES ELÉCTRICOS

12.1 INTRODUCCIÓN

Se ha decidido compilar las prácticas 2 y 3 debido a la relación directa entre ambas.

Existen diferentes métodos para arrancar motores eléctricos, el más común de estos es mediante arranque estrella triángulo, que resulta ser económico en comparación con los otros métodos. Se presentará en esta práctica la oportunidad de comparar el arranque directo y el método de estrella triángulo.

Cuando se ponen en funcionamiento motores eléctricos es necesario proteger la red y al motor de sobrecargas, cortocircuitos y fallas a tierra.

12.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA No 2

- Conocer la reglamentación Colombiana para el uso de Automáticos según RETIE.
- Seleccionar mediante el uso de tablas y catálogos; los automáticos correspondientes, para el circuito de motor de 2 HP trifásico y el motor de ½ HP monofásico, para el método de arranque directo.
- Documentar el proceso de selección de los correspondientes automáticos.
- Comparar la selección realizada con los automáticos correctamente seleccionados que se encuentran dentro del banco.

- Reconocer los circuitos de protección, mediante un diagrama de instalación de protecciones automáticas para arranque directo y arranque con estrella-triángulo.
- Construir los circuitos de protección para encender los motores de ½ HP monofásico y 2 HP trifásico que se encuentran en el banco.
- Encender el motor de 2 HP trifásico usando las protecciones, mediante los dos tipos de arrancador (directo y estrella-triángulo) y concluir acerca del automático seleccionado.
- Concluir acerca del automático previamente seleccionado en el primer ítem de esta práctica, respecto de si podría ser de menor capacidad dependiendo del tipo de arranque en el caso del motor de 2 HP trifásico.
- Presentar informe con la selección de los automáticos, los procedimientos llevados a cabo, observaciones y conclusiones.

12.3 OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA No 3

- Identificar los tipos más comúnmente utilizados para el arranque de motores eléctricos, mediante el uso de sus gráficas y acetatos con información al respecto.
- Arrancar el motor de 2 HP trifásico mediante el método directo y medir el pico de corriente.
- Reconocer las partes constitutivas del circuito de estrella-triángulo en el plano de eléctrico del mismo.
- Ubicar en el banco los elementos para construir el circuito estrella-triángulo.
- Armar el circuito de estrella-triángulo mediante el uso de las partes que para ese fin se encuentran en el banco.
- Arrancar el motor de 2 HP trifásico usando el arrancador estrella-triángulo y medir el pico de corriente durante el arranque.

- Comparar el pico de corriente en el arranque de un motor de 2 HP, trifásico, mediante el arranque directo y con arrancador de estrella-triángulo.
- Arrancar mediante el método directo un motor monofásico de ½ HP, explicar la diferencia con los motores trifásicos respecto al arranque y medir el pico de corriente en el arranque.
- Presentar resultados, identificando los valores picos durante el arranque y ubicarlos en las respectivas gráficas de arranque.
- Concluir acerca de los métodos de arranque de motores eléctricos.

12.4 METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE

Con previa lectura de los capítulos teóricos 5 y 8 del presente libro, la guía se desarrollará por los estudiantes mediante material didáctico: figuras importantes (*anexos para la práctica*), motores, esquemas de montaje eléctrico, partes de catálogos, dispositivos eléctricos y un multímetro para la medición de variables eléctricas.

12.5 MATERIALES PARA LA PRÁCTICA

- Motor jaula de ardilla de 2 HP trifásico.
- Motor de ½ HP monofásico.
- Componentes para armar un arrancador estrella triángulo mediante el uso de contactores, relés de tiempo y protecciones de arranque para el motor de 2 HP trifásico.
- Componentes para armar el circuito de arranque directo del motor de ½ HP monofásico, contactores y protección.
- Multímetro.

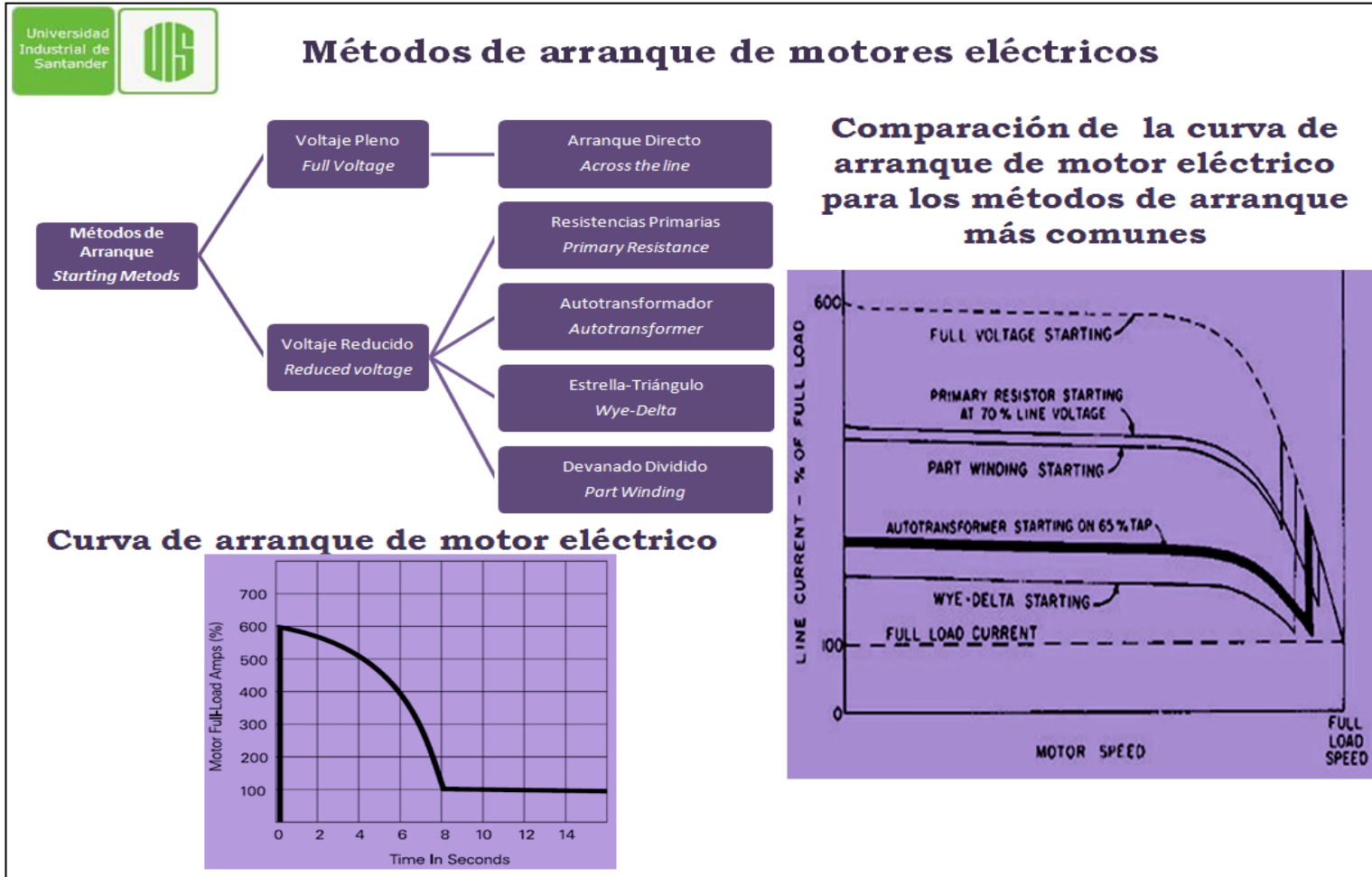
12.6 DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS

12.6.1 Responsabilidad sobre los implementos del banco de pruebas. La responsabilidad cuando ocurra pérdida de algún tipo de material del banco, recaerá sobre los estudiantes responsables de realizar la práctica, así que estos deben asegurarse de dejar todos los implementos en su lugar y de no permitir que personal ajeno a la práctica tome estos elementos. Estos son costosos y tendrán que devolverse en tiempo muy corto.

12.6.2 Método de arranque de motores eléctricos de uso común. Los principales métodos de arranque, la curva de arranque y la comparación de las curvas de arranque para un motor eléctrico mediante el uso de diferentes métodos de arranque se presentan en la figura 123. Con esta compilación el estudiante puede formarse una idea compacta acerca de la diferencia del consumo de corriente según el método de arranque usado, además de conocer el tiempo de arranque promedio.

La comparación de las características de los diferentes métodos de arranque de uso común se presenta en la figura 124.

Figura 123. Métodos de arranque: generalidades



Fuente: Los autores.

Figura 124. Métodos de arranque: características de operación

Método de Arranque	Operación	Corriente de arranque (% corriente de bloqueo del motor)		Torque de arranque (%Torque de bloqueo del motor)
Directo <i>across the line</i> <i>full voltage</i>	Conexión directa del motor a la red eléctrica.	100%		100%
Resistencias primarias <i>Primary resistance</i>	Adicionando resistencias en serie durante el arranque.	50-80%		25-64%
Autotransformador <i>Autotransformer</i>	Usando autotransformador para reducir el voltaje aplicado al motor.	Voltaje Reducido al		25% 42% 64%
Estrella-triángulo <i>Wye-delta</i>	Iniciando el motor en conexión estrella y conmutando a conexión triángulo.	50%	25%	
		65%	42%	
		80%	64%	
Devanado dividido <i>Part winding</i>	Arrancando el motor con solo una parte del devanado y luego adicionando la otra parte para el funcionamiento.	70-80%		50-60%

* Traducido por los autores desde su fuente original.

Fuente: MILLER Rex; MILLER Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. p. 208.

Las especificaciones de un motor eléctrico permiten conocer el % o número de veces que la corriente nominal se eleva durante el arranque, estos datos pueden verse en la figura 125.

Figura 125. Especificaciones de fabricante para corriente de arranque de un motor eléctrico

Velocidad 3600 rpm, 2 polos, 60 Hz															
Código	Tipo	Frame IEC Tamaño	Potencia		F.S.	In		Eficiencia η %	Factor de potencia $\cos \phi$	Velocidad nominal rpm	Torque nominal Nm	Torque de arranque Tarr / Tn	Cte. de arranque Iarr / In	Momento de inercia kg m ²	Peso kg
			HP	kW		220V A	440V A								
			25000001083	1LA7 070-2YA60		71M	0,75								
25000001085	1LA7 073-2YA60	71M	1	0,75	1,15	3,50	1,75	65	0,89	3320	2,15	2,5	4,7	0,00045	6
25000001086	1LA7 080-2YC60	80M	1,2	0,90	1,05	4,00	2,00	68	0,90	3400	2,51	2,3	4,9	0,00085	8,4
25000001087	1LA7 080-2YA60	80M	1,5	1,12	1,15	5,30	2,65	69	0,90	3370	3,17	1,8	3,7	0,00085	8,4
25000001089	1LA7 083-2YA60	80M	2	1,49	1,15	6,20	3,10	74	0,86	3410	4,18	3,3	6,3	0,0011	10
25000001090	1LA7 090-2YC60	90S/L	2,4	1,79	1,15	7,00	3,50	79	0,83	3460	4,94	2,4	5,5	0,0015	11,7
25000001091	1LA7 090-2YA60	90S/L	3	2,24	1,15	9,00	4,50	76	0,84	3490	6,12	2,7	5,7	0,0015	13,7
25000001093	1LA7 096-2YA60	90S/L	4	2,98	1,15	12,20	6,10	82	0,88	3440	8,28	2,3	5,9	0,002	15
25000001094	1LA7 112-2YA60	112M	5	3,73	1,15	16,00	8,00	71,1	0,86	3480	10,24	2	5,2	0,0055	28
25000001095	1LA7 113-2YA60	112M	6,6	4,92	1,05	19,00	9,50	79	0,86	3480	13,51	2,6	6,8	0,0055	30,8

Fuente: SIEMENS REGIÓN ANDINA. Motores de inducción trifásicos, catálogo de motores trifásicos. [online]. [cited 12, mars, 2010]. Available from internet: http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/templates/get_download_Framework_1_1.aspx?id=322&type=PDFS.

12.6.3 Protecciones para motores eléctricos. La norma NTC 2050, en el numeral 430 hace referencia a la selección de protecciones, en la figura 126 se presenta la selección cuando son motores de uso intermitente como en el caso de los motores del banco de pruebas.

12.6.4 Selección de protección para el arranque de motor de ½ HP monofásico mediante el método de arranque directo

Procedimiento de selección de los automáticos:

1. Decidir de la figura 126 cuál debe ser la protección.
2. Tomar el catálogo de apoyo que se encuentra en el banco.
3. Buscar la sección de *breakers* para montaje en riel.

4. Observar la corriente nominal del motor, según los datos de la placa.
5. Aplicar el criterio de 25% en exceso de la corriente nominal para calcular la corriente del automático.
6. Aproximar al más cercano en capacidad de corriente.
7. Documentar el proceso de selección.

12.6.5 Selección de protección para el arranque de motor de 2 HP trifásico mediante el método de arranque directo

Procedimiento de selección de los automáticos:

1. Decidir de la figura 126 cuál debe ser la protección
2. Tomar el catálogo de apoyo que se encuentra en el banco.
3. Buscar la sección de *breakers* para montaje en riel.
4. Observar la corriente nominal del motor, según los datos de la placa.
5. Aplicar el criterio de 25% en exceso de la corriente nominal para calcular la corriente del automático.
6. Aproximar al más cercano en capacidad de corriente.
7. Documentar el proceso de selección.

12.6.6 Selección de protección para el arranque de motor de 2 HP trifásico mediante el método de arranque estrella triángulo

Procedimiento de selección de los automáticos:

8. Decidir de la figura 126 cuál debe ser la protección.
9. Tomar el catálogo de apoyo que se encuentra en el banco.
10. Buscar la sección de *breakers* para montaje en riel.
11. Observar la corriente nominal del motor, según los datos de la placa.
12. Aplicar el criterio de 25% en exceso de la corriente nominal para calcular la corriente del automático.

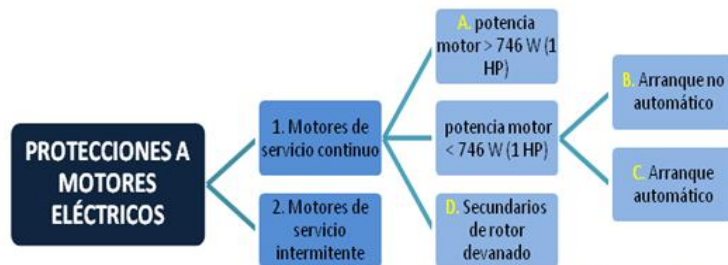
13. Aproximar al más cercano en capacidad de corriente.
14. Documentar el proceso de selección.

Figura 126. Especificaciones de fabricante para corriente de arranque de un motor eléctrico

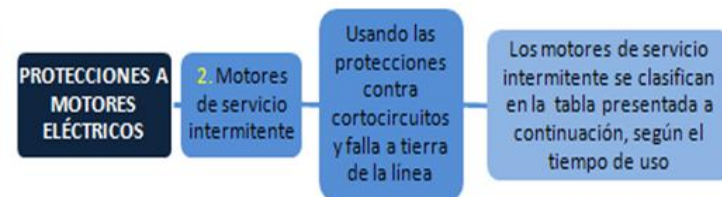


Selección de protecciones para motores eléctricos de uso intermitente según NTC 2050

Ubicación del nivel de protección



Motores del banco de pruebas



Tablas de comprobación del servicio intermitente

Clasificación del servicio	Porcentaje de la corriente nominal por placa de características Tiempo designado de servicio del motor			
	5 min	15 min	30 y 60 min	continuo
Servicio por corto tiempo: motores de válvulas, de levantamiento o bajada de rodillos, etc.	110	120	150	–
Servicio intermitente: ascensores y montacargas, cabezales de herramientas, bombas, puentes levadizos, plataformas giratorias, etc. Para soldadores de arco ver artículo 630-21.	85	85	90	140
Servicio periódico: rodillos, máquinas de manipulación de minerales y carbón, etc.	85	90	90	140
Servicio variable.	110	120	150	200

Fuente: Los autores.

12.6.7 Arranque directo de motor de ½ HP monofásico

Procedimiento para realizar arranque y toma de datos:

1. Ubicar dentro del banco el motor rotulado como motor monofásico de 1/2 HP.
2. Energizar el sistema girando la llave de la muletilla a la posición encendido.
3. Poner el taco en posición *ON*.
4. Comprobar que el piloto azul esta encendido.
5. Energizar el motor mediante la posición *ON* del guardamotor que está junto al taco (automático). Esperar 30 segundos y observar el funcionamiento.
6. Desenergizar el guardamotor (por lo tanto el motor) pulsando la posición *OFF* del guardamotor.
7. Introducir la pinza voltiamperimétrica en el conductor que se encuentra recubierto y sobresale de la caja control del motor monofásico, ponerlo en graduación para 20 A de corriente AC , dar arranque al motor
8. Dividir el tiempo estimado de arranque en 4 para tomar igual número de medidas de corriente durante el arranque.
9. Construir la curva que se indica en la guía para la práctica de arranque de motores en la tabla 31.

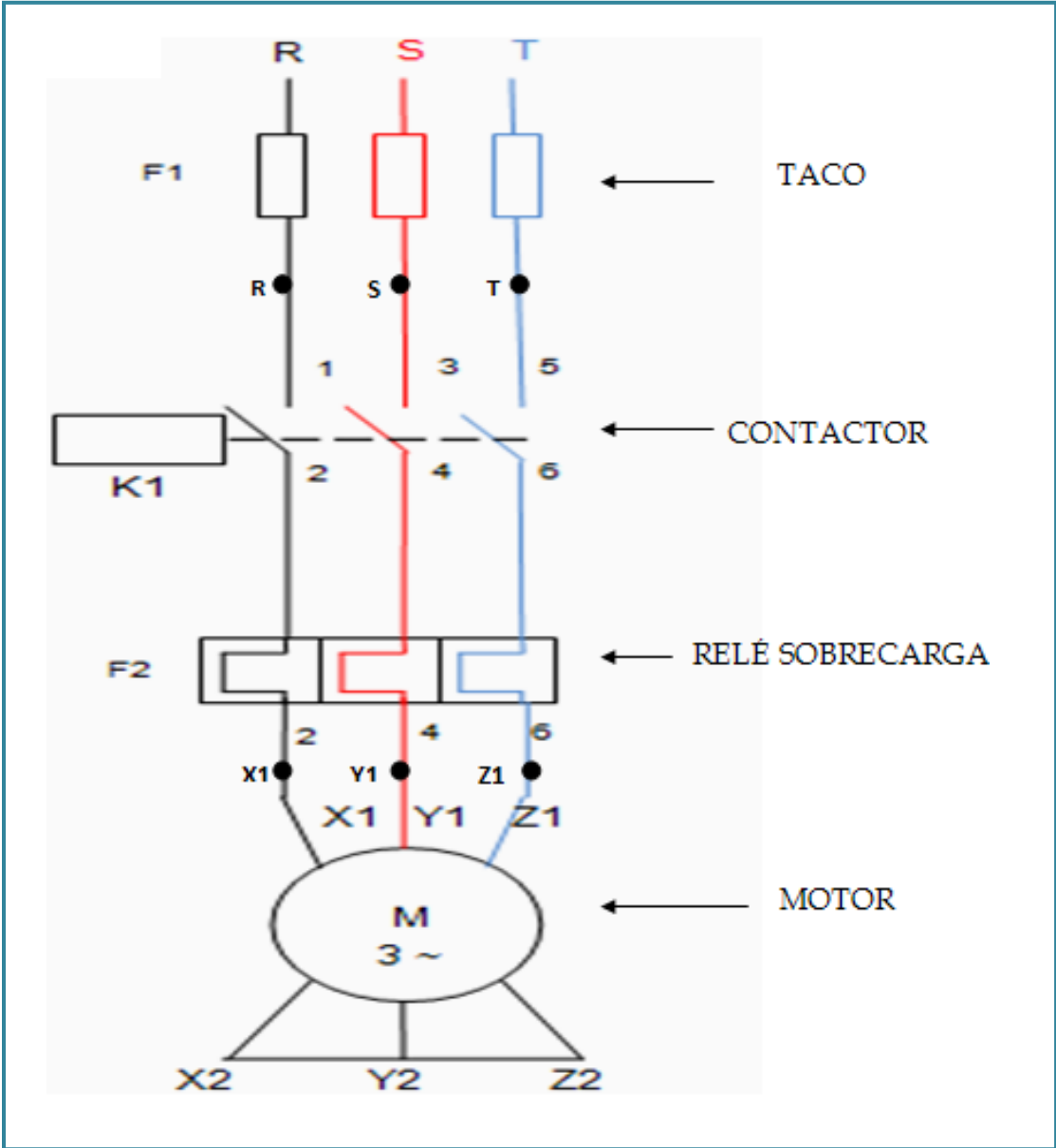
12.6.8 Arranque de motor de 2 HP trifásico mediante método directo

Procedimiento para realizar arranque y toma de datos:

1. Ubicar dentro del banco (*parte de arriba*) el motor rotulado como motor trifásico de 2 HP.
2. Tomar el esquema de potencia y control para el arrancador directo (figuras 127 y 128).
3. Realizar el montaje como se indica en las figuras 127, 128 y 129.

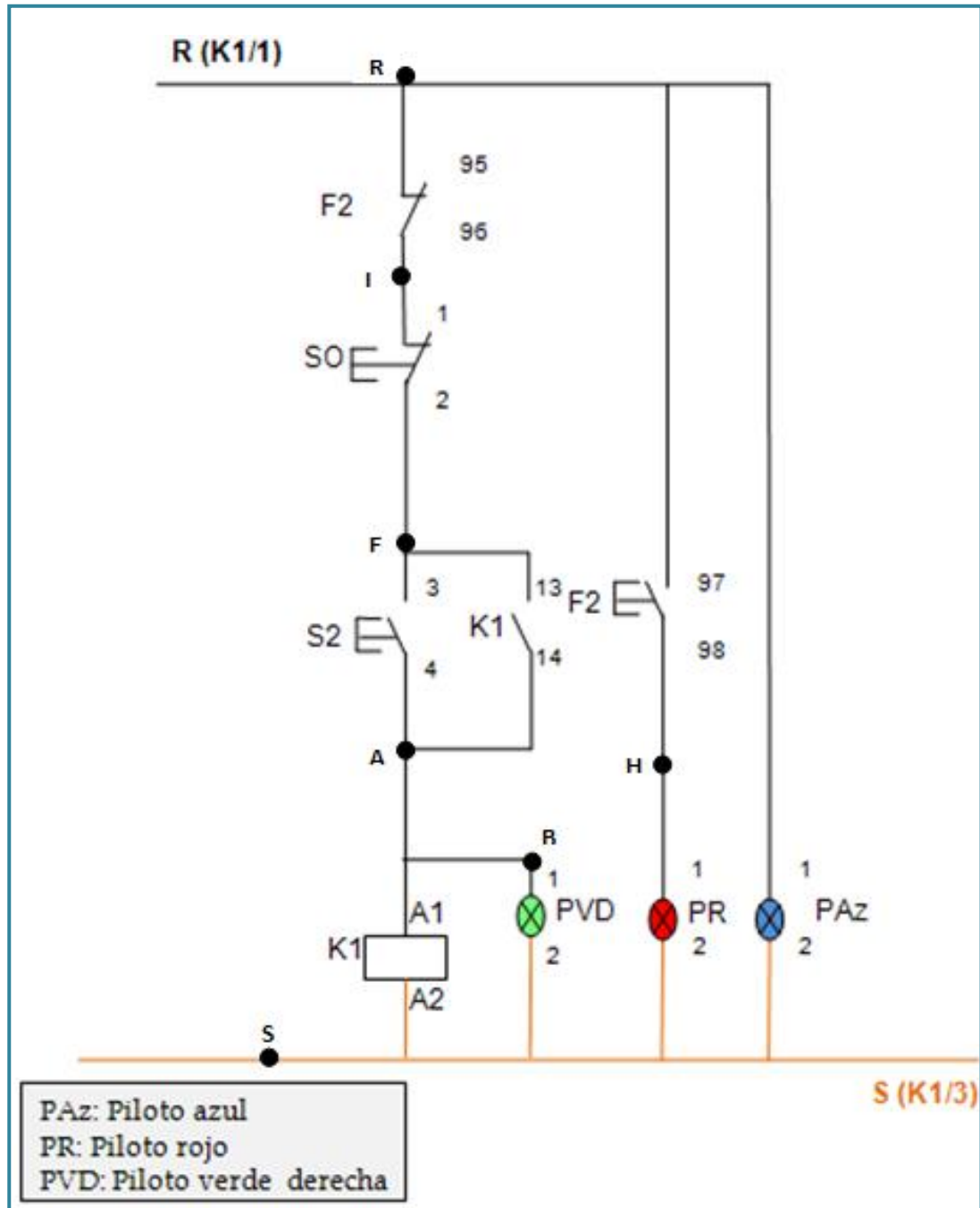
4. Comprobar que el montaje es correcto.
5. Cerrar la tapa, girar la muletilla a la posición de encendido y pulsar el pulsador verde derecha y asegurarse de que el piloto verde está encendido.
6. Dividir el tiempo estimado de arranque en 4 para tomar igual número de medidas de corriente durante el arranque.
7. Arrancar nuevamente el motor de manera directa. Inmediatamente se conmute el contactor de arranque debe tomarse la medida de la corriente de arranque con el multímetro.
8. Tomar la medida de la corriente según los 4 tiempos estimados.
9. Construir la gráfica de corriente versus tiempo que se indica para este tipo de arranque en la guía de la práctica.
10. Desmontar el circuito de arranque y poner los dispositivos y cableado debidamente ordenados.
11. Diligenciar la parte correspondiente a este arranque en la tabla 31.

Figura 127. Circuito de potencia para arrancador directo, motor de 2 HP trifásico



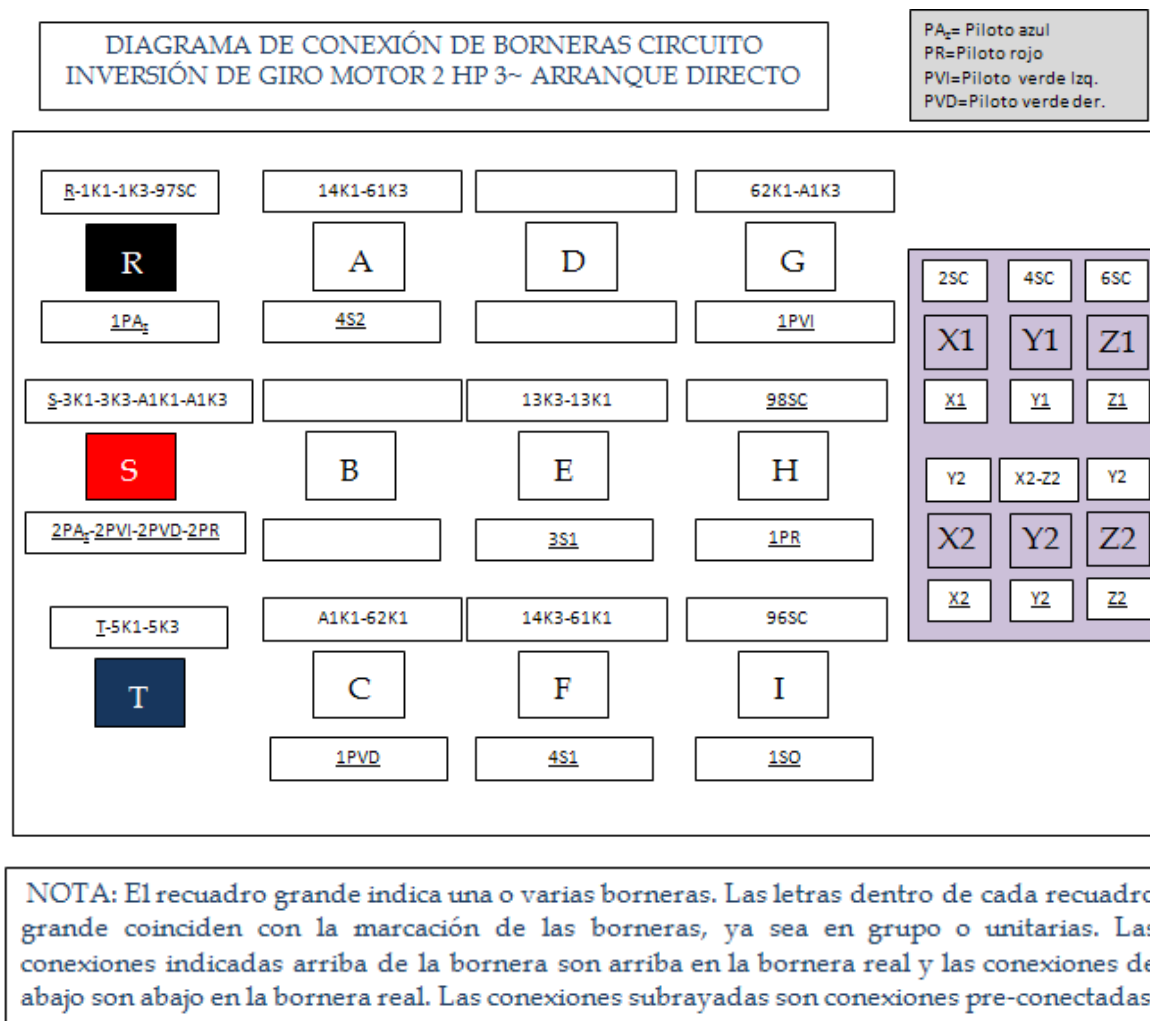
Fuente: Los autores.

Figura 128. Circuito de control para arrancador directo, motor de 2 HP trifásico



Fuente: Los autores.

Figura 129. Diagrama de conexión de borneras arranque directo, motor de 2 HP trifásico



Fuente: Los autores.

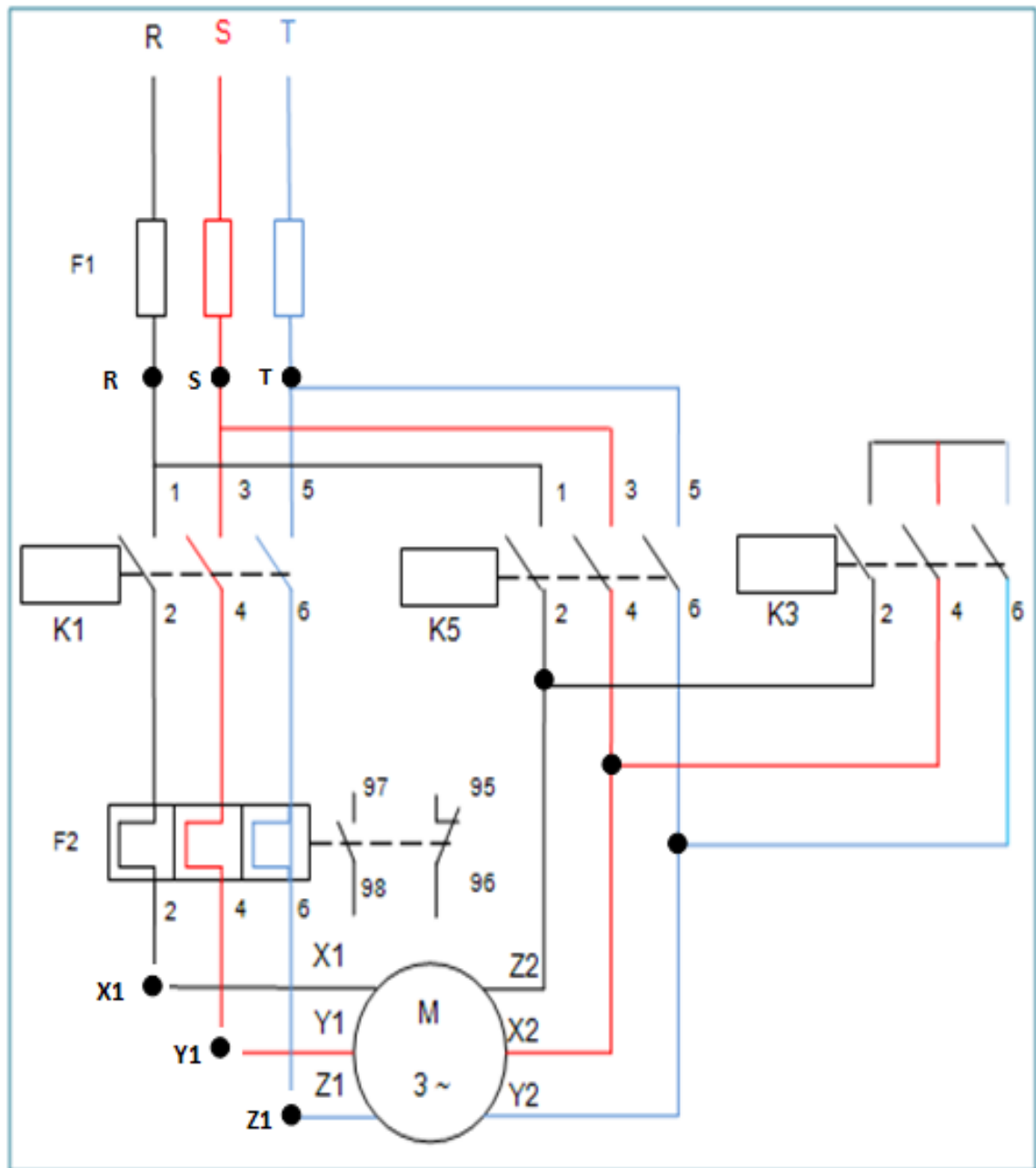
12.6.9 Arranque de motor de 2 HP trifásico mediante método estrella-triángulo

Procedimiento para realizar arranque y toma de datos:

1. Ubicar dentro del banco (*parte de arriba*) el motor rotulado como motor trifásico de 2 HP.

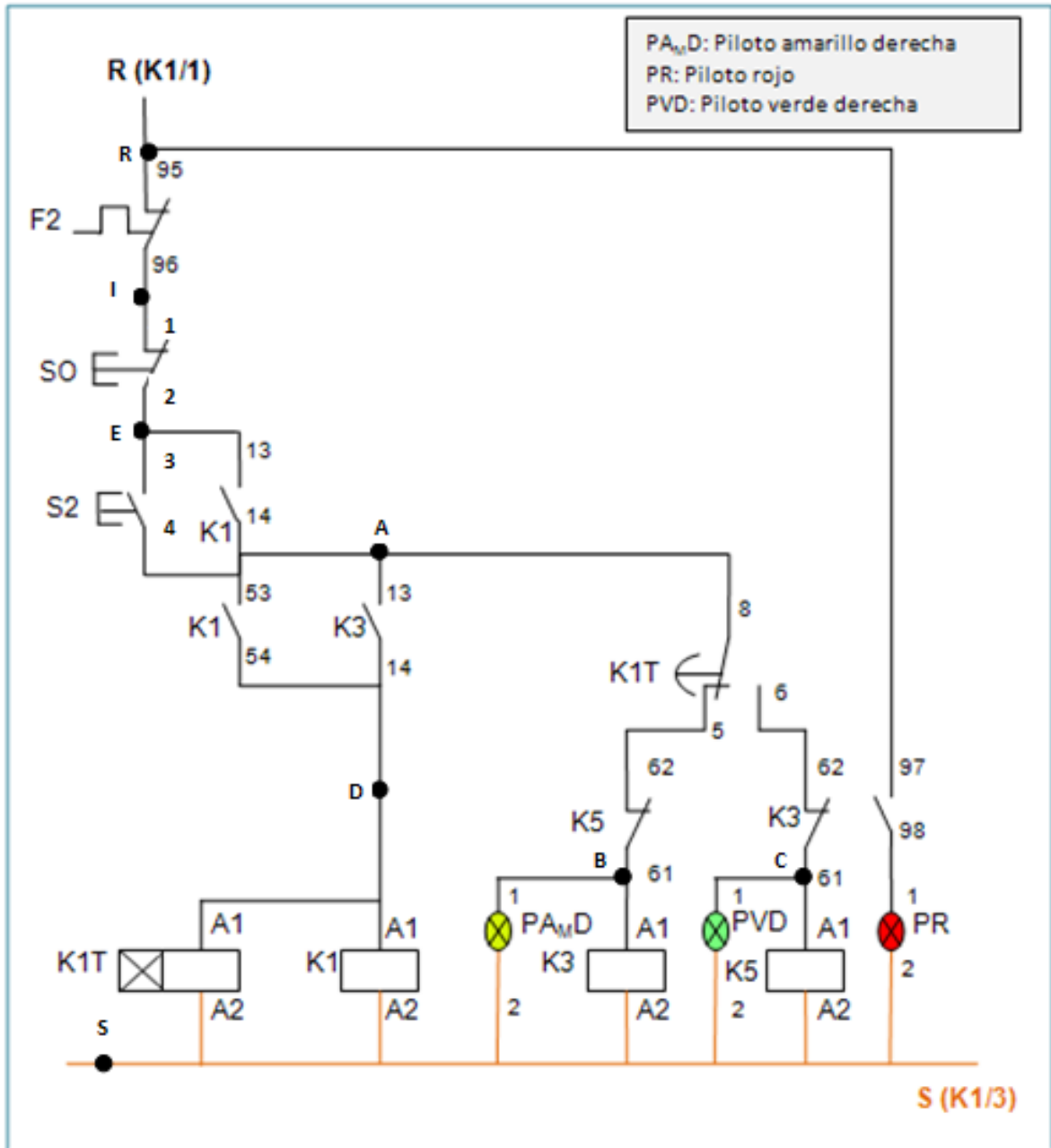
2. Tomar el esquema de potencia y control para el arrancador directo (figuras 130 y 131).
3. Realizar el montaje como se indica en las figuras 130, 131 o 132.
4. Comprobar que el montaje es correcto.
5. Cerrar la tapa, girar la muletilla a la posición de encendido y pulsar el pulsador verde derecha y asegurarse de que el piloto verde está encendido.
6. Dividir el tiempo estimado de arranque en 4 para tomar igual número de medidas de corriente durante el arranque.
7. Arrancar nuevamente el motor de manera directa. Inmediatamente se conmute el contactor de arranque debe tomarse la medida de la corriente de arranque con el multímetro.
8. Tomar la medida de la corriente según los 4 tiempos estimados.
9. Construir la gráfica de corriente versus tiempo que se indica para este tipo de arranque en la guía de la práctica.
10. Desmontar el circuito de arranque y poner los dispositivos y cableado debidamente ordenados.
11. Diligenciar la parte correspondiente a este arranque en el informe de la tabla 31.

Figura 130. Circuito de potencia para arrancador estrella triángulo, motor de 2 HP trifásico



Fuente: Los autores.

Figura 131. Circuito de control para arrancador estrella triángulo, motor de 2 HP trifásico





Fuente: Los autores.

Figura 132. Diagrama de conexión de borneras estrella triángulo para motor de 2 HP trifásico



Tabla 30. Formato del informe para la guía práctica No 2

 		Laboratorio de Diseño de Máquinas Banco de Prácticas en Motores Eléctricos			
INFORME GUÍA PRÁCTICA No. 2					
Grupo	Nombre	Apellidos	Código	Fecha	Calificación
<input style="width: 50px; height: 50px;" type="text"/>				<i>D</i>	<input style="width: 100px; height: 50px;" type="text"/>
				<i>M</i>	
				<i>A</i>	
INFORMACIÓN SOLICITADA					
<p>ARRANQUE DIRECTO</p> <p>Motor ½ HP monofásico</p>	<i>Descripción del proceso de selección</i>				
Observaciones:					




<p>ARRANQUE DIRECTO</p> <p>Motor 2 HP trifásico</p>	<p><i>Descripción del proceso de selección</i></p>
<p>Observaciones:</p>	
<p>ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO</p> <p>Motor 2 HP trifásico</p>	<p><i>Descripción del proceso de selección</i></p>

Observaciones:

<p>Motor 2 HP trifásico</p>	<p><i>Comparación de las protecciones seleccionadas</i></p> <p>Hoja 1 / 3</p>
<p><i>Observaciones y conclusiones</i></p> <p>Hoja 3 / 3</p>	

Fuente: Los autores.

Tabla 31. Formato del informe para la guía práctica No 3

		Laboratorio de Diseño de Máquinas Banco de Prácticas en Motores Eléctricos			
INFORME GUÍA PRÁCTICA No. 3					
Grupo	Nombre	Apellidos	Código	Fecha	Calificación
<div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 50px; margin: 0 auto;"></div>				<i>D</i> <i>M</i> <i>A</i>	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 50px; margin: 0 auto;"></div>
INFORMACIÓN SOLICITADA					
ARRANQUE DIRECTO Motor 2 HP trifásico	<i>Curva de arranque</i> 			<i>Medidas tomadas</i>	
	<i>Medida</i>	<i>Tiempo [s]</i>	<i>Corriente [A]</i>		
	1				
	2				
	3				
4					
Observaciones:					

ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO Motor 2 HP trifásico	<p style="text-align: center;"><i>Curva de arranque</i></p>	<i>Medidas tomadas</i>		
		<i>Medida</i>	<i>Tiempo [s]</i>	<i>Corriente [A]</i>
		1		
		2		
		3		
		4		
Observaciones:				
ARRANQUE DIRECTO Motor ½ HP monofásico	<p style="text-align: center;"><i>Curva de arranque</i></p>	<i>Medidas tomadas</i>		
		<i>Medida</i>	<i>Tiempo [s]</i>	<i>Corriente [A]</i>
		1		
		2		
		3		
		4		
Hoja 2 / 3				

Observaciones:

ARRANQUES:

**DIRECTO
Y
ESTRELLA-
TRIÁNGULO**

**Motor 2 HP
trifásico**

I [A]

Comparación curvas de arranque

Explicación de la diferencia en el arranque

Tiempo [s]

Observaciones y Conclusiones

Hoja 3 / 3

Fuente: Los autores.

13 GUÍA PRÁCTICA No 4: VARIACIÓN DE VELOCIDAD A MOTORES ELÉCTRICOS

13.1 INTRODUCCIÓN

En algunas aplicaciones es necesario controlar parámetros de funcionamiento de máquinas conducidas mediante la variación de la velocidad de rotación del motor eléctrico. En esta práctica el estudiante aprenderá formas prácticas para realizar la variación de velocidad.

13.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA

- Reconocer los métodos más comunes para realizar la variación de la velocidad de distintos tipos de motores eléctricos.
- Determinar la forma de uso del variador de velocidad.
- Determinar el rango de variación de velocidad mediante el uso de variador de velocidad.
- Variar la velocidad del motor de 1/2 HP trifásico mediante el uso de un variador de velocidad.
- Reconocer las partes que constituyen el circuito de potenciómetro.
- Determinar el rango de variación de velocidad mediante el uso de potenciómetro.
- Construir el circuito de potenciómetro.
- Variar la velocidad del motor de 1/2 HP trifásico mediante el uso de un potenciómetro en el rango posible.
- Listar las ventajas y desventajas de los variadores usados en la práctica.
- Presentar informe con los cálculos, procedimientos llevados a cabo, conclusiones y observaciones de la práctica.

13.3 METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE

Con previa lectura del capítulo teórico 6 del presente libro, la guía se desarrollará por los estudiantes mediante material didáctico: láminas de figuras importantes (*anexos para la práctica*), motor, esquemas del montaje eléctrico, dispositivos eléctricos, variador de frecuencia.

MATERIALES PARA LA PRÁCTICA

- Motor de ½ HP trifásico.
- Variador de frecuencia SIEMENS ® Micromaster Simovert.
- Componentes para armar el circuito de potenciómetro.
- Láminas.

13.4 DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS

13.4.1 Responsabilidad sobre los implementos del banco de pruebas. La responsabilidad cuando ocurra pérdida de algún tipo de material del banco, recaerá sobre los estudiantes responsables de realizar la práctica, así que estos deben asegurarse de dejar todos los implementos en su lugar y de no permitir que personal ajeno a la práctica tome estos elementos. Estos son costosos y tendrán que devolverse en tiempo muy corto.

13.5 DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS

13.5.1 Métodos de variación de velocidad a motores asíncronos. Los motores asíncronos constituyen alrededor del 80% de los motores que se usan en

la industria, es por esto que nos enfocaremos en variar la velocidad a este tipo de motores.

Las formas para variar velocidad a este tipo de motores se presenta en la figura 133.

Existe una limitante en la variación de la velocidad mediante el método de variación de la frecuencia de alimentación del motor eléctrico, esta limitante se expone en la figura 134.

13.5.2 Funcionamiento del variador de frecuencia Siemens ® Micromaster Simovert 6SE30. El variador de frecuencia con que cuenta el banco se alimenta de una red monofásica a 220 V y genera una salida trifásica a 220 V que se conecta a la entrada del motor de ½ HP trifásico.

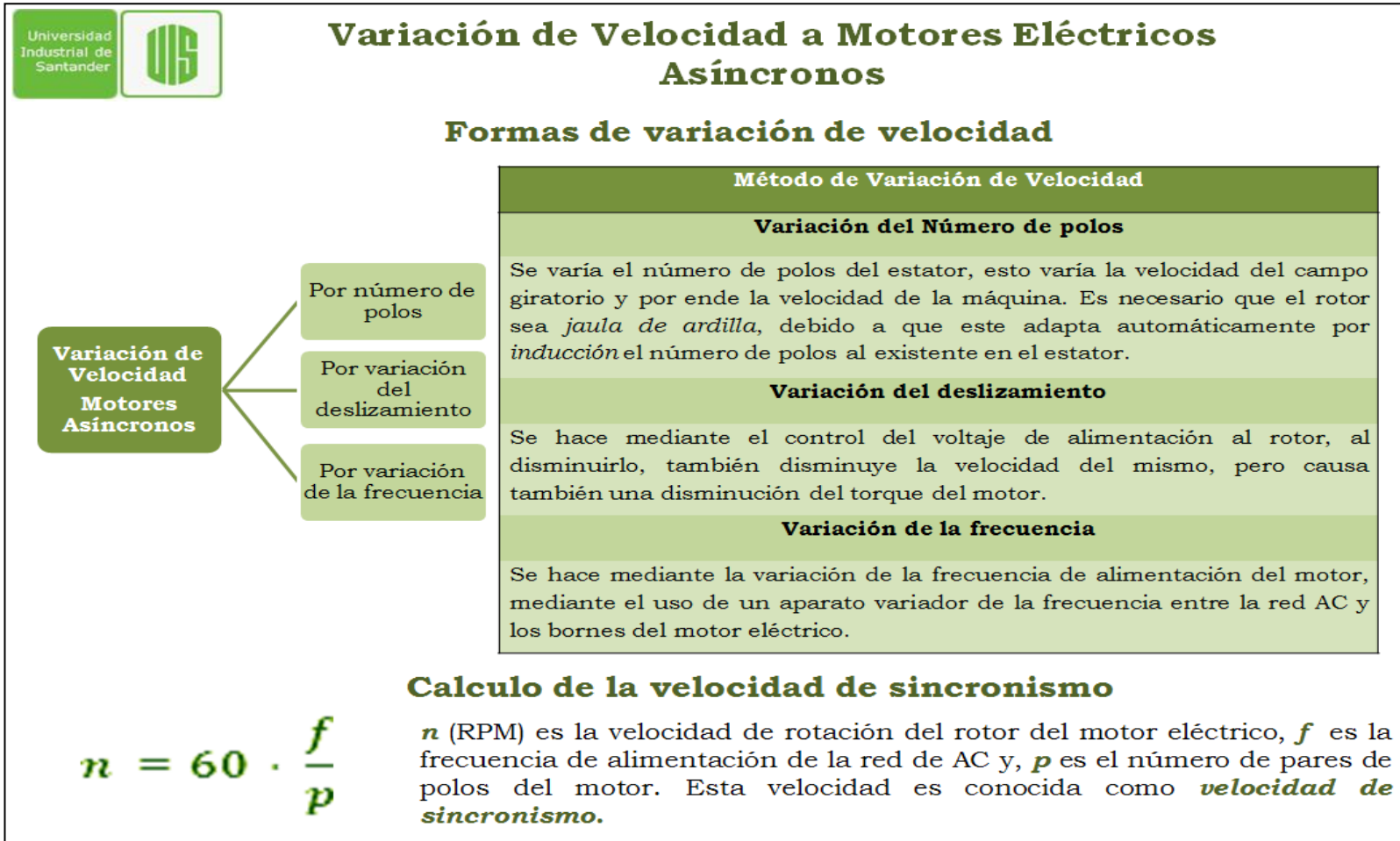
Existen 3 bornes en el variador que permiten conectar un potenciómetro con el objetivo de realizar una variación constante entre dos valores mínimo y máximo de frecuencia (establecidos en la programación del variador) y dos bornes que permiten el paso de corriente hacia el motor mediante el enclavamiento de un pulsador.

En total del variador salen 3 conductores hacia el motor eléctrico, 1 línea de tierra y entran 7 conductores (L1 y L2 a 220 V, 3 conductores del potenciómetro y 2 conductores del pulsador de enclavamiento para energizar el motor eléctrico).

La bornera de conexiones de potencia del variador de velocidad se muestra en la figura 135. El diagrama de potencia del variador de velocidad se presenta en la figura 136. El diagrama unifilar de conexiones para energización del variador de

velocidad y del motor eléctrico se presenta en la figura 137 y un diagrama de conexión de borneras se presenta en la figura 138.

Figura 133. Formas de variación de velocidad a motores asíncronos



Fuente: Los autores.

Figura 134. Limitación en la variación de velocidad a motores asíncronos

Universidad Industrial de Santander

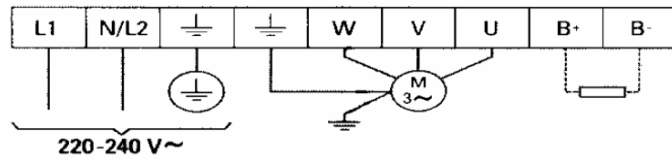
Variación de Velocidad a Motores Eléctricos Asíncronos
Límites de variación de velocidad variando la frecuencia

Horsepower	Totally Enclosed Fan-Cooled			Open Dripproof		
	Synchronous Speed at 60 Hz					
	3600	1800	1200	3600	1800	1200
	Maximum Safe Operating Speed					
1/4	7200	3600	2400	7200	3600	2400
1/3	7200	3600	2400	7200	3600	2400
1/2	7200	3600	2400	7200	3600	2400
3/4	7200	3600	2400	7200	3600	2400
1	7200	3600	2400	7200	3600	2400
1.5	7200	3600	2400	7200	3600	2400
2	7200	3600	2400	7200	3600	2400
3	7200	3600	2400	7200	3600	2400
5	7200	3600	2400	7200	3600	2400
7.5	5400	3600	2400	7200	3600	2400
10	5400	3600	2400	5400	3600	2400
15	5400	3600	2400	5400	3600	2400
20	5400	3600	2400	5400	3600	2400
25	5400	2700	2400	5400	2700	2400
30	5400	2700	2400	5400	2700	2400
40	4500	2700	2400	5400	2700	2400
50	4500	2700	2400	4500	2700	2400
60	3600	2700	2400	4500	2700	2400
75	3600	2700	2400	3600	2700	2400
100	3600	2700	1800	3600	2700	1800
125	3600	2700	1800	3600	2700	1800
150	3600	2700	1800	3600	2700	1800
200	3600	2250	1800	3600	2700	1800
250	3600	2250	1800	3600	2300	1800
300	3600	2250	1800	3600	2300	1800
350	3600	1800	1800	3600	2300	1800
400	3600	1800	-	3600	2300	-
450	3600	1800	-	3600	2300	-
500	3600	1800	-	3600	2300	-

Fuente: NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA Standards publication MG 1-2006: Motors and Generators. Rosslyn: NEMA 2006. p. 509.

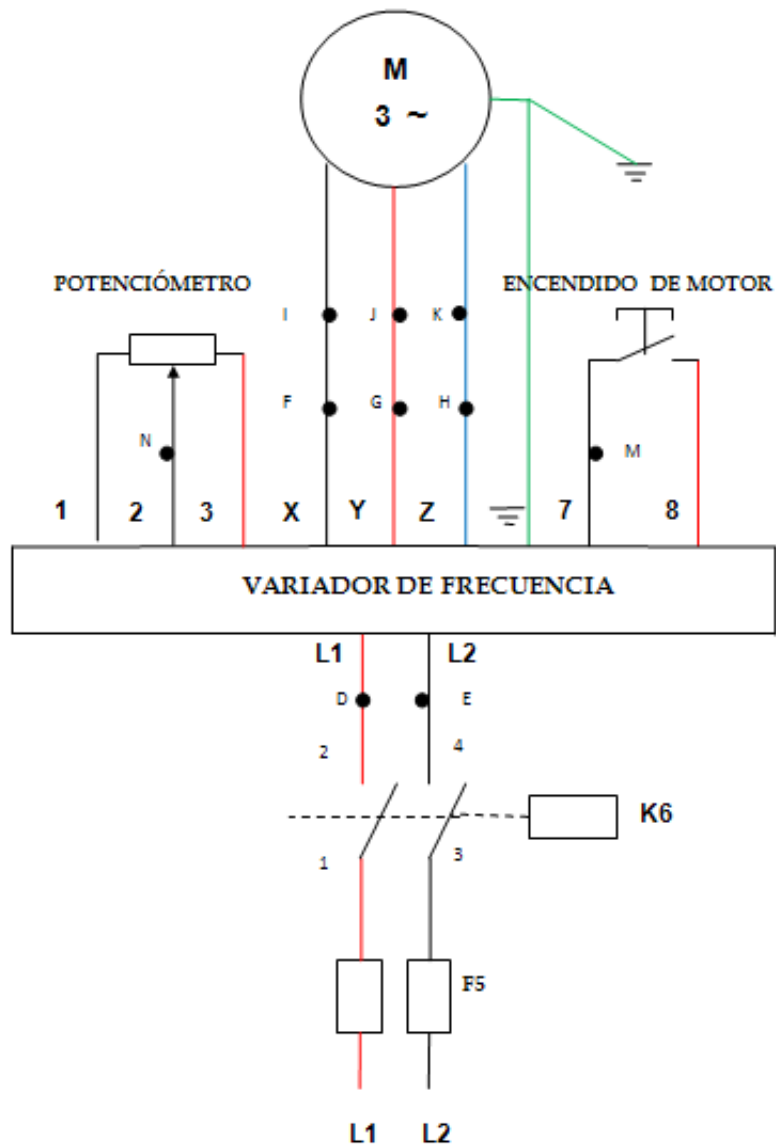
Fuente: Los autores.

Figura 135. Bornera de conexiones de potencia para el variador de frecuencia



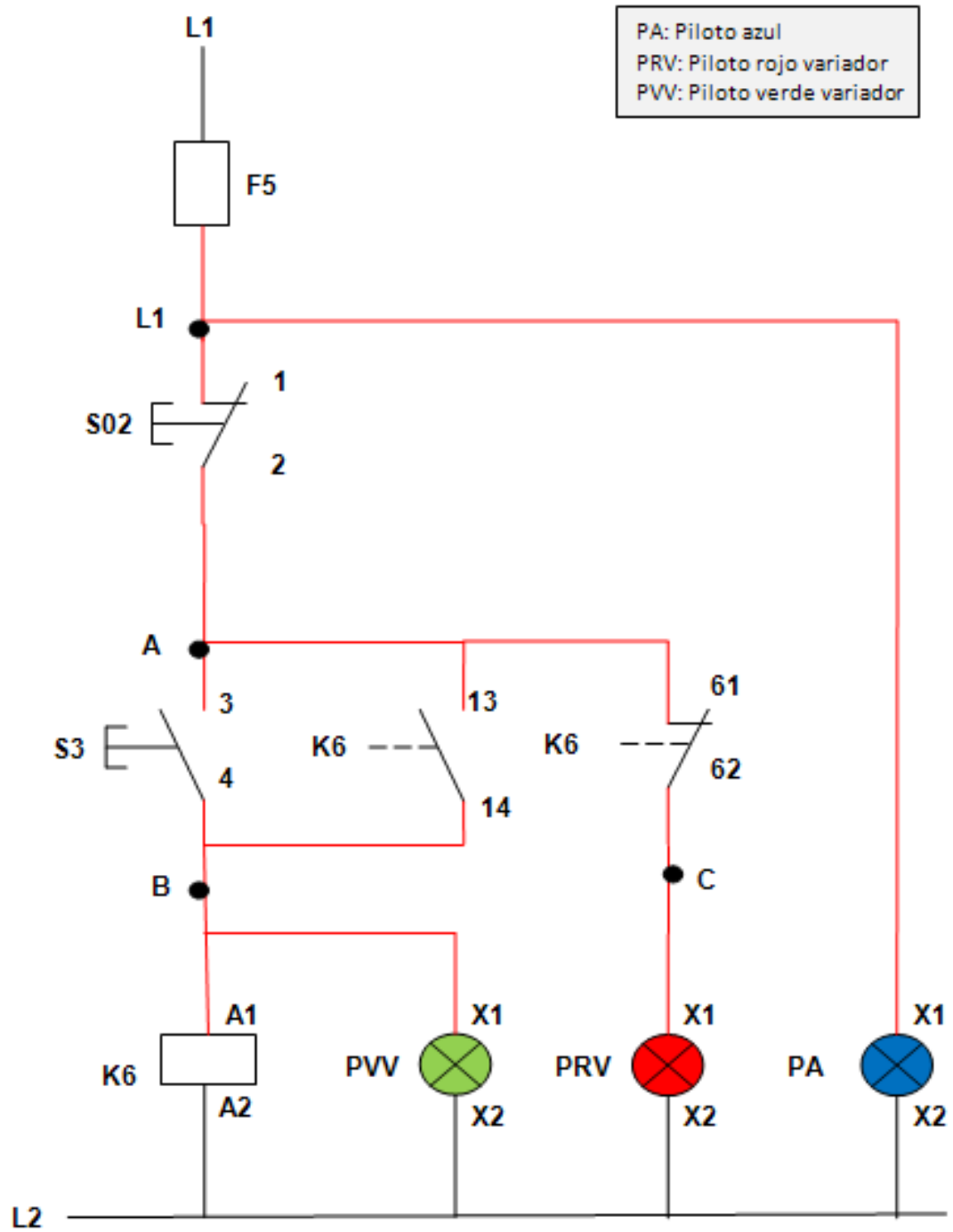
Fuente: Los autores.

Figura 136. Diagrama de conexiones de potencia del variador de frecuencia



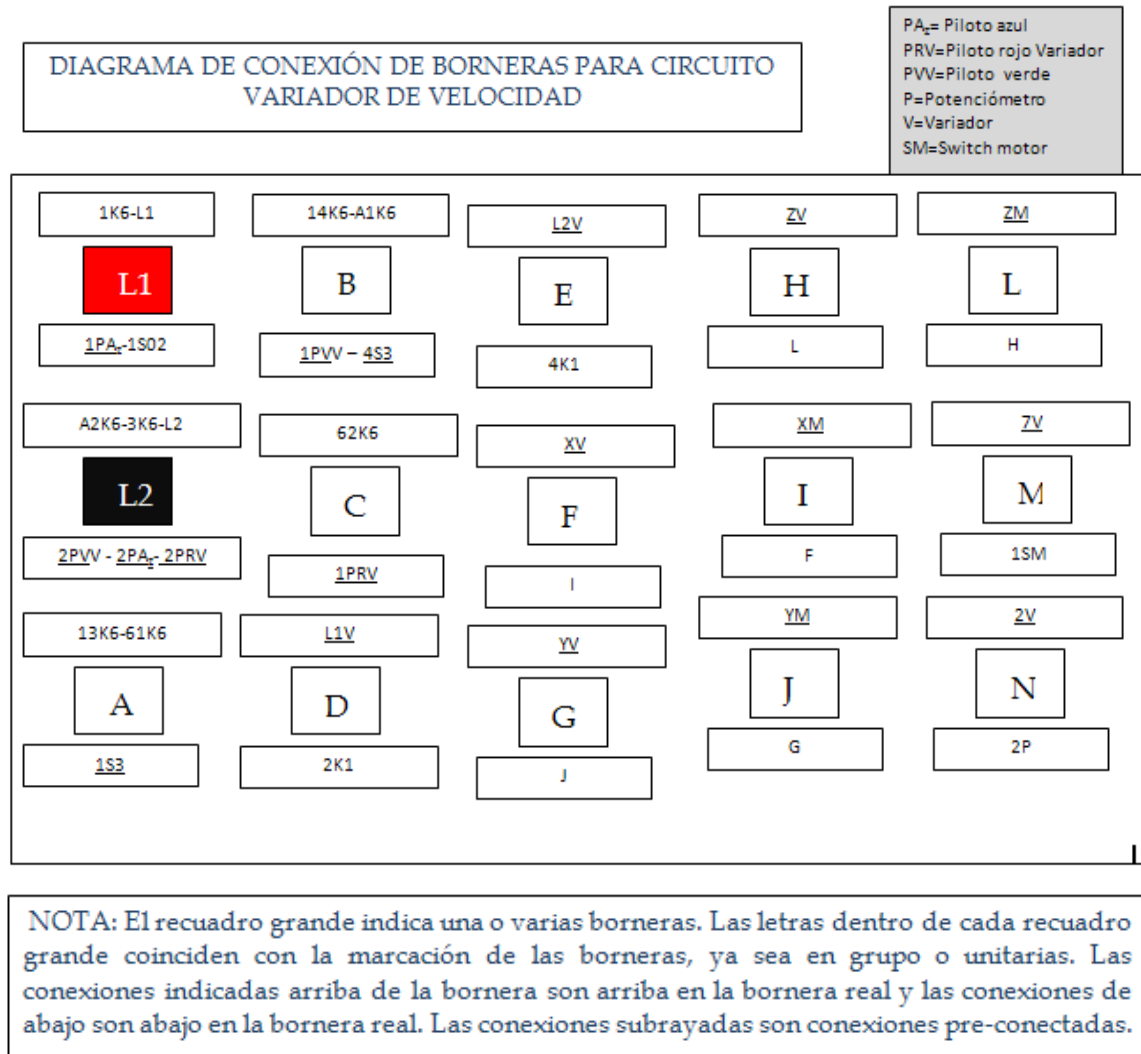
Fuente: Los autores.

Figura 137. Diagrama de conexión para energizar el variador de frecuencia



Fuente: Los autores.

Figura 138. Diagrama de conexión de borneras para energizar el variador de frecuencia y controlar el motor de ½ HP trifásico



Fuente: Los autores.

13.5.3 Programación del variador de frecuencia. El variador de frecuencia es un aparato electrónico que se puede programar de manera sencilla mediante la parametrización del mismo, para esto se cuenta con una guía de programación que se presenta en la tabla 32. En esta se presentan los parámetros y las opciones que pueden escogerse dentro de cada parámetro.

Además de los parámetros de funcionamiento que se pueden programar al variador de frecuencia, es necesario reconocer las señales de falla que el variador puede presentar para prever las acciones correspondientes ante la misma, este listado se explica en la tabla 33.

Tabla 32. Parámetros del variador de velocidad

PARÁMETROS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	
PARÁMETRO	OBSERVACIONES
P000	Muestra el valor seleccionado en el P001 cuando el variador está controlando el motor
P001	Selección del valor a mostrar en la pantalla del variador 0= frecuencia de salida en [Hz]. 1= Valor deseado de frecuencia. 2= Corriente de salida al motor en [A]. 3= Tensión del circuito intermedio en [V]. 4= % del torque del motor
P002	Tiempo de aceleración de 0 a 650 s. (0 A $f_{m\acute{a}x}$).
P003	Tiempo de rampa de desaceleración de 0 a 650 s ($f_{m\acute{a}x}$ a 0).
P004	Tiempo de redondeo de la rampa de aceleración.
P005	Valor digital deseado de frecuencia (entre 0 a 650 Hz).
P006	Selección del valor deseado 0= digital 1=analógico 2=potenciómetro motorizado o frecuencias fijas según entradas binarias
P009	Definición de cuales parámetros pueden ser cambiados 0= solamente pueden cambiarse de P001 a P009 1= P001 a P009 pueden ser ajustados y los demás pueden ser leídos. 2= Todos los parámetros pueden ser ajustados, pero P009 va para 0 así que la alimentación es desconectada. 3= Todos los parámetros pueden ser ajustados en cualquier momento.
P011	Memorizar el valor deseado 0= bloqueado. No memoriza. 1= Liberado. Memoriza el último valor deseado cuando se desenergiza el variador.
P012	Frecuencia mínima entre 0.0 y 650 Hz.

P013	Frecuencia máxima entre 0.0 y 650 Hz.
P015	Reconexión automática 0= bloqueada. 1= El variador se conecta automáticamente a la red cuando una falta de red se presenta.
P081	Frecuencia nominal del motor Hz.
P082	Velocidad nominal del motor rpm.
P083	Corriente máxima del variador
P084	Tensión nominal del motor V.
P085	Potencia nominal del motor KW.
P086	Limitación de la corriente nominal del motor, siempre que el motor sobrepase este valor durante 1 minuto, el valor de la frecuencia se ajustará para mantener el valor indicado acá.
P101	Información de la procedencia del motor Europa (50 Hz) o USA (60 Hz).

Fuente: Los autores.

Tabla 33. Fallas del variador de velocidad

FALLAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA		
FALLA	CAUSA	PROCEDIMIENTO
F001	Sobretensión	Verificar que la red de alimentación está dentro de los límites de la que resiste el variador. Disminuir el tiempo de rampa de desaceleración P003. Verificar que la potencia está dentro de los límites especificados.
F002	Sobrecorriente	Verificar que la potencia del motor corresponde a la del variador. Verificar que los cables del motor no estén en cortocircuito. Aumentar el tiempo de aceleración del motor P002. Verificar que el motor no esté sobrecargado o bloqueado.
F003	Sobrecarga	Verificar que el motor no esté sobrecargado. Aumentar la frecuencia máxima que se está usando con alto deslizamiento.
F004	Sobrecalentamiento del motor (PTC)	Verificar que el motor no esté sobrecargado. Verificar que P087= 1 y no se use el PTC.
F005	Sobre temperatura del inversor	Verifique que la temperatura ambiente no esté demasiado alta. Verifique que la salida del aparato funciona correctamente.
F008	Timeout del protocolo USS	Verificar la interface serial. Verificar los ajustes del bus de P091-P093. Verificar si el

F009	Subtensión		tiempo de P093 es muy corto.
F010	Falta de inicialización	de	Verificar la tensión de alimentación Verificar la parametrización por completo. Coloque P009=0 antes de energizar el variador.
F011	Error en la interface interna		Desconecte o conecte nuevamente el aparato.
F013	Error de programa		Desconecte el variador
F106	Error de parametrización P006	de	Parametrice las frecuencias fijas o las entradas del potenciómetro motorizado.
F112	Error de parametrización P012		Ajuste P012 en un valor menor a P013.

Fuente: Los autores.

13.5.4 Realización de la práctica de la variación de velocidad. En la práctica se desea que el estudiante varíe la frecuencia de alimentación al motor eléctrico de ½ HP trifásico de dos maneras: *mediante la acción directa de la botonera del variador y mediante la acción remota de un potenciómetro conectado al variador.*

Procedimiento:

1. Determinar el rango de variación de frecuencia mediante variador de velocidad y potenciómetro basados en la información del equipo.
2. Cablear a partir del diagrama unifilar de las figuras 136, 137 y 138 (atrás) el circuito que permite energizar el variador de frecuencia y el motor.
3. Realizar la parametrización que se muestra en la tabla 34, que corresponde al motor de ½ HP trifásico.
4. Corroborar con cálculos que la frecuencia máxima parametrizada en 2, no ponga en riesgo el motor eléctrico (respaldar la respuesta con el material de la práctica).
5. Realizar la variación de frecuencia desde el panel del variador de velocidad, parametrizando de la siguiente manera:

P006= 2.

P012= valor que se quiere el variador funcione entre 0 y 650 Hz, para la práctica este valor no debe ser menor a 40 Hz.

P013= 65 (Hz).

A partir del parámetro P012 se puede con el motor en funcionamiento variar la velocidad del mismo desde el panel del variador, subiendo (hasta el valor del P013) y bajando la frecuencia a gusto del estudiante, pero se recomienda este valor no esté abajo de 40 Hz.

6. Realizar la variación de frecuencia desde el potenciómetro, parametrizando de la siguiente manera:

P006= 1.

P012= valor mínimo de la frecuencia (se recomienda 40 Hz).

P013= 65 (Hz).

A partir del potenciómetro se puede variar la velocidad de manera continua entre los valores mínimo y máximo preestablecidos en P012 y P013, moviendo la perilla entre el mínimo y máximo que serán los valores P012 y P013 respectivamente.



7. Diligencie el informe del formato de la tabla 35, variando la frecuencia en la cantidad de puntos indicados y calculando el % de la velocidad nominal del motor que se está manejando.

Tabla 34. Parametrización inicial del variador de velocidad

PARÁMETROS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA	
PARÁMETRO	OBSERVACIONES
P000	Sin acciones
P001	0
P002	2.5 segundos
P003	4 segundos
P006	2 (funciona el variador desde el panel)
P009	3
P011	1
P012	40 (Hz)
P013	60 (Hz)
P081	60 (Hz)
P082	1800 (rpm)
P083	6 (A.)
P084	220 (V)
P085	0.373 (KW)
P086	125%

Fuente: Los autores.

Tabla 35. Formato del informe para la guía práctica No 4

 		Laboratorio de Diseño de Máquinas Banco de Prácticas en Motores Eléctricos				
INFORME GUÍA PRÁCTICA No. 4						
Grupo	Nombre	Apellidos	Código	Fecha	Calificación	
<input style="width: 50px; height: 50px;" type="text"/>				<i>D</i>	<input style="width: 100px; height: 50px;" type="text"/>	
				<i>M</i>		
				<i>A</i>		
INFORMACIÓN SOLICITADA						
Motor 1/2 HP Trifásico Variador de frecuencia	<i>Explicación del método de variación usado</i>			<i>Puntos de variación</i>		
				<i>Punto</i>	<i>frecuencia [HZ]</i>	<i>% RPM nominal</i>
				1		
				2		
				3		
				4		
				5		
				6		
Observaciones:						
					Hoja 1 / 2	

Motor 1/2 HP trifásico Potenciómetro	<i>Explicación del método de variación usado</i>	<i>Medidas tomadas</i>		
		<i>Punto</i>	<i>frecuencia [HZ]</i>	<i>% RPM nominal</i>
		1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
7				
Observaciones:				
Conclusiones				
Hoja 2 / 2				

Fuente: Los autores.

14 GUÍA PRÁCTICA No 5: USO DE LOS RELÉS EN CIRCUITOS CON MOTORES ELÉCTRICOS

14.1 INTRODUCCIÓN

Al entrar en contacto con altos voltajes o altas corrientes de línea, se presenta un riesgo al personal que manipula el circuito eléctrico, para evitarlo se aplica el uso de relés con el fin de manejar bajos voltajes y corrientes en el circuito de manipulación.

14.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA

- Reconocer mediante diagramas o figuras lo tipos de relés más usados.
- Seleccionar el relé más adecuado para arrancar el motor de 2HP trifásico de manera remota.
- Reconocer en un diagrama el circuito de encendido del motor trifásico usando arrancador estrella-triángulo de manera remota.
- Construir el circuito estrella triángulo para arrancar el motor de 2 HP trifásico, de manera remota mediante el uso de relé.
- Listar ventajas y desventajas del uso de relés en los circuitos con motores eléctricos.

14.3 METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE

Con previa lectura del capítulo teórico 7 del presente libro, la guía se desarrollará por los estudiantes mediante material didáctico: láminas de figuras importantes (*anexos para la práctica*), motores, esquemas de montaje eléctrico y dispositivos eléctricos.

14.4 MATERIALES PARA LA PRÁCTICA

- Motor jaula de ardilla de 2 HP trifásico.
- Componentes para armar un arrancador estrella triángulo mediante el uso de contactores, relés de tiempo y protecciones de arranque para el motor de 2 HP trifásico, además del relé de arranque.
- Láminas.

14.5 DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS

14.5.1 Responsabilidad sobre los implementos del banco de pruebas. La responsabilidad cuando ocurra pérdida de algún tipo de material del banco, recaerá sobre los estudiantes responsables de realizar la práctica, así que estos deben asegurarse de dejar todos los implementos en su lugar y de no permitir que personal ajeno a la práctica tome estos elementos. Estos son costosos y tendrán que devolverse en tiempo muy corto.

14.5.2 Conceptualización. En el banco se aplicaran los relés electromecánicos que son de uso común en la industria y de bajo costo, en la figura 139 se muestran los tipos comunes de relés que se manejan en la industria.


14.5.3 Desarrollo de la práctica

14.5.4 Arranque de motor de 2 HP trifásico mediante método estrella-triángulo con accionamiento remoto por relé electromecánico:


Procedimiento para realizar arranque remoto y toma de datos:

1. Ubicar dentro del banco (*parte de arriba*) el motor rotulado como motor trifásico de 2 HP.
2. Tomar el esquema de potencia y control para el arrancador estrella triángulo (figuras 140 y 141).
3. Realizar el montaje como se indica en la figuras 140, 141 y 142.
4. Comprobar que el montaje es correcto.
5. Cerrar la tapa, girar la muletilla a la posición de encendido y pulsar el pulsador verde derecha y asegurarse de que el piloto verde esta encendido.
6. Desmontar el circuito y poner los dispositivos y cableado debidamente ordenados.
7. Desarrollar el informe de la tabla 36.

Figura 139. Tipos comunes de relés



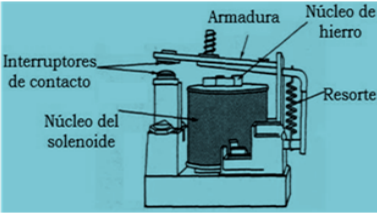
Universidad Industrial de Santander




Relés: Tipos comunes de relés

Relé Electromecánico	
Características	Es un relé usado para conmutar circuitos de alta potencia con bajos voltajes y corrientes, la conmutación se hace a través de contactos mecánicos.
Ventajas	Bajo precio comparado con los relés de estado sólido.
Desventajas	Posibilidad de ionización del gas circundante cuando ocurre la conmutación de los contactos, si las conmutaciones son constantes o a altas corrientes ocurre desgaste prematuro de los contactos, generan un poco de ruido.
Relé de estado sólido	
Características	Es un relé usado para conmutar circuitos de alta potencia con bajos voltajes y corrientes, usando componentes de estado sólido como TRIAC o SCR en lugar de contactos mecánicos.
Ventajas	Livianos, rápidos, silenciosos, no producen ionización del gas circundante cuando ocurre la conmutación, puede conmutarse muchas veces con poco daño.
Desventajas	Alto precio comparado con los relés electromecánicos.

Relé electromecánico

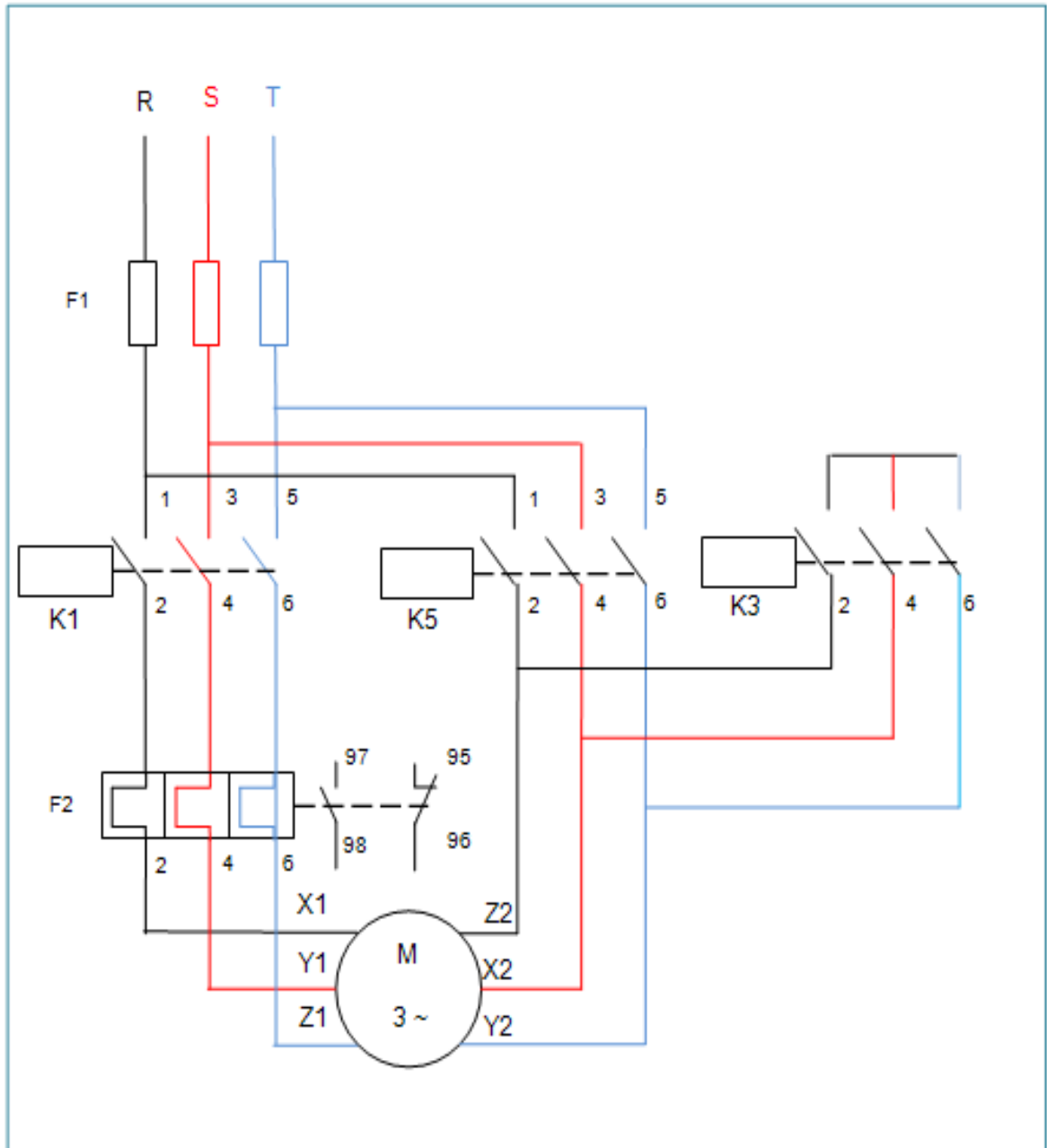


Relé estado sólido



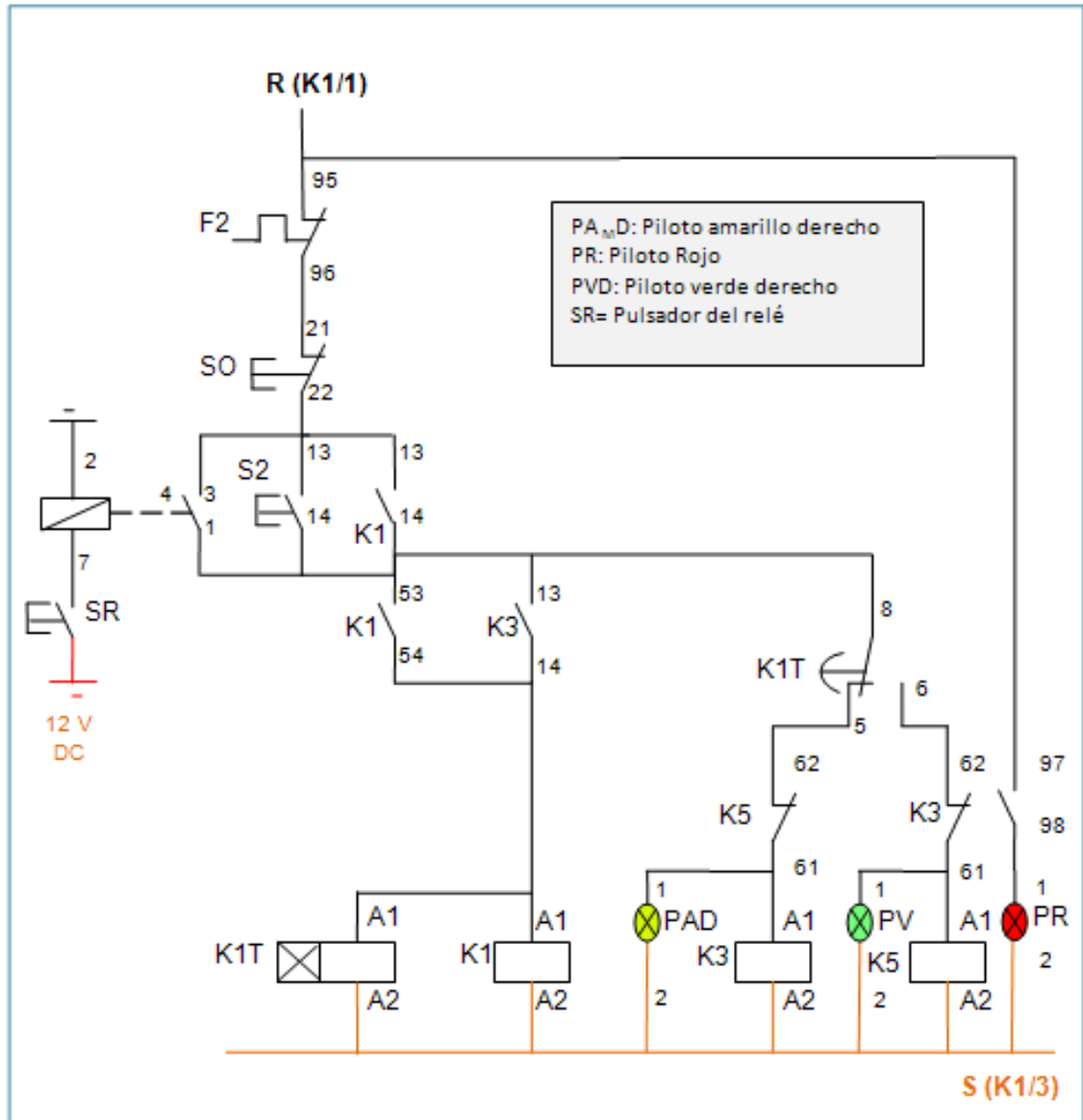
Fuente: Los autores.

Figura 140. Circuito de potencia para arrancador estrella triángulo, motor de 2 HP trifásico



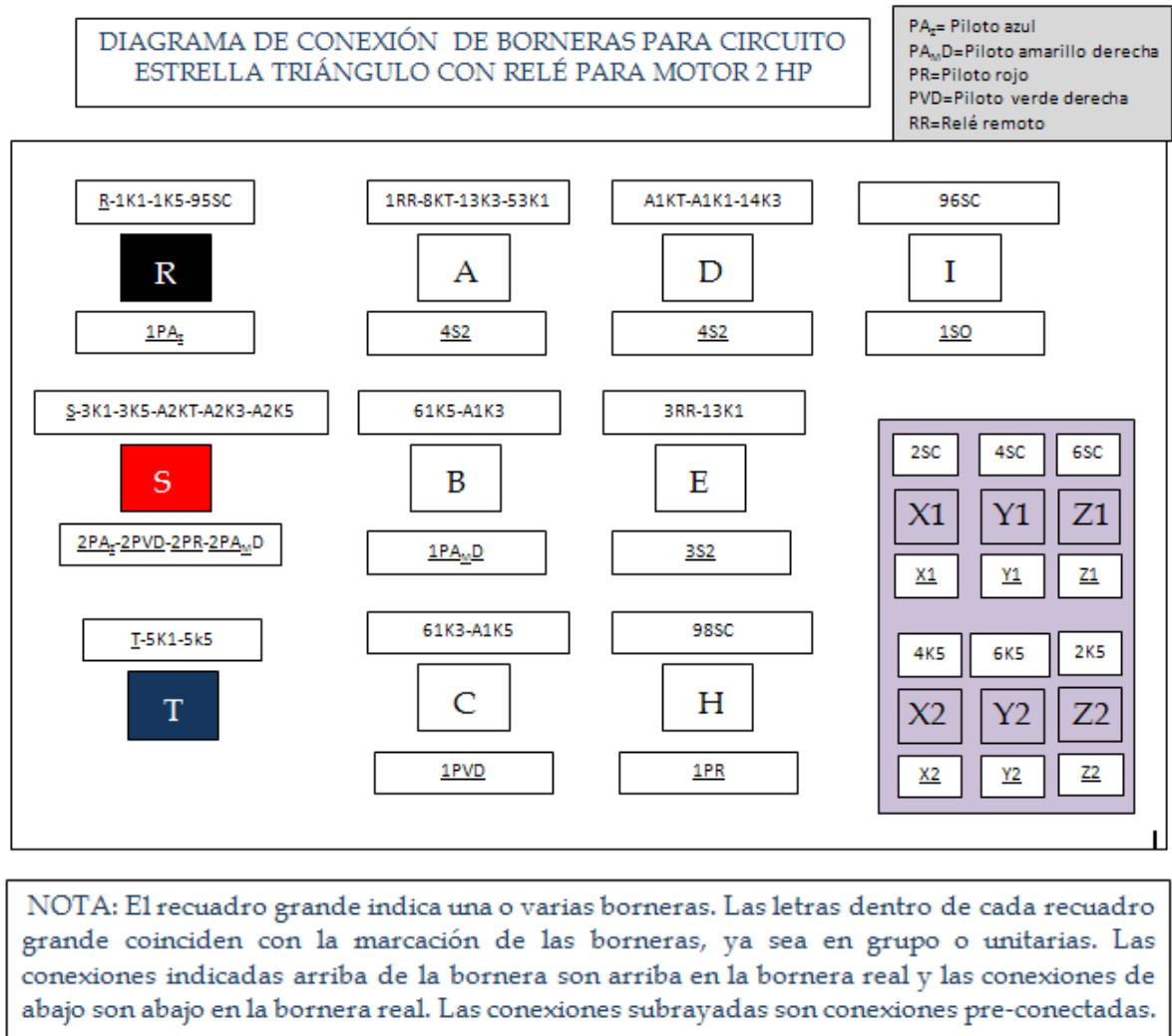
Fuente: Los autores.

Figura 141. Circuito de control con relé para arrancador estrella triángulo, motor de 2 HP trifásico





Fuente: Los autores.

Figura 142. Conexiones de borneras para arrancador estrella triángulo con relé, motor de 2 HP trifásico



Fuente: Los autores.

Tabla 36. Formato del informe para la guía práctica No 5

						Laboratorio de Diseño de Máquinas Banco de Prácticas en Motores Eléctricos	
INFORME GUÍA PRÁCTICA No. 5							
Grupo	Nombre	Apellidos	Código	Fecha	Calificación		
<input type="text"/>				<i>D</i>	<input type="text"/>		
				<i>M</i>			
				<i>A</i>			
INFORMACIÓN SOLICITADA							
MOTOR trifásico		<i>Explique brevemente el concepto usado para accionar remotamente el arranque del motor</i>					
Hoja 1/2							

Liste las ventajas y desventajas del uso del relé de la práctica

Observaciones y conclusiones

Hoja 2/2

Fuente: Los autores.

15 GUÍA PRÁCTICA No 6: INVERSIÓN DE GIRO DE MOTORES ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS

15.1 INTRODUCCIÓN

En algunas aplicaciones es necesario invertir el sentido de giro del motor eléctrico para revertir la dirección de cargas, etc. Este procedimiento se aprenderá a llevar a cabo durante esta práctica.

15.2 OBJETIVOS DE LA GUÍA PRÁCTICA

- Reconocer mediante un diagrama el circuito de inversión de giro para el motor de 2 HP trifásico.
- Reconocer mediante un diagrama el circuito de inversión de giro para motor de ½ HP monofásico.
- Construir el circuito de inversión de giro para el motor de 2 HP trifásico.
- Realizar la inversión de giro del motor eléctrico de 2 HP trifásico, mediante el uso de circuito de inversión para este tipo de motor.
- Realizar la inversión de giro del motor eléctrico monofásico mediante el uso de circuito de inversión integrado en el motor.
- Presentar informe acerca de los circuitos de inversión de giro y la diferencia entre los mismos, conclusiones y observaciones.

METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE

Con previa lectura del capítulo teórico 8 del presente libro, la guía se desarrollará por los estudiantes mediante material didáctico: láminas de figuras importantes (*anexos para la práctica*), motores, esquemas de montaje eléctrico y dispositivos eléctricos.

15.3 MATERIALES PARA LA PRÁCTICA

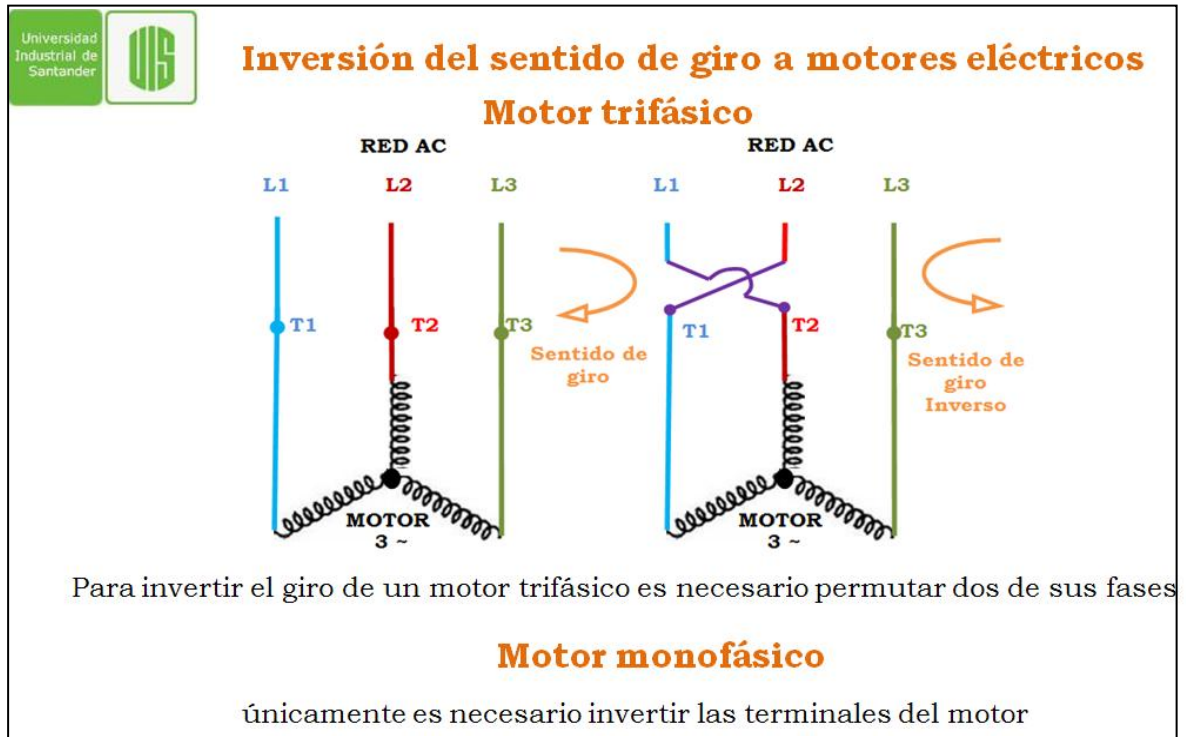
- Motor jaula de ardilla de 2 HP trifásico a 220 V.
- Motor jaula de ardilla de ½ HP monofásico.
- Conexión de 110 V.
- Dispositivos eléctricos.
- Figuras.

15.4 DESARROLLO DE OBJETIVOS PRÁCTICOS

15.4.1 Responsabilidad sobre los implementos del banco de pruebas. La responsabilidad cuando ocurra pérdida de algún tipo de material del banco, recaerá sobre los estudiantes responsables de realizar la práctica, así que estos deben asegurarse de dejar todos los implementos en su lugar y de no permitir que personal ajeno a la práctica tome estos elementos. Estos son costosos y tendrán que devolverse en tiempo muy corto.

15.4.2 Conceptualización. La conceptualización de inversión del sentido de giro para motores eléctricos monofásicos y trifásicos se muestra en la figura 143 y son el resultado de la conmutación la fase en el motor monofásico y de dos fases en el motor trifásico.

Figura 143. Esquemas simplificados de inversión del sentido de giro a motores eléctricos



Fuente: Los autores.

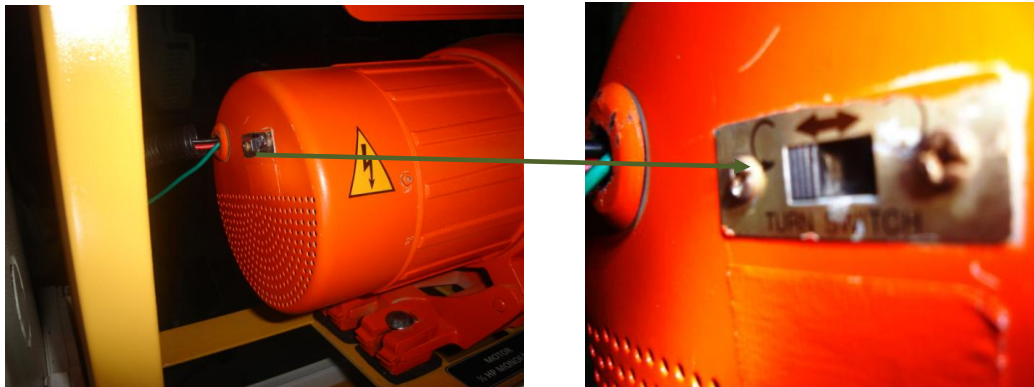
15.4.3 Inversión de giro a motor monofásico

Procedimiento:

1. Ubicar en el centro del banco el motor de $\frac{1}{2}$ HP monofásico.
2. El motor posee un inversor de giro preinstalado, como se muestra en la figura 144.
3. El inversor de giro tiene 3 posiciones: giro horario, antihorario y neutro (giro por defecto horario).
4. Debe procederse a situar el inversor de giro en la posición de giro horario y realizar el procedimiento de arranque del motor:
 - a. Poner el automático en la posición *ON*.
 - b. Girar la llave de la multilla a la posición ENCENDIDO.
 - c. Oprimir la posición *ON* del guardamotor.

5. Comprobar la dirección de giro visualmente, embragando el motor como se muestra en la figura 145.
6. Apagar el motor eléctrico y el sistema así:
 - a. Pasar el guardamotor a la posición *OFF*.
 - b. Pasar el taco a la posición *OFF*.
7. Esperar que el motor eléctrico se detenga por completo.
8. Operar el *switch* de inversión de giro pasándolo a la posición antihorario.
9. Encender el motor como se hizo en 4.
10. Comprobar la dirección de giro.
11. Concluir y diligenciar el informe de la tabla 37.

Figura 144. Dispositivo de inversión de giro (*turn switch*) del motor de ½ HP monofásico



Fuente: Los autores.

Figura 145. Dispositivo de embrague del motor monofásico de ½ HP



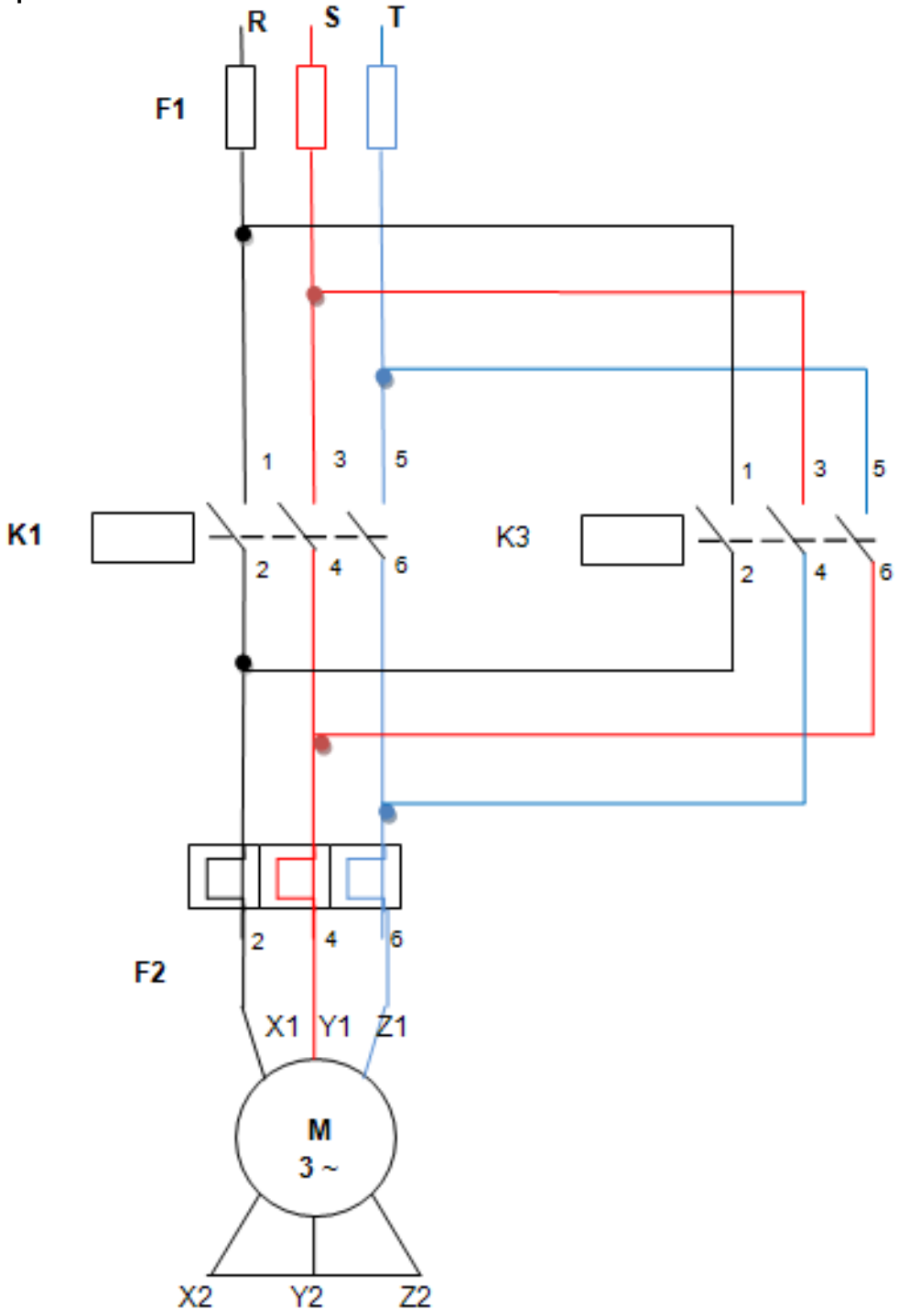
Fuente: Los autores.

15.4.4 Inversión de giro a motor trifásico de 2HP mediante método de arranque directo

Procedimiento para realizar inversión del sentido de giro:

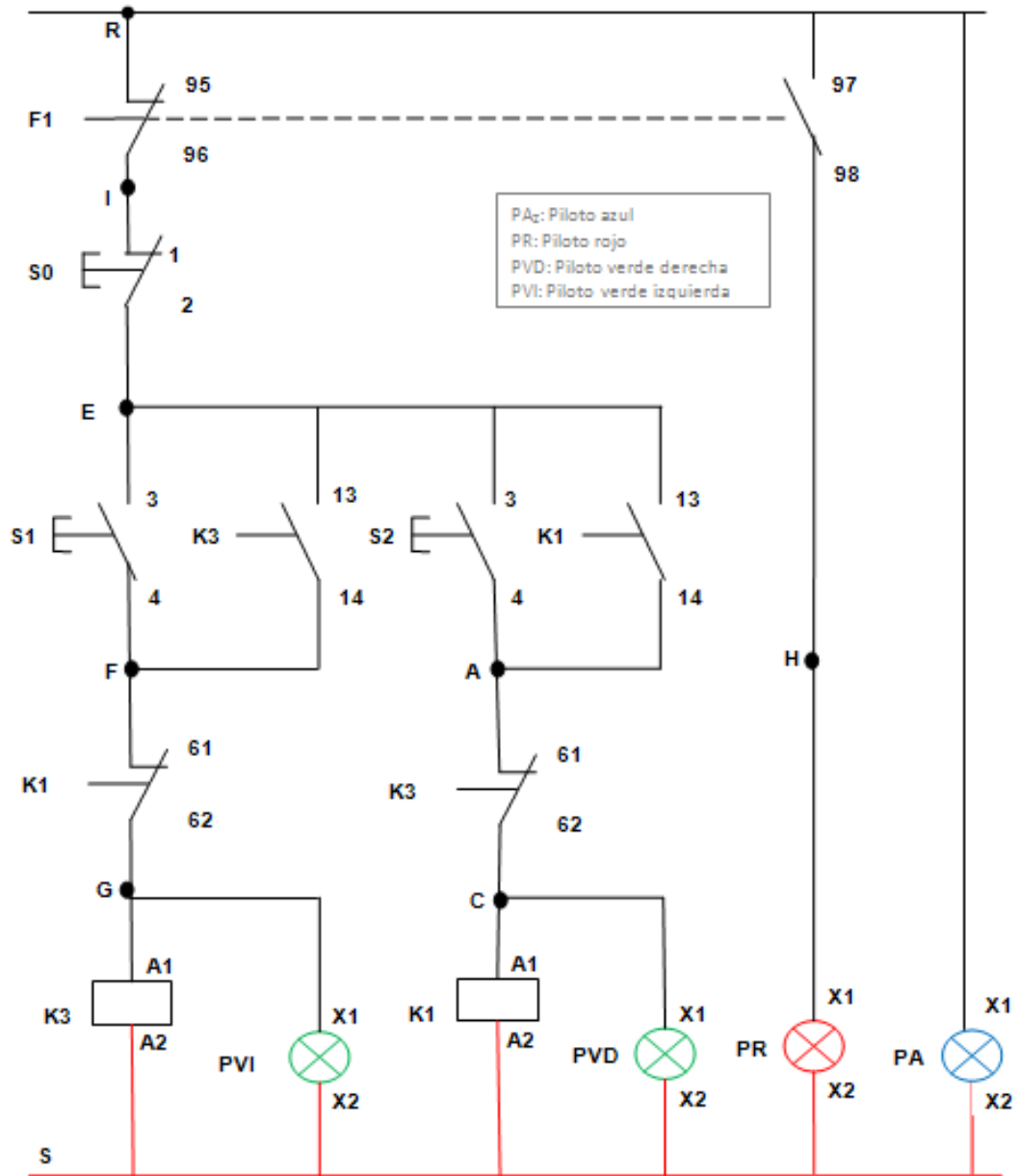
1. Ubicar dentro del banco (*parte de arriba*) el motor rotulado como motor trifásico de 2 HP.
2. Tomar el esquema de potencia y control para la inversión de giro en arranque directo (figuras 146 y 147).
3. Realizar el montaje como se indica en la figuras 146, 147 Y 148.
4. Comprobar que el montaje es correcto.
5. Cerrar la tapa, girar la muletilla a la posición de encendido y pulsar el pulsador verde derecha (parándose frente a la tapa) y asegurarse de que el piloto verde esta encendido.
6. Comprobar la dirección de rotación sea giro horario en la polea del motor.
7. Pulsar rojo para detener el sistema. (el sistema de pulsadores verdes horario o antihorario funciona únicamente cuando el pulsador de parada ha sido pulsado).
8. Pulsar el pulsador verde izquierda (parándose frente a la tapa) y asegurarse de que el piloto verde esta encendido.
9. Comprobar la dirección de rotación sea giro antihorario en la polea del motor.
10. Pulsar rojo para detener el sistema.
11. Desmontar el circuito y poner los dispositivos y cableado debidamente ordenados.
12. Desarrollar el informe de la tabla 37.

Figura 146. Circuito de potencia inversión de giro motor trifásico de 2HP mediante método de arranque directo



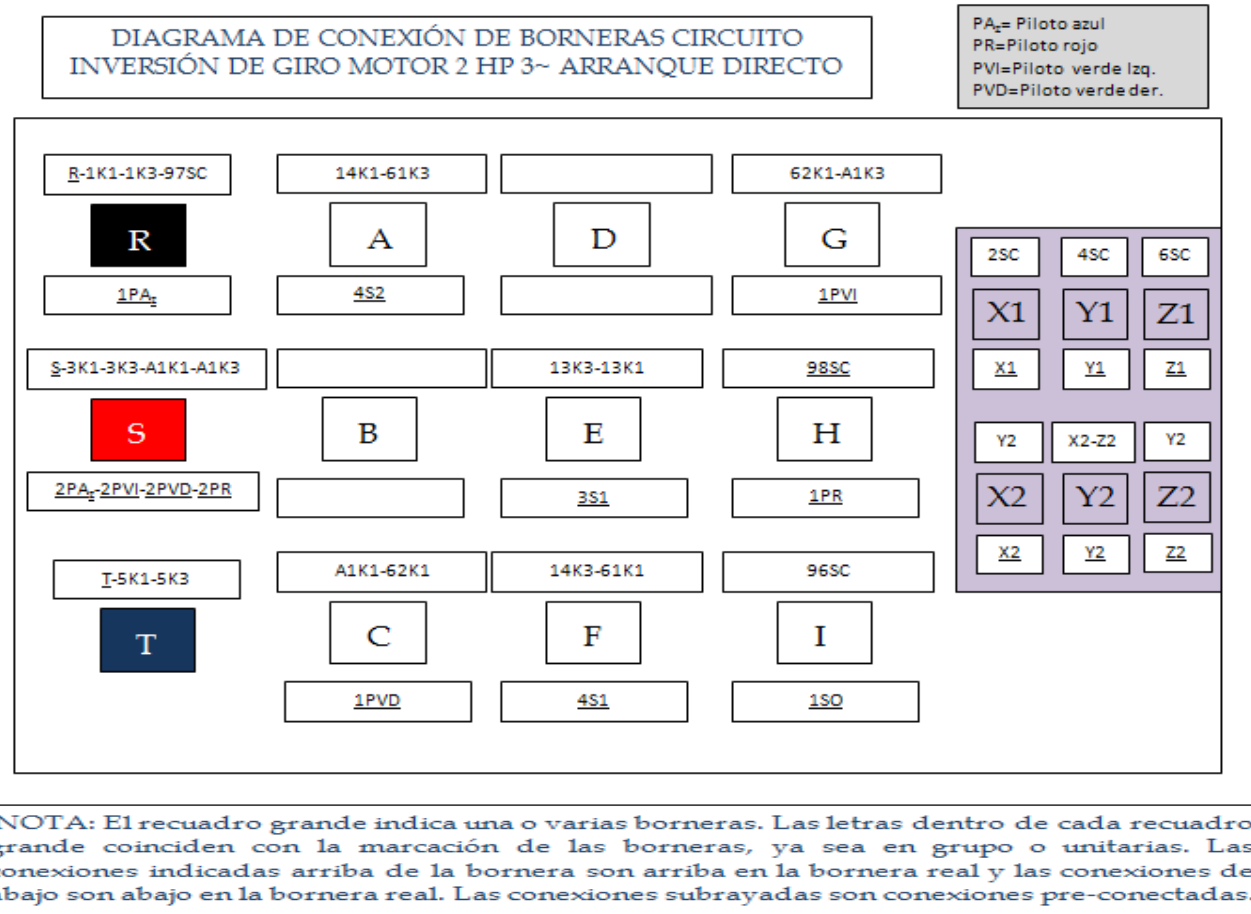
Fuente: Los autores.

Figura 147. Circuito de control para inversión de giro motor trifásico mediante método de arranque directo





Fuente: Los autores.

Figura 148. Diagrama de conexión de borneras para circuito de inversión de giro para motor 2 HP trifásico mediante arranque directo



Fuente: Los autores.

Tabla 37. Formato del informe para la guía práctica No 6

						<p align="center">Laboratorio de Diseño de Máquinas Banco de Prácticas en Motores Eléctricos</p>	
INFORME GUÍA PRÁCTICA No. 6							
Grupo	Nombre	Apellidos	Código	Fecha	Calificación		
<input type="text"/>				<i>D</i>	<input type="text"/>		
				<i>M</i>			
				<i>A</i>			
INFORMACIÓN SOLICITADA							
MOTOR trifásico	<i>Explique la forma como se invierte el sentido de giro</i>						

<p>MOTOR monofásico</p>	<p><i>Explique la forma como se invierte el sentido de giro</i></p>
<p><i>Observaciones y conclusiones</i></p>	

Fuente: Los autores.

16 RESULTADOS DE LAS PRÁCTICAS REALIZADAS

16.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta los resultados constructivos de los circuitos para que el estudiante posea una base de cómo debe finalizar el circuito luego de cablearlo. Además se explican ciertos conceptos que deben manejarse y que son fundamentales en algunas prácticas. Las guías serán desarrolladas por los estudiantes para incentivar su investigación mediante el uso del presente material teórico-práctico, es por este motivo que las guías de práctica no se solucionarán completamente por parte de los autores del presente trabajo de grado.

16.2 DESARROLLO DEL INFORME DE RESULTADOS

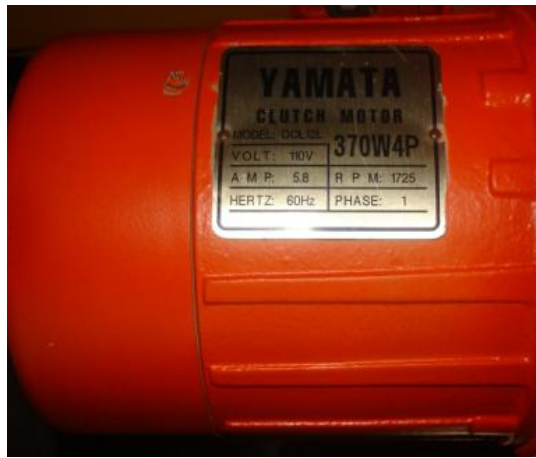
16.2.1 Resultados práctica No 2: selección y aplicación de protecciones automáticas o tacos para circuitos con motores eléctricos. Los siguientes resultados deben compararse con las protecciones correctamente seleccionadas que se encuentran en el informe de selección según NTC 2050 que se encuentra en el banco.

16.2.1.1 Resultados de la selección de breaker para ½ HP monofásico. El motor de ½ HP monofásico será usado de manera intermitente en periodos de máximo 10 minutos, entonces según la figura 126 es posible proteger el motor con las protecciones de la red contra cortocircuitos y fallas a tierra que son las protecciones conocidas como *breakers* o automáticos y la línea de aterrizaje de la red.

El sistema automático necesita cortar solo una línea que es la línea viva, por lo tanto es necesario un taco con una entrada y una salida, osea un taco monopolar.

La corriente de nominal de este motor es de 5.8 A en placa como se ve en la figura 149, valor que al multiplicarlo por 1.25 se obtiene 7.25 A, con esta corriente y el catálogo es posible determinar el *breaker* necesario, que es un breaker REF: 09810. (Para 10 A el más cercano a la corriente nominal del motor afectada por 125%).

Figura 149. Características de placa del motor monofásico



Fuente: Los autores.

El breaker seleccionado puede verse en la figura 150.

Figura 150. Breaker seleccionado para el motor de ½ HP monofásico de 110 V

REF.	POLOS	KA/230V	V. MAX
09800	1X1A	5KA	277VAC
09802	1X2A	5KA	277VAC
09804	1X3A	5KA	277VAC
09806	1X4A	5KA	277VAC
09808	1X5A	5KA	277VAC
09810	1X10A	5KA	277VAC
09812	1X16A	5KA	277VAC
09814	1X20A	5KA	277VAC
09816	1X25A	5KA	277VAC
09818	1X32A	5KA	277VAC
09820	1X40A	5KA	277VAC
09822	1X50A	5KA	277VAC
09824	1X63A	5KA	277VAC

Fuente: Los autores.

Este breaker tiene una capacidad hasta 277 VAC, la designación 1X10A, significa que tiene 1 polo y 10A de capacidad.

16.2.1.2 Resultados de la selección de breaker para 2 HP trifásico directo.

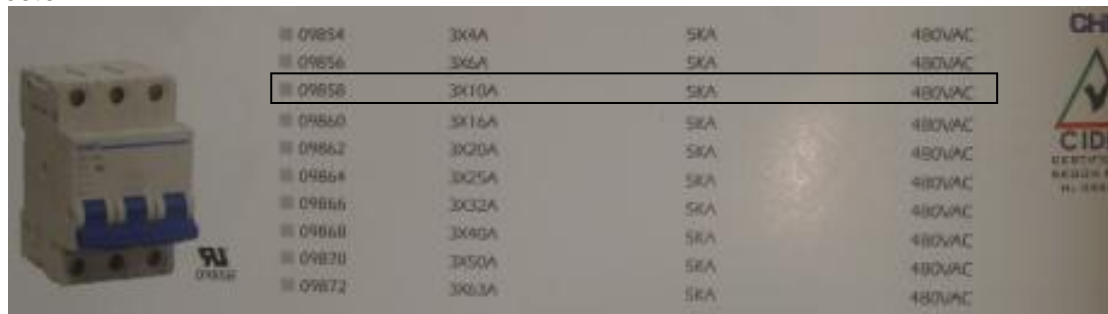
El motor de 2 HP trifásico será usado de manera intermitente en periodos de máximo 10 minutos, entonces según la figura 126 es posible proteger el motor con las protecciones de la red contra cortocircuitos y fallas a tierra que son las protecciones conocidas como *breakers* o automáticos.

El sistema automático necesita cortar 3 fases de corriente, por lo tanto es necesario un taco con una 3 entradas y 3 salidas, osea un taco tripolar.

La corriente de nominal de este motor es de 6.8 A en placa (220 V), valor multiplicando por 1.25 obtenemos 8,5 A, con este valor y el catálogo es posible determinar el *breaker* necesario, que es un breaker REF: 09834. (Para 10 A el más cercano a la corriente nominal del motor afectada por 1.25).

La selección puede verse en la figura 151.

Figura 151. Breaker seleccionado para el motor de 2 HP trifásico de 220 V para arranque directo



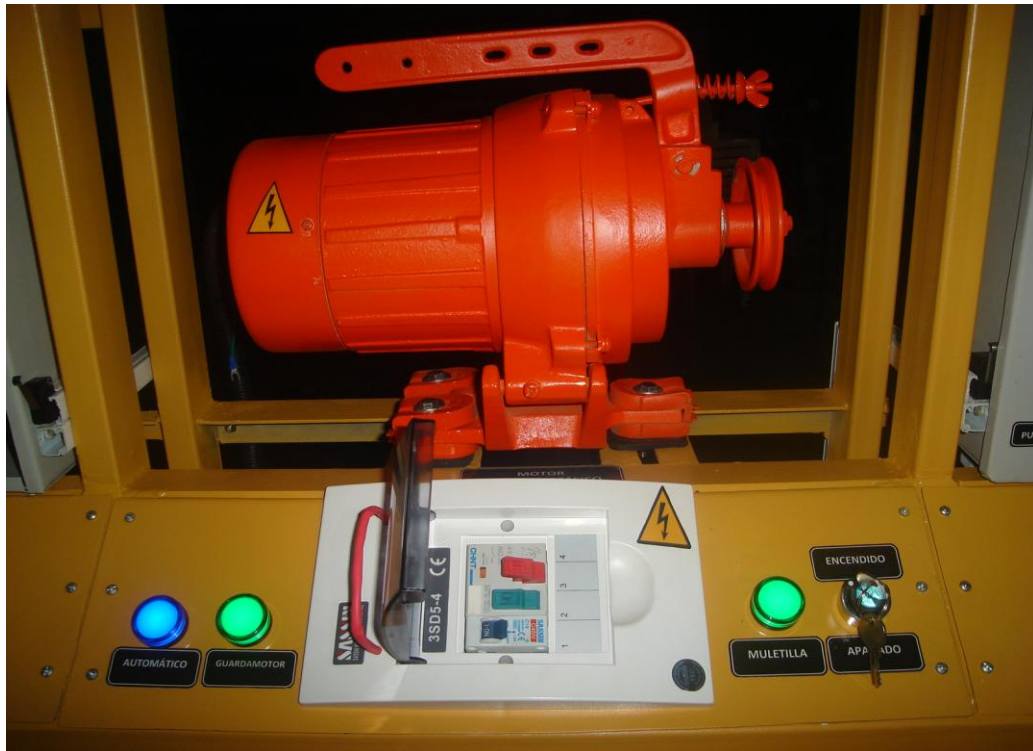
Fuente: Los autores.

16.2.1.3 Resultados de la selección de breaker para 2 HP trifásico estrella triángulo. La selección de la protección contra cortocircuitos se realiza teniendo en cuenta únicamente la corriente nominal del motor, determinando esto que no se tenga distinción de acuerdo al tipo de arranque que se realice al motor eléctrico. El automático seleccionado para el arranque (220 V) directo también está seleccionado de manera correcta para el arranque (220 V) estrella-triángulo.

16.2.2 Resultados práctica No 3: Arrancadores para motores eléctricos

16.2.2.1 Arranque directo de motor de ½ HP monofásico. El sistema de arranque se ve en la figura 152 y 153, los datos tomados se aprecian en la tabla 38 y la curva de arranque se muestra en la figura 154.

Figura 152. Arranque directo de motor de ½ HP monofásico



Fuente: Los autores.

Figura 153. Detalle del panel de control en el arranque del motor de ½ HP monofásico



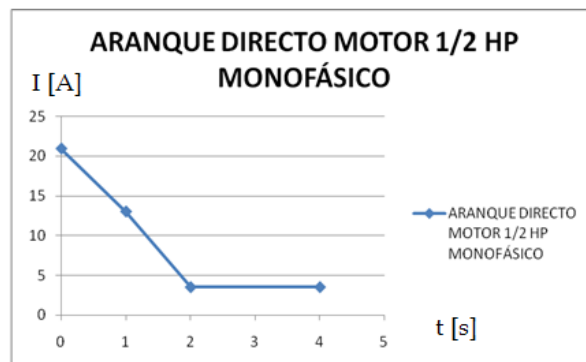
Fuente: Los autores.

Tabla 38. Datos de arranque de motor ½ HP monofásico

Corriente [A]	Tiempo [s]
20,9	0
13	1
3,5	2
3,5	4

Fuente: Los autores.

Figura 154. Curva de arranque motor monofásico de ½ HP



Fuente: Los autores.

16.2.2.2 Arranque directo de motor de 2 HP trifásico. El sistema de arranque se ve en la figura 155, los datos tomados se aprecian en la tabla 39 y la curva de arranque se muestra en la figura 156.

Figura 155. Arranque directo motor de 2 HP cableado



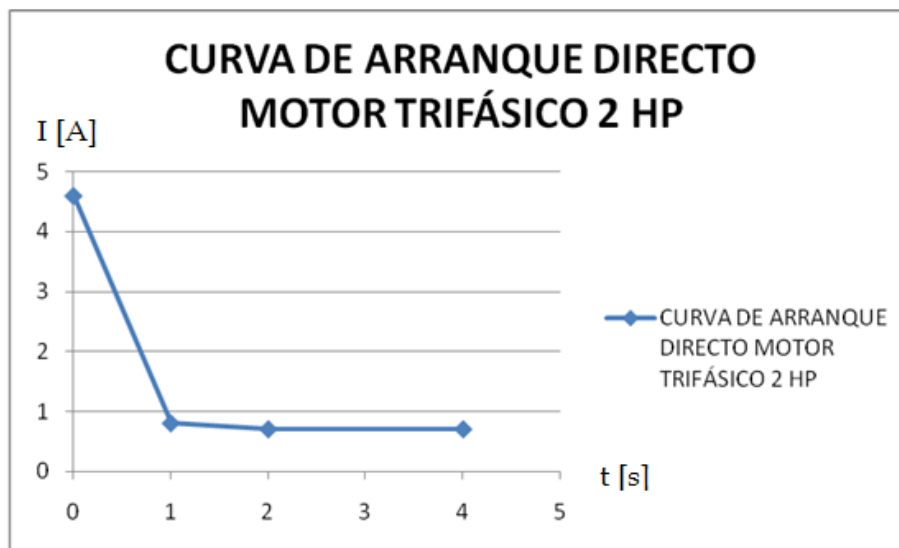
Fuente: Los autores.

Tabla 39. Datos de arranque de motor 2 HP trifásico

Corriente [A]	Tiempo [s]
4,6	0
0,8	1
0,7	2
0,7	4

Fuente: Los autores.

Figura 156. Curva de arranque directo motor trifásico de 2 HP



Fuente: Los autores.

16.2.2.3 Arranque estrella triángulo de motor de 2 HP trifásico. El sistema de arranque se ve en la figura 157, los datos tomados se aprecian en la tabla 40 y la curva de arranque se muestra en la figura 158.

El sistema de arranque tiene un arranque de 4 segundos preestablecido en el momento de arrancar la prueba en el relé de tiempo.

Figura 157. Arranque estrella triángulo de 2 HP cableado



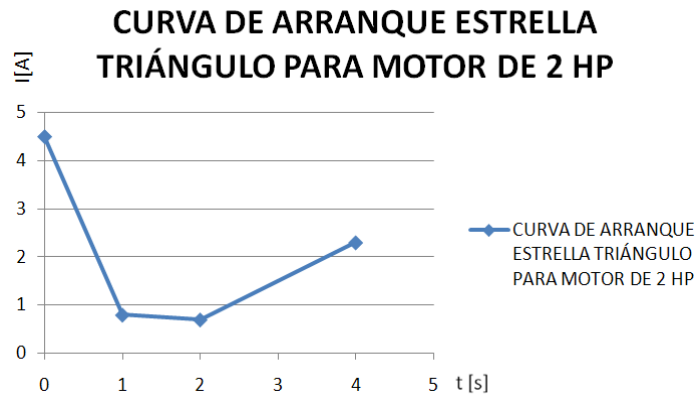
Fuente: Los autores.

Tabla 40. Datos de arranque de motor 2 HP trifásico estrella-triángulo

Corriente [A]	Tiempo [s]
4,5	0
0,8	1
0,7	2
2,3	4

Fuente: Los autores.

Figura 158. Curva de arranque estrella-triángulo motor trifásico de 2 HP



Fuente: Los autores.

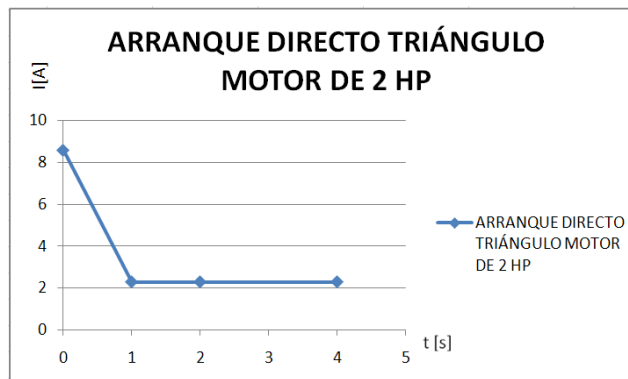
Al colocar el dial del *relé de tiempo en cero* el motor arranca de manera directa y la curva que se obtiene se ve en la figura 159.

Tabla 41. Datos de arranque de motor 2 HP en triángulo

Corriente [A]	Tiempo [s]
8,6	0
2,3	1
2,3	2
2,3	4

Fuente: Los autores.

Figura 159. Curva de arranque directo triángulo motor trifásico de 2 HP



Fuente: Los autores.

16.2.3 Resultados práctica No 4: Variación de velocidad a motores eléctricos. El rango de variación de velocidad viene determinado por la capacidad del variador de frecuencia que para el caso en concreto es de 0-650 Hz, como se indica en la placa del variador de frecuencia usado en las prácticas que se ve en la figura 160. Resaltando que el potenciómetro al estar ligado al variador de frecuencia tendrá el mismo rango de variación de frecuencia pues el potenciómetro es usado para controlar de manera remota el variador.

Figura 160. Placa del variador de frecuencia



Fuente: Los autores.

Según la gráfica suministrada a los estudiantes para el desarrollo de la práctica, la velocidad del motor puede llegar a ser hasta el doble de la velocidad de sincronismo del motor, que en este caso es de 1800 rpm, por lo tanto la velocidad máxima es de 3600 rpm, valor que se alcanza con una frecuencia a salida del variador de 120 Hz. Entonces esta es la máxima frecuencia que debe parametrizar el variador en su parámetro P013. Más arriba de 120 Hz el motor sufre daños.

El circuito del variador de frecuencia luego de ser cableado se muestra en la figura 161.

Figura 161. Sistema de variación de frecuencia cableado

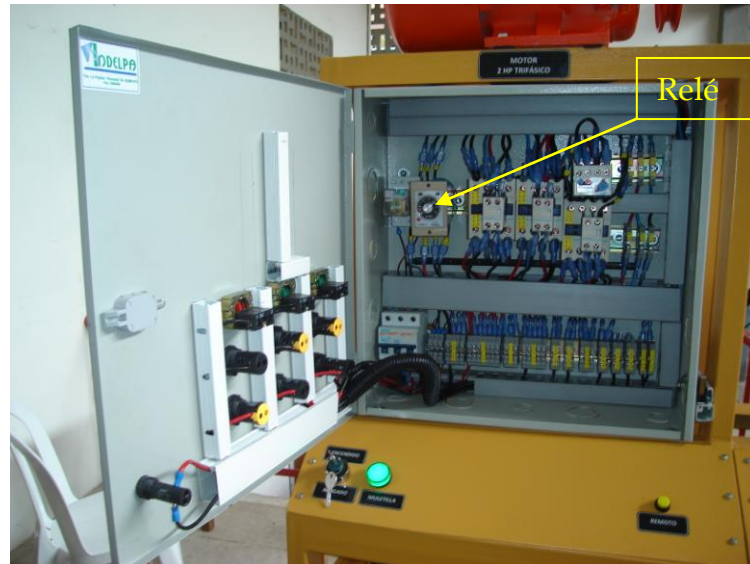


Fuente: Los autores.

16.2.4 Resultados práctica No 5: Variación de velocidad a motores eléctricos. El circuito de accionamiento remoto del arrancador estrella triángulo mediante relé electromecánico de 220 VAC a 12 VDC, permite conmutar los contactores que funcionan con 220 VAC, mediante una señal de baja corriente proveniente de una fuente de 12 VDC.

El sistema es muy cercano en cuanto al cableado respecto del arrancador estrella triángulo, la diferencia es el uso de un relé electromecánico para hacer arrancar el sistema. El circuito completamente cableado se muestra en la figura 162.

Figura 162. Circuito de uso de relé para dar arranque a un motor de 2 HP mediante estrella triángulo



Fuente: Los autores.

16.2.5 Resultados práctica No 6: Inversión de giro de motores eléctricos monofásicos y trifásicos. Los circuitos de inversión de giro monofásico y trifásico cableados se muestran en la figuras 163 y 164.

Figura 163. Circuito integrado de inversión de giro motor monofásico ½ HP



Fuente: Los autores.

Figura 164. Circuito de inversión de giro motor trifásico 2 HP mediante método de arranque directo



Fuente: Los autores.

17 CONCLUSIONES

- Debido a que los motores eléctricos son ampliamente utilizados en la industria, el conocimiento práctico al respecto de su control debe ser una competencia del ingeniero mecánico que está en continuo contacto con ellos, de esta manera el ingeniero mecánico adquiere un mayor control del mantenimiento y operación de los motores eléctricos.
- El control de los parámetros operativos de un motor eléctrico tales como el sentido de giro y la velocidad, permiten al ingeniero mecánico simplificar los sistemas de transmisión mecánica, eliminando en algunos casos incluso las cajas reductoras e inversoras.
- Los elementos eléctricos necesarios para realizar control de nivel industrial a motores eléctricos, están disponibles en el mercado en diferentes marcas y cuyos precios generalmente son altos y van unidos a la marca, certificaciones nacionales e internacionales de los mismos.
- Los elementos eléctricos para realizar control a motores eléctricos presentan características operativas muy diferentes acorde con los requerimientos de los motores. Estas condiciones operacionales deben imperar en la selección de los mismos buscando un funcionamiento seguro del sistema.
- Los elementos eléctricos son seleccionados mediante la utilización de catálogos suministrados por las empresas proveedoras. Estos catálogos suministran información técnica necesaria tal como cantidad y tipo de corriente, tensión, resistencias eléctricas, número y normalidad de la posición, material y demás datos operativos y estructurales.

- El mercado de los motores eléctricos es bastante amplio en marcas y costos, influyendo en este el factor de confiabilidad que se requiere en el motor, así como las características operativas del sistema eléctrico de alimentación y los requerimientos de entrega del motor.
- Al ser un banco para la realización de prácticas en las cuales intervienen corrientes y voltajes de alto riesgo y al ser manipulado por estudiantes, el sistema de protección personal requiere una gran cantidad de cableado, contactores y demás elementos de control, incrementando en gran medida el costo de la construcción del mismo.
- Se ha verificado que en el ámbito de los motores eléctricos, comercialmente el motor de mayor aplicación es el motor tipo jaula de ardilla, debido a sus altas prestaciones de torque y durabilidad bajo condiciones de trabajo pesadas.
- Teniendo en cuenta la economía en los costos de operación de un motor, es más eficiente trabajar con motores de alimentación trifásica, debido a que consumen menos corriente que sus símiles monofásicos a igual potencia.
- En el arranque directo en estrella que es el más común, el pico de corriente es reducido. Esta situación se aprovecha en el arranque para generar bajos costos operativos en arranques periódicos además de que se genera menos caída de voltaje en las redes que alimentan a los motores.
- En el arranque con montaje estrella triángulo el pico de corriente es bajo comparado con la corriente nominal del motor en triángulo, bajo estas condiciones este tipo de operación es más eficiente que la operación directa en estrella o triángulo.

- En el arranque con montaje estrella triángulo y un tiempo de conmutación cercano a cero segundos, el pico de corriente es bastante alto debido a la alta corriente nominal que requiere para su operación en triángulo.
- En el arranque con montaje estrella triángulo y con un tiempo de conmutación largo tarado en el dial del temporizador, el pico de corriente es bajo debido a la baja corriente nominal al arrancar en estrella.
- Para el arranque del motor de $\frac{1}{2}$ HP monofásico solo se requiere una protección contra sobrecarga en el motor de esta manera el sistema se vuelve económico al no requerir contactores, relés de tiempo, etc.
- En el arranque del motor de $\frac{1}{2}$ HP monofásico se aprecia un pico de corriente bastante alto comparativamente con un motor trifásico de la misma potencia, esta situación se debe al bajo voltaje que cruza las bobinas del motor monofásico.
- Los circuitos de comando de las operaciones de control de motores eléctricos deben manejarse en la medida de lo posible en bajos voltajes utilizando cableado de menor sección y generando seguridad para el operador. Con posibilidad de operar desde puntos remotos el motor sin entrar en contacto con los voltajes y corrientes de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

BEATY H., Wayne; KIRTLEY Jr., James L. Electric Motor Handbook. United States of America: McGraw Hill, 1998. 404 p. (ISBN 0-07-035971-7).

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Comunicado 374 (2, mayo, 2005). Mayor seguridad en las instalaciones eléctricas empieza a regir el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2005. 1p.

----- . Resolución 181294 (6, agosto, 2008). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE. Bogotá, D.C., El ministerio, 2008. 166p.

----- . Resolución 180398 (7, abril, 2004). Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas- RETIE y anexos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2004. No. 45592. 280 p.

COLOMBIA. PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA. Decreto 0070 (17, enero, 2001). Por el cual se modifica la estructura del Ministerio de Minas y Energía. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2001. No. 44297. 29 p.

DALE R., Patrick; STEPHEN W., Fardo. Industrial Electronics: Devices and Systems. 2 ed. United States of America: Fairmont Press, 2000. 671 p. (ISBN 0-88173-320-2).

FRAILE Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 5 ed. España: McGraw-Hill, 2003. 557 p. (ISBN 84-481-3913-5).

GENERAL ELECTRIC. Medium AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www.gemotors.com.br/products/motors/wound/>.

HARPER, Enríquez. Curso de Transformadores y Motores de Inducción. 4 ed. México: Limusa, 2005. 575 p. (ISBN 968-18-5993-6).

----- . Curso de Transformadores y Motores de Inducción. 4 ed. México: Limusa, 2005. 575 p. (ISBN 968-18-5993-6).

----- . El ABC del control electrónico de las máquinas eléctricas. México: Limusa, 2003. 401 p. (ISBN 968-18-6154-X).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60034-1 (21, april, 2004). International Standard: Rotating electrical machine, part 1: Rating and performance. 11 ed. Geneva, IEC, 2004. 137 p.

JONES, Garr M; SANZ, Rober L.;TCHOBANOGLIOUS, George; BOSSERMAN II, Bayard E. Pumping Station Desing. 3 ed. United States of America: Butterworth-Heinemman, 2006. 1054 p. (ISBN-10: 0-7506-7544-6).

KELJIK, Jeff. Electricity 4: AC/DC Motors, Control and maintenance. 9 ed. United States of America: Delmar, 2009. 360 p. (ISBN-13: 978-1-4354-0031-3).

KHAN, Shoaib. Industrial Power Systems. United States of America: CRC Press, 2008. 455 p. (ISBN-13: 978-0-8247-2443-6).

KOSOW, Irving L. Control de Máquinas Eléctricas. España: Reverté S.A., 2006. 429 p. (ISBN 978-84-3046-1).

MILLER, Rex; MILLER, Mark R. Industrial Electricity and Motors Control. United States of America: McGraw-Hill, 2008. 448 p. (ISBN 978-0-07-154476-4).

NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. NEMA Standards publication MG 1-2006: Motors and Generators. Rosslyn: NEMA 2006. 592 p.

PALLÁS Areny, Ramón. Instrumentos Electrónicos Básicos. España: Marcombo, 2006. 317 p. (ISBN 84-267-1390-4).

R. G., Seipel. Fundamentos de Electricidad: Principios de Electricidad, Electrónica, Control y Ordenadores. España: Reverté S.A., 1977. 418 p. (ISBN 84-291-3072-1).

SIEMENS. Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of AC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet: <http://www3.sea.siemens.com/step/flash/acmotors/index.htm>.

----- . Electrical Training Courses – Power Distribution, Motors and Control: Basic of DC Motors. [online]. [cited 25 february 2010]. Available from internet:<http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?dcd:1:1:1>.

STAMPER.; CORAL. Handbook of Air Conditioning Heating and Ventilating. 3 ed. United States of America: Industrial Press, 1979. 1366 p. (ISBN-10: 0-8311-1124-0).

WHITMAN, William C.; JHONSON, William M. Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado: fundamentos. 1 ed. España: Thomson, 2000. 368 p. (ISBN 84-283-2657-6).