

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional De Estudios Profesionales
Aragon

Ingeniería Mecánica Eléctrica



**"OPTIMO CONTROL Y APLICACION
DE LOS MOTORES ELECTRICOS
EN LA INDUSTRIA AUTOMATIZADA".**

TESIS QUE PRESENTA

DEL/RIO LOPEZ ARTURO

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICO

Asesor de Tesis: Ing. J.J. Ramón Mejía Roldán

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

A MIS PADRES:

ADRIAN DEL RIO

ROSARIO LOPEZ

POR EL EJEMPLO DE TENACIDAD QUE SIEMPRE ME HAN DADO CON TODO EL CARIÑO POSIBLE DEL MUNDO.

A MIS HERMANOS:

POR LA CONFIANZA QUE HAN TENIDO EN MI.

A MIS MAESTROS:

PROFRA. SILVIA VEGA MUYTOY, PROFRA. EMMA ZARRAGA ESCALONA, ING. RAUL BARRON VERA

QUE CON SU COLABORACION DECISIVA CONTRIBUYERON A ENRIQUECER EL TEXTO A TRAVES DE DISCUSIONES, INTERCAMBIOS Y EXPERIENCIAS.

EN ESPECIAL:

AL ING. J.J. RAMON MEJIA ROLDAN POR SU ASESORIA Y COLABORACION EN LA REVISION TECNICA PARA DAR FORMA FINAL A LA TESIS.

FINALMENTE A MIS AMIGOS CON TODO RESPETO Y CARIÑO:

NANCY E
HIPOLITO. QUE EN PAZ DESCANSE.

***" GANAR SU AMISTAD SEGURA E INMENSA RIQUEZA, ALGO MEJOR
QUE EL AMOR, SIEMPRE TENDRE CORAZON PARA LOS DOS "***

INDICE GENERAL

TEMA	PAGINA
INTRODUCCION.....	1
C A P I T U L O I	
TIPO Y APLICACION DE LOS MOTORES ELECTRICOS.	
1.1.0. CONSIDERACIONES PARA LA APLICACION EN LOS MOTORES ELECTRICOS.....	3
1.1.1. SELECCION PARA EL MANEJO DEL MOTOR.....	3
ENVOLTURA DEL MOTOR.	
1.1.2. TIPOS DE CARCAZAS.....	4
1.1.3. CARCAZAS PARA MOTORES A PRUEBA DE INTEMPERIE.....	4
1.1.4. CARCAZAS PARA MOTORES TOTALMENTE CERRADOS.....	5
1.1.5. CARCAZAS PARA MOTORES A PRUEBA DE EXPLOSION.....	5
1.1.6. CARCAZAS PARA MOTORES A PRUEBA DE GOTEO.....	5
1.1.7. CARCAZAS PARA MOTORES A PRUEBA DE SALPIQUEO.....	6
TAMAÑO DEL MOTOR.	
1.1.8. TAMAÑO DE LAS MAQUINAS.....	6
MOTOR A SELECCIONAR.	
1.1.9. SELECCION DEL MOTOR.....	8
TIPO DE MOTOR.	
1.2.0. MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.....	9
1.2.1. CARACTERISTICAS.....	9
1.2.2. DESVENTAJAS.....	10
1.2.3. CONSTRUCCION DE UN MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.....	10
1.2.3.1. ROTOR.....	10

1.2.3.2. ESTATOR.....	11
PRINCIPIOS DE LOS MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA	
1.2.5. ESTRUCTURA BASICA DEL MOTOR DE C.D.....	12
1.2.5.1. CIRCUITO MAGNETICO.....	12
1.2.5.2. TIPOS DE EXCITACIÓN.....	15
1.2.5.3. CIRCUITO ELECTRICO.....	16
1.2.5.4. CONSTRUCCION DE BOBINAS.....	16
1.2.5.5. HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA DEVANAR INDUCIDOS DE C.C.....	19
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS PARA EL ARMADO DEL MOTOR DE C.C.	
1.2.5.6. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.....	20
1.2.5.7. AISLAMIENTOS PARA RANURAS.....	21
1.2.5.8. CINTAS AISLANTES.....	21
1.2.5.9. CUÑAS O TIRAS PARA RANURAS Y COMPUESTOS AISLANTES.....	21
1.2.6.0. TIPOS Y CONEXIONES DE DEVANADOS PARA INDUCIDOS DE C.C.....	23
1.2.6.1. CONEXIONES DE DEVANADOS.....	24
1.2.6.2. CONEXIONES PROGRESIVA Y RETROGRESIVA.....	25
1.2.6.3. EMBOBINADO EMBRICADO.....	25
1.2.6.4. EMBOBINADO ONDULADO.....	26
1.2.6.5. EMBOBINADOS COMPUESTOS.....	28
1.2.7. CURVA DE SATURACION EN VACIO.....	29
1.2.8. LAS CORRIENTES DE ARMADURA.....	30
1.2.9. FLUJO RESULTANTE.....	34
1.3.0. TIPOS DE MOTORES.....	36
1.3.1. MOTORES CON EXCITACION EN SERIE.....	36
1.3.1.1. CARACTERISTICAS TERMINALES DE UN MOTOR DE C.C. SERIE.....	37

1.3.1.2. PRINCIPIOS DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA EL MOTOR DE C.C.....	40
1.3.1.3. CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR SERIE DE C.C.....	41
1.3.2. MOTORES CON EXCITACION EN DERIVACION.....	41
1.3.2.1. CONTROL DE VELOCIDAD EN LOS MOTORES EN DERIVACION DE C.C.....	44
1.3.3. MOTORES CON EXITACION COMPUESTA.....	45
1.3.3.1. MOTORES CON EXITACION COMPUESTA EN DERIVACION CORTA.....	46
1.3.3.2. CARACTERISCAS PAR - VELOCIDAD DE UN MOTOR DE EXCITACION.....	46
1.3.3.3. CARACTERISTICAS PAR - VELOCIDAD DE UN MOTOR DE EXCITACION COMPUESTA DIFERENCIAL.....	47
1.3.3.4. LA CONEXION DE UN MOTOR COMPOUND.....	47
1.3.3.5. CONTROL DE VELOCIDAD EN EL MOTOR DE C.C.DE EXCITACION COMPUESTA ACUMULATIVA.....	48
1.4.0. MOTORES CON IMAN PERMANENTE.....	48
1.4.1. ARRANQUE DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.....	49
1.4.2. VENTAJA DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.....	49
1.4.3. ELEMENTOS.....	50
TIPO DE MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA.	
1.5.0. MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.....	53
1.5.1. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO.....	53
1.5.2. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE INDUCCION TRIFASICA.....	54
1.5.3. CONSTRUCCION DEL MOTOR DE INDUCCION.....	58
1.5.3.1. ROTOR.....	59
1.5.3.2. ESTATOR.....	59
1.5.4. ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN MOTOR DE INDUCCION.....	59
1.5.5. COMO OPERA EL MOTOR DE INDUCCION.....	64
1.5.6. EL MOTOR DE INDUCCION COMO TRANSFORMADOR.....	67
1.5.7. ANALISIS DE OPERACION DEL MOTOR DE INDUCCION.....	68

1.5.8. EL CIRCUITO DEL MOTOR DE INDUCCION.....	69
1.5.9. CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO PARA EL MOTOR DE JAULA DE ARDILLA.....	73
1.6.0. APLICACIONES DEL MOTOR DE INDUCCION.....	75
1.6.1. CONSTRUCCION DEL MOTOR DE JAULA DE ARDILLA.....	76
1.6.2. CONSTRUCCION DEL MOTOR DE INDUCCION POLIFASICO.....	77
1.6.2.1. DEVANADO IMBRICADO.....	77
1.6.2.2. DEVANADO ONDULADO.....	78
1.6.3. PRINCIPIOS DE DEVANADOS DE POLOS CONSECUENTES PARA MOTORES DE INDUCCION.....	78
1.6.4. FUNCIONAMIENTO Y CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES DE ROTOR DEVANADO.....	80
1.6.5. CLASES DE MOTORES DE INDUCCION POLIFASICOS.....	83
1.6.6. FINES DE LAS REGLAS QUE SE APLICAN A LOS MOTORES DE INDUCCION.....	83
1.6.7. LA CONEXION PARA UNA SOLA VELOCIDAD DE SINCRONISMO NORMA UTILIZADA N.E.M.A.....	84
1.6.7.1. EN LA CONEXION DELTA.....	84
1.6.7.2. CONEXION PARA MOTORES DE PAR VARIABLE.....	85
1.6.7.3. CONEXIONES PARA MOTORES DE PAR CONSTANTE.....	85
1.6.7.4. CONEXIONES PARA MOTORES DE POTENCIA CONSTANTE.....	86
1.6.7.5. CONEXIONES PARA UN MOTOR DE TRIPLE DEVANADO Y TRES VELOCIDADES.....	87
1.6.7.6. CONEXIONES PARA UN MOTOR BIFASICO DE PAR VARIABLE Y DOS VELOCIDADES.....	88
1.6.8. TIPOS DE ROTORES EN JAULA DE ARDILLA.....	89
1.6.9. CARACTERISTICAS DEL PAR EN MOTORES DE INDUCCION.....	90
1.7.0. CARACTERISTICAS DEL PAR DE LAS MAQUINAS.....	91
1.7.1. MAQUINAS CON VELOCIDAD CONSTANTE Y CARGA VARIABLE.....	92
1.7.2. INFORMACION ACERCA DE LAS CURVAS PAR - VELOCIDAD DEL MOTOR DE INDUCCION.....	92

1.7.3. ARRANQUE DE LOS MOTORES DE INDUCCION.....	93
1.7.4. VENTAJAS DE LOS MOTORES DE INDUCCION.....	95
1.7.5. CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCION.....	95

C A P I T U L O I I

CONTROL DE MOTORES MEDIANTE EQUIPO DE CONTROL ELECTRICO

2.1.0. CADA MOTOR EN LA INDUSTRIA CONTROL.....	96
2.1.1. CENTROS DE CONTROL DE MOTORES.....	96
2.1.2. APARATOS DE CONTROL.....	97
2.1.3. CAJAS DE EMPALME.....	98
2.1.4. ARRANCADORES.....	98
2.1.5. FUNCIONES BASICAS DE UN ARRANCADOR.....	99
2.1.5.1. ARRANCADOR DEL MOTOR. CARGA Y ALIMENTADOR.....	99
2.2.1. ARRANCADORES A PLENA TENSION.....	101
2.2.1.1. MANUALES.....	101
2.2.1.2. MAGNETICOS.....	102
2.2.1.3. APLICACIÓN.....	102
2.2.1.4. ACCIONAMIENTO.....	102
2.2.1.5. PROTECCION DE MOTORES.....	102
2.2.1.6. MONTAJE.....	102
2.2.1.7. VENTAJAS.....	102
2.2.1.8. DESVENTAJAS.....	103
2.2.1.9. PRECAUCIONES.....	103
2.2.2. ARRANCADORES ESTRELLA - DELTA.....	103

2.2.2.1. VENTAJAS.....	105
2.2.2.2. DESVENTAJAS.....	105
2.2.2.3. APLICACIÓN.....	105
2.2.2.4. PRECAUCIONES.....	105
2.2.2.5. EJECUCION.....	106
2.2.2.6. ACCIONAMIENTO.....	106
2.2.2.7. PROTECCION DE MOTORES.....	106
2.3.1.0. ARRANCADORES PARA DEVANADO BIPARTIDO.....	106
2.3.1.1. APLICACIÓN.....	107
2.3.1.2. PROTECCION DE MOTORES.....	108
2.3.1.3. MONTAJE.....	108
2.3.2. ARRANQUE CON AUTOTRANSFORMADOR: A TENSION REDUCIDA.....	108
2.3.3. ARRANCADORES AUTOMATICOS A TENSION REDUCIDA CON AUTOTRANSFORMADOR.....	111
2.3.3.1. APLICACIÓN.....	111
2.3.3.2. EJECUCION.....	111
2.3.4. CONTACTORES AUXILIARES.....	112
2.3.4.1. APLICACION.....	112
2.3.4.2. EJECUCION.....	112
2.3.4.3. MONTAJE.....	112
2.3.4.4. MARGEN DE TRABAJO.....	112
2.3.5. CONTACTOR AUXILIAR DE SIEMENS TIPO 3TH2.....	113
2.3.5.1. DESCRIPCION.....	113
2.3.5.2. CONEXIÓN.....	114
2.3.5.3. MONTAJE.....	114
2.3.6. CONTACTORES TRIPOLARES TIPO 3TB Y 3TF.....	115

2.3.6.1. CARACTERISTICAS.....	115
2.3.6.2. APLICACIÓN.....	116
2.3.7. RELEVADORES BIMETALICOS ESPECIFICACION SIEMENS 3VA TRIFASICOS.	116
2.3.7.1. ESPECIFICACIONES.....	117
2.3.7.2. APLICACION.....	117
2.3.7.3. CURVAS CARACTERISTICAS (RMS) DE LOS RELEVADORES BIMETALICOS.....	117
2.3.8. INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS	118
2.3.8.1. INTERRUPTOR DE CIRCUITO.....	119
2.3.8.2. INTERRUPTOR DE DESCONEXION.....	119
2.3.8.3. INTERRUPTOR DE CONTROL MANUAL.....	119
2.3.8.4. INTERRUPTORES DE TAMBOR.....	119
2.3.8.5. INTERRUPTORES DE ENCHUFE.....	119
2.3.8.6. RELEVADOR DE TIEMPO.....	120
2.3.8.7. RELEVADORES DE CONTROL.....	120
2.3.8.8. RELEVADOR DE SOBRECARGA.....	120
2.3.8.9. BOTONES PULSADORES Y LAMPARAS INDICADORAS.....	120
2.4.0. TRANSMISIONES.....	121
2.4.1. TRANSMISIONES DIRECTAS.....	121
2.4.2. TRANSMISIONES NO DIRECTAS.....	121
2.5.0. METODOS DE ACOPLAMIENTO IMPORTANTES PARA EL CONTROL ELECTRICO DEL MOTOR.....	122
2.5.1. ACOPLAMIENTO. DIRECTO.....	122
2.5.2. TRANSMISIONES POR RUEDAS DENTADAS Y CADENA.....	123
2.5.3. TRANSMISIONES POR ENGRANAJES.....	124
2.5.4. TRANSMISION POR BANDA O CADENA.....	125

2.6.0. FIJACION DEL MOTOR.....	126
2.6.1. FIJACION DE UN MOTOR HORIZONTAL CON PIES SOBRE RIELES.....	127
2.6.2. ALINEACION.....	128
2.6.2.1. COMPROBACION DE ALINEACION AL ACOPLAMIENTO.....	128
2.7.0. SELECCION DE UN MOTOR PARA CARGA FLUCTUANTE.....	129
2.8.0. PROTECCIONES DEL MOTOR.....	130

C A P I T U L O I I I

MONTAJE, INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA DE LOS MOTORES ELECTRICOS

3.1.1. LINEALIZACIONES PARA RESPUESTAS.....	132
3.1.2. ANALISIS DINAMICO DEL CONTROL DE MOTORES ELECTRICOS.....	132
3.2.1. TECNICAS DE CONTROL PARA MOTORES ELECTRICOS.....	133
3.2.2. CONTROL DE LA VELOCIDAD EN LOS MOTORES DE C.C.....	135
3.2.3. CONTROL DE LA RESISTENCIA DE INDUCIDO.....	135
3.2.4. CONTROL DE LA RESISTENCIA DE INDUCIDO EN SERIE Y SHUNT.....	136
3.2.5. CONTROL DE LA TENSION DE INDUCIDO.....	136
3.3.1. CONTROL DE VELOCIDAD DEL SISTEMA WARD LEONARD.....	139
3.3.2. ANALISIS DINAMICO DEL SISTEMA WARD LEONARD.....	140
3.4.1. MOTORES DE INVERSION DE C.C.....	143
3.4.2. MOTOR REVERSIBLE.....	143
3.4.3. SENTIDO DE INVERSION PARA UN MOTOR COMPOUND.....	144
3.4.4. METODO DE INVERSION PARA EL MOTOR SERIE.....	144
TECNICAS PARA EL CONTROL (MANERAS DE DETENER EL MOTOR ELECTRICO DE C.C).	
3.5.0. TIPOS DE FRENADO.....	147
3.5.1. FRENADO POR INVERSION.....	147

3.5.2. FRENADO DINAMICO.....	147
3.5.3. FRENADO REGENERATIVO.....	148

TECNICAS PARA EL CONTROL DE MOTORES ELECTRICOS DE C.A.

3.6.1. APLICACIÓN.....	149
3.6.2. CONTROL DE VELOCIDAD EN LOS MOTORES ELECTRICOS DE C.A.....	150

TECNICAS DE CONTROL DE MOTORES MEDIANTE FORMAS DE DETENCION DEL MOTOR DE C.A. (TIPOS DE FRENADO).

3.6.3. FRENADO POR INVERSION.....	151
3.6.4. FRENADO DINAMICO.....	151
3.6.5. FRENADO REGENERATIVO.....	152
3.7.1. SISTEMA DE ACELERACION EN UN MOTOR DE C.C. Y C.A.....	153
3.7.2. SISTEMA DE ACELERACION DEFINIDA.....	153
3.7.3. SISTEMA DE ACELERACION POR LIMITE DE CORRIENTE.....	154
3.7.4. ACELERACION DE FRECUENCIA.....	155
3.7.5. CONTROL DE MOTORES ELECTRICOS MEDIANTE FRECUENCIA AJUSTABLE.....	156
3.7.6. CONTROL DE FRECUENCIA AJUSTABLE CON FLUJO CONSTANTE.....	156

EMBRAGUES ELECTROMAGNETICOS.

3.8.1 ACCIONAMIENTOS CON EMBRAGUES.....	157
3.8.2. EMBRAGUES Y FRENOS ELECTROMAGNETICOS (CLUTCHES Y BRAKES).....	157
3.8.3. AHORRO DE ENERGIA CON EMBRAGUES Y FRENOS ELECTROMAGNETICOS.....	160
3.8.4. EMBRAGUES Y FRENOS ELECTROMAGNETICOS SIN FRICCION.....	163
3.8.5. CARACTERISTICAS DEL ACOPLAMIENTO PARA EMBRAGUES MAGNETICOS.....	163
3.8.6. CAMBIO EN EL DESLIZAMIENTO DEL TIEMPO.....	165
3.8.7. FACTORES DE DISEÑO.....	166

3.8.8. UNIDAD DE MEDIDA.....	166
3.8.9. EJEMPLO DEL BRAKE / CLUTCH.....	167
3.9.1. VARIADORES DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE C.A. Y C.C.....	168
3.9.2 VARIADORES NO REVERSIBLES.....	169
3.9.3. VARIADORES REVERSIBLES.....	170

C A P I T U L O I V

CONTROL ELECTRONICO DE LOS MOTORES ELECTRICOS.

4.1.1. DESARROLLO DEL CONTROL ELECTRONICO EN MOTORES ELECTRICOS.....	171
4.2.1. EQUIPOS DE REGULACION Y CONTROL.....	171

DISPOSITIVOS ELECTRONICOS

4.3.1. OPERACION DEL SCR.....	172
4.3.1.1. DURACION DE LOS IMPULSOS DE PUERTA EN SCR'S.....	175
4.3.1.2. DIODOS.....	176
4.3.1.3. UJT.....	176
4.3.1.4. TRIAC O TIRISTOR BIDIRECCIONAL.....	177
4.3.1.5. DIAC O DIODO BIDIRECCIONAL DE RUPTURA.....	179
4.3.1.6. TBJ: TRANSISTOR BIPOLAR DE JUNTURA.....	179
4.3.1.7. FET: TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO.....	180
4.3.1.8. ANALISIS DE DIODOS.....	181
4.3.1.9. DIODO DE UNION TIPO P-N Y ZENER.....	181
4.4.1. AMPLIFICADORES DE C.A.....	182
4.4.1.1. AMPLIFICADOR OPERACIONAL.....	183
4.4.2. TRANSFORMADOR.....	184
4.4.3. CELDAS FOTOCONDUCTORAS.....	185

4.4.4. FOTODIODOS.....	185
4.4.5. FOTOTRANSISTORES	186
4.4.6. FOTOFET.....	187
4.4.7. CELDAS FOTOVOLTAICAS O CELDAS SOLARES	187
4.4.8. LED.....	188
4.4.9. AISLADORES ACOPLADOS OPTICAMENTE	189
4.5.1. CONTROL DE MOTORES ELECTRICOS MEDIANTE DISPOSITIVOS ELECTRONICOS CIRCUITOS DE POTENCIA Y USO DEL SCR PARA MOTORES DE C.A Y C.C.....	190
4.5.1.1. CONTROL DE INDUCIDO POR MEDIO DE SCR'S.....	191
4.5.1.2. CONTROL DE VOLTAJE TRIFASICO.....	191
4.5.2. APLICACIONES DENTRO DEL CONTROL ELECTRONICO A LOS MOTORES ELECTRICOS DE C.C. Y C.A.....	192
4.5.3. CONTROL POR TIRISTOR DE VOLTAJE Y CORRIENTE DE ARMADURA.....	192
4.5.4. SISTEMA MONOFASICO DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA MOTOR DE C.C.....	193
4.5.5. SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR SHUNT CON MEDIA ONDA.....	195
4.5.6. CONTROL REVERSIBLE DE VELOCIDAD EN MOTORES DE C.C.....	196
 CONVERTIDORES.	
4.6.1. CONVERTIDORES O TROCEADORES.....	198
4.6.1.1. UTILIZACION DEL TIRISTOR DE DOS TERMINALES EN EL EFECTO DE CARGAS INDUCTIVAS PARA LA VARIACION DE VOLTAJE DEL CONTROL DE FASE.....	198
4.6.1.2. CONVERTIDORES(CHOOOPER'S O CUCHILLAS).....	200
4.6.1.3. TIPOS DE CONVERTIDORES EN CIRCUITOS.....	201
 ANALISIS DEL TIPO CONVERTIDOR	
4.6.1.4. CIRCUITOS DE POTENCIA A CONVERTIDORES TIPO "A ".....	204
4.6.1.5. VOLTAJE DE CONMUTACION DEL CONVERTIDOR TIPO "A".....	211
4.6.1.6. CHOOOPER'S DE CUARTO CUADRANTE.....	221

CHOPPER TIPO B Y CONVERTIDOR A.C. A A.C.

4.6.1.7. ANALISIS DEL CIRCUITO CONVERTIDOR TIPO B.....	221
4.6.1.8. CIRCUITO DE POTENCIA DEL CONVERTIDOR TIPO B.....	221
4.6.1.9. CONVERTIDORES DE CORRIENTE ALTERNA A CORRIENTE ALTERNA.....	227
4.6.2.0. CHOOOPER'S EN MOTORES DE C.A.....	231
4.6.2.1. CONVERTIDOR DE FRECUENCIA INDUSTRIAL MICROMASTER DE SIEMENS.....	232
4.7.1. INVERSORES PARA CIRCUITOS CONVERTIDORES.....	232
4.7.1.1. TIPOS DE CIRCUITOS INVERSORES.....	233
4.7.1.2. ANALISIS DEL MEDIO PUENTE INVERSOR.....	235
4.7.1.3. CONMUTACION DE CARGA DEL PUENTE MEDIO INVERSOR.....	237
4.7.1.4. VOLTAJE DE CONMUTACION DEL PUENTE INVERSOR.....	238
4.7.1.5. CONTROL DE VOLTAJE DE FASE SENCILLA PARA INVERSORES.....	239
4.7.1.6. LOS METODOS DE CONTROL DE VOLTAJE QUE COMUNMENTE SE EMPLEAN.....	239
4.7.1.7. INVERSORES DE TRES FASES.....	242
4.7.1.8. APLICACION DE LA INVERSION DE TERMINALES EN LA FUENTE DE VOLTAJE DE MOTORES DE INDUCCION CON FUENTE DE VOLTAJE INVERTIDO.....	243
4.7.1.9. COMBINACIONES DEL CONVERTIDOR.....	244
4.7.2.0. INVERSOR DE LA FUENTE DE VOLTAJE TRIFASICO.....	245
4.7.2.1. MODULACION SENOIDAL DE PULSO - ANCHO.....	249
4.8.0. MULTIPLICADORES DE TENSION.....	251
4.8.1. RECTIFICACION.....	252
4.8.1.1. RECTIFICACION (EN FUNCIONAMIENTO CON ONDULADORES).....	255
4.8.1.2. CIRCUITOS RECTIFICADORES.....	256
4.8.1.3. CIRCUITOS TRIFASICOS DE MEDIA ONDA.....	257
4.8.1.4. CIRCUITOS TRIFASICO DE ONDA COMPLETA.....	258
4.8.1.5. CIRCUITO MONOFASICO DE MEDIA ONDA.....	259

4.8.1.6. CIRCUITO MONOFASICO DE ONDA COMPLETA.....	259
4.9.1. REGULADORES.....	260
4.9.1.1. REGULACION DE TENSION MEDIANTE CIRCUITOS TROCEADORES.....	261
4.9.1.2. REGULACION DE TENSION.....	261
4.9.1.3. REGULACION DENTRO UN INVERSOR.....	261
4.9.2. UTILIZACION EN AMPLIFICADORES DE POTENCIA.....	262
4.9.3. COMPENSADORES ESTATICOS.....	266

C A P I T U L O V

AUTOMATIZACION

5.1.1. LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS.....	267
5.1.2. OBJETIVO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.....	267
5.1.3. OBJETIVO DE LA AUTOMATIZACION EN LA PRODUCCION.....	268
5.1.4. ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS.....	270
5.1.5. TECNOLOGIAS DE MANDO CABLEADOS Y PROGRAMADAS.....	271
5.1.6. EVOLUCION EN LAS NECESIDADES EN AUTOMATIZACION.....	272
5.1.7. LOS CONTROLADORES LOGICOS PROGRAMABLES (PLC'S).....	273
5.1.8. EVOLUCION AL PRESENTE PLC.....	273
5.1.9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PLC'S.....	274
5.1.9.1. VENTAJAS DEL PLC.....	275
5.1.9.2. FLEXIBILIDAD.....	275
5.1.9.3. MODIFICACION DE PROGRAMA Y CORRECCION DE ERRORES.....	275
5.1.9.4. GRAN CANTIDAD DE CONTACTOS.....	275
5.1.9.5. PRUEBAS PRELIMINARES.....	275
5.2.1. OPERACION DEL PLC.....	276
5.2.1.1. VELOCIDAD DE OPERACION.....	276

5.2.1.2. METODO DE PROGRAMACION LADDER Y BOOLEANO.....	276
5.2.1.3. CONFIABILIDAD.....	276
5.2.1.4. SENCILLEZ PARA DISPONER ELEMENTOS DE CONTROL.....	276
5.2.1.5. SEGURIDAD.....	277
5.2.1.6. FACIL REPROGRAMACION.....	277
5.3.1. DESVENTAJAS DEL PLC.....	277
5.3.1.1. TECNOLOGIA NUEVA.....	277
5.3.1.2. APLICACION EN PROGRAMAS FIJOS.....	277
5.3.1.3. CONSIDERACIONES AMBIENTALES.....	277
5.3.1.4. OPERACION A PRUEBA DE FALLA.....	277
5.4.1. DIVISION DE PLC'S.....	278
5.4.1.1. ESTRUCTURA COMPACTA.....	278
5.4.1.2. ESTRUCTURA MODULAR.....	278
5.5.1. COMPONENTES DEL SISTEMA.....	279
5.5.1.1. UNIDAD DE PROCESO CENTRAL (CPU).....	280
5.5.1.2. TERMINAL DE PROGRAMACION.....	280
5.5.1.3. MODULO DE ENTRADAS Y SALIDAS.....	280
5.5.1.4. LA IMPRESORA.....	281
5.5.1.5. GRABADORA DE PROGRAMA.....	281
5.6.1. DESEMPEÑO DEL CPU.....	281
5.6.2. EQUIPOS DE PROGRAMACION.....	282
5.6.3. MODULOS DE ENTRADAS Y SALIDAS.....	283
5.6.4. OPERACION DEL CPU.....	285
5.6.5. UTILIZACION DE FUENTES DE PODER.....	286
5.6.6. EL PROCESADOR.....	288

5.7.1. CIRCUITOS PARA EL PLC Y SIMBOLOGIA DE CONTACTOS.....	291
5.7.2. AISLAMIENTO EN AMBIENTE PARA EL PLC.....	296
5.7.3. CARACTERIZACION DEL PLC.....	296
5.7.4. DISPOSITIVOS DIGITALES.....	297
5.7.5. ALGORITMO DE CONTROL PARA EL PLC.....	299
5.8.1. AUTOMATIZACION INDUSTRIAL.....	301
5.8.1.1. SECCIONADORES.....	301
5.8.1.2. ORDENADORES.....	302
5.8.1.3. CALCULADOR INDUSTRIAL.....	302
5.8.1.4. MICROPROCESADOR.....	302
5.8.1.5. MICROCALCULADOR.....	302
5.8.1.6. AUTOMATA PROGRAMABLE.....	302
5.8.1.7. CAMPOS DE APLICACION.....	303
5.8.1.8. CAMPOS DE INSTALACION.....	304
5.8.1.9. CAMPOS DE SEÑALIZACION.....	304
5.9.1. TRANSDUCTORES.....	304
MEMORIA DE CALCULOS.....	305
ACLARACIONES TECNICAS.....	325
CONCLUSIONES.....	370
BIBLIOGRAFIA.....	371

INTRODUCCION

INTRODUCCIÓN.

En los últimos 20 años , ha ocurrido una verdadera evolución con los motores eléctricos siendo posible manejar motores de corriente continua y motores de corriente alterna mediante controles con equipo eléctrico y con semiconductores de estado sólido como son : los componentes y circuitos de electrónica de potencia y toda la gama de equipo eléctrico seleccionado. La versatilidad de los controladores y accionadores han permitido nuevas aplicaciones de los motores , facilitando la flexibilidad con la conducción de voltajes y corrientes. Tiene como objeto un sistema de control de motores gobernar uno o más de los siguientes parámetros : la velocidad en la flecha , la aceleración en la flecha , el par , la potencia mecánica, etc.

Se pueden aprovechar muchos tipos de semiconductores para aplicarse al control electrónico, manifestándose el control eléctrico sofisticando con los sistemas digitales como la computadora personal y el controlador lógico programable. El tipo que vaya a usarse en alguna aplicación específica , dependerá principalmente de la potencia , el voltaje , la corriente de arranque del motor , la frecuencia , el giro de la flecha , velocidad , paro , aceleración, etc., que se van a controlar y de otros factores como son : la temperatura ambiente , la selección de cargas u otros modos de control.

La circuitería respectiva con cierto manejo de frecuencia. La conversión estática de frecuencia se ejecuta mediante circuitos rectificadores, por ejemplo, o también por cicloconvertidores, etc. El control lógico existente trabaja a niveles muy bajos de voltajes y corrientes. Los campos y aplicación permiten reservar las máquinas rotativas para la función en la que son irremplazables, la transformación de la energía de la forma mecánica a la forma eléctrica o la transformación inversa. Los cambios de presentación de la energía eléctrica se efectúan estáticamente mediante los transformadores y los convertidores con semiconductores el empleo de los convertidores estáticos no cesan de crecer debido a que permiten dar a la energía eléctrica la forma que mejor se adapta a cada aplicación y a que las presentaciones de los semiconductores de potencia se mejoran día a día y además, aparecen nuevos componentes a las necesidades expresadas de manera global. También hablaremos de las consideraciones de costo general en los sistemas. En equipo industriales se utilizan arrastres de velocidad variable esto se lograra mediante el control eléctrico obteniéndose la velocidad óptima dentro del estudio de las estructuras los componentes están colocados en circuitos de potencia contruidos además por resistencias, bobinas, condensadores y por cargas activas o pasivas. La introducción de semiconductores típicamente no lineales modifica totalmente el funcionamiento del circuito requiriendo un estudio.

En los capítulos se abordarán: el tema de los motores por medio del control eléctrico y electrónico logrando una visión general . Hablaremos del tipo de motores

a controlar: motores de c.c. y c.a.; principios de funcionamiento, construcción de éstos, gráficas de velocidad corriente y voltaje; así como los principios de accionamiento, ventajas y desventajas. La selección de equipo eléctrico utilizado y la manera que acciona y mueve las cargas en un sistema de acción electromecánico. Se analizará el hecho de que en la mayoría de las situaciones industriales los motores son operados directamente en base de los principios de alimentación de c.d. y c.a. y cómo las terminales de los devanados del motor están conectados directamente a las líneas que entregan la corriente eléctrica.

Básicamente podemos generalizar el contenido de cada capítulo de la siguiente manera:

CAPITULO 1. En condiciones de operación.

CAPITULO 2. Con arrancadores y en operación de un centro de control con motores eléctricos mediante la utilización e instalación de botones.

CAPITULO 3. Un centro de control de motores mediante técnicas de control con el control de la velocidad, tensión y corriente; arranque, aceleración y freno del motor, manejo de clutches o embarques para motores de c.d. y c.a. Nos introducimos al manejo del tiristor SCR en una breve semblanza.

CAPITULO 4. Control electrónico de motores. Dispositivos electrónicos, aplicaciones en circuitos con tiristores. Convertidores directos e indirectos, equipos de regularización y control, rectificadores, reguladores con troceadores. Electrónica industrial.

CAPITULO 5. Sistemas de automatización industrial PLC. Manejo de PLC'S para el control de motores eléctricos. Manejo de la computadora personal en el control de motores.

CAPÍTULO I

**TIPO Y APLICACION DE LOS MOTORES
ELECTRICOS**

CAPÍTULO I.

TIPO Y APLICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

1.1.0. CONSIDERACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

El objetivo primordial de todo Ingeniero será la aplicación de los conocimientos físicos existentes por medio de dispositivos, que comprenden un amplio rango de problemas. En general la aplicación de los motores implican las siguientes consideraciones:

- *Selección del Motor.*
- *Suministro de Energía (Potencia).*
- *Funcionamiento y Características Bajo Carga.*
- *Protección (Seguridad).*
- *Economía.*

En las aplicaciones siempre deben considerarse la seguridad. La protección tanto del equipo, como del personal asociado con la operación del mismo. Las funciones de control de una aplicación debe incluir la protección de los dispositivos y del sistema. Los dispositivos de protección constituyen una rama altamente especializada. Los suministros de potencia tendrán la capacidad suficiente como para que el suministro no experimente ningún cambio de frecuencia o voltaje, debido a las variaciones de carga.

1.1.1. SELECCIÓN PARA EL MANEJO DEL MOTOR.

Se hará la selección del motor para el accionamiento de la carga , ya que las curvas par - velocidad consideradas que normalmente son a la tensión nominal del motor y si este voltaje se reduce , la curva par - velocidad se modifica será importante que en el arranque del motor se determine la corriente que demanda.

Una alternativa será reducir la corriente tan elevada que demandan los motores a tensión plena , con el consecuente incremento en el valor de la regulación de voltaje , ocasionando con esto anomalías en la operación de los dispositivos

eléctricos y electrónicos conectados en la misma red del motor pudiendo sufrir calentamientos excesivos durante este período ; debemos considerar la prevención en el motor así también que no produzca anomalías dentro de los dispositivos y nos servirán los siguientes parámetros para el arranque a tensión plena y reducida:

Producir el suficiente par de aceleración.

- *Demanda mínima de corriente de línea de alimentación.*
- *Que tenga períodos de arranque mínimos.*
- *No presentar calentamientos excesivos.*
- *No produzca disturbios en la red cuando arranque.*
- *Se arranque con buen factor de potencia.*
- *Gastos mínimos para el sistema de arranque.*
- *Ahorro de energía.*

ENVOLTURA DEL MOTOR

1.1.2. TIPOS DE CÁRCASAS.

Los diferentes tipos de carcasas de los motores protegen a este de los efectos dañinos del medio ambiente en que se colocan algunos de estos tipos. También protegen al área circundante de los resultados de lo que pasa dentro de la envoltura.

Debido a que los lugares varían desde alrededores limpios y neutros hasta condiciones sumamente sucias o altamente explosivas, las especificaciones para carcasas en aplicaciones mineras son rigurosas (altamente rígidas). Las definiciones se basan en la National Electrical Manufacturers Association (N.E.M.A.).

1.1.3. CÁRCASAS PARA MOTORES A PRUEBA DE INTEMPERIE.

Se utiliza una envoltura en instalaciones al aire libre, es de tipo abierto; la ventilación reduce al mínimo o excluye por completo, la entrada de nieve, lluvia o

partículas suspendidas en el aire, a las partes eléctricas. Definiremos los siguientes tipos de carcazas:

1.1.4. CARCAZAS PARA MOTORES TOTALMENTE CERRADOS.

Este tipo de carcazas se usa en atmósferas no peligrosas cuando se desea excluir los contaminantes en ellas. Es completamente cerrado como para no permitir el paso del aire exterior y proporciona ventilación a las partes interiores del motor. En general, los motores mayores de aproximadamente 3 HP tienen ventiladores externos y nervaduras para dirigir el flujo del aire sobre la superficie de la carcaza y así ayudar a disipar el calor generado en vez de los ventiladores externos para enfriamiento montados en la flecha; los motores totalmente cerrados pueden ventilarse con aire forzado suministrado desde una fuente común y llevado directamente al motor por medio de ductos. Esto se usa cuando existe aire más limpio o más frío disponible a una distancia razonable del motor.

En los motores más grandes se usa un sistema de recirculación de aire con un cambiador de calor y que integra el factor de servicio en los motores totalmente cerrados y que es de 1.0, aspecto importante en algunos motores de inducción. El añadir aletas con el objeto de enfriado por un ventilador proporciona una superficie adicional para la disipación de calor.

1.1.5. CARCAZAS PARA MOTORES A PRUEBA DE EXPLOSIÓN.

La envoltura para servicio a prueba de explosión es aquella que esta totalmente cerrada, diseñada y construida de tal manera que una explosión del gas o vapor determinado dentro de la envoltura, no encenderá el vapor y el gas exterior que rodea dicha carcaza.

De observarse que las temperaturas de operación máxima en la superficie del motor deben ser apreciablemente menores que las temperaturas de ignición de los gases o vapores que lo rodean. La construcción es la misma que la envoltura cerrada enfriada con ventilador, pero la superficie deberá ser lo suficientemente grande como para que no se transmita ninguna flama hacia el exterior, en el caso de que ocurra alguna explosión dentro de la carcaza. Existen tipos especializados adicionales de carcazas para servir ciertas necesidades específicas.

1.1.6. CARCAZAS PARA MOTORES A PRUEBA DE GOTEO

Esta es una carcaza cuyas aberturas de ventilación están dispuestas de tal manera que evitan la entrada de cualquier gota de líquido o sólido que caiga o llegue

a la máquina dentro de un ángulo de 15 grados a la vertical. Cuando las aberturas de ventilación están cubiertas con una rejilla o tela metálica forman otra clase de envoltura llamada carcasa protegida a prueba de goteo; y si se dejan abiertas, se denominan carcasas abiertas a prueba de goteo y tienen ciertas ventajas:

- 1.- *Costo inicial mínimo*
- 2.- *Tamaño y peso mínimo*
- 3.- *Factor de servicio máximo*
- 4.- *Elevación mínima de temperatura en carcasas normales*
- 5.- *En tamaños menores de 200 HP. es esencialmente artículos disponibles dentro de las líneas de producción.*

Uno de los parámetros importantes sería el factor de servicio; es una constante que, cuando se multiplica por la potencia nominal de placa, da la potencia máxima permisible en condiciones de operación continua. Normalmente el voltaje o la frecuencia se especifican con una condición para el factor de servicio. En las carcasas a prueba de goteo, el factor de servicio es de 1.15 para los tamaños con potencias mayores de 3 HP. En las de hierro fundido ofrecen buena resistencia a la corrosión debido a su templado superficial, proporcionando buena rigidez para fines de alineación. En los tamaños grandes y pequeños, se usan carcasas de acero laminado.

1.1.7. CARCASAS PARA MOTORES A PRUEBA DE SALPIQUEO.

La carcasa a prueba de salpiqueo se define como una carcasa de tipo abierto, con sus aberturas de ventilación dispuestas de tal manera que las partículas sólidas o gotas de líquido no entren a la máquina.

Cuando lleguen en una línea recta dentro de un ángulo de 100 grados de la vertical; ni tampoco entren cuando choquen sobre una superficie y se deslicen a lo largo de ella; el factor de servicio de las máquinas con envoltura a prueba de goteo reside en la restricción adicional colocada en la entrada de la trayectoria del flujo de aire. Ni los motores con carcasa a prueba de goteo ni los que tienen a prueba de salpiqueo son apropiados para usarse en una atmósfera que contenga polvos abrasivos, polvos explosivos o inflamables o vapores.

TAMAÑO DEL MOTOR

1.1.8. TAMAÑO DE LAS MAQUINAS.

Las dimensiones esenciales para colocar físicamente un motor con respecto al acoplamiento que lo conecta a su carga mecánica han sido normalizadas por N.E.M.A. Las dimensiones tales como la altura del centro de la flecha sobre la superficie de montaje, la longitud de la extensión de la flecha, han sido

normalizados, lo que significa que los motores de diferentes marcas pueden ser intercambiados libremente.

Las otras dimensiones con excepción de las normalizadas pueden variar según el fabricante. En algunas máquinas para aplicaciones de herramientas en donde las dimensiones del comportamiento del motor de tipo abierto mas pequeño disponible para la velocidad y potencia nominales hubiera sido imposible instalar un motor totalmente cerrado enfriado por un ventilador si el medio ambiente se hubiera cambiado, aún cuando las dimensiones críticas hubieran sido correctas. La razón para esto es la longitud mayor que se necesita para el ventilador externo y las aletas; el aumento de tamaño a causa del área adicional necesaria para la transferencia del calor. La especificación de estas dimensiones críticas se lleva a cabo por el sistema de tamaño de los bastidores o marcas; los tipos de bastidores se determinan por las siguientes consideraciones:

- 1. El tipo de carcasa.*
- 2. La clase de aislamiento.*
- 3. Las pérdidas eléctricas y mecánicas.*
- 4. El par a plena carga.*

El tipo de carcasa afecta el tamaño físico de la máquina, principalmente por la transferencia de calor; en las carcasas de tipo abierto, el aire se hace entrar desde el exterior, pasa a una vez a través de todas las superficies y regresa al ambiente exterior. Esto implica que solamente la parte externa de la capa de aire se encarga de la transferencia de la energía calorífica en las máquinas de los tipos totalmente cerrados; el problema de la transferencia de calor es considerablemente mas complejo pero se puede simplificar toscamente diciendo que existe dos capas limite en serie; en el trayecto de la transferencia de calor esto añade aproximadamente entre 15 y 30 grados centígrados a la temperatura de operación de los motores y así para una clase dada de aislamiento debe proporcionarse una superficie mayor con el fin de mantener la temperatura o el punto mas caliente dentro del valor de la clase.

El tamaño de la máquina eléctrica para una potencia nominal determinada depende primordialmente de la clase de aislamiento que se use. En general mientras mas alta sea la temperatura de aislamiento permisible, menor será el tamaño del bastidor.

Mientras menos eficiente sea la máquina, mayor será la temperatura de operación. Como ejemplo, un motor de inducción de alto deslizamiento tendrá más pérdidas en el rotor, que un motor de bajo deslizamiento que trabaja a una temperatura mayor o igual a todos los otros factores.

Una consideración más, es que a medida que aumenta el tamaño, las pérdidas aumentan en proporción al volumen, mientras que el área de la superficie aumenta en relación directa al cuadrado de las dimensiones. Para motores totalmente cerrados, aproximadamente mayor que 100 H.P., es mas económico usar ya sea sistemas de ventilación forzada o combinadores de calor integrales tales como los de tipo de agua como los del tipo aire - agua. El aire interno del motor se hace circular a través de un intercambiador de calor del tipo tubular con aletas.

El par a plena carga determina el tamaño básico de la máquina. Se ha demostrado que el par es proporcional a la intensidad de campo magnético. Así mientras mayor sea el requerimiento de par, mayores deben ser los campos; lo que determina el tamaño del bastidor no es la potencia nominal. Un motor de inducción de 100H.P., 1800 RPM tiene el mismo número que uno de 50 H.P. ,a 900 RPM; el par de ambos motores es el mismo y la velocidad determina la potencia. Esto es válido solo cuando se comparan motores con rango de velocidad entre 3600 RPM y 1800 RPM; los dos primeros números es el tamaño del bastidor, son cuatro veces la altura de la flecha arriba de la base de montaje en el tamaño del 444 US, la altura de la flecha es de 21 pulgadas.

MOTOR A SELECCIONAR.

1.1.9. SELECCIÓN DEL MOTOR.

Cuando un motor eléctrico se va a usar como elemento motriz en una aplicación determinada, surge la pregunta, ¿Cuál será el mejor que deba usarse?. La aplicación puede variar desde, tal como un motor que acciona una bomba que mantiene un nivel de líquido con un tanque entre las alturas predeterminadas, un motor que mueve un pequeño mecanismo y hasta un motor en un sistema de control muy complejo; consideremos que para la selección de un motor necesitaremos:

1. *Condiciones del medio ambiente.*
2. *Tamaño de la máquina.*
3. *Carga, requerimientos de velocidad par - tiempo.*
4. *Efectos del calentamiento en el motor.*
5. *Tipos de carcazas.*
6. *Tipos de equipo auxiliar usado.*

Se hará la selección apropiada del motor más económico que cumpla con los requerimientos de la carga y vida útil que se espera del mismo. En una aplicación altamente especializada, deberá hacerse un esfuerzo considerable en el diseño y análisis del sistema de control antes de llegar a una decisión final sobre la elección del motor.

Será necesario seleccionar un motor cuyas características térmicas, de par y de velocidad que no sólo satisfagan tal comportamiento, sino también tengan la vida útil que del mismo se espera, lo cual significa que deben determinarse las temperaturas de operación del motor. Esto puede ser o no ser un problema con motores pequeños del tipo de servomecanismos con potencias de unos cuantos watts.

Pero en grandes motores (utilizados en sistemas de control de retroalimentación de ciclo abierto), la temperatura efectiva de operación es una consideración importante. Las condiciones del medio ambiente normalmente se especifican en cada aplicación y esto conduce al tipo de carcasa y a la clase de aislamiento que a veces requiere capas o impregnaciones adicionales.

1.2.0. MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

Los motores de corriente directa fueron los primeros dispositivos para la conversión de la energía electromecánica; éstos dispositivos transforman energía eléctrica (en forma de corriente directa), en energía mecánica (en la modalidad de movimiento rotatorio), o bien energía mecánica en eléctrica. En el primer caso, la máquina trabaja como motor y en el segundo caso como generador. Uno de los primeros problemas con que se enfrenta el motor de corriente directa, es el hecho de que las corrientes continuas y los campos magnéticos que inducen pueden considerarse como fenómenos estacionarios y por tanto no resultarían adecuados en un proceso de conversión de energía, para producir movimiento prolongado. En varias ramas de la industria podemos encontrar aplicaciones para motores de corriente directa.

1.2.1. CARACTERÍSTICAS.

Las principales razones para especificar un motor de corriente directa son:

- *Su facilidad para controlar la velocidad.*
- *El control del par motor.*
- *La posibilidad de obtener un posicionamiento preciso.*

La velocidad de los motores que accionan a los laminadores debe ser cuidadosamente programada y controlada. El control de velocidad debe hacerse con gran precisión como factor primordial con la velocidad en ajuste, siendo de vital importancia en muchas aplicaciones donde se supone que la carga es puramente de

inercia, y el par motor debe ser igual al par resultante. Al tener una posibilidad de obtener posicionamientos logramos tener una interpretación basada en conceptos físicos en una señal senoidal de frecuencia w se aplica en la entrada de un dispositivo y se deja transcurrir el tiempo suficiente para que se alcance el estado permanente (si el dispositivo es lineal), la salida del dispositivo será una señal senoidal con la misma frecuencia que a la entrada difiriendo en magnitud y fase.

1.2.2. DESVENTAJAS.

En contraste, el motor de corriente directa presenta varias desventajas que no pueden pasar desapercibidas:

- *Su tamaño y su costo son mayores que los de un motor de corriente alterna.*
- *Normalmente requieren de un equipo de rectificación*
- *Su construcción es mas compleja y precisan por lo tanto de mayor mantenimiento.*

1.2.3. CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.

La construcción básica real de la máquina giratoria eléctrica de C.C., consiste en una máquina de polos salientes en el estator. En éstos polos van colocados diversas bobinas de campo que pueden ser conectadas de diferentes maneras a un suministro de energía de C.C. Estos polos salientes producen el campo magnético principal para la máquina. Este campo es fijo en el espacio y así mismo no varía con el tiempo.

Una máquina de corriente directa, invariablemente requiere del conjunto conmutador - escobillas. Lo que hace necesario adoptar el siguiente arreglo produce el par-motor, la interacción entre el campo del estator y el campo del rotor.

1.2.3.1. ROTOR.

Es una estructura cilíndrica, en que se alojan bobinas distribuidas en ranuras y con conexiones que se hacen desde estas bobinas a los segmentos del conmutador y las escobillas. En el conjunto giratorio se encuentra la mencionada armadura de la máquina a la que se inducen fuerzas electromotrices cuya misión es rectificar estas fuerzas cuando la máquina trabaja como generador o alternar las corrientes cuando trabaja como motor con 90 grados eléctricos en el espacio con el campo principal. Este campo se origina en el embobinado de armadura y se conoce comúnmente como reacción de armadura; dado que su oscilación alrededor de 90 grados

eléctricos es muy pequeña, la reacción de armadura se puede considerar como fijo en posición, independiente del estado de reposo o giro del rotor.

1.2.3.2. ESTATOR.

Identificamos al estator como el sistema polar de la máquina. En el interior de la coraza se fijan las piezas polares las cuales soportan a su alrededor las bobinas de excitación y en su extremo están las zapatas o ampliaciones polares, cuyo objeto es producir una distribución amplia de flujo magnético que debe cruzar y distribuirse en el núcleo de la armadura.

1.2.4. PRINCIPIOS DE LOS MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA.

La cualidad del motor es, que todo conductor que recorre la corriente está rodeado por un campo magnético, cuya dirección se establece por la regla de la mano derecha, la intensidad del campo depende del valor de la corriente que circula por el conductor. Si el conductor se sitúa en un campo magnético, el campo restante será similar al mostrado en la figura 1.1.1.

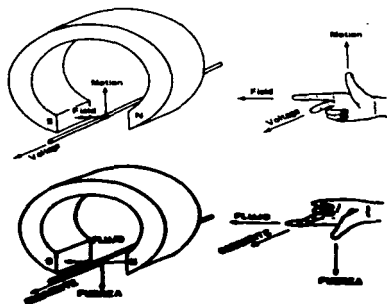


Figura 1.1.1. Reglas de la mano derecha e izquierda.

Encima del conductor, el campo debido al mismo va de izquierda a derecha, en la misma dirección que el campo principal. Debajo del conductor, las líneas de

fuerza del conductor del campo principal tiene sentidos opuestos. Como resultado, el campo o densidad de flujo se esfuerza encima del conductor y se debilita debajo.

Las líneas de fuerza de encima del conductor ejercen una fuerza hacia abajo sobre él; del mismo modo, si invertimos la corriente las líneas de fuerza debajo del conductor se esfuerzan y ejercen una fuerza hacia arriba sobre el mismo. Un conductor recorrido por una corriente situado en un campo magnético tiende a moverse en dirección perpendicular a dicho campo.

PRINCIPIOS DE LOS MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

1.2.5. ESTRUCTURA BÁSICA DEL MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA.

1.2.5.1. CIRCUITO MAGNÉTICO.

Comprende las bobinas de excitación y los núcleos y entrehierros a través de los cuales pasan las líneas magnéticas. Es el conjunto de elementos por los que atraviesan las líneas magnéticas del campo inductor, incluyendo la fuente de fuerza magnetomotriz, que dan origen a las líneas mencionadas; las características de estas líneas magnéticas es que son líneas cerradas. El circuito tiene los siguientes elementos mostrados en las figuras 1.1.2.a. y 1.1.2.b.

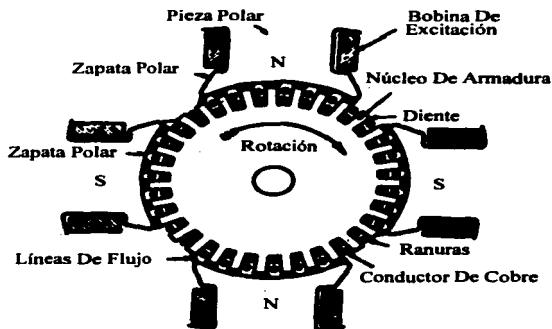


Figura 1.1.2.a. Circuito magnético de una máquina de 4 polos.

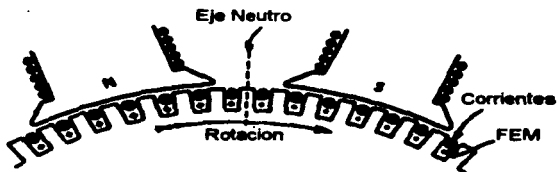
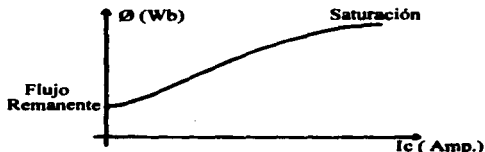


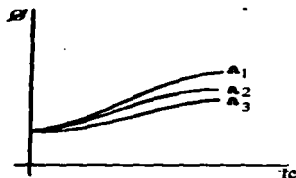
Figura 1.1.2.b. Distribución de corrientes motrices y fuerzas electromotrices en un motor de C.D.

De estas figuras observamos que es una máquina de cuatro polos en donde se van alternando un norte y un sur, el campo tiende a atravesar el entrehierro en forma radial, salvo los pequeños efectos de borde, y se concentra sobre los dientes de la armadura. Si el flujo polar aumenta, llega un momento en que se saturan los dientes, que son los elementos más angostos del circuito magnético. Aparecerán entonces líneas que atraviesan el entrehierro por la región de las ranuras, venciendo la reluctancia mayor que la inicial y reflejándose en la corriente de excitación, saturándose los siguientes elementos: piezas polares, yugo y núcleo de armadura.

Una ventaja es que el entrehierro no se satura permitiéndose al flujo disponible en el circuito para los diferentes grados de excitación. Las piezas polares se construyen de un imán permanente, lo que mantiene un flujo remanente cuando la máquina está en reposo. Al entrar en operación, la fuerza magnetomotriz originada por la corriente de excitación, refuerza al magnetismo remanente llevándolo a las regiones superiores de la curva de magnetización que lo establecen las gráficas 1.1.1.a y 1.1.1.b.

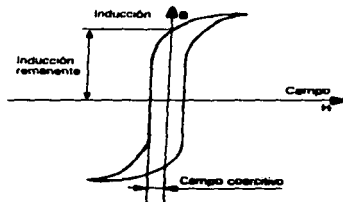


Gráfica 1.1.1.a. Relación entre el flujo y la corriente de campo de una máquina de C.D. excitada separadamente.



Gráfica 1.1.1.b. Característica de magnetización de una máquina de C.D.

Cualquier disminución de la corriente de excitación, una vez que ha alcanzado valores elevados, hará que la desmagnetización del circuito efectúe una trayectoria distinta de la ascendente, debido al fenómeno histéresis visto en la gráfica 1.1.2



Gráfica 1.1.2. Magnetización.

La curva de magnetización en sus trayectorias ascendentes y descendentes, llegando entre éstas dos a la región de saturación; ambas encierran una área de histéresis. Para fines de orden práctico, el análisis algebraico es fundamental. Se acostumbra a medir en la unidad de tiempo; se evalúa como la potencia y los factores son: el voltaje y la intensidad de corriente.

$$P = V \cdot I$$

Los de la potencia mecánica, el momento de torsión o par, y la velocidad angular.

$$P = T \cdot W$$

El voltaje de armadura y la velocidad angular tienen una relación mutua. En los motores se aplica el voltaje como señal y se obtiene una velocidad determinada; la corriente de armadura y el par también se relacionan, el nivel de carga se traduce, en un par aplicado a la flecha y la máquina responde con la corriente de armadura. La ecuación de Frolich describe la manera del comportamiento dentro del área de histéresis; la función la definiremos como:

$$O = \frac{r I_{ex}}{S + I_{ex}}$$

Donde:

O = Flujo Magnético.

r y S = Dos parámetros (constantes).

Como la gráfica lo indica (gráfica 1.1.2.):

Como se observa, no reproduce con rigor absoluto la forma de la curva de magnetización, sin embargo, su aproximación en la región del fierro saturado (que es donde trabaja la máquina) es suficientemente satisfactoria con respecto a las desventajas de no tener en cuenta el magnetismo remanente.

1.2.5.2. TIPOS DE EXCITACIÓN.

Alrededor de un 3% de la capacidad de la máquina que es la necesaria para excitar, la fuerza magnetomotriz la definiremos como sigue:

$$F_{mm} = I_{ex} \cdot n$$

Donde n es # de vueltas e I_{ex} la corriente de excitación. Esta ecuación esta dada por el producto.

a) Bobina de excitación por voltaje. Es el alambre delgado y un número grande de vueltas. Su resistencia es elevada y con auxilio de un reóstato limitador, se conecta a una tensión del mismo orden que el voltaje de armadura. Puede conectarse en paralelo con la misma armadura. Hablamos de excitación independiente y de excitación en derivación.

b) Bobina de excitación por corriente. Es de conductores muy gruesos y un número pequeño de vueltas. La tensión en sus extremos es muy pequeña y comparada con el voltaje de la máquina resulta despreciable; en cambio la corriente de excitación es del mismo orden que la corriente de armadura por lo que se conecta en serie con ella, y se le identifica como excitación en serie.

c) Excitación con doble embobinado. Existe también una forma de excitar las máquinas con un embobinado tipo derivación, devanado sobre la pieza polar y por encima de éste, otro embobinado auxiliar, tipo serie. Conectando el devanado tipo derivación en paralelo con la armadura, se tiene la excitación compuesta.

1.2.5.3. CIRCUITO ELÉCTRICO.

El circuito eléctrico es el conjunto de trayectorias que sigue la corriente motriz al pasar por las escobillas hasta el embobinado de armadura. Para un aprovechamiento óptimo de todos los elementos de la máquina los embobinados se han diseñado de tal manera que se obtenga un real avance :

- a) Las corrientes se deben repartir uniformemente portadas las ranuras que quedan frente a cada cara de las zapatas polares.*
- b) Las corrientes deben adoptar un mismo sentido en todas las ranuras comprendidas frente a un mismo polo.*
- c) En las terminales de circuito se deben aprovechar todas las fuerzas electromotrices frente a todas las zapatas polares.*

Fuerza electromotriz inducida en la armadura de una máquina de CD. Es proporcional al flujo polar y a la velocidad angular.

$$E = K\omega$$

La constante K reúne todas las características físicas del embobinado, mientras que la velocidad angular se considera en unidades del sistema internacional.

- d) El circuito eléctrico (entendido como trayectorias de corriente), debe ser estacionario, independiente del estado de reposo o movimiento de la armadura.*

1.2.5.4. CONSTRUCCIÓN DE BOBINAS.

Primeramente consiste en contar el número de ranuras y de segmentos del conmutador para determinar el paso de bobina y de cuántos elementos o secciones es el devanado; hallado el paso, hay que fijar las medidas como nos ilustra la figura 1.1.4., que ilustra cuál debe ser el tamaño de una bobina en relación con el núcleo del inducido. Observe particularmente que cada lado o costado de bobina debe sobresalir 6 mm (.25 in) por cada extremo del núcleo antes de ser doblado para pasar a la otra ranura. Así mismo, pues de otra manera las bobinas no se ajustarían

bien entre si. Por medio de una regla se fija la distancia entre un punto situado a 13 mm (.5mm), del conmutador y precisamente sobre el eje de la ranura central (con un paso de 1-7), la ranura 4 contada a partir de la 1, es la de centro y un punto situado sobre el eje de la ranura 7, a 6 mm(.25 in) del extremo del núcleo. En la figura 1.1.5., lo anterior equivale a fijar la distancia entre C y D, que es 57 mm (2.25 in). Midiendo de C a B da 186 mm(6.5 in) y de A a B da otra vez 57 mm (2.25 in) de donde resulta en total una longitud de 280 mm(11 in) para media bobina. En el devanador (figura 1.1.6.a.) en 280 mm (11 in), y si el inducido tiene 2 veces más segmentos de conmutador que ranuras (o sea, que es de dos elementos o secciones), formando las bobinas respectivas con dos conductores en paralelo, los dos pequeños arrollamientos de la bobina de dos elementos. Una vez que se hayan arrollado en el devanado, el procedimiento para conformar una bobina y llevar fuera sus puntas, ya sea que se trate de un devanado imbricado o de un ondulado como se muestra en la figura 1.1.6.b.

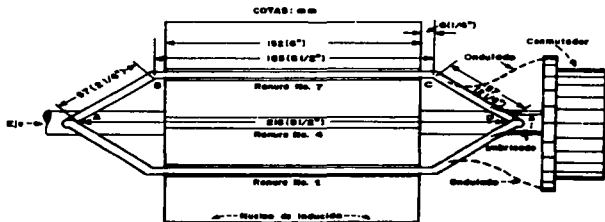


Figura 1.1.4. Bobina colocada en el inducido.

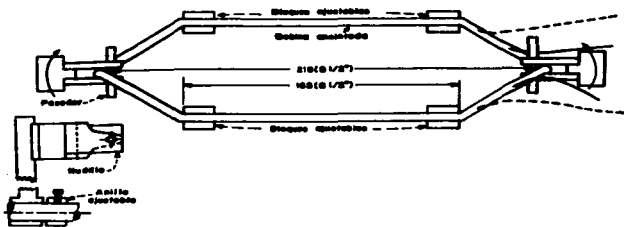


Figura 1.1.5. Conformador.

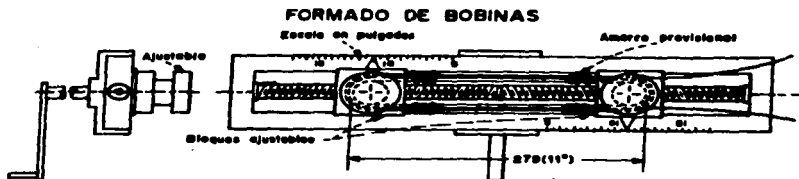


Figura 1.1.6.a. Formado de bobinas.

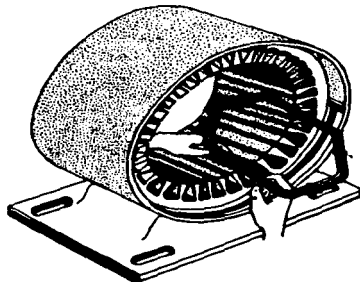


Figura 1.1.6.b. Colocación de bobinas prefabricadas en un estator con ranuras semicerradas.

Hay que tener gran cuidado en que al encintar se trasape o sobreponga la cinta exactamente a la mitad de su anchura, tirando de ella y aplicándola firmemente, en cada vuelta, contra los conductores de la bobina. El encintado debe empezarse a 25 mm (1 in) del extremo por donde debe sacarse las puntas. El siguiente paso es conformar la bobina. Las ranuras del formador o plantilla, donde se alojara el arrollamiento para dar forma a la bobina, deben fijarse a 188 mm (6.5 in) sobre la escala (la ranura del brazo de tiro debe ser también del mismo ancho y altura). Para obtener la longitud de la bobina de un punto al otro, midase desde el centro de la

misma a lo largo de la ranura número 4, comenzando a 20 mm (.75 in) del conmutador y dejando que la regla se extienda al otro extremo hasta un punto a lo misma distancia en el lado contrario. Viendo la figura 1.1.6.A., la anterior medida será la de D a A, o sea 215 mm (8.5 in). Los anillos ajustables montados sobre el eje del formador se separan deslizándolos de modo que los agujeros de las articulaciones guarden la misma distancia (215 mm).

No hay que aplicar demasiada fuerza al tirar de la bobina, sólo la necesaria para que quede en posición, ya que hay peligro de romper el aislamiento. Después de estirar la bobina, las articulaciones o uniones de bisagra deben girarse en el sentido indicado, teniendo cuidado de que los agujeros que atraviesan los pasadores; para sostener en su lugar la bobina, estén exactamente en el centro de ésta. Siempre es buena práctica hacer primero una sola bobina, arrollarla, conformarla y probarla sobre el inducido, ver si es del tamaño correcto. Si hay que modificar sus dimensiones, sólo se echará a perder una bobina .

HERRAMIENTAS Y EQUIPOS PARA EL ARMADO DEL MOTOR DE C.C.

1.2.5.5. HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA DEVANAR INDUCIDOS DE C.C.

Para probar y redevanar (o bobinar de nuevo), inducidos o estatores de C.C. contando eficiencia, se necesitan herramientas y equipos de prueba especiales. La lista indica los que debe tener a su disposición un devanador para que pueda realizar correctamente el trabajo.

1.2.5.6. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS.

- *Martillo de mecánico de 450 gramos.*
- *Martillo de mecánico de 335 gramos.*
- *Destornillador de 15 cm (6 in).*
- *Mazo de cuero crudo número (1).*
- *Mazo de cuero crudo número (2).*
- *Probador de inducidos (growler) para exterior.*

- *Probador de inducidos (growler) para interior.*
- *Tijeras para hojalata.*
- *Cuchillo o navaja.*
- *Lima plana.*
- *Cinzel o cortafrio.*
- *Raspador de plomo.*
- *Cucharón para inducidos.*
- *Pinzas paralelas de 15 cm (6 in).*
- *Juego de cautines o hierros para soldar.*
- *Tijeras comunes.*
- *Juego de metecuñas.*
- *Extractor y conformador de bobinas.*
- *Pinzas de pico largo.*
- *Pinzas diagonales.*
- *Juego de herramientas para retacar bobinas.*
- *Pinzas de corte lateral de 20 cm (8 in).*
- *Medidor universal para pruebas eléctricas.*

El aislamiento apropiado de un estator o inducido consiste en aislar perfectamente sus ranuras y bobinas sirviendo el de los primeros para el doble fin de aislarlas eléctricamente y al mismo tiempo protegerlas mecánicamente. Los diversos aislantes pueden dividirse en grupos que indican su propósito particular. Los

aislantes puramente eléctricos son : cinta de algodón, tela aceitada de muselina barnizada, seda barnizada y cambray impregnado ("empire cloth"). Los materiales que proporcionan la mayor protección mecánica son el cartón comprimido o de Fuller, "prespahn", fibra dura, fibra vulcanizada y papel pescado. Los materiales para altas temperaturas son la mica, el "micanite", el papel de mica, la cinta de vidrio y la tela de mica. Encontramos todo tipo de aislante.

1.2.5.7. AISLANTES PARA RANURAS.

Cambray barnizado negro	0.300 mm	0.012 in
Cambray barnizado amarillo	0.180 mm 0.380 mm	0.007 in 0.015 in
Seda barnizada amarilla	0.086 mm	0.003 in
Papel de pescado	0.100 mm 0.580 mm	0.004 in 0.023 in
Duro	0.180 mm 0.380 mm	0.007 in 0.015 in
Cartón Comprimido ("Fullerboard")	0.180 mm 0.380 mm	0.007 in 0.015 in
Papel de asbesto aceitado	0.150 mm 0.380 mm	0.006 in 0.015 in
Papel de asbesto barnizado	0.150 mm 0.380 mm	0.006 in 0.015 in
Papel de mica	0.130 mm	0.005 in o más.
Micanite	0.130 mm	0.005 in o más.

1.2.5.8. CINTAS AISLANTES.

Adhesiva de tela ("Friction Tape") y de caucho - Para recubrir empalmes.

De algodón, lino, seda, vidrio, etc. - Para recubrir bobinas

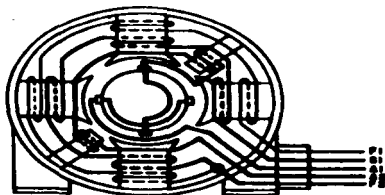
De muselina acertada, cambray y barnizado, etc.- Para recubrir bobinas.

De "duro", mica, tela barnizada negra, etc.- Para recubrir bobinas

1.2.5.9. CUÑAS O TIRAS PARA RANURAS Y COMPUESTOS AISLANTES.

De fibra (generalmente de cuero crudo)

De madera (generalmente de arce)



A = Inducido ("armature")
 F = Inductor (div.) ("field")
 S = Inductor (serie) ("series")

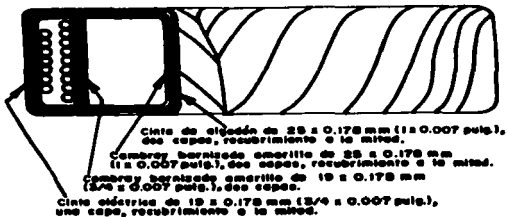


Figura 1.1.6.c. Bobina de polo principal.

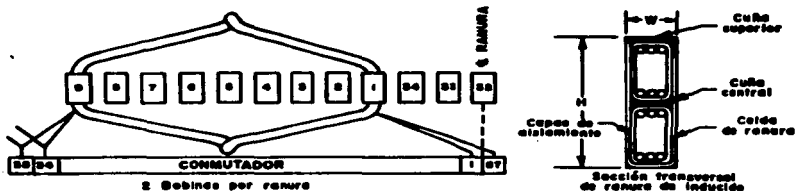


Figura 1.1.6.d. Ranuras.

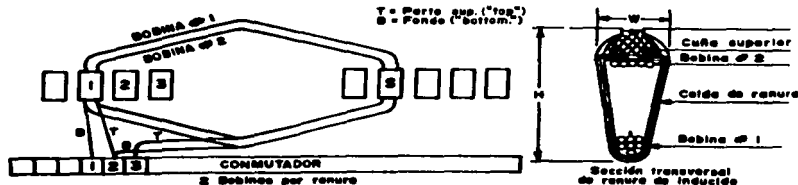
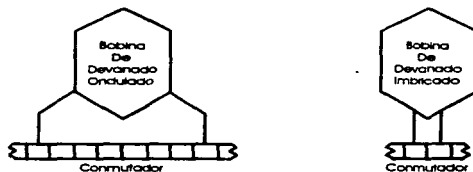


Figura 1.1.6.e. Bobinas

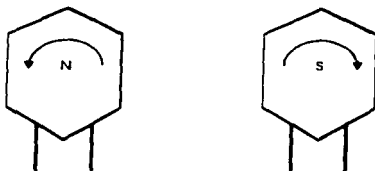
Laca de secado al aire
Barnices claro y negro
No es necesario secar en horno
Se requiere horno de secado.

1.2.6. TIPOS Y CONEXIONES DE DEVANADOS PARA INDUCIDOS DE C.C.

Un devanado de inducido para C.C. es un conjunto de bobinas conectadas a los segmentos o delgas del conmutador de la máquina. Debe haber por lo menos un conductor terminal ("load") inicial y uno final conectados a cada segmento; hay dos tipos de devanados: imbricado y ondulado. Los conductores terminales o puntas de una bobina de devanado imbricado se conectan a delgas distintas (figura 1.1.7. y 1.1.8.) cuando circula corriente por una bobina en el sentido del reloj se produce un polo sur en la superficie de inducción (figura 1.1.9.) si circula en sentido contrario se producirá un polo norte (figura 1.2.0.). Un gran número de bobinas se emplean para dar lugar a una fuerte intensidad magnética y a un efecto de torsión más uniforme.



Figuras 1.1.7. y 1.1.8. Conexión a delgas distintas.



Figuras 1.1.9. y 1.2.0. Sentido correspondiente.

1.2.6.1. CONEXIONES DE DEVANADOS.

Aunque hay únicamente dos tipos de devanados para inducidos de C.C., pueden utilizarse varias formas de conexión para devanados imbricados u ondulados. Conexiones simétricas y asimétricas. Si las puntas de una bobina se conectan a delgas alineadas con el eje de simetría (figura 1.2.1.). Si se conectan a segmentos no alineados con dicho eje, la conexión se llama asimétrica.

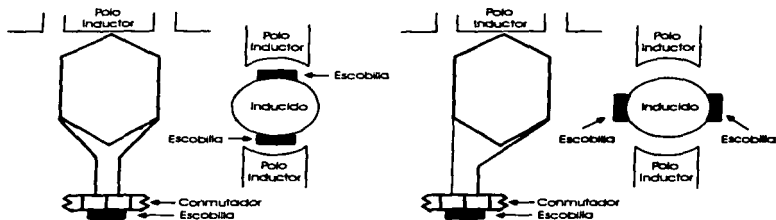


Figura 1.2.1. Conexión simétrica y asimétrica.

Las escobillas deben poner siempre en cortocircuito la bobina cuando queda colocada en el plano neutro lo que significa que las escobillas tienen que estar alineados con el eje de simetría de polos inductores cuando la conexión es simétrica y transversalmente a tal eje en el caso de la conexión asimétrica.

1.2.6.2. CONEXIONES PROGRESIVA Y RETROGRESIVA.

Si las puntas inicial y final de una bobina, o de un elemento de bobina, no se cruzan al conectarse a las de gas, la conexión se llama progresiva. Si existe tal cruzamiento de las puntas, la conexión se denomina retrogresiva, como lo observamos en la figura 1.2.2.

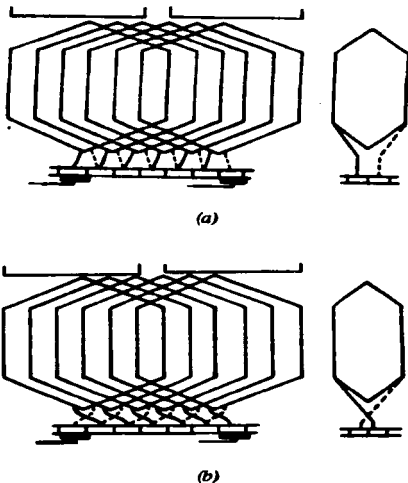


Figura 1.2.2. a) Progresiva, b) Retrogresiva.

1.2.6.3. EMOBINADO IMBRICADO.

Entre las delgas 8 y 9 del conmutador se ha reforzado el trazo de una de las bobinas, para permitimos apreciar la forma que tiene la figura 1.2.3 A.

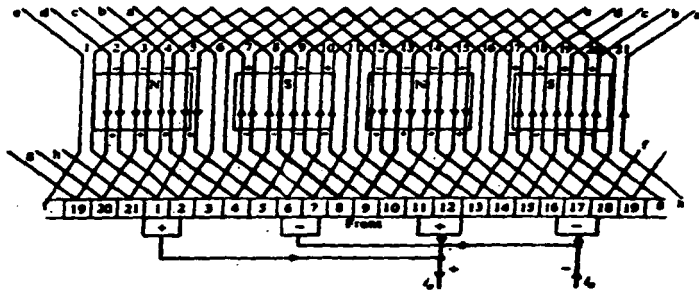


Figura 1.2.3.a. Desarrollo del embobinado imbricado.

Para acomodar este embobinado en las ranuras del núcleo es necesario introducir dos costados de la bobina por ranuras y el otro la superficie de otra ranura de manera que las bobinas al ir estructurándose el embobinado, se acomoden en forma traslapada. Si imaginamos las piezas polares por debajo del plano del dibujo, el flujo magnético sale del papel frente a los polos norte y penetra a los polos sur suponiendo que tanto el embobinado se mueve hacia la derecha, frente a las caras polares se inducen las Fems recorriendo el circuito y sumando la Fem. Quedando en serie, encontramos en el conmutador dos de máximo potencial (delga 1-2 y 11-12) y otras dos de mínimo potencial. (delgas 6 - 7 y 16 - 17 , 18). Colocando en estos puntos las escobillas, se pueden conectar entre sí las dos positivas obteniendo un positivo común y similamente los dos negativos. Las interconexiones externas; cuatro trayectorias de corrido se ven cuatro circuitos en paralelo, afirmandose para una máquina de "n" polos se formarán "n" circuitos en paralelo, para una máquina de bajo voltaje y alta capacidad de corriente.

1.2.6.4. EMOBINADO ONDULADO.

Es una manera de conectar las bobinas a las delgas del colector, entre dos de forma adyacente; hay dos bobinas en serie, cada una de las cuales tiene un lado frente a un polo. El voltaje final es la suma de voltajes inducidos frente a cada polo y no habrá desequilibrios de tensión como se ve en la figura 1.2.3. B.

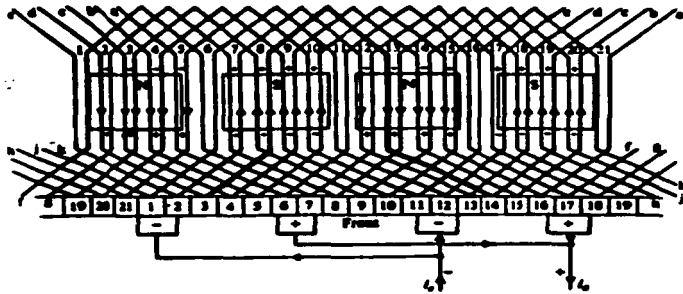


Figura 1.2.3.b. Desarrollo del embobinado ondulado.

El final de la segunda bobina se puede conectar a la delga siguiente o a la anterior; de aquí donde comenzó la primera bobina. Si la conexión se hace a la delga siguiente, el devanado es progresivo; si se hace a la delga anterior, es regresivo; es este tipo de devanado donde hay solamente dos ramas en paralelo.

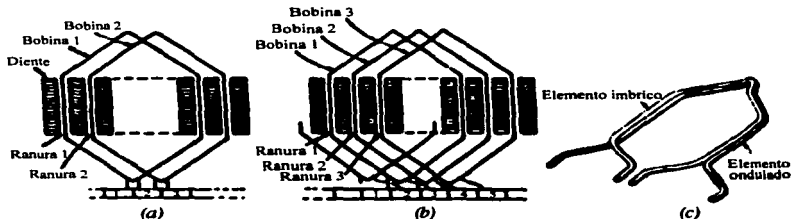
La figura 1.2.3.B, muestra un esquema desarrollado de un embobinado ondulado. Entre las delgas 3 y 14 se ha reforzado el trozo de una bobina, lo que permite apreciar su forma y diferenciarla de la bobina imbricada. Siguiendo la trayectoria de varias bobinas consecutivas, se forma una figura similar a una onda, de donde viene el nombre de embobinado ondulado, donde existen 2 regiones en el conmutador de máximo potencial, y otras 2 de mínimo potencial, en donde se colocan las escobillas.

Las corrientes tienen diferente comportamiento; las delgas 1 y 12 que están interconectadas exteriormente por el puente de las escobillas, punteadas en el interior del embobinado por una bobina en la que no se inducen fuerzas electromotrices; éstas y las dos escobillas están en un mismo nodo. Algo similar ocurre con las delgas 6, 7 y las dos escobillas positivas. En el embobinado ondulado se forman solamente dos trayectorias de corriente y solamente dos circuitos en paralelo. En cambio, todas las fuerzas electromotrices en cada circuito quedan en serie. Este tipo de máquina es de alto voltaje y baja capacidad.

1.2.6.6. EMBOBINADOS COMPUESTOS.

Con los embobinados simples que acabamos de describir, se pueden efectuar diversas combinaciones para obtener embobinados compuestos. Si un embobinado simple se conecta a las delgas impares del conmutador, las pares han quedado vacías. En lugares vacíos se puede acomodar otro embobinado idéntico, con escobillas que como mínimo tengan el ancho de dos delgas, con lo cual los 2 embobinados han quedado en paralelo, duplicándose el número de circuitos paralelos.

Igualmente se puede hacer con tres o cuatro embobinados. Simplex, duplex, triplex, cuatruplex. La combinación de bobinados imbricados, con embobinados ondulados da una forma curiosa en las terminales de bobina que se conoce como "anca de rana". A continuación se ilustran las figuras 1.2.4, 1.2.5 y 1.2.6.



Figuras 1.2.4., 1.2.5. y 1.2.6. a) Imbricado simplex, b) Imbricado duplex y c) Anca de rana.

Procederemos al análisis matemático del área de la cara polar que se calcula en función del radio del entrehierro R_1 , la longitud de las ranuras L y el número de polos p :

$$A_p = \frac{R_1 L}{p}$$

La velocidad tangencial de armadura en función de la velocidad angular y el radio en el entrehierro.

$$V = \omega R$$

Sustituyendo en la fórmula de fuerza electromotriz queda:

$$e = \frac{QLWR}{2RL} \\ P$$

Que no es más que la fuerza electromotriz inducida en un solo conductor en cualquiera de la ranura. Si en todas las ranuras hay un total de "2" conductores y el embobinado tiene "A" circuitos en paralelo, la fuerza electromotriz total entre escobillas será:

$$E = \frac{PQ2W}{2A}$$

Donde:

E = Fem en volts.

P = Número de polos.

Q = Flujo por polo en WB/M.

Z = Número total de conductores en las ranuras.

W = Velocidad angular en Rad/Seg.

A = Número de circuitos paralelo.

Para una máquina construida, la velocidad y el flujo son cantidades variables de acuerdo a las condiciones de operación.

1.2.7. CURVA DE SATURACIÓN EN VACÍO.

Si se tiene una máquina en la que se desea verificar el valor de la fuerza electromotriz que se induce en su armadura, y hay necesidad de efectuarle una prueba, haciéndola trabajar como generador; haciendo girar la máquina a una cierta velocidad (de preferencia la nominal), y estableciendo una corriente de excitación, se debe inducir la fuerza electromotriz en su armadura. Para determinar la velocidad en su armadura, la velocidad de giro, se puede apoyar un tacómetro en la flecha. La fuerza electromotriz se puede medir en las terminales de la máquina, por medio de un voltímetro, pero para que este voltaje en el exterior de la máquina sea igual a la fuerza electromotriz, es necesario eliminar las pérdidas resistivas, lo que se logra simplemente evitando la circulación de corriente, efectuando la prueba en vacío.

Sin embargo queda una cantidad que no se puede medir en estas circunstancias de prueba, que es el flujo polar. Una variable estrechamente relacionada con el flujo polar es la corriente de excitación, la cual sí se puede medir en el exterior de la máquina por medio de un amperímetro. Si cambiamos el flujo de la fórmula de fuerza electromotriz inducida, por la corriente de excitación obtendríamos:

$$E = K \cdot I_{ex}$$

El flujo no es linealmente proporcional a la corriente de excitación, de manera que mientras en las fórmulas anteriores K' es una constante, K en cambio debe ser una función de la corriente de excitación:

$$K' = \text{Constante}$$
$$K = F\{I_{ex}\}$$

El resultado es que la gráfica de fuerza electromotriz E respecto de la corriente de excitación I_{ex} no es una recta, sino una curva en la que se manifiesta la saturación del núcleo, y por esta razón se llama curva de saturación en vacío.

Figura 1.2.7 Circuito de prueba y resultado de la curva de saturación en vacío.

Se puede apreciar que existe un pequeño voltaje debido al magnetismo remanente, y si la prueba se efectúa con corriente de excitación ascendente hasta un cierto valor máximo, y luego se prolonga con corriente descendente, queda manifestado en el fenómeno llamado histéresis.

Debido a la histéresis del núcleo no se puede establecer una ecuación precisa que nos da invariablemente un valor de voltaje A inducido para cada corriente de excitación. Resulta sumamente práctico establecer una ecuación aproximada, similar a la establecida para la curva de magnetización.

1.2.8. LAS CORRIENTES DE ARMADURA.

La circulación de corrientes en el embobinado de armadura origina dos efectos, de los cuales uno es benéfico y otro perjudicial y que son :

A) PAR ELECTROMAGNÉTICO. La presencia de corrientes en medio de un campo inductor, un par mecánico de origen electromagnético, y que es la clave del fenómeno conversión de energía.

B) REACCIÓN DE ARMADURA. Si los arrollamientos que producen el campo magnético en la máquina se conectan a una fuente de alimentación y el rotor se hace girar por medio de una fuente de potencia mecánica exterior, entonces se

presentarán voltajes inducidos en los conductores del rotor. Estos voltajes se rectifican por la acción del colector para obtener una salida de C.C.; si se conecta una carga a las terminales de la máquina circulará corriente por el devanado de la armadura. Ésta produce su propio campo magnético, que distorsiona el campo original de los polos de la máquina y esta distorsión del flujo en la máquina a medida que se incrementa la carga se llama **reacción de armadura o de inducido** que produce dos serios problemas reales. El primero causado por la reacción, provocado por el corrimiento del plano neutro que lo contiene dentro de la máquina, donde la velocidad de los conductores del rotor es exactamente paralela a la dirección de las líneas de flujo magnético. En el motor se desplazan en sentido antihorario. Las escobillas se mantienen en el plano vertical y pondrán en cortocircuito a las delgas, cuando la máquina esté sin carga. En casos extremos, el corrimiento del plano neutro puede ocasionar descargas entre las escobillas y las delgas cercanas. Normalmente en las proximidades de las escobillas el aire se ioniza como resultado de las chispas.

El segundo problema es por el debilitamiento del flujo; si el flujo disminuye la velocidad aumenta y al aumentar la velocidad el motor, aumenta su carga. En algunos motores se podría llegar a producir un embalamiento; si la velocidad sigue creciendo hará que la máquina se desconecte de su fuente de potencia; si no lo hace automáticamente o manualmente, la máquina se destruye.

Las corrientes que recorren el embobinado de armadura producen en su eje magnético un campo que se conoce como reacción de armadura. Si la posición es transversal con relación al campo inductor y se produce una distorsión de este último, el par electromagnético se considera un conductor en forma individual alojado en cualquier ranura frente a una zapata polar, y por tanto, inmerso en el campo inductor. Si por el conductor circula una corriente I y es afectada por una fuerza cuyo valor es:

$$F = ILB$$

Siendo I la corriente que circula, L la longitud del conductor y B el flujo magnético.

Si I_a es la corriente de armadura en el exterior de la máquina y el embobinado tiene A circuitos paralelos:

$$I = \frac{I_a}{A}$$

Donde:

A es el número de circuitos paralelos y la densidad de campo:

$$B = \frac{Q}{A_p}$$

A_p = Área de la cara polar.

En donde,

$$A_p = \frac{2RL}{p}$$

Sustituyendo en la fórmula para el par queda:

$$t = \frac{I_a LQR}{\frac{A2RL}{p}}$$

o sea:

$$t = \frac{pQI_a}{2A}$$

Que es el par producido por un solo conductor; si en todas las ranuras hay un total de 2 conductores, el par resultante será:

$$T_s = \frac{pQ2I_a}{2A}$$

y la fuerza electromotriz:

$$E = \frac{PQ2W}{2A}$$

y de esta forma obtenemos:

$$\frac{PQ2}{2A} = \frac{E}{W}$$

Por lo que el par electromagnético queda:

$$T_s = \frac{EI_a}{W}$$

Finalmente, quitando el denominador obtenemos:

$$T_s W = EI_a$$

En esta ecuación observamos en el primer miembro dos variables mecánicas, que son el par y la velocidad angular, y en el segundo miembro, dos variables eléctricas, que son la fuerza electromotriz y la corriente de armadura. En la ecuación se observa la ventaja de respetar el Sistema Internacional de Unidades, puesto que si expresamos el par en Newtons-metro, y la velocidad en radianes/segundo, la potencia mecánica resulta en watts, y en el lado eléctrico, si se da la fuerza

electromotriz en volts y la corriente de armadura en amperes, la potencia eléctrica también resulta en watts; la ecuación no requiere ninguna constante para conversión de unidades. La reacción de armadura se combina con el campo inductor distorsionándose y dando un campo resultante como el que se muestra en la figura 1.2.7.

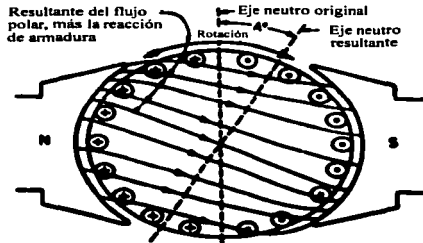


Figura 1.2.7. Campo resultante.

En esta figura observamos que la circulación de corriente alrededor del núcleo de armadura, independientemente de las trayectorias reales, producen un efecto como el de la bobina, (que se muestra en la siguiente figura 1.2.8.) se dirige hacia abajo mientras el campo inductor es hacia la derecha, desplazando el eje neutro. Produciéndose un desequilibrio en la operación de la máquina, mientras las corrientes dependen de la posición de las escobillas, las fuerzas electromotrices se inducen según el flujo resultante, sufriendo el mismo desplazamiento que el eje neutro.

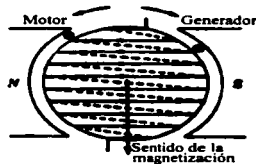


Figura 1.2.8. Producción de la reacción de armadura.

1.2.9. FLUJO RESULTANTE.

Al no coincidir en posición la fuerzas electromotrices, disminuye la efectividad del fenómeno de conversión, la eficiencia de la máquina y se produce un chisporroteo en las escobillas.

Para evitar esto, es necesario compensar la distorsión producida por la reacción; para ello existen varios métodos:

- a) *Desplazamiento de las. escobillas.*
- b) *Polos de conmutación.*
- c) *Interpolos.*
- d) *Devanados de compensación.*

Desplazamiento de las escobillas. Consiste en girar el porta-escobillas un cierto ángulo, parecido al de desplazamiento del eje neutro. Tiene la desventaja de que la magnitud de desplazamiento depende de la corriente de armadura y por tanto la nueva posición de las escobillas solamente sería efectiva para un régimen de carga fija y un solo sentido de rotación.

Polos de conmutación. Consiste en modificar el entrehierro, o la extensión de las zapatas polares, para reforzar el flujo en las regiones en donde tiende a debilitarse. Este método presenta los mismos inconvenientes que el de desplazamiento de las escobillas

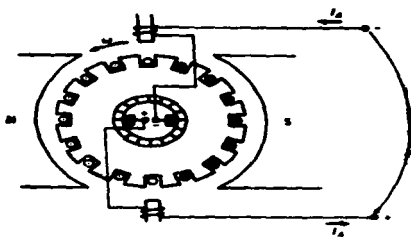


Figura 1.2.9. Una máquina de c.c. con polos de conmutación.

Interpolos. Consiste en la adición de pequeñas piezas polares en el espacio entre los polos principales. Su embobinado se diseña para que con la misma corriente de armadura se produzca una fuerza magnetomotriz igual a la de reacción y se conecta en serie con la armadura, de tal manera que las fuerzas magnetomotrices se anulen como lo vemos en la figura 1.3.0.

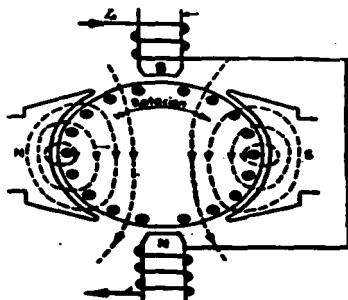


Figura 1.3.0. Interpolos.

Devanados de compensación. Consiste en ranurar las zapatas polares y acomodar en ellos un devanado cuyo efecto es equivalente al de los interpolos, con las mismas ventajas, y al igual que los interpolos véase la figura 1.3.1.

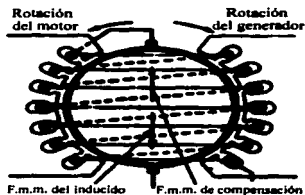


Figura 1.3.1. Devanados de compensación.

1.3.0. TIPOS DE MOTORES.

Para estudiar las características de operación, es conveniente hacer una separación; entre los cuatro tipos fundamentales de motores de corriente directa se clasifican:

- *Motores con excitación en serie*
- *Motores con excitación en derivación "Shunt".*
- *Motores con excitación compuesta "Compound".*
- *Motores con imán permanente.*

1.3.1. MOTORES CON EXCITACIÓN EN SERIE.

Este es el tipo más sencillo. La bobina que produce el flujo se encuentra conectada en serie con la armadura. El devanado del inductor es de pocas espiras de conductor grueso (alambre o tiro de cobre). El flujo es a su vez una función de la corriente del inducido; a mayor corriente de armadura se obtendrá un mayor flujo resultando una característica de velocidad de elevada regulación; la velocidad se reducirá a medida que el par aumenta. Los pares de arranque y crítico o de agarrotamiento son muy convenientes. Puede arrancar y soportar sobrecargas muy fuertes. El par de un motor serie varía con el cuadrado de la intensidad del inducido; el comportamiento básico de un motor de C.C. serie es debido al hecho de que el flujo es directamente proporcional a la corriente de armadura. Si se duplica la intensidad de corriente en el inducido se duplicará también la intensidad magnética y se producirá una reacción cuatro veces mayor entre los polos de inducido y de inductor. Es decir, el par será cuatro veces mayor. La regulación de velocidad es muy pobre. La velocidad varía inversamente a la carga. Debe cuidarse de que el motor tenga siempre suficiente carga para que la velocidad no rebase los límites de seguridad. Si la carga se redujese a cero, el motor probablemente se aceleraría hasta destruirse.

Un motor serie es de aplicación limitada debido a su pobre regulación de velocidad. Es especialmente adecuado para grúas montacargas, maquinaria de minas, locomotoras eléctricas, etc.; tales cargas pueden manejarse más efectivamente con motores serie porque la velocidad tiene que ser baja si la carga es pesada y una carga ligera será acelerada hasta una alta velocidad; la velocidad de un motor serie puede controlarse por encima del valor normal conectando un resistor ajustable en paralelo con el devanado serie del inductor. Tal resistor se llama "shunt" del devanado serie (series field shunt). La velocidad variará inversamente con la intensidad magnética; controlando la velocidad sobre el valor normal se reduce el par

posible, pero no se altera la potencia de salida. Tienen un acoplamiento permanente y no existe el riesgo de que el motor se quede sin carga y se exceda su velocidad crítica. El inductor tiene un flujo magnético del inducido y del inductor. El inductor tiene un flujo de intensidad constante y tiene un arranque hasta con una sobrecarga del 50% ; se emplea para controlar la velocidad arriba y abajo de su valor normal; en serie produce generalmente la misma polaridad que el inductor.

El par producido en esta máquina está dado por:

$$T_{ind} = KQI_a$$

El flujo de la máquina es directamente proporcional a su corriente de armadura.

$$Q = cI_a$$

donde c es una constante de proporcionalidad.

Obteniéndose de:

$$T_{ind} = KQI_a$$

lo siguiente:

$$T_{ind} = KcI_a$$

1.3.1.1. CARACTERÍSTICAS TERMINALES DE UN MOTOR DE C.C. SERIE.

Este análisis se basará en la suposición de una curva de magnetización lineal y luego el efecto de la saturación se considerará en un análisis gráfico (figura 1.3.2.). La deducción de las características par-velocidad de un motor serie arranca de la ley de voltajes de kirchhoff:

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s)$$

La corriente de armadura se puede expresar de las dos maneras siguientes:

$$I_a = \frac{T_{ind}}{Kc}$$

$$I_a = KQW$$

Sustituyendo:

$$V_t = KQW + \frac{T_{ind}}{Kc} (R_a + R_s)$$

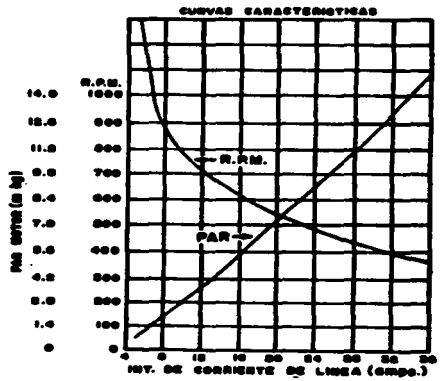
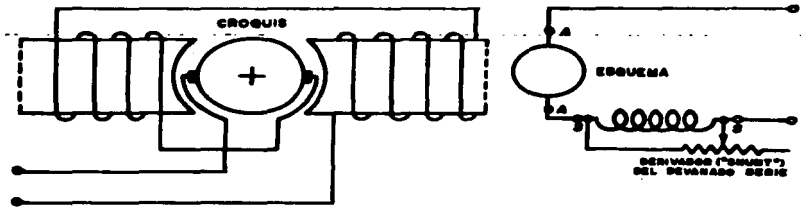


Figura 1.3.2. Motor Serie

Si se elimina el flujo de esta expresión, se relacionará directamente el par del motor con su velocidad, para eliminar el flujo de la expresión:

$$T_e = \frac{K}{c}$$

Y la ecuación del par producido queda:

$$T_{ind} = \frac{K}{Qc}$$

Por la cual, el flujo en el motor puede reescribirse como:

$$Q = \frac{c}{K} T_{ind}$$

Sustituyendo nos queda:

$$V_t = K \frac{c}{K} T_{ind} W + \frac{T_{ind}}{Kc} (R_a + R_s)$$

Por lo tanto:

$$Kc T_{ind} W = V_t - T_{ind} \frac{R_a + R_s}{Kc}$$

La relación obtenida par-velocidad es:

$$W = \frac{V_t}{Kc} - \frac{R_a + R_s}{Kc T_{ind}}$$

Observamos que la velocidad del motor varía como el recíproco de la raíz cuadrada del par.

De esta ecuación puede verse inmediatamente una desventaja del motor serie: cuando el par en este motor va a cero, su velocidad va a infinito. En la práctica, el par no puede ser totalmente cero a causa de las pérdidas mecánicas del núcleo y adicionales que debe vencer. Sin embargo, si no se conecta otra carga al motor puede girar lo suficientemente rápido para dañarse a sí mismo. Un motor serie no debe ser conectado a una carga por una correa u otro mecanismo que se pueda romper. Si esto pudiera ocurrir y el motor llegar a estar sin carga mientras gira, el resultado podría ser serio.

A continuación se presenta el circuito equivalente:

$$I_a = I_s = I_L$$

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s)$$

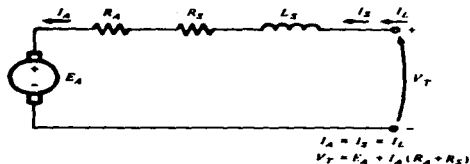


Figura 1.3.3. Circuito equivalente de un motor serie de c.c.

1.3.1.2. PRINCIPIO DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA EL MOTOR DE C.C.

Principio de funcionamiento: Son motores de velocidad ajustable, que el advenimiento de los convertidores tiristorizados (rectificadores de tensión controlada). Por ejemplo la velocidad de un motor de C.C., con excitación independiente puede ser obtenida por la variación de tensión del inducido o por la variación del flujo en el entrehierro (excitación).

Podemos determinar que la velocidad es directamente proporcional a la tensión del inducido hasta la velocidad nominal para un flujo en el entrehierro constante:

$$n = K_1 \left(U_a - \frac{RI_a}{Q} \right) = K_1 \frac{U_a}{Q}$$

Donde R es la resistencia del inducido ($R I_a$ puede ser admitida pequeña).

También para el flujo en el entrehierro, el par electromagnético es directamente proporcional a la corriente del inducido:

$$C = K2 I_a Q$$

La velocidad del motor es inversamente proporcional al flujo del entrehierro (tensión del inducido constante). El flujo, en principio es proporcional a la corriente de campo. De esta manera, velocidades superiores a la nominal se pueden obtener a través de la disminución del flujo, manteniéndose constante la tensión en el inducido y normalmente la corriente nominal en tales condiciones, con la disminución del flujo, el par electromagnético, etc., ya que la potencia electromagnética permanece constante.

1.3.1.3. CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR SERIE DE C.C.

Una forma eficiente para cambiar la velocidad de un motor serie de C.C. es cambiando el voltaje terminal del motor. Si el voltaje terminal se incrementa, la relación par-velocidad incrementa, resultando una velocidad más alta para cualquier par dado. La velocidad de un motor serie de C.C., también puede controlarse mediante la inserción de una resistencia en serie con el circuito del motor, pero ésta técnica no es muy económica en potencia y solamente se usa para períodos intermitentes durante el arranque que algunos motores. Una forma conveniente de cambiar el voltaje terminal VT., es el control basado por circuitos con SCR'S., antiguamente era el método de la resistencia en serie.

1.3.2. MOTORES CON EXCITACIÓN EN DERIVACIÓN.

Este motor tiene normalmente el campo conectado en paralelo con la armadura. Cuando la máquina se opera como un motor y se aplica un voltaje V_A ., la corriente de campo y el voltaje de la armadura quedan determinados, y así la velocidad en vacío es fija. Esta velocidad puede cambiarse variando R_f ., puesto que esto varía la corriente de campo y por lo tanto, el flujo magnético. La velocidad no cambia de manera significativa alterando V_A ., puesto que cualquier cambio en V_A ., origina cambios tanto en el circuito del inducido, como en el circuito de la armadura que tienen efectos opuestos sobre la velocidad al aumentar la corriente de armadura, que es la que aumenta el par, tendiendo a aumentar la velocidad. Regula la velocidad a estado permanente cuando existe un pequeño voltaje provocado por un magnetismo. Con los polos conmutadores y embobinado compensador, el flujo no es prácticamente afectado por la corriente y es por lo tanto constante. La corriente de la armadura y el par son proporcionales entre sí. Si el motor está girando a cierta velocidad, disminuye hasta que la corriente de la armadura aumenta por la carga; aumenta y la velocidad disminuye hasta que la corriente de la armadura aumenta el valor requerido por el par incrementado. En muchas aplicaciones el campo se conecta de hecho a una fuente separada de potencial constante. Los motores en derivación se usan en aplicaciones que requieren una velocidad casi constante, pero no requieren un alto par de arranque, por ejemplo: en bombas centrífugas, ventiladores, máquinas herramientas.

Si consideramos la ecuación básica:

$$V_a = I_a R_a + E_b$$

En la cual V_a ., es el voltaje aplicado a la armadura, I_a es la corriente de armadura, R_a es la resistencia de la armadura y E_b es la fuerza electromotriz generada. Si se incrementa I_a ., R_a aumentará en la misma proporción y como V_a es constante, la velocidad deberá disminuir para que la corriente que circula por la armadura y que aumenta en proporción del par demandado por la carga, produce un

flujo magnético propio que se opone al de los polos principales. Esta disminución del flujo neto tiende a incrementar la velocidad, de tal modo que si su efecto sobrepasa al producido por la caída de potencial $I_a R_a$, el motor tendría una característica de velocidad ascendente que sería inestable y podría conducir a que el motor se desboque. Por esta razón los motores con excitación en derivación se usan en sistemas de voltaje constante, donde se requiere una velocidad prácticamente invariable y el motor puede mantenerse dentro de la región de operación estable. ¿Cómo hace un motor en derivación (paralelo) para responder a la carga?; se incrementa la carga en el eje motor en derivación; Cuando el par de carga T_{carga} exceda el par producido T_{ind} en la máquina, el motor comenzará a ir mas despacio.

Cuando va más lento, el voltaje generado está expresado por:

$$E_a = KQW$$

Así, la corriente de armadura en el motor está dada por:

$$I_a = \frac{V_a - E_a}{R_a}$$

El par T incrementado y el par producido en el motor:

$$T_{ind} = KQI_a$$

Finalmente el par producido será igual al par de la carga a una menor velocidad mecánica de rotación W .

$$T_{carga} = T_{ind} = W$$

La característica de salida de un motor de C.C., en derivación se puede obtener de las ecuaciones del voltaje y par inducidos en el motor, mediante la ley de voltajes de Kirchhoff, la ecuación ya mencionada:

$$V_a = I_a R_a + E_a$$

El voltaje inducido:

$$V_A = V_T$$

$$E_A = KQW$$

Así:

$$V_a = KQW + I_a R_a$$

Puesto que :

$$T_{ind} = KQI_A$$

Y la corriente I_A .

$$I_A = \frac{T_{ind}}{KQ}$$

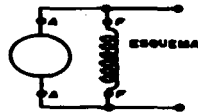
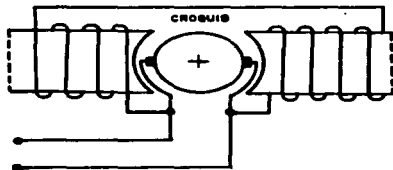
Se obtiene:

$$V_i = KQW + \frac{T_{ind}}{KQ} R_A$$

Y la velocidad del motor queda:

$$W = \frac{V_i}{KQ} - \frac{R_A T_{ind}}{KQ}$$

Es importante aclarar que la velocidad del motor varía linealmente con el par, siempre y cuando los otros términos en esta expresión permanezcan constantes con la variación de la carga. Se asume que el voltaje en terminales suministrado por la fuente de C.C., es constante; si no es constante, entonces las variaciones de voltaje afectarían la forma de la curva par-velocidad. Otro efecto interno del motor que puede afectar la forma de la curva para la velocidad es la reacción de armadura. Si un motor tiene reacción de armadura, entonces cuando se incrementa su carga, el efecto desmagnetizante reduce su flujo. El efecto de una reducción en el flujo, a cualquier carga dada, es un incremento de velocidad del motor, con respecto a la velocidad que giraría sin reacción de armadura. Un motor de este tipo se muestra en los siguientes esquemas (figura 1.3.4. y 1.3.5.), se indica la conexión apropiada de ambos devanados: de inducido y de inductor.



Para cambiar el sentido de rotación intercámbiense las conexiones del inducido e las del inductor, para no dañarlos.

Figuras 1.3.4. y 1.3.5. Motor Derivación.

Las curvas características de la gráfica (figura 1.3.6.), muestran que el par desarrollado por un motor en derivación varía con la intensidad de corriente de su inducido, lo cual se debe a que es proporcional al flujo magnético del inducido y del inductor.

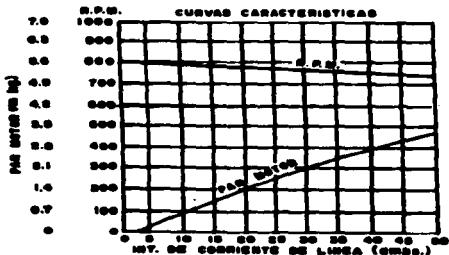


Figura 1.3.6. Curvas características del motor derivación

Tal máquina se emplea extensamente donde se desea controlar la velocidad arriba y abajo de su valor normal. Un reóstato conectado en serie con el devanado "shunt" hará aumentar la velocidad. Un resistor en serie con el inducido lo hará disminuir.

1.3.2.1. CONTROL DE VELOCIDAD EN LOS MOTORES EN DERIVACIÓN DE C.C.

El control de la velocidad en los motores en derivación se efectúa mediante tres formas comunes que son:

1. Cambiar la resistencia de campo R_{fc} y por consiguiente el flujo de campo.
2. Cambiar el voltaje aplicado en los terminales de armadura.
3. Insertar una resistencia en serie con el circuito de la armadura.

Cambio en la resistencia de campo. Para entender que ocurre cuando se cambia la resistencia de campo de un motor de C.C. Suponga que se incrementa su valor y

observe la respuesta. Si la resistencia de campo se incrementa, entonces la corriente de campo disminuye.

$$I_F = \frac{V_T}{R_T}$$

Como la corriente de campo decrece, el flujo disminuirá con ella. Una disminución instantánea en el voltaje generado:

$$E_a = K\phi\omega$$

Ocasiona un gran incremento en la corriente de armadura de la máquina puesto que:

$$I_a = V_t - \frac{E_a}{R_a}$$

El par producido en el motor está dado por:

$$T_{ind} = K\phi I_a$$

Dado que el flujo en la máquina disminuye mientras I_a aumenta.

1.3.3. MOTORES CON EXCITACIÓN COMPUESTA.

Este tipo de motor tiene un campo principal y una campo en derivación, y un campo auxiliar en serie, que contiene menos espiras que el de una máquina de excitación simple en serie. Por lo general los motores con excitación compuesta tienen en su campo distribuido el 50% en serie y 50% en derivación. La proporción de los campos serie y derivación pueden variarse desde luego y esto determinará las características del motor. Si el campo serie sólo representa 10% o 20% del total, el motor se conduce como un motor en derivación estabilizado, ya que los amperes-vuelta del campo serie sirven para compensar el efecto de la reacción de armadura y evitar que el motor, pueda aumentar su velocidad con valores elevados de carga.

El motor compuesto aditivo de derivación larga. A este motor se le llama aditivo porque los campos magnéticos generados por cada par de bobinas inductoras son de igual polaridad y por tanto se adicionan. Se aplica porque el arrollamiento en derivación esta conectado directamente a la red de alimentación; si en el motor precedente se invierten las terminales del arrollamiento en serie, la corriente producirá campos magnéticos de polaridad continua, que tenderán a debilitarse mutuamente. Si el motor esta conectado diferencialmente, por consiguiente, recibe el nombre de *motor compuesto diferencial en derivación larga*, siendo aquel cuyo arrollamiento en derivación va conectado directamente a la red y de manera que las bobinas serie en derivación de cada polo se generan campos de polaridad opuesta.

Este tipo de motores reducen su velocidad al aumentar la carga y el campo en derivación tiene la intensidad suficiente por evitar que el motor se desboque al quitar la carga. Este tipo de motor es poco frecuente y sólo se emplea en aplicaciones especiales; se utiliza la convención del punto: una corriente entrando al punto correspondiente a una fuerza magnetomotriz negativa.

1.3.3.1. MOTORES CON EXCITACIÓN COMPUESTA EN DERIVACIÓN CORTA.

Es aquel cuyo arrollamiento en derivación esta conectado a los bornes del inducido y de modo que la corriente circule en el mismo sentido por las mismas bobinas serie y derivación de cada polo finalmente. Cuando el arrollamiento en derivación está conectado a los bordes del inducido, pero de manera que la corriente circule en el sentido contrario por las bobinas serie y derivación de cada polo, se tiene un *motor compuesto diferencial en derivación corta*.

1.3.3.2. CARACTERÍSTICAS PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE EXCITACIÓN.

En el motor de excitación compuesta acumulativa de C.C., hay una componente de flujo que es constante y otras componentes que son proporcionales a su corriente de armadura y a su carga. Presenta un par de arranque más alto que el de derivación, el flujo es constante y su par de arranque es más bajo que un motor serie; tiene un par extra para arrancar, y como el motor en derivación, no embala sin carga; en cargas ligeras, el campo serie tiene un efecto muy pequeño, así que el motor se comporta aproximadamente como un motor en derivación C.C. Cuando la carga llega a ser muy grande, el flujo serie llega a ser verdaderamente importante, y la curva par-velocidad comienza a verse como la característica de un motor serie. Una comparación de las características par-velocidad se muestra en la figura 1.3.7.

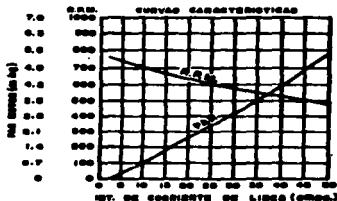


Figura 1.3.7. Curvas características de un motor compound.

1.3.3.3. LAS CARACTERÍSTICAS PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE EXCITACIÓN COMPUESTA DIFERENCIAL.

En un motor de excitación compuesta diferencial de C.C., la fuerza magnetomotriz derivación y la fuerza magnetomotriz serie sustraen una de otra. Esto significa que cuando la carga en el motor se incrementa I_a aumenta y el flujo en el motor se reduce. Pero como el flujo decrece, la velocidad en el motor aumenta. Éste incremento en la velocidad causa otro incremento en la carga, el cual incrementa más a I_a , produciendo una menor disminución del flujo y otra vez incremento de la velocidad. El resultado es que un motor de excitación compuesta diferencial es inestable y tiende a embalsarse.

Esta inestabilidad es mucho más perjudicial que aquella del motor en derivación con reacción de armadura. Es tan mala, que un motor de excitación compuesta diferencial es inapropiado para casi todas las aplicaciones. El motor no es posible de arrancar con las condiciones de arranque; la corriente de armadura y la corriente de campo serie son muy altas. Puesto que el flujo serie resta del flujo en derivación el campo serie en ese momento puede rebasar la polaridad magnética de los polos de la maquina. Típicamente, el motor permanecerá quieto o girará lentamente en la dirección equivocada mientras se quema, a causa de la excesiva corriente de armadura. Cuando este tipo de motor se va a arrancar, su campo serie debe cortocircuitarse para que se comporte como un motor en derivación.

1.3.3.4. LA CONEXIÓN DE UN MOTOR COMPOUND.

Mídase la velocidad conectando a la línea, el motor tal como está conectado en la figura 1.3.8. Intercámbiense luego las conexiones del devanado serie, mídase de nuevo la velocidad, la conexión que produzca será la del motor compuesto diferencial o sustractivo.

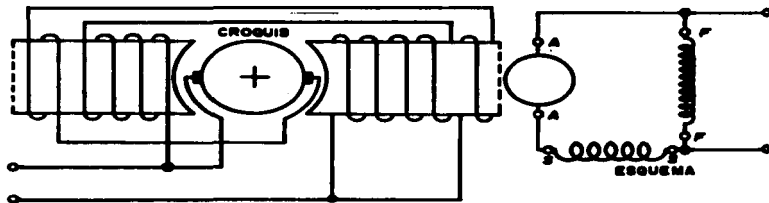


Figura 1.3.8. Motor Compound.

Se hace trabajar el motor como si fuera tipo "shunt" (desconectando el devanado serie) y obsérvese el sentido de rotación, gírese el mismo como tipo serie (desconectando el devanado "shunt"). Obsérvese otra vez el sentido. Si en cada caso el sentido no ha variado, déjense conectados los devanados en la misma forma que estaban antes de la prueba y el motor será compound aditivo.

1.3.3.5. CONTROL DE VELOCIDAD EN EL MOTOR DE C.C. DE EXCITACIÓN COMPUESTA ACUMULATIVA.

Las técnicas disponibles para el control de velocidad de un motor de excitación compuesta acumulativa son las mismas para un motor diferencial.

1. Cambio de la resistencia de campo R_a .
2. Cambio del voltaje de armadura V_a .
3. Cambio de la resistencia de armadura R_a .

Los argumentos que describen los efectos de cambiar R_f o V_a son muy similares para el motor derivación.

1.4.0. MOTORES CON IMÁN PERMANENTE.

Una variante interesante del motor de corriente continua es aquella en que el campo está creado por imanes permanentes y no por arrollamientos. Éste es el caso por ejemplo, de los motores de avance y de posicionamiento de máquinas operadoras, como lo muestra la figura:

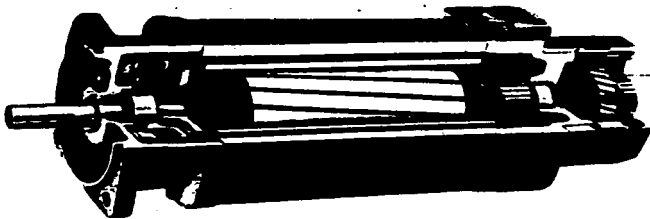


Figura 1.3.8. Motor de C.C. de Imanes Permanentes.

El material utilizado en la fabricación de los imanes es de una mezcla muy especial, a fin de garantizar que las propiedades magnéticas del imán no degeneren.

1.4.1. ARRANQUE DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTÍNUA.

Durante la operación de arranque de los motores de C.C., la corriente debe ser limitada para permitir una conmutación adecuada y evitar el sobrecalentamiento excesivo que podría perjudicar el aislamiento del motor. Una de las formas de limitar la corriente de arranque es la inserción de resistores adicionales en serie con el inducido. En la medida en que el motor se acelera generando fem. interna que limita la corriente, los resistores serán puestos en cortocircuito. A pesar de ser barato, éste método convencional tiene la desventaja del desgaste de los contactores mecánicos, debido a arcos y chispas, exigiendo un mantenimiento atento. Modernamente, la conmutación mecánica del réostato puede ser substituido por la conmutación tiristorizada que más adelante haremos en el estudio con enfoque al control eléctrico de motores. Los resistores se podrían eliminar también por el principio conocido de Troceado (Chopping), de tensión. En este proceso, la tensión de la fuente es conectada y desconectada rápidamente en ciclos repetidos, de modo que se pueda variar la tensión media aplicada al motor.

Una tensión media baja es necesaria para limitar la corriente mientras el motor se acelera. Esta tensión media es aumentada gradualmente hasta un máximo a la velocidad nominal. El circuito tiristorizado que realiza esta tarea es el troceador (chopper). La característica de este circuito hace que sea más versátil que si no lo fuese para el arranque; adicionalmente, la velocidad puede ser ajustada alternándose la tensión media aplicada al inducido.

1.4.2. VENTAJAS DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTÍNUA.

La flexibilidad que se puede obtener de los motores de C.C., con varios tipos de excitación, asociada a la relativa simplicidad de los modernos convertidores de corriente continua, acaba por determinar una ventaja decisiva de estos motores sobre las máquinas de corriente alterna, siempre que altos pares o amplia variación de velocidad sean deseables. Subrayemos una desventaja no anotada, la conmutación de corriente por un elemento mecánico implica arcos y chispas, un impedimento decisivo si el motor debe ser aplicado en ambientes peligrosos. Para una buena conmutación, la tensión entre las delgas del colector no debe exceder de 20 volts, lo que significa que las máquinas de corriente continua no pueden ser alimentadas con tensiones muy superiores a 900 volts, mientras que los motores de C.A., pueden tener millares de voltios en sus terminales. Daremos una visión importante al motor de C.C.; en su totalidad, la figura 1.4.0. muestra la foto de una máquina moderna de C.C.

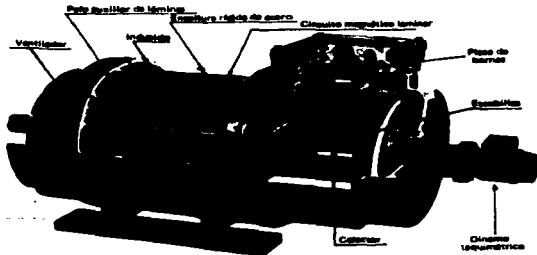
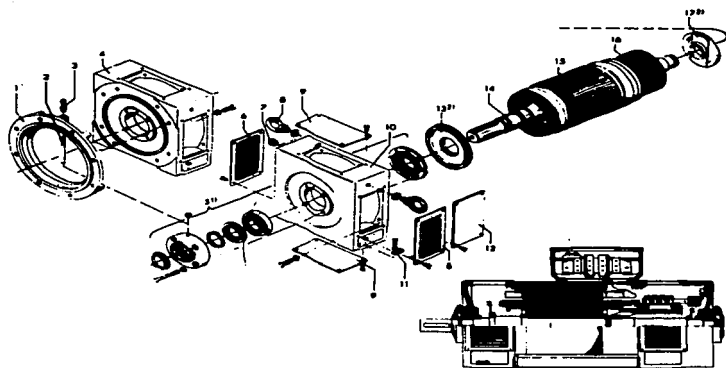
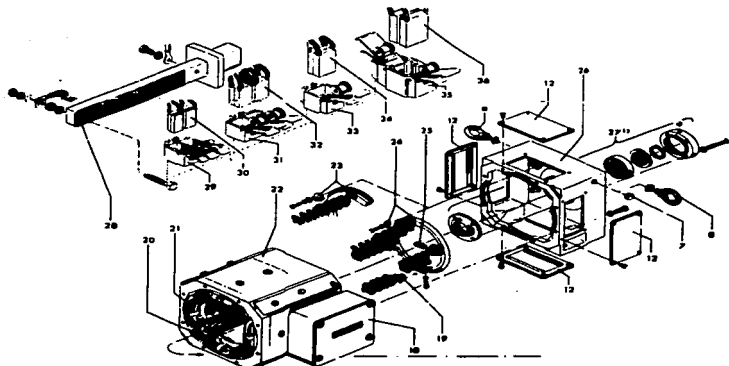


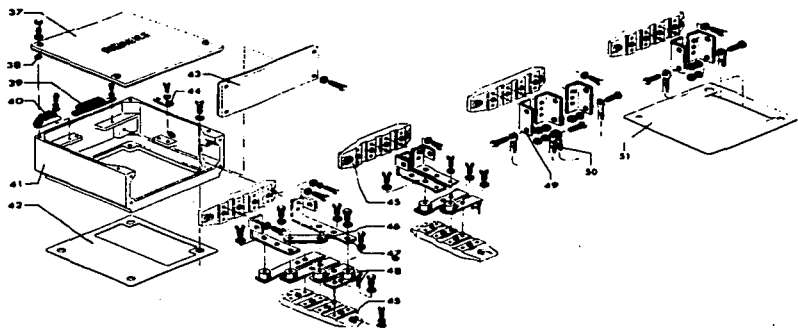
Figura 1.4.0 Motor de Corriente Continua.

Los polos principales de excitación de estas máquinas se sitúan en el estator. Entre ellos se encuentran los polos del colector. Actualmente se hacen los estatores con chapas finas de acero, aisladas unas de las otras. El rotor o inducido, está hecho con chapas de acero al silicio, aisladas y empaquetadas, en cuyas ranuras se aloja el arrollamiento. Cada elemento del arrollamiento está conectado a una determinada delga del colector montado en el eje de la máquina. El colector está formado por un cierto número de láminas (delgas) de cobre, ajustadas en forma de cilindro y aisladas unas de las otras por aislante de mica. Sobre el colector se deslizan unas escobillas que están alojadas en portaescobillas. Estas escobillas, a su vez, se montan sobre barras de sostenimiento, las cuales se fijan a la carcasa con el soporte del portaescobillas. Figuras 1.4.1 y 1.4.2.

1.4.3. ELEMENTOS.

Tal como ocurre con motores de C.A., los arrollamientos de las máquinas de C.C., también están impregnados con resinas sintéticas. Sobre el arrollamiento del inducido, generalmente se envuelven fajas de hilos de fibra de vidrio que hacen el conjunto del rotor más rígido. Las escobillas, de las cuales depende mucho el buen funcionamiento de los motores de C.C., pueden ser de grafito, carbón, electrografito ó metalgrafito y se comprimen sobre el colector. Los motores de C.C., se distinguen de los de C.A., por el número de accesorios que suelen utilizar; frenos, calentadores de máquina parada, dispositivos de ventilación, sensores térmicos, conmutadores, limitadores de velocidad, conmutador de flujo de aire; son algunos ejemplos que trataremos con detalle, de los accesorios que se suelen encontrar en motores de C.C.; entre éstos, sobre todo el tacómetro es casi un accesorio indispensable.





1. Brida del portacojinetes.
2. Tubo para lubricación.
3. Portagrafador roscado.
4. Portacojinetes embridados (para I).
5. Conjunto de rodamientos AS (lado del accionamiento o punta del eje).
6. Perlaiana.
7. Tapón de cierre.
8. Ojal de suspensión con arandela.
9. Tapa (sin cierre).
10. Portacojinetes AS (lado del accionamiento o de la punta del eje)
11. Presilla de tierra.
12. Tapa con cierre.
13. Disco de equilibrado BS (lado del accionamiento).
14. Eje.
15. Paquete de chapas del rotor con arrollamiento.
16. Colector.
17. Disco de equilibrado BS (lado contrario al accionamiento o de la punta del eje).
18. Caja de empalmes.

19. Barra con portaesbobillas y escobillas de carbón.
20. Interpolo.
21. Polo principal.
22. Carcasa del estator.
23. Soporte de escobillas con garras de fijación individual.
24. Soporte de escobillas con garras de fijación cónicas.
25. Tira de fijación para 19
26. Portacojinetes BS (lado contrario al accionamiento).
27. Conjunto de rodamientos BS (lado contrario al accionamiento).
28. Barra para escobillas.
29. Portaesbobillas doble con muelles aislados.
30. Escobillas de carbón para 29.
31. Portaesbobillas doble con aislantes.
32. Escobillas de carbón para 31.
33. Portaesbobillas sencillo con aislante.
34. Escobilla de carbón para 33.
35. Portaesbobillas tándem con aislantes.

36. Escobillas de carbón para 35.
37. Tapa de caja de empalmes.
38. Arandela de goma de cierre con protección contra pérdida.
39. Bornes adicionales para los circuitos auxiliares.
40. Bornes para circuito secundario (excitación).
41. Carcasa de caja de empalmes.
42. Cierre con apertura rectangular.
43. Placa para entrada de cables.
44. Presilla de fijación para el conductor de protección.
45. Aislante.
46. Puente de empalme.
47. Cantonera de empalme para 48.
48. Conexión eléctrica al arrollamiento con barra.
49. Cantonera de empalme para 50.
50. Conexión eléctrica al arrollamiento con terminal.
51. Cierre con apertura en hendidura.

Figuras 1.4.1 y 1.4.2. Despiece de un Motor de Corriente Continua.

TIPOS DE MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA.

1.5.0. MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.

Generalidades: De todos los motores eléctricos giratorios, el que se usa más a menudo es el de inducción; las razones justificables son: económicas, por su sencillez en el manejo en el punto de vista mecánico, resistente y prácticamente no necesita mantenimiento, su comportamiento puede ajustarse a un gran número de diferentes condiciones de operación por medio de cambios de diseño bastantes sencillos. La máquina de inducción tiene por lo común un devanado en su estator que se excita desde una fuente externa de C.A. Por lo general, su rotor consiste en una estructura laminada con ranuras oblicuas en las que se ha fundido un material conductor, que es un rotor sólido y cilíndrico.

Tiene las características este motor que en su funcionamiento marcha a una velocidad casi constante. Esta máquina tiene solamente el devanado amortiguador, el voltaje del rotor (que produce la corriente y el campo magnético por el rotor inducido en su devanado, sin que existan conexiones físicas por medio de conductores y tiene la ventaja de que no necesita una fuente de corriente de excitación de C.C., para funcionar. Si se desea por ejemplo realizar una comparación entre varios motores; la potencia no es el aspecto más importante, como tampoco lo es la frecuencia, la tensión o la velocidad, ya que éstas quedan fijadas por el circuito de alimentación o los requisitos de operación; pueden obtenerse pares elevados a expensas del factor de potencia y de la eficiencia debido a un bajo par de arranque y alta corriente de arranque.

1.5.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN MONOFÁSICO.

El embobinado de armadura puede girar libremente o bien comparado con un conductor de grueso calibre que tomamos de los dos extremos del conductor y lo hacemos girar; ese diámetro del conductor lo hacemos equivalente a un disco de metal girando libremente en un eje vertical, siendo este de cobre, hierro o aluminio. Un imán que también puede girar libremente sobre el mismo eje que el disco, está dispuesto encima de este último y tiene sus extremos curvados hacia abajo para que el flujo magnético, tienda a moverse al igual que las corrientes en los conductores de un motor de corriente continua. De acuerdo a la *Ley de Lenz*, la dirección de la fuerza desarrollada entre las corrientes del disco y el campo magnético que las produce, será tal, que el disco tienda a seguir al imán en su rotación. Como se observa en la figura 1.4.3., el polo N del imán giratorio se mueve en dirección opuesta a las agujas del reloj. El conductor que se encuentra debajo del imán gira también en dicha dirección, pero más lento que el imán, el movimiento relativo entre el imán y el conductor. Si se aplica la regla de la mano derecha, la dirección de la

corriente inducida es hacia el observador. Las líneas de fuerza que rodean al conductor, debidas a su propia corriente son de sentido contrario a las agujas del reloj, y el campo del imán con el campo que produce el conductor. Como la intensidad del campo aumenta a la izquierda del conductor y disminuye a su derecha, se genera una fuerza que empuja a éste conductor de izquierda a derecha, es decir, que el conductor tiende a seguir al imán; así, en la máquina de inducción se produce una acción generadora que induce corrientes, una acción motriz que obliga a las corrientes inducidas a seguir el campo inductor. El disco no puede alcanzar la velocidad del imán; si así sucediera, no habría movimiento entre el disco y el imán, y como consecuencia no se induciría fem. en el disco.

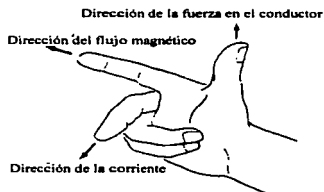


Figura 1.4.3. Regla de la mano derecha para un motor.

1.5.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICA

El principio básico de funcionamiento de estas máquinas consiste esencialmente en la formación de un campo magnético giratorio en el estator del motor. Examinaremos el efecto que produce una corriente alterna trifásica en cada fase del estator. Operan con voltajes balanceados; el circuito equivalente puede ser modificado con voltajes desbalanceados, de acuerdo a la figura 1.4.4., está representado un sistema senoidal para las tres fases y podemos observar las condiciones cambiantes de la corriente en 12 diferentes tiempos, si fijamos que la corriente arriba del eje cero es positiva y si es hacia adentro será entrante; se representa con una cruz y la corriente negativa abajo del cero con una dirección hacia el observador (saliente), la representamos con un punto en el centro.

Para formas senoidales simples, tenemos en este caso para bobinas de 2 polos, que contiene para cada una de las fases 6 ranuras. Las entradas de corriente de estas 3 fases están identificadas como ABC. En el punto de tiempo 0, la curva de corriente en la fase A es en este momento igual a 0; esto significa que la fase A se encuentra sin corriente. La fase B tiene en el mismo punto de tiempo casi el máximo

de la corriente pero en dirección negativa, a la mitad de la figura 1.4.4., de tiempo 0; en el principio de la bobina de esta fase, la corriente es entrante. En el mismo instante la corriente de la fase C ha pasado al valor máximo de la corriente positiva y tiene la misma fuerza que la corriente de la fase B, pero en dirección contraria. Al principio de la bobina de la fase C, circula corriente entrante hacia adentro y en las 3 ranuras opuestas, la corriente se invierte. En resumen, en el punto de tiempo 0 al lado izquierdo del estator, la corriente circula hacia el papel y el lado derecho hacia el observador.

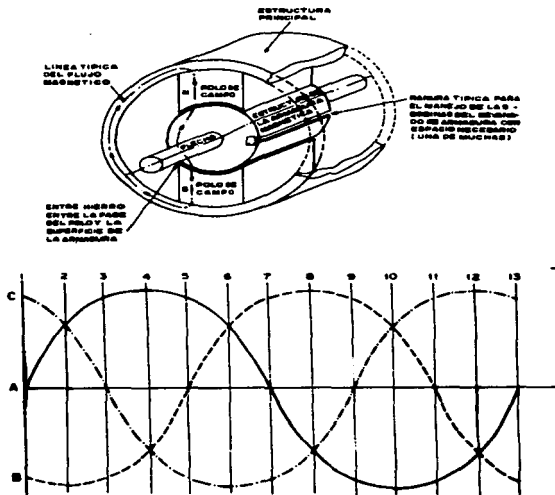


Figura 1.4.4. Estructura magnética de un generador o motor y curvas características.

La regla de la mano derecha. Ésta establece que cuando se forma un conductor que conduce corriente con esta regla, se coloca en el dedo pulgar la dirección de la misma, los dedos restantes nos indicarán la dirección del flujo magnético; lo mismo

sucede cuando se tienen grupos de alambres que tienen la corriente en la misma dirección. Observamos las condiciones de corriente en el punto de tiempo 1, la corriente de fase A tiene ahora la mitad de su valor máximo en dirección positiva. En las 3 ranuras superiores de la fase A, la corriente circula por ésta y corre hacia adentro y en las ranuras contrarias en sentido opuesto. La corriente de la fase B tiene su valor máximo negativo, por esto tiene todavía la misma dirección que en el punto de tiempo 0, solamente que con una fuerza más grande por tener mayor intensidad. La corriente de la fase C ha disminuido a la mitad de su valor positivo y tiene la misma fuerza y dirección que la corriente de la fase A. Por esto la dirección es todavía la misma que en la fase B. Dibujamos otra vez el campo magnético según la ley, el pulgar de la mano derecha, en la figura 1.4.4., el campo magnético gira a la derecha arriba y hacia la izquierda abajo y gira, una doceava parte en sentido de las manecillas del reloj. Los mismos conceptos anteriores tienen valor para los puntos de tiempo desde 2 hasta 12, por lo tanto, al concluir estos razonamientos encontramos que el campo magnético en el tiempo de duración del ciclo, ha girado 360 grados eléctricos, por esto las condiciones en el punto de tiempo 12 son las mismas que el punto de tiempo 0. Principiando un nuevo giro, comienza el mismo juego, esto significa que el campo magnético giró en el mismo tiempo 360 grados eléctricos, en donde con corriente trifásica, corre un ciclo completo. Para motores de 2 polos, los grados eléctricos equivalen a los grados geométricos. Para máquinas con más polos, existe de acuerdo con la cantidad de polos, geoméricamente menos giro, siendo inversamente proporcional a 360 grados en dos polos. Esto para una máquina de 4 polos, por ejemplo, en los 12 intervalos de tiempo de ciclo completo, el campo magnético girará solamente:

$$\frac{360 \text{ grados} * 2}{4} = 180 \text{ grados geométricos.}$$

Que equivale lógicamente a $\frac{1}{4}$ de velocidad en 2 polos.

Como podemos observar, las cantidades de líneas magnéticas de la figura 1.4.5., de 0 a 12, es la fuerza resultante del campo magnético durante una rotación o giro constante. Si introducimos en este campo giratorio un conductor, el cual induce en éste una diferencia de potencial y una vez conectado, circula corriente que produce una fuerza electromotriz. Cuando se introduce un conductor con corriente dentro del campo magnético se observa que este ejerce una fuerza mecánica cuya dirección la podemos identificar con la regla de la mano derecha. Las líneas magnéticas entran arriba (en la palma de la mano) y la dirección del pulgar tiene la dirección de la causa que en este caso es la corriente; los otros dedos significan la dirección del efecto o dirección del movimiento del conductor. En la misma forma todos los conductores del rotor se mueven en la dirección en que gira el campo magnético; el rotor gira en el sentido de las agujas del reloj; como se muestra en la figura 1.4.5.

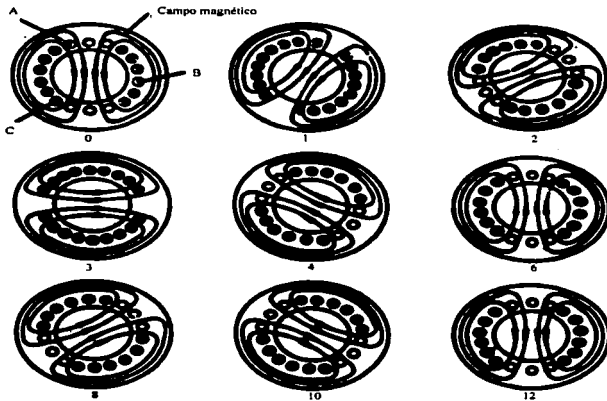


Figura 1.4.5. Origen del campo magnético giratorio.

El campo magnético quiere girar al conductor con la misma velocidad que él; cuando esto sucede, no hay movimiento relativo entre el conductor del rotor y el campo magnético giratorio y por lo tanto no puede haber corriente en el conductor ya que no hay corte de líneas por los conductores del rotor haciendo nula la inducción; al no inducir corriente, no creamos un campo magnético y no tenemos la causa que mueve el conductor; según esto, el rotor disminuye su rotación o velocidad, pero al mismo tiempo produce corriente y nuevamente hay una fuerza que mueve el conductor. El rotor se mueve, siempre atrasando su velocidad en relación a la del campo giratorio; según las necesidades del par resistente, se induce corriente para producir una fuerza que mueve el conductor lo suficiente para vencer la fuerza de fricciones en el trabajo en vacío y con carga mayor que el momento de oposición.

La velocidad geométrica del campo giratorio depende de la cantidad de par de polos de los motores y es idéntica al número de revoluciones síncronas que podemos calcular en la siguiente forma:

$$N_s = \frac{f(60)RPM}{P}$$

Donde :

f = Frecuencia de corriente trifásica.

P = Cantidad de par de polos.

La diferencia entre el número de revoluciones síncronas N_s y el número real de revoluciones del rotor sobre las revoluciones síncronas expresadas en por ciento se llama *deslizamiento*.

$$S = \frac{N_s - N}{N_s \cdot 100\%}$$

El motor de inducción recibe el nombre debido a que opera bajo el principio de inducción electromagnética; como éste tipo de motores no trabajan nunca a su velocidad síncrona, son motores asíncronos.

1.5.3. CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.

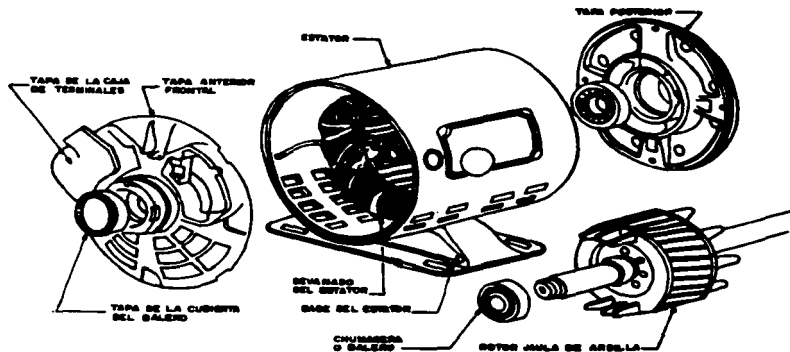


Figura 1.4.6. Vista de los principales componentes de un motor de inducción.

Los núcleos magnéticos, tanto del rotor como estator están formados por delgadas láminas de acero. Éstas laminas se troquelean a las dimensiones adecuadas y con aberturas que llegan a ser las ranuras del núcleo cuando se

agrupan las láminas. La agrupación de láminas es apretada y mantenida en esa posición por placas de empalmes por borde exterior perpendicular al plano de la laminación (estator solamente), facilitan estas el aislamiento. Con laminaciones aisladas no hay circuito por el cual pueda fluir la corriente en el núcleo, ya que los voltajes inducidos son pequeños y el aislamiento de las laminaciones consiste usualmente en un óxido formado por un tratamiento térmico de ellas. El acero magnético usado para núcleos de motores es un producto altamente refinado, con el objeto de obtener máxima densidad magnética, menos calentamiento y mínimas pérdidas en el núcleo. Estas ventajas pueden aplicarse para obtener un núcleo mucho más pequeño para una potencia dada o bien un motor más eficiente. Esta vez haremos mención al motor jaula de ardilla de armazones N.E.M.A.

1.5.3.1. ROTOR.

Tienen rotores fundidos. El circuito eléctrico del rotor se orna en una operación, vaciando una aleación de aluminio fundido en el paquete de laminación. De este modo se producen las barras en los canales del núcleo y en los extremos anillos que conectan a las barras. En un rotor fundido, los conductores son uniformes en dimensiones y resistencia y no se requiere soldadura.

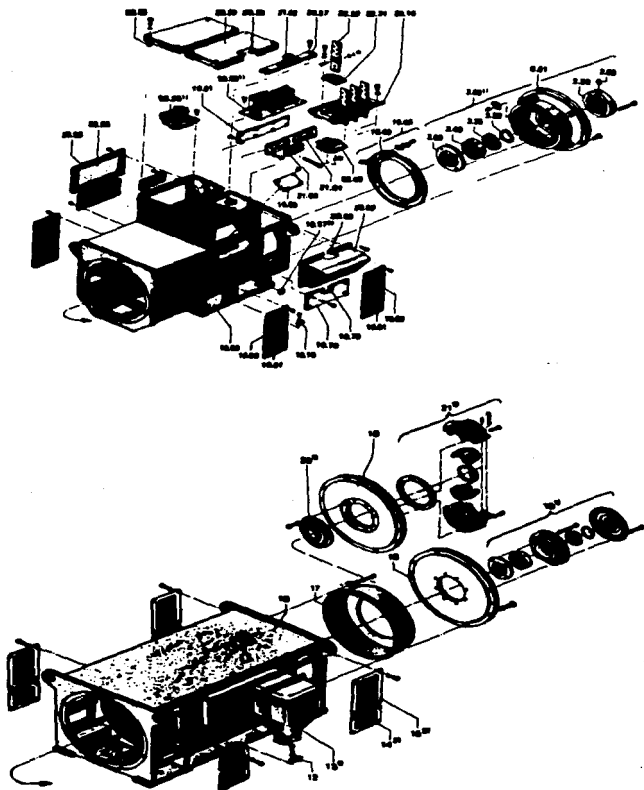
1.5.3.2. ESTATOR.

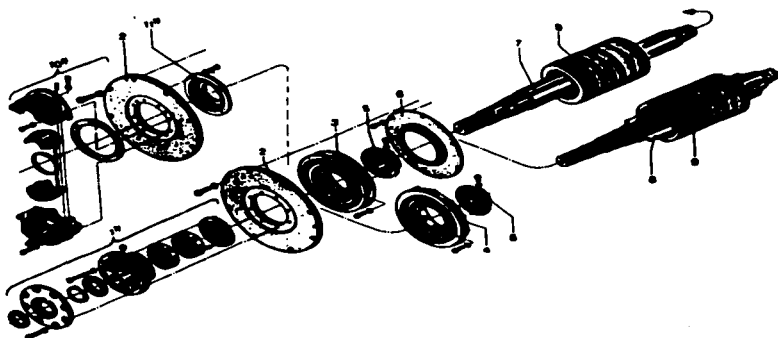
El estator jaula de ardilla puede diseñarse para motores monofásicos y trifásicos. Los motores trifásicos de jaula de ardilla son el tipo más simple del motor de inducción. Estos motores no tienen partes descubiertas llevando la corriente de línea. Únicamente se requieren 3 terminales de alimentación para un motor trifásico de voltaje y velocidad simple; las bobinas del estator se agrupan de acuerdo al número de fases y al número de polos magnéticos. El motor de inducción no tiene polos estructurales visibles. El mínimo número de bobinas de un estator trifásico es tres veces el número de polos. Con frecuencia los estatores trifásicos se devanan para doble voltaje de operación de 220 a 440 volts.

1.5.4. ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN MOTOR DE INDUCCIÓN.

Un motor de inducción está constituido fundamentalmente por los siguientes elementos.

- 1. Estator.*
- 2. Rotor.*
- 3. Carcaza.*





1. Cojinete de rodamientos lado AS (lado del accionamiento).
2. Tapa portacojinetes AS (lado del accionamiento).
3. Tapa del ventilador dependiente del sentido de rotación.
4. Tapa del ventilador independiente del sentido de rotación.
5. Cabeza del ventilador.
6. Guía de aire AS (lado del accionamiento).
7. Eje sólido.
8. Eje con nervuras.
9. Paquete de chapas del rotor con arrollamiento.
10. Cojinete AS (lado del accionamiento).
11. Tapa de cierre para 10.
12. Tira de conexión para toma de tierra.
13. Caja de bornes.
14. Persiana inferior.
15. Persiana superior.
16. Carcasa de estator con paquete de chapas y arrollamiento.
17. Guía de aire BS (lado contrario al accionamiento).
18. Tapa portacojinetes BS (lado contrario al accionamiento).
19. Cojinete de rodamientos BS (lado contrario al accionamiento).
20. Tapa de cierre para 21.
21. Cojinete BS (lado contrario al accionamiento).

Figuras 1.4.7. y 1.4.8. Despiece de un Motor de Inducción.

Como elementos auxiliares se tienen:

4. *Tapas anterior y posterior.*

5. *Rodamientos.*

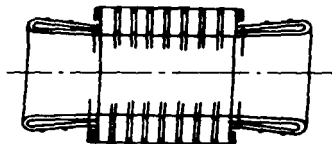
6. *Piezas de sujeción.*

7. *Caja de conexiones.*

8. *Base o soporte.*

El motor de inducción es un elemento que convierte energía eléctrica en energía mecánica por el principio de inducción electromagnética. Entre los elementos comunes estructurales están:

El núcleo del estator, que suele constituirse con un paquete de chapas de acero de silicio, aisladas por una capa de barniz. El paquete de chapas puede constituir una única pieza o estar subdividida en varios paquetes pequeños, montados sobre el eje con pequeños intervalos entre ellos a fin de permitir el paso de aire de refrigeración. Algunas veces, en motores de baja potencia, sólo se utilizan chapas de acero con un bajo nivel de carbono, tratadas térmicamente para el crecimiento del grado y para la deposición de una capa de óxido aislante en la superficie. La figura 1.4.9., presenta un corte longitudinal del núcleo estatórico para un motor de inducción.



Figuras 1.4.9. Vista en corte longitudinal del núcleo del estator.

Vista en corte longitudinal del núcleo del estator del motor de C.A., en las ranuras del estator se alojan las bobinas del arrollamiento trifásico. Para los motores de baja tensión se alojan las bobinas del arrollamiento trifásico. Para los motores de baja tensión, los hilos que componen el arrollamiento suelen ser de cobre (algunas veces aluminio), de sección circular y aisladas por capas de esmalte. Para motores de media tensión, los conductores son de cobre, generalmente de sección rectangular, aislados en tiras de material aislantes a base de mica o fibra de vidrio, aglomerados con resina sintética. Una vez insertados en las ranuras, los

arrollamientos son sujetos con cintas de fibra de vidrio y someten a una impregnación con resina epóxica o poliéster que, después de curados, les confieren mayor rigidez mecánica y dieléctrica. El núcleo del rotor de los motores asíncronos es básicamente igual al del estator. Cuando se trata de motores de rotor devanado, el arrollamiento es también substancialmente igual al del estator con la diferencia de que las tres terminales de salida están conectadas a tres anillos conductores montados en el eje del motor y sobre las cuales, escobillas de carbón fijadas a la estructura de la carcasa permiten la inserción de resistores externos para el arranque o regulación de velocidad. Distintos cortes longitudinales nos permiten ver el motor de inducción. Figuras 1.5.0., 1.5.1, 1.5.2, y 1.5.3.

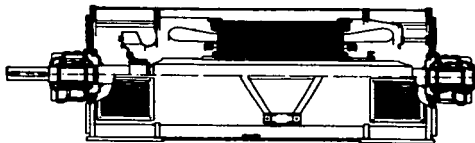


Figura 1.5.0. Motor de jaula con cojinetes de deslizamiento.

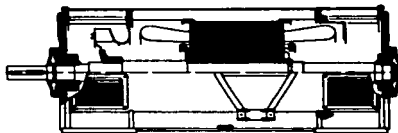


Figura 1.5.1. Motor de jaula con cojinetes de rodamientos del ciclo.

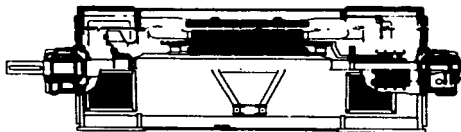


Figura 1.5.2. Motor de anillos con cojinetes de deslizamiento.

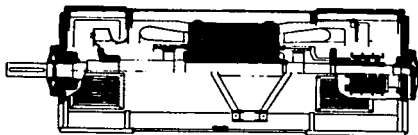


Figura 1.5.0. Motor de anillos con cojinetes de rodamiento.

1.5.5. CÓMO OPERA EL MOTOR DE INDUCCIÓN.

Líneas de fuerza magnética circundan cualquier conductor que lleva corriente. Éstas líneas dan por resultado un campo magnético de intensidad definida que depende de la cantidad de corriente que fluye por el conductor y de la naturaleza del circuito magnético. El campo magnético tiene una polaridad definida que depende de la dirección de la corriente. Por lo tanto, el campo magnético de intensidad definida depende de la cantidad de corriente que fluye por el conductor y de la naturaleza del circuito magnético que circunda a un conductor que lleva una corriente alterna, que cambia tanto en intensidad como en dirección, y varía a la frecuencia de línea desde un máximo en una dirección, a un máximo en la dirección opuesta. Conductores, adecuadamente conectados y colocados en ranuras en la periferia interior de un aro de acero laminado (estator), se conectan a una fuente de voltaje trifásica y producirán el efecto "campo magnético rotatorio".

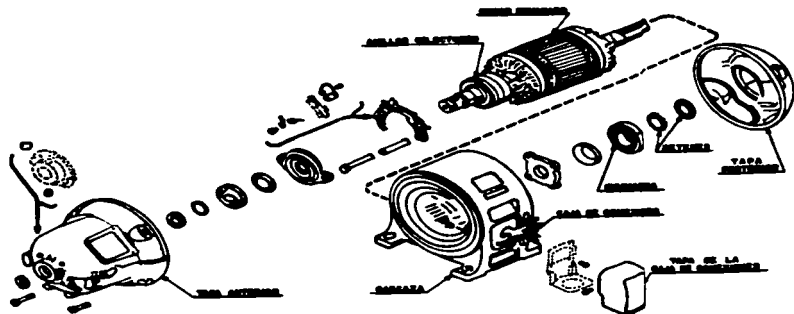


Figura 1.5.4.a. Vista de un motor de inducción polifásico de rotor devanado.

Este campo magnético será uniforme y girará a velocidad sincrónica. El campo magnético gira alrededor del estator; en estas condiciones las líneas de fuerza cortan los conductores del elemento rotatorio. Los conductores del rotor forman circuitos cerrados. Las líneas de fuerza magnética pasan a través del entrehierro en ángulo recto a la superficie del rotor. El motor de inducción puede ser considerado como un transformador, el devanado del estator equivaldría al circuito primario y el devanado del rotor al circuito secundario en cortocircuito. Corrientes de magnitud considerable fluyen en los conductores del rotor y son inducidos por las líneas de fuerza magnética que cortan los conductores, como es bien conocido, un conductor en un campo magnético. Una fuerza tangencial o par es así ejercida sobre la periferia del rotor. La dirección de esta hace que el motor gire en el mismo sentido; que el motor gire en el mismo sentido que el campo magnético giratorio del estator. La magnitud del par depende de la potencia.

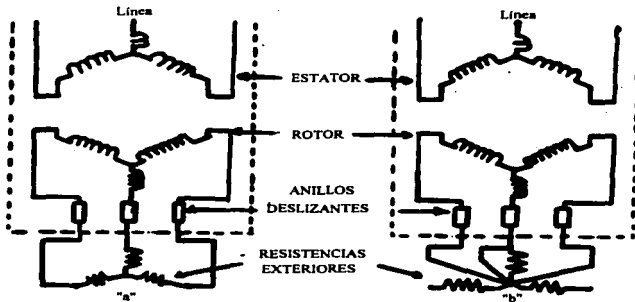


Figura 1.5.0. Diagrama esquemático de un motor de inducción de rotor devanado.
 a) Con una resistencia externa en el circuito del rotor.
 b) con el rotor en cortocircuito

En el diagrama de la figura 1.5.4.b., muestra al rotor en cortocircuito, que condición normal de operación bajo carga; en la condición normal de operación: carga a velocidad nominal se considera al motor en punto de reposo con el rot. cortocircuito; la resistencia R externa de cada fase es infinita. Un voltaje trifásico balanceado aplicado al estator produce una componente fundamental de la fuerza magnetomotriz, originando onda de flujo prácticamente distribuida senoidalmente girando a una velocidad sincrónica respecto al embobinado del estator. Definamos que el flujo fundamental se puede dividir en 2 componentes:

$$\text{Flujo Fundamental} \begin{cases} \text{Flujo Mutuo} \\ \text{Flujo De Dispersión} \end{cases}$$

$Q_m =$ "flujo mutuo".

Corresponde al flujo del entrehierro cuando el circuito del rotor está abierto; la componente fundamental del flujo del entrehierro se expresa por la ecuación:

$$Q_A = \frac{1.8U_o.m.Dg.L.Kw.NpH.1}{p2a}$$

Si no existiera saturación, considérese que los 2 embobinados, "el del rotor y el estator", están conectados en estrella. El flujo mutuo es la componente fundamental del flujo del entrehierro. En las siguientes ecuaciones veremos las componentes de voltaje para rotor como para estator donde:

$E =$ El voltaje por fase del estator inducido por el flujo en el entrehierro.

$E_r =$ Volts inducidos por el flujo del entrehierro en cada fase del embobinado del rotor en el punto de reposo.

$$\text{Estator } E = \frac{4.42Kw1.NpH1.QM}{a1}$$

$$\text{Rotor } E_r = \frac{4.42Kw2.NpH2.QM}{a2}$$

En donde:

$NpH1, NpH2,$ son los números de vueltas en los embobinados del E, E_r .

$a1, a2,$ son el número correspondiente a las trayectorias de la corriente.

$Kw1, Kw2,$ son los factores de distribución de los embobinados.

La relación de transformación es:

$$b = \frac{E}{E_r} = \frac{Kw1.NpH1.a2}{Kw2.NpH2.a1}$$

Cuando los anillos rozantes están conectados a 3 resistencias iguales, se evita que el rotor gire; la operación es idéntica a un transformador trifásico con el

rotor en el punto de reposo el flujo gira con una velocidad síncrona relativa tanto al estator como al rotor.

1.5.6. EL MOTOR DE INDUCCIÓN COMO TRANSFORMADOR.

Como en cualquier transformador, existe una resistencia y una autoinductancia en el devanado primario (estator). La resistencia del estator es R_1 y la reactancia X_1 . Con un núcleo de hierro, el flujo en la función de la magnetomotriz (curva de magnetización). Figura 1.5.5.

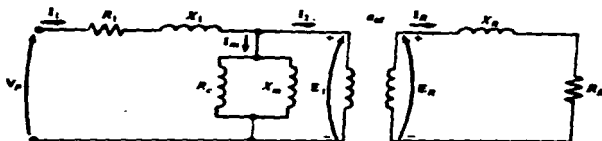


Figura 1.5.5. Modelo de transformador para representar un motor de inducción. El estator y el rotor están acoplados por medio de un transformador ideal con una relación de espiras a_{ef} .

Se observa que la pendiente de la curva correspondiente al motor de inducción es mucho menos inclinada a la de un transformador. Esto se debe a la existencia del entrehierro en el motor de inducción, que hace aumentar demasiado la reluctancia de la trayectoria del flujo con lo cual se debilita el acoplamiento entre los devanados primario y secundarios. Con el aumento de la reluctancia a causa del entrehierro se necesita una mayor corriente de magnetización para un determinado nivel de flujo. En el circuito equivalente, la reluctancia de magnetización X_m tendrá un valor mucho menor (o la susceptancia B_m tendrá un valor mucho mayor). El voltaje interno E_2 del secundario está acoplado con el voltaje interno de E_1 del primario, por un transformador ideal con una relación a_{ef} entre espiras, que es la relación entre el número de conductores por fase en el estator y el número de conductores por fase en el rotor modificados ambos por sus correspondientes factores de paso y distribución.

Es mucho más difícil definir con exactitud a_{ef} en el caso de un motor jaula de ardilla, ya que en él no hay devanados tan perfectamente definidos. De todas maneras existe una relación de transformación para el motor. El voltaje E_2 interno en el rotor produce un flujo de corriente en el circuito del rotor (secundario) máquina, el cual se encuentra en cortocircuito. La impedancia del primario y la corriente de magnetización del circuito equivalente de un motor de inducción son muy similares a los valores correspondientes del modelo del circuito equivalente de

un transformador, la diferencia fundamental entre los circuitos equivalentes de un motor de inducción y de un transformador, se debe a los efectos que la frecuencia variable del rotor produce en el voltaje inducido E_R y en la impedancia R_R y jX_r , del rotor el circuito descrito en la figura 1.5.5.

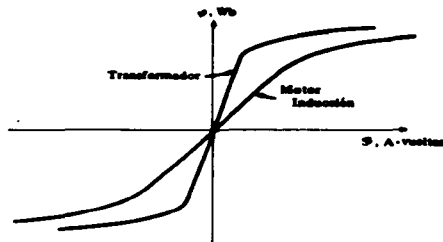


Figura 1.5.6. Curva de magnetización de un motor de inducción comparada con la de un transformador.

1.5.7. ANÁLISIS DE OPERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.

Corriente en el rotor:

$$I_2 = \frac{E_z}{Z_z}$$

E_z = Voltaje inducido en el rotor.

Z_z = Impedancia del rotor.

Como el rotor de un motor de inducción no puede nunca girar a la velocidad síncrona, el deslizamiento S se define como la diferencia entre la velocidad de operación expresada en porcentaje:

$$\%S = \frac{N_s - N_2}{N_2} \cdot 100\%$$

N_2 es la velocidad del rotor en R.P.M.

Donde:

$$N_2 = N (1 - S).$$

La frecuencia del rotor. La frecuencia de la corriente del rotor en reposo ($S = 1$) será la misma que la frecuencia del estator, cualquiera que sea el número de polos. En reposo el motor es un simple transformador estático polifásico, en que el estator actúa como primario y el rotor como secundario; la expresión se dará como sigue:

$$F_2 = SF.$$

Siendo F_2 la frecuencia del rotor, S el deslizamiento y F la frecuencia del estator.

1.5.8. EL CIRCUITO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.

El circuito de un motor de inducción se puede representar en forma semejante al circuito de un transformador, ya que consta esencialmente de dos devanados enlazados por un flujo magnético Φ . En el transformador la carga del secundario es eléctrica, mientras en el motor de inducción es mecánica; no obstante, en un caso eléctrico equivalente al del motor de inducción, la carga mecánica se puede reemplazar por una resistencia R tal que:

$$R = \frac{R_2(1-S)}{S}$$

R_2 es la resistencia del rotor.

S es el deslizamiento.

R la resistencia que reemplaza a la carga mecánica.

Una resistencia equivalente será entonces la suma de la propia R_2 más la resistencia R .

$$R_2 + R = R_2 + \frac{R_2(1-S)}{S}$$

Por lo tanto:

$$Z_z = \frac{R_2}{S} + X_2 \quad , \quad I_2 = \frac{E_2}{\frac{R_2}{S} + X_2}$$

$$I_2 = \frac{SE_2}{R_2 + SX_2}$$

El factor de potencia:

$$\cos \theta = \frac{\frac{R_2}{S}}{\frac{Z_z}{Z_z}} = \frac{R_2}{R_2 + SX_2}$$

La fem del primario a la del secundario es:

$$\frac{E_1}{E_2} = a$$

La correspondiente relación de transformación de corrientes que convertirá la verdadera corriente del secundario por fase en la equivalente corriente del primario será:

$$\frac{m_2}{m_1}, \frac{1}{a}$$

en donde m_1 es el número de fases del primario y m_2 el número de fases del secundario. El factor de potencia por el que hay que multiplicar la resistencia, reactancia e impedancia del secundario para expresarlas en términos equivalentes del primario es:

$$\frac{m_1 a}{m_2}$$

Por razones de conveniencia en el desarrollo del análisis, resulta más oportuno trabajar con magnitudes del secundario expresadas en función del primario; pero con objeto de distinguir estos valores equivalentes de los valores verdaderos, las magnitudes equivalentes utilizaremos el subíndice a ; así, E_{2a} representará la fem del secundario reducida en función del primario, por lo que:

$$E_{2a} = E_1 = aE_2$$

A continuación el circuito equivalente exacto:

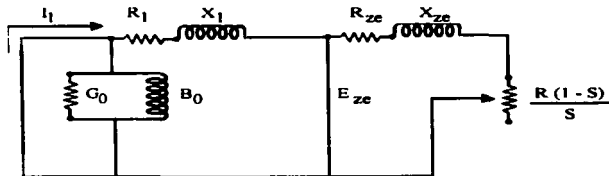


Figura 1.5.7. Circuito equivalente

En donde:

V_1 = Tensión aplicada al primario por fase.

R_1 = Resistencia del estator.

X_1 = Reactancia del estator.

X_{2s} = Reactancia del rotor medida a la frecuencia de línea y expresada en función del primario.

R_{2s} = Resistencia del rotor expresada en función del primario.

$G_0 + jB_0$ = Admitancia de excitación.

$R_0 + jX_0$ = Impedancia de excitación.

En general, la caída de tensión por impedancia en el voltaje $I_1 Z_1$ es pequeña en porcentaje de la tensión aplicada V_1 , por lo que es muy pequeño el error implicado al considerar E_1 como substancialmente igual a V_1 . Por lo que, el circuito equivalente del motor polifásico de inducción será la figura 1.5.8.

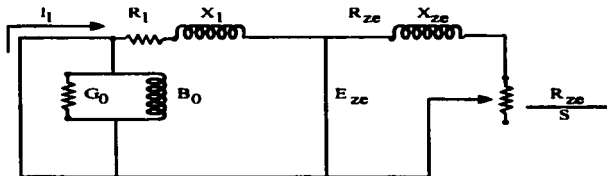


Figura 1.5.8. Circuito equivalente.

Condiciones para el circuito equivalente del motor de inducción:

- En el punto de reposo $S = 1$.
- La potencia mecánica = 0.

La potencia real de entrega del rotor, se convierte en calor. La condición del punto de reposo del motor con rotor devanado con anillos deslizantes en cortocircuito es igual a un transformador con secundario en cortocircuito.

• Con deslizamiento $S = 0$.

El rotor representa un circuito abierto aún cuando los anillos deslizantes pueden estar en cortocircuito. Debido a que si $S=0$. Entonces:

$$\frac{R_2}{S} = 0$$

Y la corriente del rotor debe ser igual a 0, la condición 0 deslizamiento corresponde a operar un transformador sin carga; ya sea que el rotor esté realmente en circuito abierto o ya sea que esté en corto girando a $S = 0$. Parte del voltaje aplicado al embobinado del estator, principalmente E_2 produce flujo mutuo que requiere una corriente de excitación. La componente de las pérdidas del núcleo de la corriente de excitación o corrientes de pérdidas de hierro:

$$I_{fe} = I_e$$

la corriente de excitación I_m es la suma de 2 componentes:

$$I_m = I_h + I_e$$

En el motor de inducción la reactancia de magnetización es alta para mantener la corriente I_m baja. El voltaje aplicado al estator debe ser no sólo suficiente para reducir el voltaje E_2 adicionalmente debe sobreponerse a la impedancia Z de estator de dispersión.

A continuación se muestra el transformador ideal:

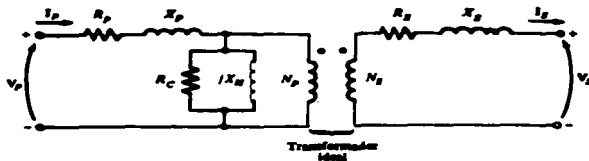


Figura 1.6.0. Circuito equivalente del transformador real.

La corriente del rotor reacciona con el embobinado del estator a la frecuencia del estator sin tomar en cuenta el valor del deslizamiento bajo operación de estado estable balanceado, induciendo un voltaje en el estator o embobinado primario sin tomar en cuenta el deslizamiento S . Este resulta del hecho de que las corrientes del rotor polifásico a un deslizamiento S tienen una frecuencia F , produciendo una fmm del rotor que gira SN_{SIN} R.P.M., relativa al rotor en la misma dirección rotacional que el flujo del estator, mientras está girando a una velocidad $N_{SIN}(1-S)$ R.P.M. en la misma dirección.

La velocidad resultante de la fmm del rotor relativa a la del estator es la suma de estas 2 velocidades, es decir:

$$SN_{SIN}(1-S)N_{SIN} = N_{SIN}$$

Que es la velocidad sincrónica, también aquella de la fmm producida por la corriente del estator a la frecuencia f del estator. Se puede usar al transformador ideal, en el que el circuito equivalente es:

Las cantidades del rotor se muestran en el secundario del transformador ideal.

Siendo $\frac{(1-S)R}{S}$ la carga mecánica.

1.5.9. CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO PARA EL MOTOR JAULA DE ARDILLA.

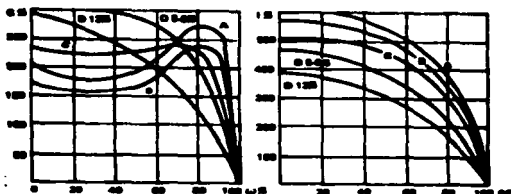


Figura 1.6.1. Características normales de un motor de 20 HP con rotor de Jaula de Ardilla, cuyo par, factor de potencia, rendimiento, intensidad de corriente, potencia y velocidad se representan por curvas en función de la potencia útil hasta el 200% de la carga.

El motor Jaula de Ardilla marcha a velocidad prácticamente constante. El rotor marcha con cierto grado de desplazamiento; en vacío, el deslizamiento es muy pequeño, pero al aplicar la carga al rotor se requiere un aumento de la densidad de corriente que pasa por el para desarrollar el par necesario para vencer el aumento de carga. El campo magnético giratorio debe cortar los conductores del rotor a mayor velocidad, para que se produzca el aumento de corriente necesario. En este caso aumentará el deslizamiento y disminuirá la velocidad del rotor. En motores de 50 HP o mayores, el deslizamiento es del orden del 1 a 2% a plena carga; en los más pequeños puede llegar al 8 ó 10 % a plena carga.

El factor de potencia aumenta con la carga y alcanza su máximo valor para una carga que suele estar próxima a la de régimen. Con mayores incrementos de carga, el factor de potencia se reduce.

En vacío el motor absorbe una corriente, que es principalmente de imanación, aunque tiene una pequeña componente energética necesaria para alimentar las pérdidas en vacío. El factor de potencia en vacío ($\text{Cos } \theta$), toma valores reducidos del orden del 0.15 al 0.15. La f.c.e.r. del motor se mantiene aproximadamente constante en vacío y a plena carga. El flujo, por lo tanto, permanece prácticamente constante, como sucede en un transformador, de modo que la corriente de imanación varía solo ligeramente entre vacío a plena carga. Al aplicar carga al motor, se necesita una corriente de intensidad I' , casi en fase con la tensión V en los bornes, pero ligeramente retrasada, para equilibrar la carga. Esta corriente cuando se combina con I_0 da la corriente total I_1 , para esta carga el factor de potencia resultante es ($\text{Cos } \theta$). Cuando la carga aumenta, se requiere una intensidad mayor I_2 , y la total es entonces I_3 , a la que corresponde un factor de potencia $\text{Cos } \theta_2$. Se observa que el ángulo del factor de potencia disminuye y que, por lo tanto, su coseno aumenta, al aumentar la carga en el motor. El aumento de las caídas de tensión por reactancia en el estator y el rotor, debidas al aumento de la carga, tienden a producir una reducción del factor de potencia y, cuando la carga pasa de determinado valor, puede producirse aún una reducción del factor de potencia.

Al principio, el rendimiento crece rápidamente y alcanza un valor máximo por la misma causa que tiene lugar en otros aparatos eléctricos. En todas las cargas hay pérdidas fijas, tales como las que se producen en el núcleo y las debidas a resistencias pasivas. Además, hay pérdidas debidas a la carga I^2R que crecen, poco más o menos. Para cargas ligeras, por lo tanto, el rendimiento es bajo porque las pérdidas fijas son grandes, comparadas con la potencia absorbida. Al crecer la carga, el rendimiento aumenta hasta un máximo, para el cual las pérdidas fijas y variables son iguales, las pérdidas I^2R adquieren mayor importancia y hacen descender el rendimiento. Enumerando las características notables:

1) VELOCIDAD PRÁCTICAMENTE CONSTANTE. La velocidad se reduce en un 3%, aproximadamente, desde la carga cero hasta la plena carga.

2) **GRAN CONFIABILIDAD.** No hay escobillas que cambiar ni tampoco interruptores centrífugos dentro del motor. El único contacto físico entre el eje rotatorio y el resto del motor es en los cojinetes.

3) **FÁCILMENTE REVERSIBLE.** Puede invertirse la rotación de uno de estos motores intercambiando solamente dos de las tres conexiones de línea. El cambio de marcha puede hacerse estando la máquina en reposo o en movimiento, pero las inversiones frecuentes tienden a calentar el motor.

4) **VELOCIDAD FIJA.** A 60 c/s, los motores giran a 1725 R.P.M. Los construidos para 50 y 25 c/s lo hacen a 1425 R.P.M.

5) **PAR DE ARRANQUE ALTO.** Estos motores desarrollan pares de arranque de 200 a 350 % de valor normal a plena carga, dependiendo del tamaño del motor.

Un motor de inducción polifásico de Jaula de Ardilla es uno de los motores más simples y en grandes tamaños se utiliza extensamente. La mayor parte de sus ventajas inherentes se obtienen también en los de tamaño pequeño; por tanto, donde puede emplearse corriente de varias fases, suele preferirse sobre el monofásico.

Además, proporciona la máxima potencia para valores dados de tamaño de armazón, peso y velocidad. Su calificación o potencia nominal es mayor que la de un motor con devanado monofásico en la misma armazón. El par de arranque es también más grande y siempre uniforme, cualquiera que sea la posición del rotor. El par de marcha es prácticamente constante y carece totalmente de las pulsaciones que se tienen con frecuencia en los motores monofásicos. El motor polifásico es, en consecuencia de muy poca vibración. Los motores de Jaula de Ardilla no toman las altas intensidades de arranque de los de fase partida y por tanto, pueden usarse con ventaja donde se quiere alto par de arranque y baja intensidad en el mismo.

1.6.0. APLICACIONES DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

Los motores Jaula de Ardilla son máquinas motrices altamente confiables y pueden utilizarse para impulsar cualquier máquina de velocidad constante donde se dispone de C.A.. Se emplean con frecuencia en equipo industrial y excepcionalmente en aparatos domésticos, puesto que por lo general, el servicio de esta clase es de corriente monofásica de 110 a 120 volts.

Los motores tipo considerado generalmente están devanados para 220 V, aunque en algunos centros urbanos hay redes de C.A. de 208 V, para las que suelen fabricarse motores sobre pedido. Aunque lo estándar es fabricar motores trifásicos,

podrían suministrarse motores de otra clase. Las potencias de los motores polifásicos de Jaula de Ardilla varían ampliamente. Los de potencia fraccionaria regularmente desde 1/70 hasta 1/4 HP a 1725 R.P.M. Por regla general no pueden proporcionarse motores de velocidades más bajas debido a que su estator no tendría las suficientes ranuras para alojar el devanado.

1.6.1. CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR JAULA DE ARDILLA.

Es muy semejante a la de cualquier motor moderno de inducción. Consiste en un estator devanado montado dentro de una armazón cilíndrica, en un rotor de Jaula de Ardilla montado sobre un eje y dos soportes o tapas que sostienen los cojinetes.

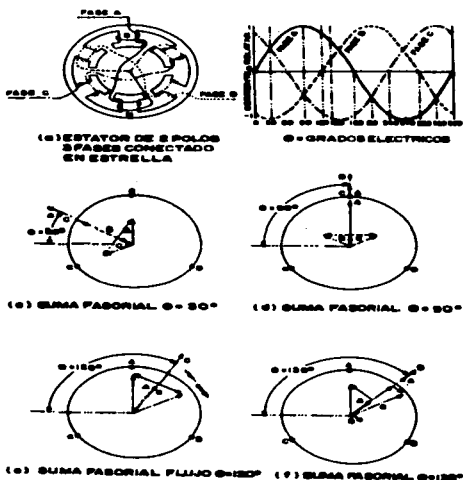


Figura 1.6.2. Desarrollo de un campo rotatorio constante.

Se fabrican normalmente desde un diámetro de 85 mm. ($3^{21/64}$). Todos los motores de este tipo se diseñan para largo tiempo de servicio y pueden durar tanto como las máquinas que accionan, a menos que las condiciones de trabajo sean extremadamente desfavorables. Se fabrican con cojines de casquillos o balsas y pueden ser de los tipos ventilado o totalmente cerrados para instalación vertical u horizontal.

El motor trifásico, es el más usado de los motores polifásicos, se conecta a los tres conductores de la línea, tiene tres devanados de estator distribuidos en las ranuras de éste y separados entre sí 120° grados eléctricos. Tales devanados (llamados "fases" del bobinado trifásico) pueden conectarse sucesivamente por sus extremos en la forma denominada en delta o estrella, uniéndose los conductores terminales a las tres puntas de conexión. Se utiliza con frecuencia porque se obtienen menores intensidades de fases, por tanto, conductores de menor diámetro para el mismo voltaje de línea.

1.6.2. CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN POLIFÁSICO.

1.6.2.1. DEVANADO IMBRICADO.

Es aquél en que las bobinas de cada grupo polar de una fase se conectan directamente entre sí o bien hacia atrás y hacia adelante sobre ellos mismos. Los devanados imbricados se utilizan generalmente en máquinas de C.A., debido a que son más fácilmente adaptables a estatores con varios números de ranuras.

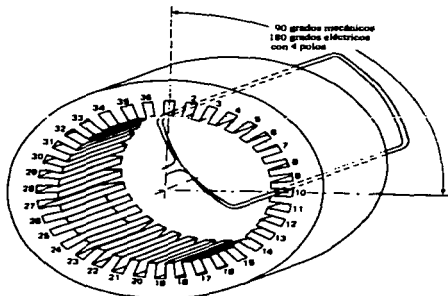


Figura 1.6.3. Estator de 4 polos de c.a.

1.6.2.2. DEVANADO ONDULADO.

Es aquél en que bobinas colocadas correspondientemente bajo polos adyacentes se conectan en serie de tal manera que el circuito continúa de polo a polo una o más veces alrededor del núcleo del estator, y no va hacia adelante y hacia atrás sobre sí mismo como en el imbricado. En un devanado ondulado, el circuito reingresa por el primer grupo de bobinas después de haber pasado por lo menos por otro grupo de bobinas del devanado. El número total de estos circuitos tiene que ser un múltiplo del número de fases y ordinariamente es el doble.

Los devanados ondulosos que se usan máquinas de gran tamaño se hacen siempre con bobinas de tira o barra de cobre, en dos capas. La aplicación principal es en los grandes motores de inducción de rotor devanado y anillos rozantes, debido a la mayor resistencia mecánica que tienen los cabezales de las bobinas en este caso. Los devanados ondulosos de estatores de motores de inducción deben estar eléctricamente equilibrados; es decir, cada fase deberá de tener el mismo número de bobinas o de espiras. El número de ranuras activas en cada fase y sección tiene que ser múltiplo del producto de número de polos y el número de fases. Para el caso de 4 polos y 3 fases, la sucesión de ranuras sería 12-24-36-48-60-72, etc.

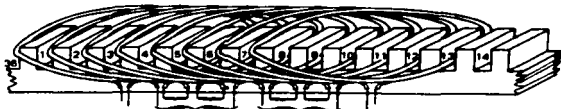


Figura 1.6.4. Devanado ondulado.

1.6.3. PRINCIPIOS DE DEVANADOS DE POLOS CONSECUTIVOS PARA MOTORES DE INDUCCIÓN.

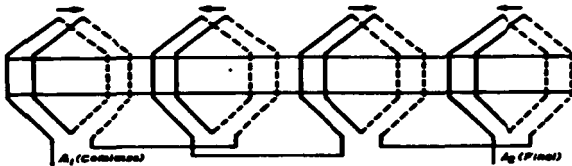


Figura 1.6.5. 24 ranuras, 4 polos.

La figura contiene un número de ranuras igual a 24, un número de polos igual a 4, el paso fraccionario entre bobinas es de 1.5. Esta es sólo la fase A de un devanado trifásico que sirve para mostrar el método usual de conexión (jumpers), cortes de parte superior a superior y de inferior a inferior. Recórrase y márquese las polaridades en las posiciones correctas. Este tipo de conexión no es adecuado para devanados de polos consecuentes.

La figura siguiente nos muestra una conexión con derivación central TAP.

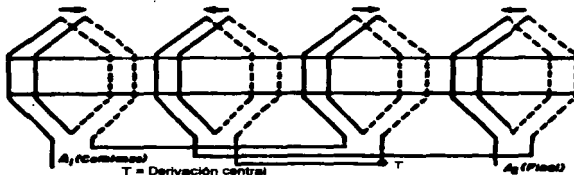


Figura 1.6.5. Conexión con derivación central TAP.

Aquí se ilustra el método de conexiones largas en una fase de un devanado trifásico de parte superior a inferior y de inferior a superior. Recórrase el circuito de 4 polos sin considerar la derivación (TAP) central y márquese las polaridades en su posición correcta. Nótese que los polos se establecen en la misma posición que en el método corriente de conexión.

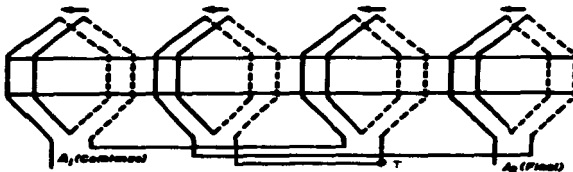


Figura 1.6.7. En sentido contrario la corriente.

La figura ilustra una conexión igual que la anterior. Recórrase el circuito desde la derivación central. Esta derivación pone en paralelo las dos secciones del devanado de una fase, invierte el sentido de la corriente.

En la mitad de los grupos de bobinas, produce 4 polos regulares y 4 consecuentes. Obsérvese que se invierten el orden de las fases y que será necesario intercambiar dos puntos terminales (leads) en este tipo de conexión para obtener el mismo sentido de rotación del motor.

Con estas reglas puede aplicarse para determinar las marcas terminales de un estator de un motor trifásico de inducción sin importar cuantos circuitos por fase pueda haber o cómo estén conectados y determinar concretamente qué circuitos pertenecen a la misma fase, así como su polaridad.

1.6.4. FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE ROTOR DEVANADO

Un rotor se le puede colocar un devanado de conductores aislados en forma similar a como se devana el estator, y la conexión a él puede realizarse a través de anillos rozantes. Puede conectarse al circuito del rotor una resistencia externa. Generalmente la resistencia externa es ajustable de tal forma que las características pueden modificarse. Aquí que se tiene un motor de inducción con rotor de resistencia variable, capaz de combinar el alto par de arranque del rotor de alta resistencia con las favorables características de marcha del rotor de baja resistencia. El par es proporcional al flujo, a la corriente en el rotor y al coseno del ángulo de defasamiento entre el flujo y la corriente inducida. El flujo del motor de inducción es prácticamente constante porque lo es la F.C.E.M. Si se agrega una resistencia al circuito del rotor, la impedancia del rotor aumenta; si el deslizamiento es constante, la F.E.M. inducida en el rotor es invariable. La corriente en el rotor que es igual a esta F.E.M. dividida por la impedancia, decrece, como coseno no crece tan rápidamente como decrece la corriente en el inducido, el par debe disminuir.

Para que el par adquiera su valor anterior, debe aumentar la corriente del rotor. Como el flujo es constante, el aumento de la F.E.M. inducida solo se puede obtener aumentando la velocidad con la que los conductores del rotor cortan el flujo, por lo que el deslizamiento debe aumentar cuando se intercala una resistencia en el circuito del rotor. Se explica que el par, viene dado en función de la velocidad expresada en por ciento de la de sincronismo, lo mismo que el deslizamiento. El número sobre las curvas indica la resistencia del circuito del rotor en por ciento del valor necesario para obtener el par nominal al arranque. La curva (a) corresponde al caso de que (b) representa el resultado obtenido al intercalar un 10% de resistencia en dicho circuito. Los valores del deslizamiento para un par dado son mayores en este caso y el par máximo se alcanza con el 50% de deslizamiento aproximadamente.

La curva (c) corresponde al caso de intercalar un 20% de resistencia. Para el tipo particular de motor a que la figura se refiere, este 20% produce el par máximo en el momento del arranque; con 40% de resistencia, se obtiene el 205% del par

nominal a plena carga en el momento del arranque; con 100% de resistencia se obtiene el par nominal en el arranque. Al aumentar la resistencia del rotor, el par nominal y el par máximo corresponden a valores cada vez mayores del deslizamiento. Haciendo que la resistencia del rotor sea igual a su reactancia en reposo ($R_2 = X_2 = 2NFL^2$), se obtiene el par máximo en el arranque (curva c).

Quando se aumenta la resistencia del rotor, éste gira del rendimiento, porque se han aumentado las pérdidas I^2R en el rotor. La figura mostrada representa también la corriente en función de la velocidad y del deslizamiento. Sin resistencia alguna, la intensidad de la corriente de arranque es el 47% de su valor a plena carga y el par de arranque es el 470% de su valor a plena carga y el par de arranque es el 86% del valor nominal. Con 10% de resistencia se obtiene el 205% del par con solo 160% de intensidad.

El número de polos para el cual se hace el devanado del rotor es igual al número de polos del estator. El par desarrollado por el rotor depende también de la posición relativa de sus grupos de fase respecto a los del estator. Por lo tanto, a veces el par de arranque puede ser anormalmente bajo. No obstante, si hay mucha resistencia en el circuito del rotor en el arranque, la reducción del par no suele ser importante.

Generalmente el motor de inducción de rotor devanado se arranca con alta resistencia en el circuito del rotor, obteniéndose alto par de arranque con baja corriente de arranque; la resistencia externa se va suprimiendo gradualmente conforme el motor toma velocidad. Éste método de arranque es ventajoso cuando se tienen arranques con cargas pesadas en sistemas de capacidad limitada. Otra ventaja es que las pérdidas por calentamiento se disipan fuera del motor.

Normalmente en prensas troqueladoras se emplean motores jaula de ardilla, diseño D. Sin embargo, para éste tipo de máquina se ha empleado un motor de rotor devanado, cuyo devanado trifásico de baja resistencia de conecta a una resistencia de nicromo-carbón para trabajo pesado, montada como un ventilador en la flecha del motor. Esta resistencia no es ajustable, pero se reemplaza fácilmente en caso de dañarse. El devanado del rotor está más propenso a fallas bajo condiciones extremas de sobrecargas imprevistas o frenado. El control del deslizamiento es otra característica aprovechable debida a la resistencia ajustable del motor de rotor devanado. La operación con alto deslizamiento es mas ventajosa para los cojinetes que el efecto de rueda volante, en cargas pico.

El motor de rotor devanado proporciona un fácil control de velocidad para ciertos tipos de cargas: bombas centrifugas, ventiladores, prensas de impresión. Insertando resistencia, la velocidad puede controlarse hasta un 50% de la velocidad estable; abajo del 50% de la velocidad síncrona generalmente no es satisfactoria. Si la carga fluctúa, la velocidad también variará; cuando la carga es estable es posible tener un buen control. Las grúas y elevadores representan una aplicación que aprovecha todas las ventajas de las características del motor de rotor devanado: alto

par de arranque, baja corriente de arranque, control de velocidad y deslizamiento bajo cargas pico.

Las resistencias que se emplean con los motores de rotor devanado, se agrupan en tres fases; cada fase tiene la misma resistencia total y el mismo número de pasos. Generalmente los pasos de las resistencias se arreglan de tal forma que el promedio de la corriente de aceleración sea alrededor del 125% del valor de plena carga. NEMA clasifica las resistencias de acuerdo al servicio y experiencias con diferentes tipos de aplicación de los motores. En consecuencia se les asigna clase y número. Las diferentes clases se agrupan ampliamente como: resistencias de servicio intermitente y de servicio continuo (usualmente para regulación de velocidad). Las pérdidas de potencia, resultado del incremento de la resistencia, es la más obvia desventaja de un motor de rotor devanado. Aunque el calentamiento que representa la pérdida de potencia de disipa donde no puede dañar al motor, ello no disminuye la energía consumida. Se han desarrollado varios diseños para recuperar las pérdidas de potencia. Uno de ellos se representa Consiste de un motor de rotor devanado y un motor de corriente continua en la misma flecha. En tamaños grandes los dos motores pueden ser máquinas separadas acopladas entre sí; en unidades pequeñas las dos máquinas están en una sola armazón. La resultante es una máquina de C.A. de velocidad ajustable, con ajustes de velocidad infinitos dentro de su rango de operación. Los rangos de velocidad estándar son 3:1, 2:1 y 1½ :1 . Estos motores han sido usados en una gran variedad de máquinas. incluyendo extractores, bombas, ventiladores, etc. Durante el tiempo de arranque se conecta resistencia al circuito del rotor, generalmente de un paso, con par de arranque seleccionado del 100% al 300% del par a plena carga. Con la máquina ya en marcha, las resistencias son cortocircuitadas y la corriente del rotor fluye directamente al puente rectificador trifásico.

La salida del rectificador es la alimentación para el circuito de la armadura de la maquina de C.C. El campo de C.C. se energiza por medio de un rectificador separado, alimentado de la línea de C.A. Reforzando el campo se disminuye la velocidad de salida de la máquina y esto causa un mayor deslizamiento para la máquina de C.A., aumentando el flujo de potencia del rotor de C.A. a la armadura de C.C. . Debilitando el campo de C.C. se obtiene el efecto contrario, incrementándose la velocidad. El par de salida de la máquina de C.A. y C.C. a plena velocidad de la máquina de C.A. proporciona el 100% del par. A plena velocidad la máquina de C.A. proporciona el 100% del par. Al 50% de la velocidad el par esta formado igualmente por ambas.

La corriente de línea se suministra a un devanado de CA de un rotor a través de anillos rozantes; éste es el mismo devanado que está normalmente en el estator de un motor de inducción. El segundo devanado del rotor se conecta como un devanado de corriente directa a un conmutador. Un tercer devanado está en el estator de la máquina. Éste es el devanado correspondiente al devanado del rotor de un motor normal de rotor devanado. La salida de este devanado se conecta al

conmutador por los tres devanados que determinan las características velocidad par. La velocidad es ajustable cambiando la posición de los grupos de escobillas. Las escobillas pueden moverse manualmente o por medio engranes manejados por un control motorizado.

1.6.5. CLASES DE MOTORES DE INDUCCIÓN POLIFÁSICOS.

Los motores de inducción polifásicos de los tipos de Jaula de Ardilla y rotor devanado (o de anillos rozantes), se dividen en las siguientes clases para determinar las marcas de terminales.

CLASE 1. Motores trifásicos con una sola velocidad de sincronismos.

CLASE 2. Motores trifásicos con 2 velocidades de sincronismos por tener un devanado reconectable.

CLASE 3. Motores trifásicos con dos o más velocidades de sincronismos por tener 2 o más devanados independientes.

CLASE 4. Motores bifásicos con una sola velocidad de sincronismo.

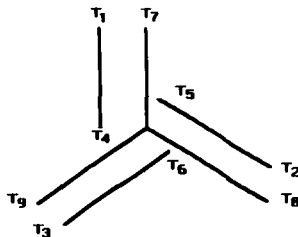
CLASE 5. Motores bifásicos con 2 velocidades de sincronismo por tener devanado reconectable.

CLASE 6. Motores bifásicos con 2 o más velocidades de sincronismos por tener 2 o más devanados independientes.

1.6.6. FINES DE LAS REGLAS QUE SE APLICAN A LOS MOTORES DE INDUCCIÓN.

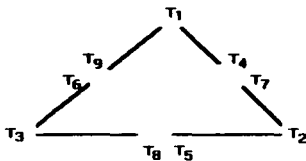
Las marcas de las terminales de un motor tienen por objeto indicar las relaciones eléctricas entre los diversos circuitos de un motor. Los devanados de un motor rara vez son accesibles y la disposición de los números de terminales en el tablero respectivo varía con la combinación de las conexiones requeridas. Sin embargo, si se emplea un sistema determinado de numeración, la marcación de los terminales puede expresar las relaciones exactas entre los devanados de un motor.

**1.6.7. LA CONEXIÓN PARA UNA SOLA VELOCIDAD DE SINCRONISMO.
NORMA UTILIZADA N.E.M.A.**



VOLTAJE	L ₁ L ₂ L ₃	UNIR		
Bajo	T ₁ T ₂ T ₃	T ₁ T ₇	T ₂ T ₆ T ₄ T ₈ T ₆	T ₃ T ₉
Alto	T ₁ T ₂ T ₃	T ₄ T ₇	T ₅ T ₈	T ₉ T ₉

1.6.7.1. EN LA CONEXIÓN DELTA.



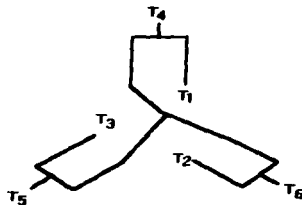
En donde T₁, T₂, T₃ están en sentido horario en todos los casos y siempre designarán las terminales de línea para baja velocidad para todas las clases mencionadas.

VOLTAJE	L ₁ L ₂ L ₃	UNIR		
Bajo	T ₁ T ₂ T ₃	T ₁ T ₆ T ₇	T ₂ T ₄ T ₆	T ₃ T ₈ T ₉
Alto	T ₁ T ₂ T ₃	T ₄ T ₇	T ₅ T ₈	T ₉ T ₉

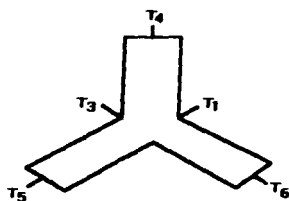
Para la clase 2. Se determinan las marcas terminales, tomando en cuenta la consecuencia de que parte de los terminales sigan el sentido horario y parte el sentido contrario, con objeto de obtener rotación en el mismo sentido a ambas

velocidades cuando los conductores de línea se conectan a cada grupo de terminales en la misma sucesión.

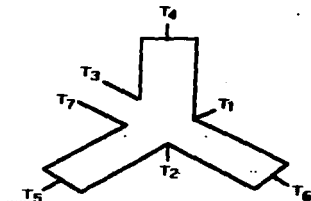
1.6.7.2. CONEXIÓN PARA MOTORES DE PAR VARIABLE.



VELOCIDAD	L ₁ L ₂ L ₃	ABIERTAS	UNIR
Baja	T ₁ T ₂ T ₃	T ₄ T ₅ T ₆	-----
Alta	T ₆ T ₄ T ₅	-----	T ₁ T ₂ T ₃



CASO 1



CASO 2

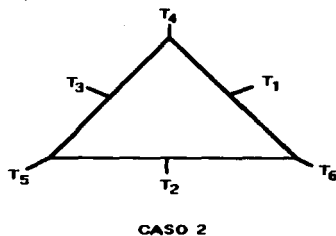
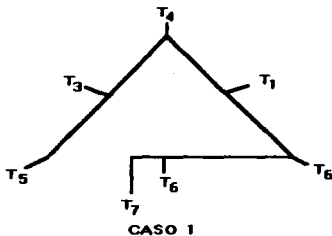
1.6.7.3. CONEXIONES PARA MOTORES DE PAR CONSTANTE.

CASO 1

VELOCIDAD	L ₁ L ₂ L ₃	ABIERTAS	UNIR
Baja	T ₁ T ₂ T ₃	T ₄ T ₅ T ₆	-----
Alta	T ₆ T ₄ T ₅	-----	T ₁ T ₂ T ₃

CASO 2

VELOCIDAD	L ₁ L ₂ L ₃	ABIERTAS	UNIR
Baja	T ₁ T ₂ T ₃	T ₄ T ₅ T ₆	-----
Alta	T ₆ T ₄ T ₅	-----	T ₁ T ₂ T ₃



1.6.7.4. CONEXIONES PARA MOTORES DE POTENCIA CONSTANTE.

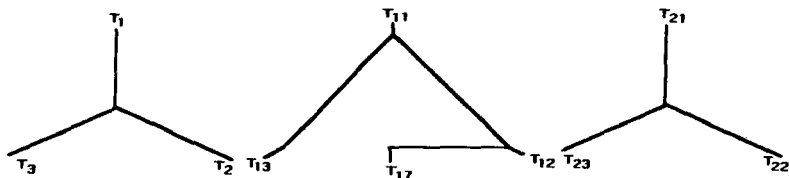
CASO 1

VELOCIDAD	L ₁ L ₂ L ₃	ABIERTAS	UNIR
Baja	T ₁ T ₂ T ₃	-----	T ₄ T ₅ T ₆ T ₇
Alta	T ₄ T ₅ T ₆ T ₇	T ₁ T ₂ T ₃	-----

CASO 2

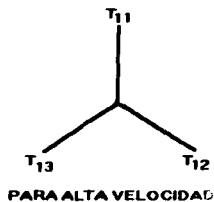
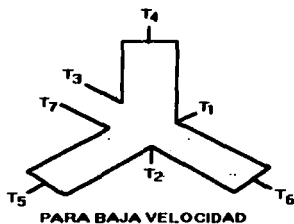
VELOCIDAD	L ₁ L ₂ L ₃	ABIERTAS	UNIR
Baja	T ₁ T ₂ T ₃	-----	T ₄ T ₅ T ₆
Alta	T ₆ T ₄ T ₅	T ₁ T ₂ T ₃	-----

CLASE 3. Si cada devanado independiente de sólo una velocidad de sincronismo del devanado que proporcione la mínima velocidad llevará las marcas determinadas. Cada devanado independiente puede reconectarse para obtener 2 velocidades de sincronismo. Si se emplean 2 o más tipos de devanados independientes, parte de los cuales dan sólo una velocidad de sincronismo y los resultantes dan dos por reconexión.



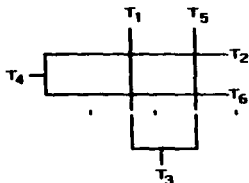
1.6.7.5. CONEXIONES PARA UN MOTOR DE TRIPLE DEVANADO Y TRES VELOCIDADES.

VELOCIDAD	L ₁ L ₂ L ₃	ABIERTAS	UNIR
Baja	T ₁ T ₂ T ₃	T ₁₁ T ₁₂ T ₁₃ T ₁₇ T ₂₁ T ₂₂ T ₂₃	-----
2a A MEDIA	T ₁₁ T ₁₂ T ₁₃ T ₁₇	T ₁ T ₂ T ₃ T ₂₁ T ₂₂ T ₂₃	-----
Alta	T ₂₁ T ₂₂ T ₂₃	T ₁ T ₂ T ₃ T ₁₁ T ₁₂ T ₁₃ T ₁₇	-----



VELOCIDAD	L ₁ L ₂ L ₃	ABIERTAS	UNIR
Baja	T ₁ T ₂ T ₃ T ₇	T ₄ T ₅ T ₆	-----
2a A MEDIA	T ₆ T ₄ T ₅	-----	T ₁ T ₂ T ₃ T ₇
Alta	T ₁₁ T ₁₂ T ₁₃	-----	-----

CLASE 4. Con los circuitos individuales en cada fase dispuestos para conexión serie con la correcta relación de polaridad en los circuitos.

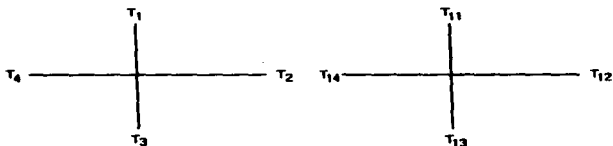


CLASE 5. Los devanados de estos motores no permiten utilizar una regla escrita para determinar sus marcas terminales. Por tal razón es conveniente indicar cada esquema con su marcación.

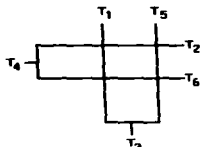
1.6.7.6. CONEXIONES PARA UN MOTOR BIFÁSICO DE PAR VARIABLE Y DOS VELOCIDADES.

VELOCIDAD	L ₁	L ₃	L ₂	L ₄	ABIERTAS
Baja	T ₁	T ₅	T ₂	T ₆	T ₃ T ₄
Alta	T ₁ T ₅	T ₃	T ₂ T ₆	T ₄	-----

CLASE 6. Cada devanado independiente proporciona sólo una velocidad de sincronismo, el devanado que proporciona la mínima velocidad llevará las marcas terminales determinadas para motores de clase 4 para el devanado particular utilizado. Cada devanado independiente puede reconectarse para obtener dos velocidades de sincronismo.

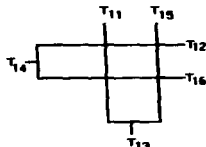


PARA BAJA VELOCIDAD



PARA 3a Y BAJA VELOCIDAD

PARA ALTA VELOCIDAD



PARA 2a Y ALTA VELOCIDAD

1.6.8. TIPOS DE ROTORES EN JAULA DE ARDILLA.

La N.E.M.A. ha tipificado grupos de características, designando clase A, B, C y D.

CLASE A. Corresponde a motores con rotor de baja impedancia; corriente de arranque normal; 5 a 7 veces la nominal y el par de arranque normal, 150 % del nominal.

CLASE B. Rotor de reactancia elevada; baja corriente de arranque, 4.5 a 5 veces la nominal; par de arranque normal; el deslizamiento a plena carga varía entre 1.5 y 3 %; los motores de más de 200 HP pueden tener deslizamientos menores del 1 %.

CLASE C. Rotor de doble jaula de ardilla, baja corriente, alto par de arranque, 225 % del nominal; relativo bajo deslizamiento a plena carga, 15 a 30 %. Tienen alta resistencia de arranque y baja resistencia a la velocidad régimen, alto par de arranque y buen rendimiento, dispone de dos devanados o jaulas, una en la parte superior de las ranuras y otra instalada en el fondo de las mismas. La jaula inferior es de baja resistencia (está hecha con materiales de cobre) y la superior de elevada resistencia (está hecha de latón).

CLASE D. Rotor de alta resistencia; baja corriente de arranque; alto par de arranque, 275 % del nominal. Alto deslizamiento, el cual se puede observar en la figura:

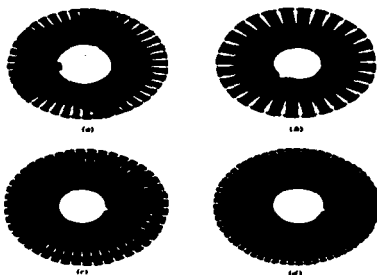


Figura 1.6.8. Laminaciones para rotores típicos de motores de inducción de jaula de ardilla, indicando la forma de la sección transversal de las barras. a) Diseño NEMA clase A: barras grandes cercanas a la superficie. b) Diseño NEMA clase B: barras grandes y profundas. c) diseño NEMA clase C: rotor de doble jaula. d) Diseño NEMA clase D: barras pequeñas cercanas a la superficie.

1.6.9. CARACTERÍSTICAS DEL PAR EN MOTORES DE INDUCCIÓN.

Una desventaja del tipo normal de motor de Jaula de Ardilla es que en el arranque absorbe una corriente intensa con bajo factor de potencia y desarrolla un par pequeño.

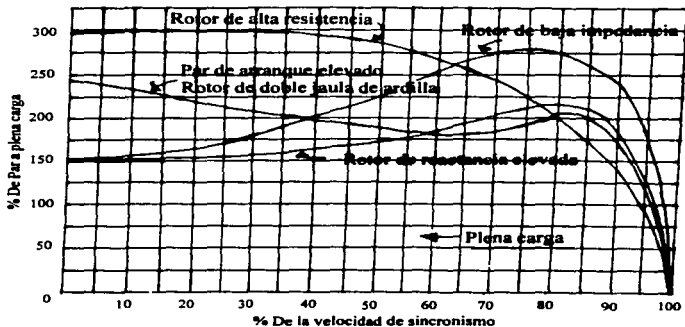


Figura 1.6.9. Variación del par.

La figura 1.6.9. muestra la variación del par con deslizamiento para tres valores distintos de la tensión de alimentación. El pequeño par de arranque se produce por la reactancia del estator y rotor. La reactancia del rotor es proporcional a su frecuencia.

$$X'_2 = 2\pi F_2 L_2$$

La frecuencia del rotor es proporcional al deslizamiento. Cuando el deslizamiento crece, la reactancia del rotor crece proporcionalmente, mientras que la resistencia se traduce en una mayor diferencia de fase entre las corrientes del rotor y las fem inducidas que las producen.

$$\text{Tg } \alpha = \frac{X_2}{R_2}$$

Como éstas corrientes están al mismo tiempo defasadas especialmente con respecto al flujo, se desarrolla menor par. El par de un motor de inducción se puede

reducir aumentando la reactancia del rotor. La baja resistencia del rotor hace que los motores Jaula de Ardilla tengan excelentes características para marchar a velocidad constante.

1.7.0. CARACTERÍSTICAS DE PAR DE LAS MÁQUINAS.

Veamos las características que tienen las figuras que muestra el curso correspondiente de potencia.

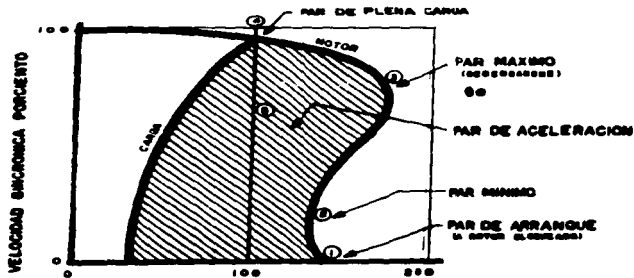


Figura 1.7.0. Par de un motor de inducción.

Estableciendo un orden de acuerdo a las características:

- 1.- Par resistente, prácticamente constante, potencia proporcional a la velocidad de rotación. Se establece, por ejemplo, en mecanismos elevadores, bombas, compresores de émbolo, laminadoras, bandas transportadoras, máquina de herramientas, etc.
- 2.- El par resistente crece proporcionalmente con la velocidad de rotación y la potencia aumenta proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad.
- 3.- El par resistente crece proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad de rotación. Rige para bombas centrifugas, ventiladores y sopladores centrifugos y máquinas de émbolo que alimentan una red de tuberías abiertas.

El par resistente decrece en proporción inversa con la velocidad de rotación permaneciendo constante la potencia. Solamente se considerará este caso para procesos de regulación, presentándose en los tornos y máquinas de herramientas, máquinas emboadoras y descortezadores.

1.7.1. MÁQUINAS CON VELOCIDAD CONSTANTE Y CARGA VARIABLE.

En muchos casos una máquina de velocidad constante tiene una carga variable, es decir, requiere de una potencia equivalente a la máxima requerida por la carga. Para determinar la potencia es necesario determinar el valor cuadrático medio de la misma como sigue:

1.- Multiplíquese el cuadrado de la potencia por el tiempo requerido en segundos, en cada una de las fases del ciclo de trabajo.

2.- Divídase la suma de estos resultados por el tiempo efectivo en segundos para completar el ciclo total. Úsese un tercio de los tiempos de reposo para motores cerrados debido a la disipación calorífica reducida cuando el motor se encuentra separado.

3.- Obtenga el resultado de la raíz cuadrada.

1.7.2. INFORMACIÓN ACERCA DE LAS CURVAS PAR-VELOCIDAD DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.

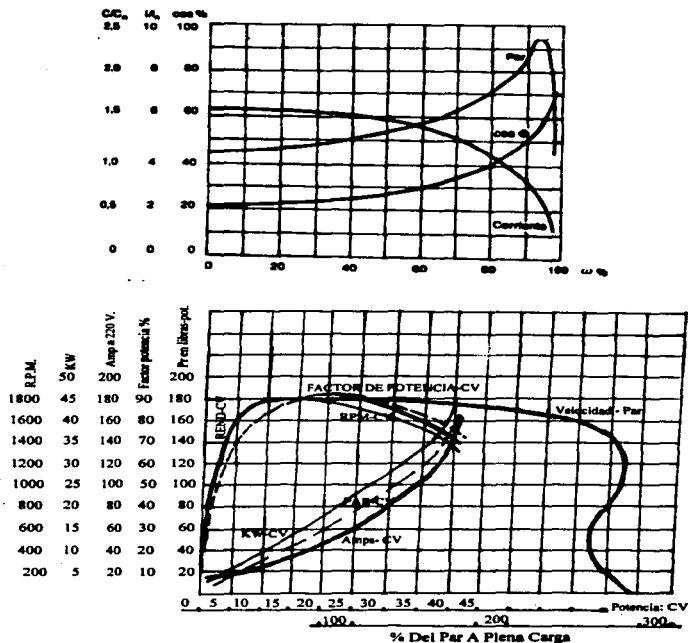
1.- La velocidad sincrónica es cero.

2.- La curva par-velocidad es lineal entre vacío y plena carga.

3.- Existe un par máximo.

4.- El par de arranque del motor es ligeramente mayor que de su plena carga, así el motor debe poder arrancar arrastrando cualquier carga, hasta la nominal.

5.- El rotor gira en dirección contraria a la del campo magnético, el par producido hará que la máquina se detenga rápidamente y comience luego a girar en dirección contraria. Puesto que para invertir el sentido de rotación del campo magnético, basta intercambiar dos de las fases del estator, este hecho se utiliza como forma de frenado rápido.



Figuras 1.7.1. y 1.7.2. Características típicas del par, corriente y factor de potencia de un motor de inducción de jaula.

1.7.3. ARRANQUE DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN.

Los motores de inducción se pueden arrancar simplemente conectándolos a la línea de potencia. Sin embargo, existen algunas razones para no hacerlo así. Por ejemplo, la corriente que necesita la máquina en el momento del arranque puede

causar en las líneas del sistema de alimentación una caída de tensión o voltaje del que no resulte aceptable permitir el arranque directo desde la línea. En motores de rotor devanado, se puede llevar a cabo con corrientes relativamente bajas si se insertan resistencias adicionales en el circuito del rotor durante el arranque. Éstas no solamente disminuyen la corriente de arranque, sino que aumentan el par de arranque.

En motores de inducción de Jaula de Ardilla, las corrientes de arranque pueden tener valores que varían ampliamente dependiendo, en primer lugar, de la potencia nominal del motor, y de la resistencia efectiva del rotor en el instante del arranque. Los motores de jaula de ardilla tienen en su placa de características una letra-código que establece la cantidad de corriente que el motor puede absorber de la red en el momento de arranque.

Estos límites se expresan en términos de la potencia aparente que consume el motor en el instante del arranque, comparada con la potencia nominal de salida dada en caballos de fuerza. La tabla contiene los valores en kilovoltamperios por caballo para cada una de las letras del código.

A	0-3.15	L	9.00-10.00
B	3.15-3.55	M	10.00-11.20
C	3.55-4.00	N	11.20-12.50
D	4.00-4.50	P	12.50-14.00
E	4.50-5.00	R	14.00-16.00
F	5.00-5.60	S	16.00-18.00
G	5.60-6.30	T	18.00-20.00
H	6.30-7.10	U	20.00-22.40
J	7.10-8.00	V	22.40-AAL
K	8.00-9.00		

ESTÁNDAR N. E. M. A.

Para determinar la corriente de arranque de un motor de inducción, se leen de la placa característica los datos de voltaje nominal, caballos de fuerza y letra de código. La potencia aparente consumida por el motor en el instante de arranque será:

$$S_{ar} = (\text{Caballos de fuerza}) (\text{Letra de código}).$$

Y la corriente de arranque se puede encontrar mediante la ecuación:

$$S_2 = \frac{S_{STAR}}{\sqrt{3}Vt}$$

1.7.4. VENTAJAS DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN.

Por sus características, precio y robustez, el motor de inducción es el preferido para la mayor parte de los accionamientos. Hay que destacar que el motor de inducción ideal, tiene una velocidad comprendida entre 900 y 1800 R.P.M. y potencias inferiores a algunos miles de kilovatios. Asociados a los modernos convertidores electrónicos de tensión y de frecuencia variables, los motores de inducción tienden a asumir un papel casi exclusivo en los accionamientos eléctricos en virtud de su importancia.

1.7.5. CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN.

En general, los motores de inducción no son máquinas adecuadas para aplicaciones en las cuales se requiera un amplio control de velocidad. El rango de operación normal de un motor de inducción (con diseño clase A, B ó C), está limitado a menos del 5 % de deslizamiento, y en este rango, la variación de velocidad es más o menos proporcional a la carga conectada al eje del motor. A grandes deslizamientos, la eficiencia es mala, ya que las pérdidas en el cobre del rotor varían. Existen 2 técnicas con las que se puede controlar la velocidad de un motor de inducción. Una de ellas es variar la velocidad sincrónica, que es la velocidad del campo magnético del estator y del rotor ya que esta es siempre cercana a la velocidad sincrónica. La siguiente, variando el deslizamiento del motor para una carga. La velocidad sincrónica de un motor de inducción está dado por la ecuación:

$$N_{\text{SIN}} = \frac{120F_e}{P}$$

De tal manera que los únicos procedimientos que se pueden utilizar para variar la velocidad sincrónica son:

- 1) *Cambiando la frecuencia eléctrica.*
- 2) *Cambiando el número de polos de la máquina.*

El deslizamiento se puede controlar efectuando modificaciones en la resistencia del rotor o en el voltaje de alimentación del motor.

CAPÍTULO I I

**CONTROL DE MOTORES MEDIANTE
EQUIPO DE CONTROL ELECTRICO**

CAPÍTULO I I

CONTROL DE MOTORES MEDIANTE EQUIPO DE CONTROL ELÉCTRICO.

2.1.0. CADA MOTOR EN LA INDUSTRIA CONTROL.

En un sentido más amplio, el término control de motores significa, el emplear las herramientas y los dispositivos necesarios para lograr un control específico, el arranque, la velocidad, la aceleración, el freno, el paro y la protección, más el ajuste de la velocidad del motor. Un control específico puede tener alguna de todas estas funciones, dependiendo de las necesidades de la carga; daremos el buen control mediante el equipo necesario.

2.1.1. CENTROS DE CONTROL DE MOTORES.

Para elegir correctamente un sistema de control para motores eléctricos hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- 1.- La carga, es decir la máquina o equipo que va a mover el motor.*
- 2.- El motor, esto es, cuál de los motores conocido desempeñará mejor su función.*
- 3.- El control, o sea, de qué medios valerse para que el motor arranque, ajuste velocidad y pare.*
- 4.- Por último el costo (mantenimiento y conservación).*

Actualmente en la industria, el motor más utilizado por sus ventajas y economía, es el de corriente alterna trifásica, de inducción con rotor con barras en cortocircuito (jaula de ardilla). El control de mayor aplicación es de tipo magnético. Decimos que en el 80% de los casos, el motor y el control citado son los más favorecidos. Para el diseño de un sistema de control, la manera más sencilla y práctica es hacer uso del dibujo con símbolos eléctricos y diagramas. Un centro de control para motores, es uno o varios gabinetes metálicos, donde se concentran los aparatos de arranque y protección de motores, colocándose éste en cualquier lugar y siendo posible colocar en otro los botones operadores. Un buen número de motores eléctricos se usan en la industria por pequeña que sea.

Antiguamente, junto a cada motor se colocaba en el muro o columna más próxima, un aparato para su control y protección. En muchos casos había que

instalarse en lugares a la intemperie, húmedos, sujetos al polvo o vapores corrosivos que complicaban su conservación. Con el centro de control de motores tenemos ciertas ventajas como son:

- 1.- Aleja los aparatos de control de lugares peligrosos.*
- 2.- El costo de instalación es más barato.*
- 3.- Centraliza el equipo en su lugar adecuado: seco, sin polvo, sin vapores y alejado de la gente no autorizada para su manejo.*
- 4.- El agrupamiento de los aparatos se hace más lógico.*
- 5.- El mantenimiento y conservación se facilitan mucho.*

2.1.2. APARATOS DE CONTROL.

Los aparatos de control son los que tienen por objeto poner en operación los arrancadores, a través de los circuitos que generalmente son de tensión y corriente bajas, para preservar los mismos aparatos y a las personas que los operan. Los aparatos de control pueden ser operados manual o automáticamente por diferentes condiciones prefijadas de nivel de líquidos, presión, temperatura, posición, velocidad. Con el advenimiento de la automatización de procesos industriales, los aparatos de control se han complicado.

Tableros eléctricos. Tienen por objeto alimentar, distribuir y controlar la energía eléctrica dentro del área, donde se genere o utilice; si está bien diseñada, se obtendrá un mejor aprovechamiento de la misma permitiendo economía en su consumo, continuidad en el servicio, protección a las personas y propiedad. Un tablero puede ser pequeño, para ser usado en residencias, subestaciones, etc. En grandes instalaciones industriales donde se manejan desde 1000 a millones de watts, y por lo tanto la energía manejada es más grande, conviene dividirla o seccionarla para facilitar su distribución y control, para hacer el equipo más económico.

Es más fácil diseñar la instalación con varios tableros colocados en lugares a centro de carga, a fin de facilitar el transporte y el montaje para formar un conjunto, teniendo como componente principal los gabinetes.

Gabinetes. Los gabinetes son las cajas metálicas o blindaje que tienen por objeto: montar el equipo eléctrico, de conexión, desconexión, medición y control; conectar interiormente ese equipo; protegerlo de la intemperie, del polvo o de los golpes;

proteger las personas y a la propiedad de descargas accidentales. Son de dos tipos: interior y exterior; los primeros se encuentran bajo cubierta sin que les afecten las condiciones ambientales; los montados al intemperie están sobre una plataforma de concreto expuesto a la lluvia al sol, y a golpes ocasionales.

Botones de control. Estos pequeños aparatos son indispensables para el control magnético manual de los motores. Pueden clasificarse por su función, capacidad, y su comodidad de manejo. Para el control de un motor se usan dos botones: uno de arranque y otro de paro. Además debe haber dos protecciones: por sobrecarga y bajo voltaje; en la primera, la protección es directamente al motor impidiendo que éste se quemé por exceso de carga y la segunda sirve para el mecanismo protegiendo al personal que lo maneja.

Selectores. Los selectores tienen una apariencia exterior diferente a los botones, pero muy frecuentemente los block's de contacto son los mismos. Se usan para seleccionar un circuito de control previamente a la operación del motor. Los selectores se clasifican por su función, capacidad y comodidad al manejarlos. Los hay que tienen un contacto momentáneo; un resorte se encarga de regresar la palanca a su posición original una vez que se suelta; de contacto sostenido, en que la palanca se queda en la posición en que se deja, oprimiendo o liberando el contacto según el caso. Normalmente con una manija pequeña y manija grande con flecha indicadora.

2.1.3. CAJAS DE EMPALME.

Las cajas de empalme, o cajas de terminales, se emplean para la conexión de los motores a los circuitos de alimentación. Normalmente se trata de un dispositivo sencillo, pero en motores de media tensión la caja de conexión merece cuidados especiales.

2.1.4. ARRANCADORES.

Con el objetivo principal de reducir la corriente de arranque se pueden utilizar distintos métodos de arranque. En el caso de que las características de la corriente se mantengan inalteradas, ya que no se aplica una reducción de tensión a las terminales del motor, el parámetro que ahora interviene es el tiempo de aceleración, o sea, se alimentan altas corrientes durante intervalos de tiempo menores. Se debe de resaltar, que cuando la instalación lo permita, el arranque del motor a plena tensión es casi siempre la mejor alternativa desde mi punto de vista.

2.1.5. FUNCIONES BÁSICAS DE UN ARRANCADOR.

A.- ARRANQUE Y PARO DEL MOTOR. Es el trabajo fundamental de todo arrancador, el cual debe ser capaz de conectar y desconectar el motor de la línea, en forma repetida, segura, rápida, confiable y eficaz.

B.- PERMITIR EL CONTROL AUTOMÁTICO. El arrancador es muy apropiado para usarse con una multitud de elementos pilotos cuyos contactos operan en el circuito de la bobina del arrancador. Por ejemplo, de temperatura, presión, límites.

C.- LIMITAR ALTAS CORRIENTES EN EL MOTOR. Por medio de la reducción de voltaje en las terminales del motor o una conexión temporal de los devanados del estator, pueden reducirse la corriente y el par de arranque.

D.- PROTECCIÓN DEL MOTOR Y EQUIPO. El arrancador debe de "liberar" un motor de la línea si éste se sobrecarga o si la entrada de voltaje es baja por un período apreciable. Los arrancadores pueden también incluir protección contra cortocircuito.

2.1.5.1. ARRANCADOR DEL MOTOR. CARGA Y ALIMENTADOR.

Todos los motores de C.A. se conectan directamente a través de las líneas de suministro eléctrico, tomarán una corriente relativamente en el momento de la conexión. Esto a su vez refleja en el par desarrollado por el motor y transmitido a la carga. Además, las corrientes grandes constituyen un pico en la línea de distribución. A medida que el motor acelera, formará su propio voltaje contrario al suministrado, tendiendo así a limitar el flujo de corrientes a valores normales. Pero si el motor se coloca directamente a través de la línea en el arranque, la demanda de corriente será considerable hasta que esté trabajando normalmente. Para la mayoría de los motores y sistemas, éstos amperes de corriente de arranque y el par no son problema.

El sistema puede absorber los disturbios ocasionados y la carga mecánica al par. Bajo esta situación se usan arrancadores a plena tensión. Los arrancadores directos o a pleno voltaje se pueden operar manualmente, en forma similar a como se hace con un interruptor. Otros cierran sus contactos por medio de la acción de un electroimán o bobina de cierre. Con el arrancador magnético, las grandes corrientes que alimentan el estator se manejan a través de un contactor por la acción de una pequeña corriente que alimenta a una bobina, la cual forma con un núcleo un electroimán.

Una ventaja obvia del arrancador magnético estriba en la facilidad que tiene para ser operado, ya sea por medio de botones remotos o cualquier número de elementos piloto. Las pequeñas señales de un proceso son amplificadas por

elementos sensibles para operar relevadores de control, los cuales a su vez energizan o desenergizan la bobina principal del arrancador. Los efectos violentos del arranque, medidos en términos de los propios efectos en la fuente de suministro ó en la carga, serían intolerables en algunos casos en los que se empleara la técnica de arranque directo. Aquí es donde los arrancadores "a voltaje reducido" entran en acción. Con mayor exactitud se trata de arrancadores de "empuje reducido", porque frecuentemente alcanzan el resultado final combinando las conexiones del motor en lugar de bajar el voltaje al estator. Estos arrancadores se utilizan en motores de inducción como Jaula de Ardilla y Motores Sincronos.

Otras aplicaciones, son la protección del circuito alimentador, el arrancador y el motor. En el motor se utilizan los fusibles limitadores de corriente como protección, especialmente con un valor superior de 600 volts. Frecuentemente los fusibles e interruptores se combinan con los arrancadores en un gabinete común (Arrancadores Combinados).

La mayoría de los arrancadores de C.A., proporcionan protección contra sobrecarga y bajo voltaje para los motores que controlan. En ocasiones, los relevadores de sobrecarga están localizados fuera del arrancador, pero generalmente están dentro del gabinete. Hay algunas ventajas en colocar la protección de sobrecarga dentro del gabinete, una de ellas es que se tiene un equipo más compacto. La protección de bajo voltaje en su forma más simple es inherente a la bobina del arrancador.

Los tamaños de los arrancadores se basan en la potencia del motor, voltaje y tipo de servicio. Los estándares que gobiernan los tamaños de arrancadores de motores trifásicos se enlistan a continuación:

0.0	1.5	2
0	3	5
1	7.5	10
2	15	25
3	30	50
4	50	100
5	100	200
6	200	400
7	300	600
8	450	900
9	800	1800

2.2.1. ARRANCADORES A PLENA TENSION.

El arrancador directo a línea es el más ampliamente utilizado, debido a su bajo costo y simplicidad. Existen 2 clases de arrancadores a tensión plena: Manuales y Magnéticos.

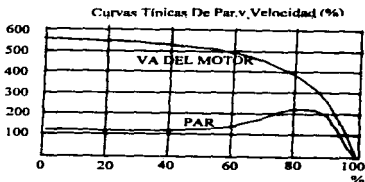


Diagrama 2.1.1. Arranque a plena tensión.



Figura 2.1.1. Arrancador a plena tensión

2.2.1.1. MANUALES.

Los arrancadores manuales llenan los requisitos de arrancadores pequeños, donde el arranque es limitado y no necesita el control remoto. El cierre y apertura

son manuales, siendo la protección por sobrecarga la única característica automática.

2.2.1.2. MAGNÉTICOS.

Son utilizados con motores monofásicos y polifásicos, están constituidos dentro de una caja de material aislante plástico de alta resistencia al impacto y a las atmósferas agresivas. Los arrancadores magnéticos a plena tensión en Siemens de tipo 3TW del Catálogo General de 1993 de Equipo Eléctrico Industrial para Equipos de Baja Tensión, se fabrican ya bajo las normas nacionales NOM-J-32d-77 y NOM-J-290.

2.2.1.3. APLICACIÓN.

Los arrancadores 3TW y K915 de las mismas descripciones que el anterior. Son adecuados para condiciones normales y semipesadas de arranque de motores.

2.2.1.4. ACCIONAMIENTO.

Los arrancadores magnéticos a plena tensión se operan con un botón pulsador doble (1 - 0) arranque-paro, montado en la tapa de la caja. Para motores de pequeña potencia con relación a la potencia de la red, máquinas que no necesitan una progresiva puesta en velocidad.

2.2.1.5. PROTECCIÓN DE MOTORES.

Para la protección de los motores contra sobrecarga, los arrancadores magnéticos a plena tensión contienen un relevador bimetálico. Para la protección contra cortocircuito se deben instalar siempre antes del arrancador, fusible o interruptor de protección apropiados.

2.2.1.6. MONTAJE.

Los arrancadores magnéticos a plena tensión deben instalarse sobre un plano de ser posible vertical. Se admiten posiciones inclinadas en la instalación, con un ángulo de hasta 22.5° con respecto a la vertical y 90° a la derecha o izquierda sobre un plano horizontal.

2.2.1.7. VENTAJAS.

Simplicidad empleada, par de arranque muy enérgico.

2.2.1.8. DESVENTAJAS.

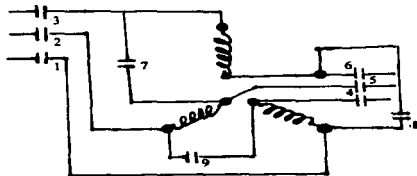
Corriente muy elevada.

2.2.1.9. PRECAUCIONES.

La elevada corriente de arranque puede provocar una caída de tensión, esta caída de tensión debe de limitarse a un 5% con objeto de obtener el cierre franco de los elementos de conexión (interruptores, contactores, etc) y para no disminuir el par de arranque del motor. El sistema de protección contra cortocircuitos, sobrecargas, etc. debe poder soportar la corriente de arranque sin perder su eficiencia durante el funcionamiento del motor a su régimen normal.

2.2.2. ARRANCADORES ESTRELLA-DELTA.

Es el método más conocido y uno de los más sencillos para el arranque de motores de inducción. Para que el método pueda ser aplicado, el motor debe funcionar conectando en delta y poseer seis terminales accesibles, de forma que pueda ser conectado en estrella en el arranque, de tal manera que cada fase del motor tome una tensión que es $1/\sqrt{3}$ de la tensión nominal del motor. De esta forma, la corriente absorbida de la línea queda reducida a 1/3 de la de plena tensión; por otro lado, los pares motores quedan reducidos también a 1/3 de los de plena tensión. La tabla 2.1.2 muestra el esquema de conexiones eléctricas de un sistema estrella delta.



ARRANQUE: CIERRA 1-2-3-4-5-6
MARCHA: ABRE 4-5-6; CIERRA 7-8-9

Curvas Típicas De Par y Velocidad (%)

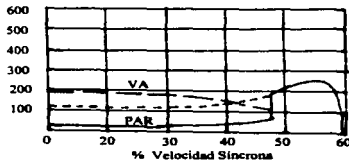


Diagrama 2.1.2. Diagrama de arranque estrella-delta.

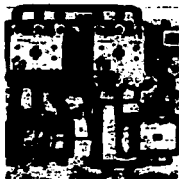


Figura 2.1.2. Montaje arrancador estrella-delta.

Estos arrancadores se utilizan en casos en que los requerimientos son bajos, pero el período de aceleración puede ser prolongado debido a la alta inercia de la carga. Al arrancarse el motor conectado en estrella se aplica aproximadamente el 58% del voltaje de línea de los devanados y el motor toma el 33% de la corriente normal de arranque y desarrolla 33% del par de arranque a plena tensión. Una vez que el motor ha acelerado se reconecta en delta para operación normal. Generalmente se construyen éstos arrancadores con transición abierta, pero se pueden construir con transición cerrada, aunque resulta relativamente caro por el equipo adicional requerido (un contactor tripolar y tres resistencias). Para poder utilizar un arrancador estrella-delta es necesario que el motor esté embobinado para funcionar con los devanados de su estator conectados en delta, y con todos las puntas de ellos instalados en el exterior. Se debe tener en cuenta durante la permanencia de la conexión estrella, el par motor cae aproximadamente a un tercio del desarrollado a plena tensión. Debe hacerse un análisis del comportamiento del par resistente para comprobar si el par de aceleración disponible es suficiente para acelerar la inercia del sistema.

Durante el paso de estrella-delta, el estator es desconectado de la red de alimentación que puede variar típicamente de 0.1 a 0.3 segundos. Debido a la corriente en el rotor, que no se extingue inmediatamente se establece en el entrehierro un campo fijo en relación al rotor, y por tanto, giratorio en relación al estator, induciendo fuerza electromotriz en las terminales estáticas abiertas. Debido al deslizamiento, la fem inducida en las terminales del estator tendrá una frecuencia menor que la de la red. Cuando la conexión triángulo está completada, la fem inducida seguramente estará defasada en relación de la tensión de la red, pudiendo ir de una oposición a una coincidencia de fase (casos extremos). Dependiendo de la situación de cada fase, se podrán producir picos de corriente y de par-motor muy altos. Hay registros de picos de par-motor de 20 veces el par nominal. Esta situación lleva, en algunos casos, a daños en el equipo accionado o en el acoplamiento motor-máquina accionado.

2.2.2.1. VENTAJAS.

Valor de la corriente de arranque reducido a 1/3 parte de su valor respecto al arranque directo.

2.2.2.2. DESVENTAJAS.

Par de arranque reducido a 1/3 parte de su valor respecto al arranque directo; importantes corrientes transitorias en el momento de paso de la conexión estrella a delta.

2.2.2.3. APLICACIÓN.

El arranque está limitado a las máquinas que arrancan en vacío, como son:

- *Máquinas-Herramientas.*
- *Compresores Centrifugos,*
- *Máquinas para trabajar la madera.*
- *Grupos convertidores.*
- *Máquinas Agrícolas.*

2.2.2.4. PRECAUCIONES.

El motor deberá proveerse con sus devanados acoplados en delta para marcha normal y con seis bornes de salida. Por ejemplo un motor destinado al arranque estrella/delta a 220, deberá embobinarse 220/330 V.

Los arrancadores estrella-delta por contactores se han provisto para motores trifásicos con rotor de jaula de ardilla; cuando se exige que las corrientes durante el arranque sean reducidas o se requiere un motor especialmente bajo (arranque-suave) se utiliza si el motor está conectado en delta, la corriente de arranque equivale aproximadamente a la nominal del motor multiplicada por un valor 4 a 8. En el arranque estrella-delta, la corriente de arranque equivale aproximadamente a la nominal del motor multiplicada por 1.3 a 2.7. El par de arranque se reduce 1/3 ó 1/4 del valor correspondiente a la conexión directa. Durante el tiempo de arranque en que se establece la conexión en estrella, el par resistente tiene que ser muy inferior al par-motor. En la mayoría de las ocasiones, esto equivale a arrancar en vacío, o bien a que el par resistente, durante el arranque en estrella, sea reducido y no aumente rápidamente. Los motores pueden someterse a una carga del 30% al 50% de su par nominal aproximadamente (según la clase del rotor).

2.2.2.5. EJECUCIÓN.

Los arrancadores automáticos estrella-delta se componen de tres contactores, un relevador bimetalico ajustable y un relevador de tiempo. Se suministran en cajas de chapa de acero autoportable para usos generales con 2 botones pulsadores: "arrancar" y "parar".

2.2.2.6. ACCIONAMIENTO.

Los arrancadores estrella-delta se pueden controlar por pulsadores, montados en la tapa de la caja, o se operan a control remoto mediante aparatos instalados por separado, como son pulsadores, interruptores, termostatos, etc. Se necesita solamente oprimir el botón "arrancar" para que el motor empiece a girar. El cambio de etapa estrella a delta se hace automáticamente mediante un relevador de tiempo que puede soportar una aceleración suave, sin brusquedad y sin intervención del operador. Los arrancadores se suministran en conexión para accionamiento por botones pulsadores (contacto de corta duración). Para accionamiento por interruptor (contacto permanente), la conexión debe modificarse.

2.2.2.7. PROTECCIÓN DE MOTORES.

Para la protección de motores contra sobrecarga, los arrancadores automáticos estrella-delta se suministran normalmente con relevadores bimetalicos tripolares. Debido a que los arrancadores se suministran con alambrado para accionamiento por medio de pulsadores incorporados (contactos de corta duración) se utiliza un relevador bimetalico sin autobloqueo. Para la protección contra cortocircuito se deben instalar siempre antes del arrancador fusibles o interruptores de protección apropiados.

2.3.1. ARRANCADORES PARA DEVANADO BIPARTIDO.

Este tipo de arrancadores se utiliza cuando las necesidades de par durante el arranque pueden manejarse con el 50% de par a plena tensión. Pueden usarse con motores estándar diseñados para voltaje 220/440 volts. Puede usarse con motores específicamente diseñados para este tipo de arranque en otro voltaje. Para los motores con devanado bipartido y rotor "jaula de ardilla", tiene una construcción semejante a los normales, excepto que los mencionados tienen el estator con devanados idénticos que se pueden conectar en secuencia a la línea de alimentación de energía.

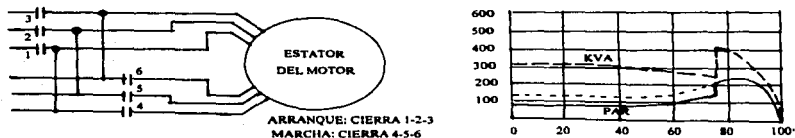


Diagrama 2.1.3. Diagrama de arranquador con devanado bipartido (abierto).

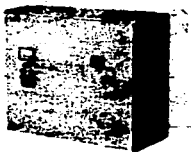


Figura 2.1.3. Arranquador de devanado bipartido.

2.3.1.1. APLICACIÓN.

La protección y el control para este tipo de motores se logra mediante la utilización de un arranquador magnético de dos pasos; inicialmente se conecta a la alimentación una mitad del devanado del estator y luego, cuando el motor marcha cerca de su velocidad de régimen, se conecta la segunda mitad del devanado en paralelo con la sección ya excitada.

La combinación arranquador, motor con devanado bipartido se emplea principalmente para proteger, controlar e impulsar cargas, tales como: bombas centrífugas, sopladores y otros que tengan un par de arranque reducido. También se emplean cuando la corriente de arranque a plena tensión puede producir caídas indeseables en las líneas de distribución o cuando las restricciones de la compañía suministradora de energía, prescribe corriente de arranque reducida.

En los sistemas de acondicionamiento de aire, se tiene un amplio campo de aplicaciones para este tipo de arranque, por el aumento en la capacidad de éstos sistemas y la necesidad de limitar tanto la corriente, como el par de arranque.

2.3.1.2. PROTECCIÓN DE MOTORES.

Para la protección de motores contra sobrecarga, los arrancadores se suministran con dos relevadores bimetalicos tripolares. Debido a que los arrancadores se suministran con alambrado para accionamiento por medio de pulsadores incorporados (contactos de corta duracion), se utilizan relevadores bimetalicos sin autobloqueo.

Si los arrancadores son accionados por medio de un interruptor de contacto permanente (por ejemplo, termostato, interruptor de presion, flotador, etc.), hay que emplear el relevador bimetalico "con autobloqueo". Para la proteccion contra cortocircuito se deben instalar, siempre antes del arrancador, fusibles o interruptores de proteccion apropiados.

2.3.1.3. MONTAJE.

Para motores con devanado bipartido, deben instalarse, de preferencia, sobre un plano vertical. Se admiten posiciones inclinadas en instalacion, con un angulo de hasta 22.5 ° con respecto a la vertical.

2.3.2. ARRANQUE CON AUTOTRANSFORMADOR: A TENSION REDUCIDA.

En la utilizacion de autotransformador para el arranque de motores sucede que, mientras la corriente absorbida de la linea es reducida al cuadrado de la relacion de espiras del autotransformador, la corriente en el motor es reducida segun la relacion de espiras. A pesar de que este metodo tiene, generalmente, un costo alto, presenta la ventaja de permitir el ajuste de la tension y la corriente absorbida.

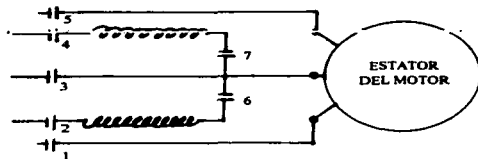
Algunas veces se tienen autotransformadores de arranque con solo dos arrollamientos(dos fases) , su utilizacion implica corrientes desequilibradas en las fases del motor y naturalmente, de la red. La utilizacion de autotransformadores de arranque en solo dos fases se debe hacer solamente en motores proyectados para ello. Reduce el voltaje,, su principal ventaja es que la relacion del par-motor a la corriente de linea es relativamente alta; esto se debe a que las corrientes de linea y del motor no son iguales.

El autotransformador tiene dos devanados y hay tambien de tres. Las derivaciones en el autotransformador permiten el ajuste de la corriente y del par de arranque de acuerdo con las necesidades de la mayoria de las aplicaciones. Las caracteristicas que producen las tres derivaciones de voltaje comunmente utilizadas son las siguientes:

50 %	25	28
65 %	42	45
80 %	68	67

Debe contemplarse la corriente magnetizante del autotransformador. Este valor varía con el tap seleccionado y está entre 5 a 10 % de la corriente de línea. Pueden construirse con transición abierta o cerrada. En general, la transición abierta se usa ampliamente con motores pequeños y medianos. La transición cerrada se utiliza para máquinas grandes. Los arrancadores manuales con autotransformador tienen el nombre de "compensadores" y es de transición abierta. La operación manual se ayuda en la posición de "marcha". El botón de paro ó relevadores, pueden desconectarlo en punto local o remoto.

Los diagramas 2.1.4.a. y 2.1.4.b. muestran el arrancador con autotransformador:



ARRANQUE: CIERRA 6-7-2-3-4
 TRANSF: ABRE 6-7 ; CIERRA 1-5

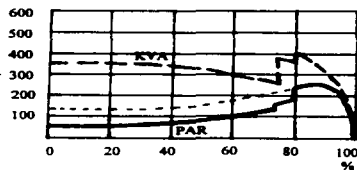


Diagrama 2.1.4.a. Diagrama de arrancador con autotransformador (cerrado).

La secuencia de arranque en el arreglo de transición abierta, empieza cuando el conductor S cierra al presionar el botón de arranque; este conecta el motor a la derivación (tap) del autotransformador. Después de transcurrido el tiempo ajustado

en el relevador de tiempo T_R , abre su contacto T_0 , desconectando la bobina del contactor S y al motor del autotransformador por consecuencia. Enseguida se cierra el contactor T_C de T_R alimentando la bobina R_N y por lo tanto conectando el motor directo a la línea.

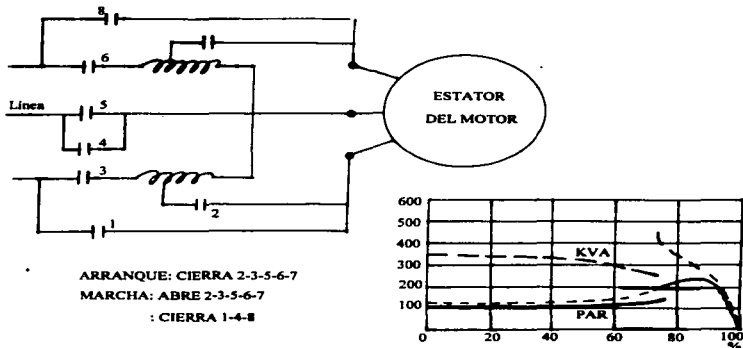


Diagrama 2.1.4.b. Diagrama de arrancador con autotransformador (abierto).



Figura 2.1.4. Arrancador a tensión reducida.

En el arreglo de transición cerrada, cuando se presiona el botón de arranque, el relevador de tiempo comienza su operación y cierra los contactores S y N , conectando el motor a las derivaciones del autotransformador. Después del intervalo ajustado en el relevador de tiempo, el contacto T_0 abre, desconectando el contactor N . En este momento las tres secciones del devanado se encuentran en serie con el

motor. Cuando el relé de tiempo cierra su contactor T_c , energiza R_n conectando el motor directamente a la línea.

2.3.3. ARRANCADORES AUTOMÁTICOS A TENSIÓN REDUCIDA CON AUTOTRANSFORMADOR.

Para el arranque en motores trifásicos hasta de 300 Hp a 400 V no reversibles con bobinas de accionamiento por C.A. hasta 480 V, 60 Hz en caja de usos generales.

2.3.3.1. APLICACIÓN.

Los arrancadores a tensión reducida de tipo K981 (Datos proporcionados por Siemens 1993) de autotransformador, se utilizan para el arranque con rotor jaula de ardilla, para potencias de 500 Hp a 440 V. Se fabrican de manera especial; éstos limitan corriente, evitando fluctuaciones perjudiciales en la línea de alimentación. La intensidad de corriente consumida por el motor en la etapa de arranque, disminuye en la misma proporción que la tensión de bornes del motor, de acuerdo a la relación del transformador del autotransformador. La capacidad del secundario se puede, al no tomar en cuenta la corriente de excitación y las pérdidas de tensión, igualar a su capacidad primaria, obtenido de la red que al reducir la tensión en bornes del motor por medio del autotransformador, se reduce la corriente tomada de la red cuadráticamente con la disminución de la tensión, es decir, en la misma proporción que en el momento de rotación del motor.



Figura 2.1.5. Arrancador con autotransformador.

2.3.3.2. EJECUCIÓN.

Este tipo, K981, están constituidos por tres contactores, un relevador de tiempo y un relevador bimetalico.

2.3.4. CONTACTORES AUXILIARES.

2.3.4.1. APLICACIÓN.

En los contactores auxiliares, Siemens nos brinda el tipo 3TH el cual se emplea para maniobra de circuitos auxiliares de hasta 660 V en corriente alterna o 600 V en corriente continua.

Son adecuados para climas tropicales, donde la humedad es grande. Los contactores auxiliares, también se utilizan para todo equipo de control, se conectan y desconectan a control remoto, mediante aparatos instalados por separado, como son pulsadores (contacto instantáneo) o interruptores, termostatos, interruptores de presión, flotadores, etc. (contacto permanente).

2.3.4.2. EJECUCIÓN.

Los contactores auxiliares 3TH se suministran en ejecución abierta (sin protección contra contactos involuntarios, contra cuerpos sólidos extraños, contra el agua).

2.3.4.3. MONTAJE.

Los contactores auxiliares con accionamiento por corriente alterna, se han previsto para montaje sobre un plano de fijación vertical, en posición discrecional. Entre la posición oblicua admisible del plano de montaje respecto a la vertical y al margen de trabajo del contactor existe la correspondencia siguiente.

2.3.4.4. MARGEN DE TRABAJO.

MONTAJE. Los contactores auxiliares con accionamiento por corriente alterna se han previsto para montaje sobre un plano de fijación vertical. La duración de los contactores depende esencialmente de la corriente de desconexión y los valores están dados en el diagrama a continuación.

La vida útil de los contactores depende de la corriente de desconexión. Para circuitos de control con bobinas de accionamiento para C.A., 60 Hz hasta 440 (NOM).

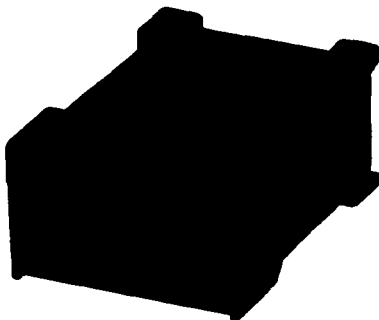


Figura 2.1.6. Contactor 3TH.

2.3.5. CONTACTOR AUXILIAR 3TH2.

Este tipo de contactor es manejado por Simatic de Siemens. El cual cuenta con confiabilidad en el manejo de señales de control, ahorra tiempo en proyecto, montaje y cableado. Cumplen con las aprobaciones más importantes y su utilización es internacional, permitiendo un ahorro en el espacio de montaje.

2.3.5.1. DESCRIPCIÓN.

Los contactores auxiliares 3TH2 son apropiados para cualquier ambiente, satisfacen ampliamente los requerimientos de operación, son totalmente confiables y están reconocidos por el organismo regulador para la prevención de accidentes S.U.U.A.

Las piezas de contacto móviles están diseñadas con doble pieza de contacto, lo que garantiza una elevada seguridad de contacto, aún cuando se manejan corrientes y voltajes muy pequeños; esto los hace ideales para utilizarse en combinación con circuitos electrónicos.

2.3.5.2. CONEXIÓN.

Todos los bornes tienen la introducción de los cables en forma cónica y un tope final que garantiza la correcta longitud de introducción del conductor. Los aparatos están dotados de tornillos imperdibles y todos los bornes de conexión permiten el uso de atornilladores automáticos.

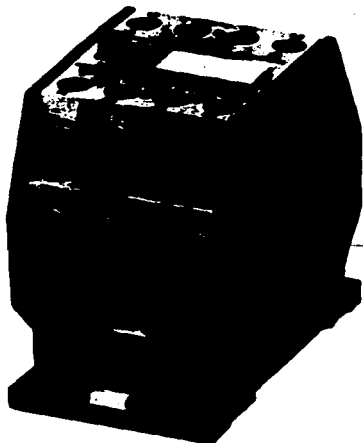


Figura 2.1.6.a. Contactor-3THA.

2.3.5.3. MONTAJE.

El montaje de los contactores auxiliares 3TH2, se puede efectuar en la forma tradicional, con tornillos sobre las placas de montaje o sobre el riel. Estos aparatos se pueden desmontar del riel de fijación, ya sea por la parte superior o por la parte inferior.

2.3.6. CONTACTORES TRIPOLARES. TIPO 3TB Y 3TF.

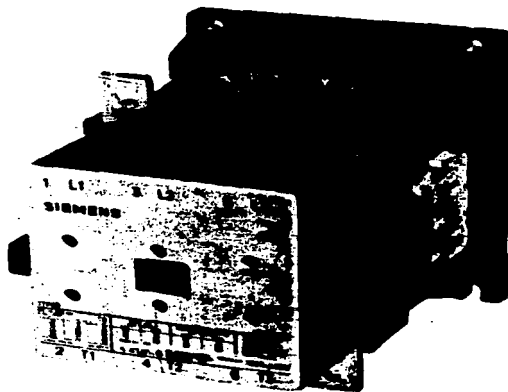


Figura 2.1.7. Contactor Tripolar 3TB.

2.3.6.1. CARACTERÍSTICAS.

En la técnica del mando.

- *Elevada vida útil mecánica de 15 a 14 millones de maniobras.*
- *Larga vida eléctrica.*
- *Fácil mantenimiento.*
- *Disponibilidad de las piezas de repuesto.*
- *Una sola bobina de accionamiento.*
- *Seguridad en el servicio.*
- *Forma sencilla y compacta.*

2.3.6.2. APLICACIÓN.

Para circuitos principales de hasta 600 v y 630 A en C.A. Con bobinas de accionamiento para C.A. de hasta 440 V, 60 Hz sin protección del motor con norma estándar NOM.

Los contactores tripolares en aire para corriente alterna trifásica, se emplean para mandos eléctricos o como aparatos de control.

2.3.7. RELEVADORES BIMETÁLICOS. ESPECIFICACIÓN SIEMENS 3VA. TRIFÁSICOS.

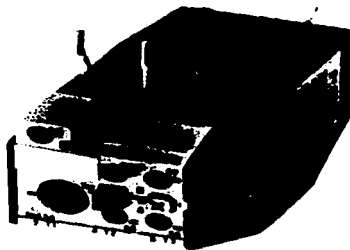


Figura 2.1.8. Relevador bimetalico 3VA

- *Para la protección de sobrecarga son muy versátiles.*
 - *Compensación automática de temperatura ambiente (de - 20 hasta +50 °C.).*
 - *Protección para efectos contra sobrecarga y falla de fase en las tres vías de corriente.*
 - *Corriente de disparo fácil, dentro de amplio margen de ajuste.*
 - *Fácil selección de restablecimiento: Automático o Manual.*
 - *Contacto auxiliar de conmutación o normalmente para señalización.*
 - *Instalación directa a los contactores o por separado (con pieza de soporte).*
 - *Fácil y segura conexión (guía del destornillador en cada terminal perfectamente identificada).*
- Fácil manejo, forma sencilla y compacta.*

2.3.7.1. ESPECIFICACIONES.

Los relevadores de este tipo cumplen con las prescripciones de las Normas de Aparatos de Protección de Baja Tensión. Sus dispositivos de protección contra sobrecarga en las tres vías de corriente desde 0.63 hasta 630 A. en corriente alterna hasta 660 V. Adicionalmente protegen contra falla de fase y compensación automática de la temperatura ambiente, lo que permite que el ajuste seleccionado para la protección de sobrecarga permanezca inalterable, aunque varíe la temperatura ambiente desde -25° hasta $+55^{\circ}$ C.

2.3.7.2. APLICACIÓN.

Estos relevadores con elementos térmicos de retardo, sirven para la protección contra sobrecarga de motores y otros consumidores. Se instalan en combinación con contactores; las fases del relevador bimetalico se encuentran en el circuito principal. El contactor auxiliar opera en el circuito de la bobina del contactor.

2.3.7.3. CURVAS CARACTERÍSTICAS (RMS) DE LOS RELEVADORES BIMETÁLICOS.

Las curvas características "corriente - tiempo", muestran la dependencia entre el tiempo de disparo y la magnitud de sobrecorriente en estado frío. Con temperatura de servicio, los tiempos de disparo se reducen el 25 % de los valores de las curvas. Para carga trifásica son válidos los valores de la curva 3, para carga en 2 polos la curva 2; para carga en 1 polo los valores quedan establecidos entre las curvas 3 y 2. En funcionamiento normal, las 3 bandas bimetalicas deben calentarse por el paso de corriente simultáneamente para la protección de un circuito monofásico ó para protección de circuitos de corriente directa deberán desconectarse las 3 bandas en serie.

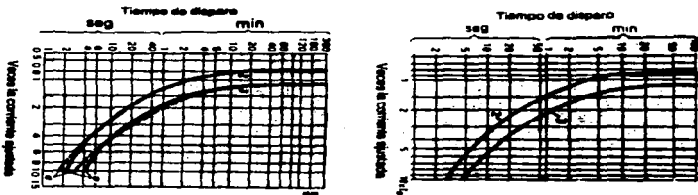


Figura 2.1.9. Curvas características de los relevadores bimetalicos.

2.3.8. INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS.

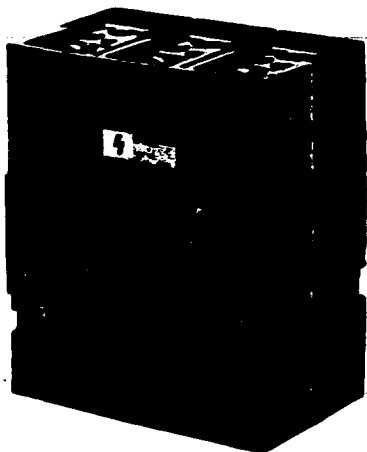


Figura 2.2.0. Interruptor Magnético.

Los interruptores termomagnéticos (Siemens), protegen los circuitos y aparatos de las instalaciones eléctricas, residenciales, comerciales e industriales contra efectos de sobrecarga y cortocircuitos.

Todos los interruptores de Siemens tienen un mecanismo de operación de la característica cierre-apertura (rápido). La interrupción por disparo libre, permite (cuando existe la incidencia de sobrecarga sostenida, o falla de cortocircuito) que prevalezca la operación automática de apertura sobre la operación de cierre. La posición de la manija muestra al dispararse el efecto de la interrupción, cualquier falla que acontezca en algún polo, operará al mecanismo de tres polos efectuando la apertura simultánea en las tres fases.

2.3.8.1 INTERRUPTOR DE CIRCUITO.

El interruptor de circuito es un dispositivo diseñado para abrir y cerrar un contacto por medios no automáticos y de abrir automáticamente el circuito a una sobrecarga con determinada corriente, sin daño a sí mismo cuando se usa de manera apropiada dentro de sus normas.

2.3.8.2. INTERRUPTOR DE DESCONEXIÓN.

Proporciona la manera de aislar los conductores de un circuito de su fuente de energía. Una sola palanca controla los tres polos. Cuando se usa de esta manera, también se puede llamar interruptor de seguridad o aislamiento.

2.3.8.3. INTERRUPTOR DE CONTROL MANUAL.

Sus características especiales de disparo serie con retraso y alta capacidad de corriente de ruptura lo hacen útil como un interruptor de control de encendido-apagado de motor directo.

2.3.8.4. INTERRUPTORES DE TAMBOR.

Los interruptores de tambor están entre los dispositivos más conocidos y usados para controlar motores a mano. Son interruptores rotatorios formados por conjuntos de contactos operados por una palanca (girando la palanca es posible que un interruptor de tambor o controlador de tambor encienda, pare, invierta y controle la velocidad de un motor de C.A. o de C.D.). El interruptor de tambor de tipo segmentado tiene sus contactos controlados por segmentos conductores en la periferia de un tambor rotatorio. De este tipo para levas, tiene sus contactos controlados por levas que actúan soportadas por el tambor rotatorio.

2.3.8.5. INTERRUPTORES DE ENCHUFE

Es un dispositivo detector, conectado mecánicamente a una flecha de motor para proporcionar conmutación eléctrica independiente de la dirección en que trabaja el motor el motor.

A veces se conoce como interruptor de velocidad cero y puede servir para parar automáticamente un motor en forma rápida. El interruptor impide la inversión rotacional después de que se ha enchufado eléctricamente el motor, invirtiendo el voltaje de línea o la secuencia de fases.

2.3.8.6. RELEVADOR DE TIEMPO.

Un relevador de tiempo o de retraso es un dispositivo de circuito de control que suministra una función de conmutación con el paso del tiempo. Puede haber muchos tipos de relevadores de tiempo, tales como los operados por motor hidráulico, de decaimiento de flujo magnético de descarga de capacitor y electrónicos. Sin embargo, las características de construcción y comportamiento del relevador con retraso neumático lo hacen adecuado para la mayoría de las operaciones de control industrial. un relevador con retraso neumático es un dispositivo de restablecimiento que utiliza el escape de un fluido o aire a través de un orificio ajustable. A los relevadores de tiempo que provocan un retraso en la activación a la carga se les conoce como relevadores de retraso.

2.3.8.7. RELEVADORES DE CONTROL.

Estos se diseñan para utilizarse como dispositivos en circuitos piloto, en los circuitos de control de diferentes relevadores, contactores u otros dispositivos. Debido a sus requerimientos más bajos de corriente y voltaje de conmutación, los contactos pueden ser mucho más pequeños y tener menos separación. Su potencia de operación es relativamente baja y se pueden clasificar como relevadores de trabajo ligero, tipo sensible.

2.3.8.8. RELEVADOR DE SOBRECARGA.

Es un dispositivo de contacto de control, para proteger a un motor contra cargas excesivamente pesadas. En serie con los conductores de la línea del motor, se conectan elementos térmicos o magnéticos sensibles a la corriente. Cuando se produce algún valor predeterminado de corriente de sobrecarga, el relevador se dispara y corta la energía a los controles de arranque, lo que para el motor. Se proporciona un botón de restablecimiento manual o automático para restablecer el funcionamiento del circuito de control.

2.3.8.9. BOTONES PULSADORES Y LÁMPARAS INDICADORAS

- *Gran facilidad de montaje y alambre.*
- *Confiabilidad de operación.*
- *Gran resistencia mecánica.*
- *Excelente apariencia.*
- *Amplia selectividad.*
- *Gran luminosidad en lámparas.*

APLICACIONES.

Para el caso de las lámparas y los botones pulsadores que nos da Siemens, tipo 35B, nos permite que las unidades de control y señalización ofrezcan una variedad de elementos cuya rígida construcción y buena presentación satisfacen plenamente los requerimientos para su mando en empleo de contactores para iniciar procesos de maniobra automática, emitir señales y realizar disparos a distancia. Los pulsadores de control son adecuados para accionar circuitos auxiliares de mando, hasta tensiones de 500 V. C.A. y 600 V. C.D. Están diseñados para que funcionen a una frecuencia de maniobra de hasta 600 operaciones por hora.

VENTAJAS.

Gran facilidad de montaje y alambrado, confiabilidad, luminosidad y son a prueba de vibraciones, etc. su alta tecnología, la seguridad en su instalación, permite el empleo en aplicaciones industriales, residenciales y comerciales.

2.4.0. TRANSMISIONES.

La transmisión consiste en el elemento o conjunto de elementos que constituyen la interfaz entre el eje motor y el eje movido. Representa un órgano que impone esfuerzos mecánicos externos. Los motores normalizados por los fabricantes suelen ser adecuados en transmisiones; hablemos de dos tipos:

2.4.1. TRANSMISIONES DIRECTAS.

Son aquellas en que la punta del eje del motor sólo recibe un esfuerzo de torsión (par motor puro), además de una carga que corresponde al peso de ese elemento y es mucho menos significativo que el momento << torsor >> para la caracterización de los esfuerzos; por ejemplo, acoplamientos elásticos, acoplamientos hidráulicos y accionamientos.

2.4.2. TRANSMISIONES NO DIRECTAS.

Son aquellas en que la punta del eje motor, además de los esfuerzos mencionados anteriormente, recibe cargas externas y axiales. En esta situación se encuadran poleas y correas, ruedas dentadas y cadenas, engranajes y ruedas de adherencia.

2.5.0. MÉTODOS DE ACOPLAMIENTOS IMPORTANTES PARA EL CONTROL ELÉCTRICO DEL MOTOR.

La cuidadosa colocación de la máquina sobre una superficie plana, es indispensable para la marcha uniforme y libre de trepidaciones. Si la máquina se atornilla sobre una base que no sea plana, quedará sujeta a tensiones internas. Consecuencia de ello son las cargas adicionales que gravitan sobre los cojinetes, lo que a su vez motiva una marcha irregular y perturbaciones en los cojinetes.

2.5.1. ACOPLAMIENTO DIRECTO.

Sólo es práctico si la carga puede accionarse a la misma velocidad que el motor como sucede en bombas, compresores centrifugos, motogeneradores, motoreductores, etc. En estas aplicaciones lo más conveniente es utilizar un motor con extensión de flecha corta. Por lo que se refiere al problema mecánico del acoplamiento en sí, habrá que alinear la máquina motriz y la máquina accionando de modo que los ejes queden exactamente alineados y coincidan sus centros.

La figura representa un accionamiento por poleas y correas y un diagrama de las fuerzas creadas así.

Para operación con cargas se puede calcular una fuerza radial extrema F_R por la resultante vectorial entre las fuerzas de tracción actuantes en las correas en los lados tensos y flojos. Así:

$$F_R = \vec{T}_1 + \vec{T}_2$$

La fuerza tangencial $F_T = 2 \mu (t) / \delta$, es igual a la diferencia algebraica entre T_1 y T_2 . Expresando el valor de F_R en función de F_T , se obtiene:

$$F_R = U \cdot F_T$$

La constante adimensional U está en función del grado de estiramiento o tensado previamente impuesto a las correas; del tipo de correa utilizado y del ángulo de ceñimiento sobre la polea motriz. El tensado de las correas se obtiene desplazando el propio motor sobre raíles o por dispositivos tensores. El valor de la fuerza de estiramiento debe ser tal que no permita el deslizamiento continuo de las correas sobre la polea motriz, en condiciones normales de funcionamiento, aún cuando patine durante el arranque. Esto estará limitado por un desplazamiento permitiendo el funcionamiento de la correa como un embrague.

Dada la proporcionalidad directa entre F_R y F_T se puede concluir que la fuerza transferida al eje será tanto mayor cuanto menor sea el diámetro de la polea motriz. Esto implica que las poleas motrices muy pequeñas generen altos esfuerzos, lo cual se debe evitar.

Si por un lado que establecido que, para cualquier tipo de transmisión por correas, el diámetro de la polea motriz no puede ser que un valor mínimo permitido por el motor. También el valor máximo de este diámetro está limitado por la máxima velocidad periférica admitida por la correa. Para correas trapezoidales, la velocidad máxima permitida es alrededor de 30 metros por segundo, mientras que, para las correas planas, dependiendo del tipo y del perfil, es posible lograr hasta 60 metros por segundo. Frecuentemente esta limitación no hace viable la transmisión de este tipo para motores de alta velocidad (por ejemplo, motores de inducción de 2 polos, 60 Hz), pues serían necesarias poleas de un diámetro muy reducido, lo que generaría esfuerzos inadmisibles para el motor. Para los motores horizontales, la fuerza efectivamente cargada sobre el eje del motor se obtendrá por la resultante vectorial F_R y G_A (Peso de la polea motriz).

El análisis de una transmisión por poleas y correas exige el conocimiento de:

- *Identificación del motor.*
- *Procedencia, tipo, perfil y cantidad de correas.*
- *Diámetro primitivo de la polea motriz o relación de la transmisión.*
- *Anchura de las poleas y su posición longitudinal sobre la punta del eje.*
- *Distancia entre centros de las poleas.*
- *Posición del eje movido en relación del eje movido al eje motor (para motores horizontales).*
- *Peso de la polea motriz.*

2.5.2. TRANSMISIONES POR RUEDAS DENTADAS Y CADENA.

Mientras que una transmisión por correas y poleas funciona exclusivamente por fricción, en las transmisiones por cadena la posibilidad de deslizamiento no existe. Por este motivo la cadena no necesita un tensado significativo como en el caso de las correas. La aplicación directa de las transmisiones por cadena en los motores es bastante restringida. A pesar de su alta capacidad de carga, la cadena sólo puede trabajar a velocidades limitadas.

Se puede considerar que el lado flojo de la cadena trabaja prácticamente sin tensión, y en estas condiciones la fuerza F_R transferida del eje motor será:

$$F_R = F_T = 2 \cdot \frac{\mu(O)}{s}$$

Representada en el esquema:

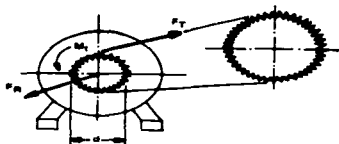


Figura 2.2.1. Representación típica de una transmisión por cadena

Para un análisis de una transmisión por cadena son necesarios los siguientes datos:

- Identificación del motor.
- Diámetro primitivo del piñón.
- Posición longitudinal del piñón sobre el eje.
- Posición del eje movido en relación del motor.
- Peso del piñón.

2.5.3. TRANSMISIONES POR ENGRANAJES.

Como en las transmisiones por corriente, los engranajes también funcionan sin deslizamiento. La carga radial transferida al eje motor se obtiene directamente por la fuerza ejercida por el contacto entre dientes de los engranes. La figura muestra la configuración de un par de engranajes cilíndricos de dientes rectos:

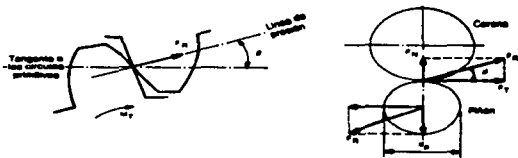


Figura 2.2.1. Representación típica de una transmisión por cadena

Siendo β el ángulo de presión característico del particular perfil utilizado se obtiene:

$$F_R = \frac{1}{\cos \beta} F_T$$

No obstante, las transmisiones por engranajes helicoidales, o cónicos, o del tipo sin fin, generan también elevadas fuerzas axiales descargadas directamente sobre el eje motor. Tomaremos en cuenta:

- *Identificación del motor.*
- *Tipo de engranaje.*
- *Diámetro primitivo del piñón.*
- *Características del perfil utilizado para los dientes (β).*
- *Posición longitudinal del piñón sobre el eje.*
- *Posición del eje conducido en relación al motor.*
- *Peso del piñón.*

2.5.4. TRANSMISIÓN POR BANDA O CADENA.

En el caso de que el accionamiento se haga por banda, la máquina tiene que estar montada sobre carriles tensores o sobre una base desplazable, con el fin de ajustar la tensión correcta de la banda y de volverla a tensar cuando sea preciso.

Si la banda se tensa demasiado, se ponen en peligro los cojinetes y el eje, y por el contrario, si la tensión es demasiado baja, resbala la banda. Una regla práctica que debe recordarse es que la banda o bandas que no patinan ligeramente al arranque están demasiado tensas.

Al aplicarse éstos métodos de transmisión y reducción de velocidad a motores, deben comprobarse siempre estos factores:

- Carga radial adicional sobre la chumacera del motor.*
- Carga combinada de flexión y torsión sobre la extensión de la flecha.*

Tomemos en cuenta los límites prácticos establecidos por N.E.M.A. para este tipo de transmisiones para asegurar buena vida en las chumaceras y prevenir esfuerzos excesivos en la flecha.

VELOCIDAD DE LA BANDA (M/SEG.)	N.º DE POLEAS	VELOCIDAD DE LA BANDA (M/SEG.)	DIÁMETRO MÁXIMO DE LA POLEA (M.M.)
256 T	2	3600	25
885 T	4	1800	200
845 T	6	1200	125
445 T	8	900	100

En la siguiente tabla figuran los diámetros máximos admisibles de las poleas de fundición. Para mayores diámetros habrá que emplear poleas de acero:

3000	180
2500	200
2000	250
1500	355
1250	400
1000	560
750	710
600	900
500	1000

La tabla indica a la vez aquellos diámetros para los cuales la velocidad de las bandas planas de calidad mediana resulta más favorable. Si se emplean bandas V, la velocidad más favorable de la banda es menor, lo que se consigue reduciendo en un 20 % el diámetro. La distancia entre ejes de las 2 poleas se fijará en concordancia con las indicaciones del fabricante de bandas y de poleas.

En los lugares que estén expuestos a probables explosiones, solamente podrán utilizarse bandas o corras en las que sea imposible que se originen cargas electrostáticas. En sistemas de transportes actualmente empleados no se limitan a una cadena sin fin. Así las líneas de transporte pueden ser rodillos de plataformas, guiadas. La elección de uno u otro tipo dependen evidentemente de la aplicación a que se destine. Las líneas de rodillos se emplean preferentemente para objetos relativamente voluminosos, los cuales avanzan en ellas por gravedad mediante la maniobra automática de numerosos mecanismos industriales.

2.6.0. FIJACIÓN DEL MOTOR.

La dimensión y distribución en la fijación de los agujeros o en los pies, así como el diámetro de los tornillos correspondientes están establecidos en normas, de acuerdo a la recomendación internacional, I.E.C. establece las dimensiones de

montaje de máquinas eléctricas giratorias; es la altura del plano de la base al centro de la punta del eje denominada H. A cada altura del punto del eje H se asocia una dimensión C, distancia del centro del agujero de los pies del lado de la punta del eje al plano del apoyo de la punta del eje (posición más cerca de la tapa lateral del motor en que es posible montar un guante o acoplamiento para el eje). A cada dimensión H sin embargo, se pueden asociar diferentes dimensiones B (dimensión axial de la distancia entre los centros de los agujeros de los pies, de forma que sea posible tener motores más largos o cortos).

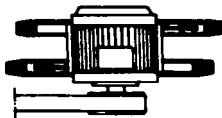
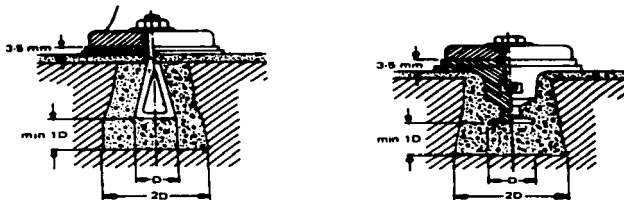


Figura 2.2.3. Fijación de motor horizontal con pies sobre rieles.

Los motores con pies de pequeñas prestaciones, suelen fijarse con rieles puestos en una posición ortogonal al eje.

2.6.1. FIJACIÓN DE UN MOTOR HORIZONTAL CON PIES SOBRE RIELES.

Este sistema permite el desplazamiento transversal del motor, sea para posibilitar la alineación con la máquina activada o para el tensado con correas. Los motores de mayores prestaciones suelen fijarse a su vez en bases metálicas o directamente en el piso, a través de anclajes cimentados, después de su colocación como se ve en la figura:



Figuras 2.2.4. y 2.2.5. Ejemplos de anclajes

Los esfuerzos actuantes bajo los pies dependen del peso del propio motor, aumentando con las cargas externas aplicadas. El fabricante del motor puede recomendar los tipos y las dimensiones de los anclajes.

2.6.2. ALINEACIÓN.

Quando se trata de transmisiones directas es fundamental que el motor esté rigurosamente alineado con la máquina accionada. Una alineación deficiente puede causar excesos de carga en el eje, deformaciones incompatibles, y una brusca reducción en la vida de los cojinetes. Para los motores acoplados coaxialmente con la máquina accionada, se obtiene la alineación a través del propio acoplamiento. Las dos mitades del acoplamiento deberán estar centradas y alineadas entre sí, lo que se puede comprobar con la ayuda de una regla.

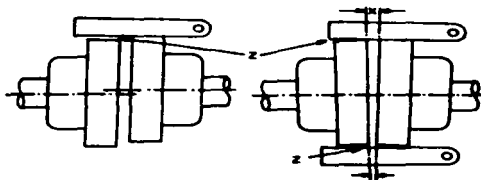


Figura 2.2.6. Comprobación de la alineación del acoplamiento con la ayuda de una regla.

2.6.2.1. COMPROBACIÓN DE ALINEACIÓN AL ACOPLAMIENTO.

La manera más correcta y precisa de comprobar la alineación es a través de dos relojes comparadores, colocados de manera que detecten simultáneamente los desvíos de concentricidad y de perpendicularidad entre las dos mitades del acoplamiento. Las correcciones necesarias deben obtenerse a través de la colocación adecuada entre las máquinas, utilizando, si es necesario, algunos calzos debajo de los pies del motor.

Se recomienda principalmente para los motores grandes, que se monten después de la alineación, por lo menos, dos pasadores cónicos en pies diagonalmente opuestos para asegurar la colocación correcta del motor después de un eventual o futuro desmontaje del conjunto. En el caso de acoplamientos no coaxiales, como en el caso de las transmisiones por poleas y correas o engranajes, la alineación es igualmente importante. Eventuales desvíos entre poleas o entre

piñón y corona introducen sobrecargas mecánicas en el eje del motor, reducen la eficiencia y la vida útil de la transmisión y, en general, aumentan el ruido en la operación.

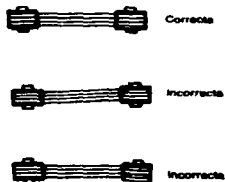


Figura 2.2.7. Situaciones correcta e incorrectas de alineación de una transmisión por poleas y correas.

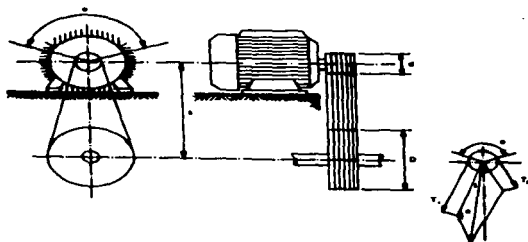


Figura 2.2.8. Representación de una transmisión típica por correas y poleas y diagrama de las fuerzas actuantes.

2.7.0. SELECCIÓN DE UN MOTOR PARA CARGA FLUCTUANTE.

Al seleccionar un motor para carga fluctuante hay que establecer condiciones nominales. Sin embargo, hay que profundizar el análisis para determinar si este motor tiene la capacidad necesaria para llevar todos los picos de carga del ciclo de trabajo. El siguiente paso es determinar la capacidad máxima requerida. Esta información puede obtenerse del ciclo de trabajo en forma gráfica o bien de una

tabulación preparada con el mismo objeto. Por ejemplo una capacidad requerida de 40 Hp.

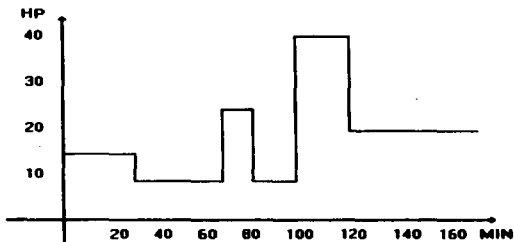


Figura 2.2.9. Gráfica de ciclo de trabajo.

El siguiente paso es comprobar si el motor tiene un par máximo suficiente para manejar las demandas máximas de 40 Hp. Según las normas establecidas un motor de 20 Hp tiene un par máximo de 200 %; este motor apenas puede manejar la carga descrita anteriormente. Sin embargo no existe ningún margen para tomar en cuenta variaciones de voltaje o de la carga de la máquina. Por lo tanto el motor de 20 Hp no debe ser utilizado en la aplicación de carga fluctuante.

Una regla práctica establece que los pares de arranque, mínimo y máximo de un motor, deben estar por lo menos 25 % por arriba de los pares correspondientes requeridos por la carga. La selección aquí recaería sobre un motor normal de 25 Hp ó sobre un motor especial de 20 Hp y con 250 % de par máximo.

2.8.0. PROTECCIONES DEL MOTOR.

Protección contra tiempos de arranque muy largos y arranques sucesivos. Los tiempos de aceleración muy largos, con las consiguientes corrientes altas, o arranque sucesivos, son siempre condiciones severas para el motor. De esta forma se debe prever una protección para impedir altas corrientes más allá del tiempo de aceleración normal del accionamiento; debe realizarse una comprobación previa de la compatibilidad entre el tiempo de aceleración y la integridad térmica del motor.

Una protección convencional contra sobrecargas, que va arriba de la potencia nominal es la utilización de relés; ésta sólo funcionará si se mantiene en el circuito de alimentación durante el arranque. En ciertos casos es posible aplicarlos para arranque pesado, alimentados por un transformador de corriente con un punto de saturación bajo que admita corrientes de arranque durante 15 a 30 seg. Después de haberse completado un arranque con éxito, otro relé de tiempo empieza a funcionar y sólo después de haber transcurrido el tiempo para el cual se ajustó.

CAPÍTULO I I I

**MONTAJE, INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA
DE LOS MOTORES ELECTRICOS**

CAPÍTULO III

MONTAJE, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

3.1.1. LINEALIZACIONES PARA RESPUESTA.

Generalidades. Las perturbaciones en el voltaje aplicado al campo o a la armadura o en el par de un motor de C.D., pueden considerarse como entradas de señal. La respuesta del motor a tales entradas puede determinarse a un buen grado de aproximación mediante técnicas de linealización que consideran las perturbaciones que están supuestas en el punto de trabajo. En las cargas como por ejemplo, los compresores, producen oscilaciones en él porque se suprimen en el valor promedio del par y son acompañados por oscilaciones provocadas en la velocidad y la corriente de armadura.

3.1.2. ANÁLISIS DINÁMICO DEL CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS.

Sabemos que para controlar la velocidad dependemos para hacerlo de la corriente y el voltaje. A continuación se da un ejemplo de la linealización del voltaje de velocidad en el motor dada la siguiente ecuación:

$$e_a = K_c \dot{\phi} dw$$

Siendo Θ_m el desplazamiento angular mecánico, ap lo expresamos como operador esto es:

$$W_m = ap\Theta_m$$

y que también queda expresado en relación de la corriente de campo:

$$e_a = \zeta_a + I_f W_m$$

que es una inductancia mutua; esto determina la proporción lineal no saturada de la curva de magnetización. Dentro del motor de C.D., se considera que las escobillas están en el neutro geométrico, con el resultado de que la fuerza magnetomotriz de la armadura está a lo largo del eje de cuadratura; con las boquillas en el neutro geométrico, no hay encadenamiento de flujo entre circuitos de campo y armadura; los voltajes aplicados en reposo son :

$$\text{Campo } V_r = r_f I_f + pL_{ff} [I_f]$$

$$\text{Armadura } V_a = r_a I_a + pL_{aa} [I_a]$$

Y por lo tanto, para una rotación en el voltaje de armadura es:

$$V_a = r_a + pL_{aa} + \zeta_a f \omega_m$$

3.2.1. TÉCNICAS DE CONTROL PARA MOTORES ELÉCTRICOS DE C.C. y C.A.

La tecnología actual requiere que ciertas magnitudes en la generación y el uso de la energía eléctrica se ajusten a características predeterminadas. Las tres especificaciones que más comúnmente se ajustan al manejo del control motor, son *la precisión, la velocidad y la frecuencia*. Tomemos, por ejemplo, la frecuencia. Si la frecuencia de nuestro sistema eléctrico de distribución debe ser mantenida, los voltajes suministrados a los consumidores deben mantenerse constantes.

Pero la velocidad de los motores que accionan las laminadoras debe ser cuidadosamente programada y controlada, porque las posiciones en las laminadoras deben ser ajustadas con cuidado y rapidez en sistema de control. Otro ejemplo sería la velocidad de las herramientas de corte que debe regularse en muchas operaciones de maquinado, conjuntamente con la precisión.

El problema del control, radica en manejar el arte y la ciencia de operar dispositivos. La manera de interpretar el control en un diagrama se puede efectuar mediante bloques, lazos, nodos, etc. y mediante ciclos abiertos o cerrados.

Un ejemplo en ciclo abierto sería el de la regulación de velocidad, cuando se desea operar un motor a 2 o 3 velocidades específicas, manteniendo cada velocidad "constante" a pesar de un rango de condiciones posibles de carga. Para esta aplicación, un motor en derivación de corriente continua con excitación independiente a menudo puede ser completamente adecuado sin ningún medio auxiliar que sirva para detectar y ajustar la velocidad.

Se debe seleccionar componentes que sean precisos y de aplicación rápida; de esto consiste el control por ciclo abierto y su campo de utilidad no sólo está limitado por la exactitud que se pueda obtener, sino por el tiempo que se requiere para su respuesta transitoria.

Los controles de ciclo cerrado utilizan el principio de retroalimentación que de manera breve se explicará en el siguiente diagrama:

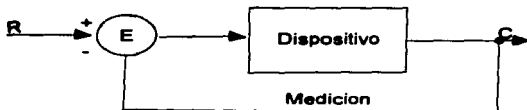


Figura 3.1.0. Ciclo cerrado.

Donde:

C = Variable de salida que va a ser controlada.

R = Valor deseado.

E = Dispositivos de comparación utilizado para comparar el valor deseado con el valor real.

E = Error = la diferencia entre R-C.

Consideremos el caso de un motor de C.C., con excitación independiente que va a ser operado a cierta velocidad específica. La armadura de este motor está excitada por un dispositivo de control donde varía con su aplicación.

Si medimos la velocidad del motor, debemos tener una referencia que indique una velocidad deseada y un dispositivo electrónico, (SCR - rectificador controlado de estado sólido (silicio)), que nos permiten tener una comparación y determinar el error, aunado todo esto a un medidor de velocidad ó tacómetro. La ventaja de la retroalimentación es la rapidez de respuesta y la precisión que obtenemos al utilizar el medidor de velocidad; uno de los inconvenientes es que se produzcan en la retroalimentación oscilaciones indeseables como lo muestra la figura:

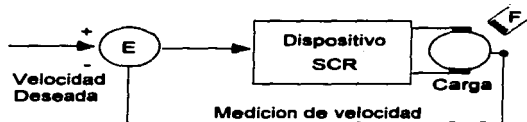


Figura 3.1.1. Control de velocidad moderno.

3.2.2. CONTROL DE LA VELOCIDAD EN LOS MOTORES DE C.C.

La velocidad de un motor de C.C. puede variarse mediante el cambio de una de las variables del siguiente modelo matemático:

$$S = \frac{KV_a - I_a R_a}{\phi}$$

Por lo tanto existen los siguientes métodos:

1. *Modificación del flujo de excitación ϕ por medio de un reóstato variable serie o shunt (control de campo).*
2. *Variación de la tensión V_a en bornes del inducido mediante el empleo de una resistencia de inducido.*
3. *Variación de la tensión V_a en bornes del inducido y la corriente I_a en el mismo mediante combinación de 2 resistencias variables en paralelo y en serie con el inducido, control serie y shunt.*
4. *Empleo de una fuente controlada de tensión de C.C. variable para modificar la tensión V_a en bornes del inducido de un motor de excitación independiente control de tensión de inducido.*

A continuación se describen éstos métodos con mayor detalle.

3.2.3. CONTROL DE LA RESISTENCIA DE INDUCIDO.

Quando el reóstato de campo se ajusta de forma que se produce la excitación normal (en la región de saturación) y se reduce la tensión en bornes del inducido, el método de control de la velocidad se denomina control de la resistencia de inducido. El control de la velocidad se consigue mediante regulación de la resistencia en serie con el inducido; aumentando la resistencia en serie del inducido se reduce su tensión en bornes (a una determinada carga). El control de este modo puede originar velocidades por debajo de la normal. Las ventajas del control de la resistencia de inducido son:

1. *La posibilidad de alcanzar velocidades por debajo de la normal.*
2. *Simplicidad y facilidad de conexión.*
3. *La posibilidad de combinar las funciones de arranque del motor con el control de velocidad.*

Los inconvenientes del control de la resistencia del inducido son:

- 1. El costo elevado de las resistencias grandes adecuadas para servicio continuo capaces de disipar grandes cantidades de energía particularmente en motores de gran potencia.*
- 2. Pobre regulación de la velocidad para un ajuste determinado de la velocidad.*
- 3. Rendimiento bajo que se traduce en un elevado costo de funcionamiento.*
- 4. Dificultad de obtener un control continuo de la velocidad.*

En los motores de potencias nominales grandes, cuando se deseen obtener muy bajas velocidades para el control de velocidad en marcha lenta o arrancadas frecuentes, se precisa una resistencia bastante grande en el circuito de inducido, de valor nominal de potencia relativamente elevada. Dicho tipo de resistencia da lugar a un funcionamiento de bajo rendimiento.

3.2.4. CONTROL DE LA RESISTENCIA DE INDUCIDO EN SERIE Y SHUNT.

El control por resistencia shunt en bornes del inducido, junto con la resistencia de inducido, se empleará cuando se desee mantener aproximadamente la misma velocidad de funcionamiento y cuando el par-resistencia tienda a variar. La resistencia shunt puede emplearse para proporcionar el tipo de frenado dinámico que se mostrará posteriormente. las ventajas de la utilización son:

- 1. Mejor regulación de la velocidad superior que el de la resistencia de inducido.*
- 2. Posible utilización para el frenado dinámico*

Los inconvenientes son:

- 1. Par de funcionamiento reducido con el aumento de la desasociación de la corriente del inducido.*
- 2. Rendimiento reducido debido a las pérdidas de potencia en las resistencias serie y shunt.*

3.2.5. CONTROL DE LA TENSIÓN DE INDUCIDO.

El rendimiento relativo de los motores más pequeños no representa una consideración seria mientras que el par relativo, regulación de la velocidad y control

continuo son de alguna importancia en las aplicaciones de esos motores. En el caso de motores de potencia más elevado, sin embargo, el rendimiento, el par, la buena regulación de la velocidad y la suavidad en el control continuo de la velocidad son todos ellas consideraciones importantes. Las cargas fuertes con gran inercia, requieren una aceleración suave durante una amplia gama de velocidades. Todos estos requerimientos pueden satisfacerse mediante el empleo de una tensión variable de C.C., de una fuente de alimentación de capacidad suficiente para proporcionar a un motor de C.C., la tensión y corriente de inducido requeridos. El campo queda siempre excitado separadamente desde una fuente de alimentación de corriente o tensión constante.

Para motores de C.C., la fuente variable de tensión de C.C. puede ser un amplificador con semiconductores (SCR's), alimentado por una fuente de C.A. trifásica o monofásica, motores de potencia nominal moderada hasta 100 CV.; pueden ser de tensión de inducido controlada empleando amplificadores rotativos, tales como Rotorol, Regulex o amplidinas pequeños. O pueden emplearse estáticos, (amplificadores magnéticos, como fuente regulable de tensión de C.C.).

Los motores de C.C. más grandes, por encima de 100 CV., se controlan de la misma forma por medio de amplificador rotativo tales como el sistema de control amplidina o Ward Leonard. El método Ward Leonard es un amplificador rotativo que consiste en un motor polifásico de C.A., accionando un generador principal y uno o más excitatrices (generadores shunt de C.C. pequeños); la excitatriz (única) proporciona al motor y generador un control de campo con una tensión de C.C. constante.

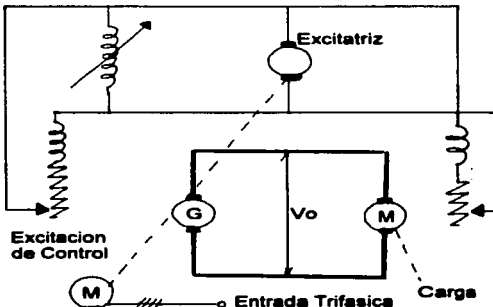


Figura 3.1.2. Sistema "Ward Leonard" simplificado.

La amplificación se consigue a partir de una variación pequeña de la potencia de excitación en el campo del generador principal originando una potencia de salida mayor directamente desde el inducido del motor de C.C.; para una carga determinada la corriente de inducido del motor es constante.

El flujo y la corriente de excitación del motor generalmente se mantienen constantes y puesto que:

$$T = k\phi I_a$$

De este modo el método Ward Leonard representa un sistema de par constante, potencia variable y en la conversión a hp's:

$$Hp = \frac{TS}{5252}$$

Mediante conmutadores de inversión en el circuito del inducido es posible abrir e invertir las conexiones de línea al inducido del motor, parando e invirtiendo de esta forma el sentido de rotación.

Este sistema tiene un costo elevado. El rendimiento es el producto del de las dos máquinas mayores. Sin embargo éste no es muy bueno, pero sí el control de velocidad debido al reóstato. Tiene sus ventajas y son:

- 1. Una amplia gama de velocidades desde el reposo a altas velocidades en cualquier sentido.*
- 2. Inversión rápida e instantánea sin corrientes de inducido excesivamente elevadas.*
- 3. Arranque sin necesidad de resistencias de inducido en serie.*
- 4. Control continuo desde el reposo a la velocidad máxima en cualquier sentido.*
- 5. El método permite la adaptación de amplificadores intermediarios electrónicos de semiconductores y magnéticos para proporcionar etapas de amplificación para un motor extragrande, donde la potencia es pequeña.*
- 6. Óptima regulación de la velocidad.*

Estas ventajas compensan a la larga el costo y rendimiento del conjunto. Puede mejorarse el tiempo de respuesta con una doble excitatriz.

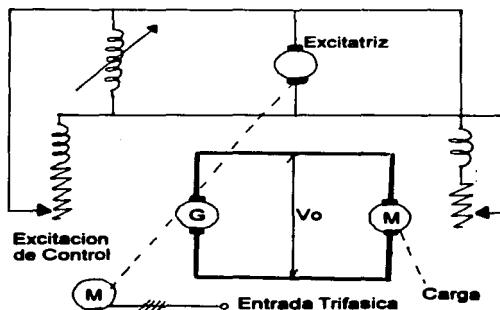


Figura 3.1.3. Sistema "Ward Leonard" de 2 excitatrices.

La excitatriz doble está acoplada en el árbol del motor de C.A. La excitatriz principal suministra la excitación principal para control de campo. Así, para el campo del generador principal y de motor accionados conectados en serie, la tensión principal de la excitatriz es de 230 V, que es la tensión nominal de salida de excitatriz no principal de 115 V. El inducido de la excitatriz está conectado de forma que se opone la Fem de la excitatriz principal. De esta forma un incremento en la excitación del campo del generador principal se llevará la tensión del inducido (V_a), aplicada al inducido del motor, de forma que se incrementa la velocidad del motor reduciendo la corriente de excitación del motor, de esta forma el aumento de la excitación de campo de control produce un efecto que tiende a elevar la velocidad del motor.

3.3.1. CONTROL DE VELOCIDAD DEL SISTEMA WARD LEONARD.

Otra forma de controlar la velocidad en los motores de C.C., es mediante el sistema Ward Leonard el cual consiste en:

- Un motor de C.C. de excitación independiente cuya velocidad se trata de controlar.
- Un generador de C.C., que suministra el voltaje de alimentación del motor.

- Un motor de inducción que sirve para impulsar al generador de C.C.
- Un generador de C.C., llamado excitatriz, que proporcione un voltaje constante para el campo y el generador de C.C.

La excitatriz es por lo general del tipo autoexcitado. Como la excitatriz proporciona un voltaje constante, se agrega un reóstato al campo del generador de C.C., con objeto de variar la corriente de campo.

La velocidad que deseamos regular puede ser modificada en 2 formas:

Variando la tensión de alimentación del motor, lo que implica una variación del campo del generador mediante su correspondiente reóstato; a este tipo de operación del sistema se le llama a *par constante* (resulta importante cuando las cargas que soporta el motor son debidas a rozamiento).

Variando la corriente de campo del motor de C.C., lo que implica una variación mediante el reóstato de campo del motor; la alimentación de motor se supone constante, denominándose *potencia constante*; la FCEM del motor permanece constante lo mismo que la corriente de armadura.

3.3.2. ANÁLISIS DINÁMICO DEL SISTEMA WARD LEONARD.

Analicemos la figura siguiente:

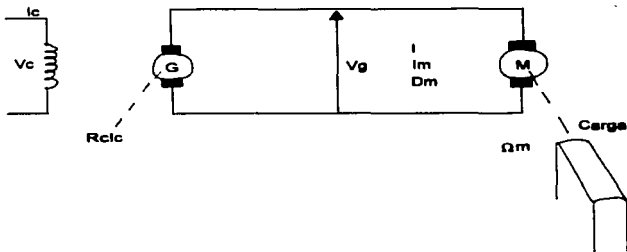


Figura 3.1.4. Diagrama para análisis dinámico.

El diagrama anterior considera como variable de entrada el voltaje de campo del generador de C.C., proporcionado por la excitatriz, como variable de salida. La velocidad del motor de C.C., se considera que es proporcionada al generador en forma constante, así como la excitación del motor. Los elementos del sistema son: RC y LC, resistencia e inductancia del embobinado de campo del generador; Kg constante del generador; Rg y Rm, resistencias del embobinado del rotor del generador y motor; se desprecian sus inductancias.

A continuación se presenta el análisis dinámico:

K_m , I_m , D_m e I_{CARGA} , D_{CARGA} , [Inercia de la carga, I_{CARGA}], [Fricción de la carga, D_{CARGA}], respectivamente.

Formularemos las siguientes ecuaciones en el dominio de Laplace:

$$I_C = \frac{V_C}{R_C + L_C S}$$

$$E_G = K_G I_C$$

$$I = \frac{E_G - V_G}{R_G}$$

I_C = Corriente de campo en el generador.

$$V_G = R$$

V_G = Voltaje en el generador.

V_C = Voltaje de campo.

$$E_M = K_m \Omega_m$$

E_M = FCEM del motor.

Ω_m = Velocidad media del motor.

0

T = Par electromagnético.

I_{EQ} = Inercia equivalente.

D_{EQ} = Fricción equivalente.

$$I_{EQ} = I_m + I_{CARGA}$$

$$D_{EQ} = D_m + D_{CARGA} = K_m(I)$$

Con el siguiente diagrama de flujo:

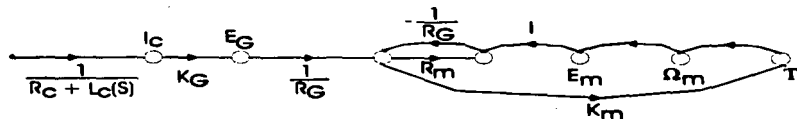


Figura 3.1.5. Diagrama de flujo.

El análisis matemático del sistema Ward Leonard es:

$$\frac{\Omega_m}{V_c} = \frac{\left(\frac{K_G K_m}{R_G} \right) \left(\frac{1}{I_{EQ}(S) + D_{EQ}} \right)}{1 + \frac{R_M}{R_G} + \frac{K_m^2}{R_G}}$$

$$\frac{\Omega_m}{V_c} = \frac{K_G K_m}{[(R_c + L_c(S))(R_G + R_M)(I_{EQ}(S) + (R_G + R_M)D_{EQ} + K_m^2)]}$$

Si $R_s = R_G + R_M$:

$$\frac{\Omega_m}{V_c} = \frac{K_G K_m}{L_c R_s I_{EQ} \left(S + \frac{R_c}{L_c} \right) \left(S + \frac{R_s D_{EQ} + K_m^2}{R_s I_{EQ}} \right)}$$

Siendo esta última ecuación la función de transferencia que permite conocer la respuesta, para una variación de voltaje V_c .

3.4.1. MOTORES DE INVERSIÓN DE C.C.

Es posible invertir de rotación un motor de C.C., mediante la inversión del sentido, bien de su flujo de campo o de su corriente de inducido, de acuerdo con la regla de la mano izquierda. Invertiendo tanto el flujo de campo como la corriente con las conexiones de línea se produce el par en la misma dirección y el sentido de rotación que permanece invariable de esta forma en un motor shunt serie, el campo puede ser invertido (incluyendo el devanado de conmutación). De modo que:

1. El abrir el campo para fines de inversión puede ocasionar embalamiento peligroso, inestabilidad y corrientes de inducido elevadas.
2. El campo es más altamente inductivo que el del inducido; la apertura de un circuito altamente inductivo producirá formaciones de arco e interrupciones de tensión más serias.

3.4.2. MOTOR REVERSIBLE.

Es aquel que puede ser invertido cambiando las conexiones externas, aún cuando el motor esté en marcha. Más adelante mencionaremos el frenado de inversión que es el principio de este cambio o se conmuta a las conexiones de polaridad inversa. También puede ser manualmente, con interruptores accionados por levas o de tambor; o automáticamente, mediante relés y contactos como lo muestra la figura 3.1.6. en un motor shunt.

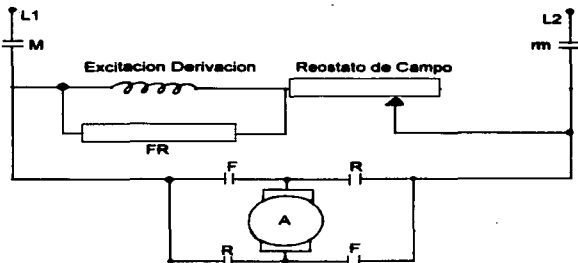


Figura 3.1.6. Inversión con motor shunt.

Un conjunto de contactos M se emplea para excitar el circuito de campo y si se utiliza el arranque automático un circuito de control. Cerrando F de los contactos de sentido directo se producirá un sentido de rotación y corriente de inducido.

3.4.3. SENTIDO DE INVERSIÓN PARA UN MOTOR COMPOUND.

Este circuito se muestra en la siguiente figura 3.1.7.

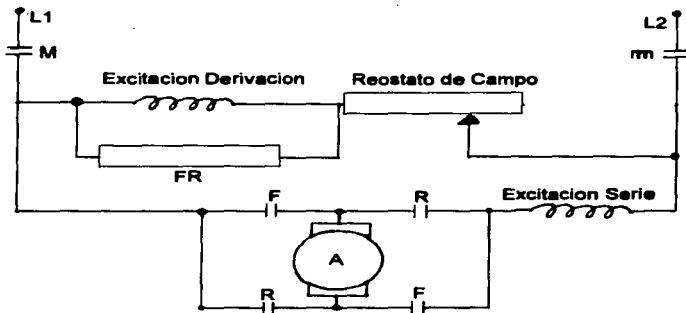


Figura 3.1.7. Inversión con motor compound.

Donde el circuito de excitación-derivación se excita mediante los contactos M, y el sentido de la corriente a través de la excitaciones shunt y serie permanece invariable, manteniendo la excitación compuesta acumulativa, mientras que la inversión de corriente de inducido cambia el sentido de rotación.

3.4.4. MÉTODO DE INVERSIÓN PARA EL MOTOR SERIE.

Puede invertirse mediante la conmutación de una de cualquiera de las conexiones de inducido o las conexiones de la excitación serie. El primero es preferible debido a su acción de frenado por inversión así como el hecho de que el circuito de campo esta continuamente excitado como se muestra en la figura 3.1.8.

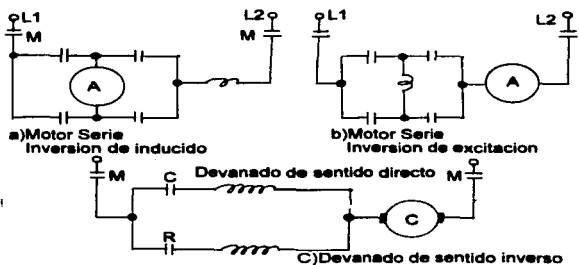


Figura 3.1.8. Inversión del motor serie de excitación desdoblada.

En conjunto tenemos un controlador que mostramos en la figura, para el arranque e inversión automática de un motor shunt.

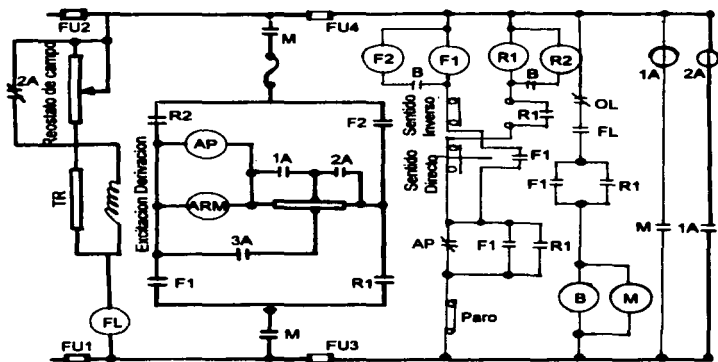


Figura 3.1.9. Arranque e inversión automática de un motor shunt.

Se dará empleando enclavamientos eléctricos y mecánicos de contactos y relés. La disposición de circuitos de inducidos y excitación es la misma, con la adición de relés de amortiguador de acción retardada, como son 1A, 2A y 3A. Las cualidades están en el circuito de control, pulsando el contacto momentáneo de sentido directo. Sin embargo, el relé F puede ser excitado solamente a través de un contactor normalmente cerrado n.c.R (de sentido inverso), cuando el relé de inversión no está excitado.

Análogamente, pulsando el contacto momentáneo de sentido inverso, sólo se excitará el relé R a través de un contactor n.c. F (sentido directo), cuando el relé de sentido directo no esté excitado. Además, al pulsar simultáneamente ambos contactos hará que ningún relé esta excitado, puesto que, (1) ambos relés F y R (cuando R es excitado) también lleva a F a la posición de reposo. Por lo tanto funcionará siguiendo la siguiente secuencia:

- 1. Pulsando el contacto de sentido directo, cierra todos los contactos normalmente abiertos n.a.F en serie con el inducido y en línea de control, excitando el contactor principal m. Simultáneamente F cierra su contacto de enclavamiento auxiliar de autoexcitación en el circuito de relés de sentido directo y abre su enclavamiento n.c., en el circuito de relés de sentido inverso.*
- 2. El motor arranca en el sentido directo a plena resistencia en serie con el inducido; el relé M también excita el relé de acción retardada 1A en la línea de control 2; los relés de acción retardada 1A, 2A y 3A accionan en secuencia la aceleración del motor hasta que el motor funcione como motor shunt a plena tensión, con toda la resistencia de inducido de cortocircuito por medio de los contactos 1A, 2A y 3A.*
- 3. Al pulsar el contacto momentáneo de sentido inverso, hace que el relé F quede desconectado de la línea L1 a través del enclavamiento del pulsado, y hace que el contacto F n.a., en la línea de control 1 deje de excitar el relé M y como resultado a 1A, 2A y 3A.*
- 4. Con el inducido en serie, con la resistencia de arranque a plena tensión y con relés R excitados en el circuito de inducido, el motor se frena por inversión y rápidamente pierde velocidad. Se acelera en sentido inverso con sus resistencias de serie cortocircuitadas de manera efectiva en la misma secuencia que en sentido directo.*

Cuando el motor funciona en sentido directo al pulsar el botón de sentido directo, al pulsar el botón de sentido inverso, la resistencia de arranque en serie se inserta al circuito de inducido de forma que el motor se desacelera y arranca en el sentido opuesto con la resistencia de protección en serie con el inducido.

TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE MOTORES (MANERAS DE DETENER EL MOTOR ELÉCTRICO DE C.C.)

3.5.0. TIPOS DE FRENADO.

3.5.1. FRENADO POR INVERSIÓN.

Existen circunstancias en las que es absolutamente necesario detener un motor rápidamente.

Los motores de gran potencia tienen excelentes cojinetes e inercia suficiente de manera que continuarán girando durante varios minutos después que se haya desconectado la línea de energía. Dichos motores deben ser invertidos y controlar sus arranques frecuentes rápidos, o manejados a bajas velocidades.

El frenado se hace necesario para evitar el retardo mientras el motor pierde velocidad, y el frenado por inversión se realiza automáticamente al invertir la polaridad de la tensión del inducido.

3.5.2. FRENADO DINÁMICO.

Es una forma de obtener parada rápida. La armadura se desconecta de la línea y se conecta una resistencia de frenado a través de la misma. El campo permanece en la línea ya que el motor está trabajando y actúa como generador y fuerza corriente alrededor del circuito formado por la armadura y la resistencia de frenado.

Conociendo la torsión deseada de frenado y la resistencia en paralelo con la armadura, pero cuando se desea una rápida parada, tiende a llegar la corriente al doble de lo normal; conforme frena el motor, disminuye el voltaje generado y consecuentemente se reducen la corriente y la torsión de frenado. A velocidad cero no hay efecto de frenado.

Para una parada rápida a veces se divide la resistencia de frenado en dos o más pasos conforme decae el voltaje, manteniendo así alta la corriente, por lo que no es raro parar una máquina grande en un segundo o menos o un sistema de enclavamiento, bandas transportadoras, alineamiento con motores etc.

Una manera sencilla de representarlo es la siguiente figura, con motores de C.C.

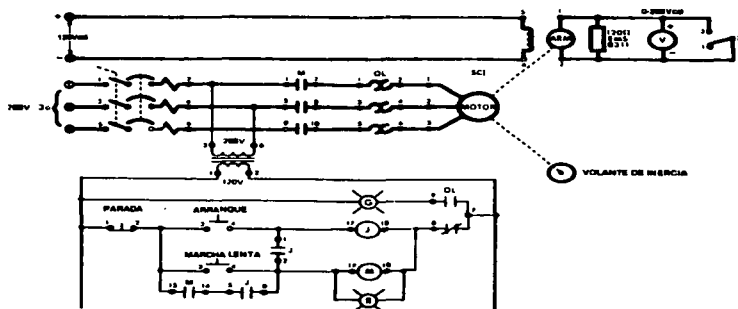


Figura 3.2.0. Frenado dinámico.

3.5.3. FRENADO REGENERATIVO.

El término regeneración implica que la energía generadora retorna a la fuente de alimentación a fin aprovechar la energía de rotación. En el caso del motor girando a una velocidad bastante elevada, cada vez que la carga tienda a arrastrar el motor en el mismo sentido y esté aplicada la plena excitación, existe una gran posibilidad de que la tensión de inducido exceda la tensión de línea. Si la naturaleza de la carga del motor es tal que tiende a arrastrar al motor (como en el caso de un ascensor en descenso), la velocidad del motor aumentará y la tensión generada tenderá a superar la de la línea considerablemente. Las cargas de los motores en locomotoras, trolebuses, ascensores, grúas y montacargas eléctricos tendrán la energía potencial suficiente. Por ejemplo: En lo alto de una pendiente o de una tracción; como también una fuerte carga empujada para descender, como en el caso de los elevadores, para llevar los ejes del motor a velocidades extremadamente elevadas, etc.

La velocidad de estos motores puede reducirse de una forma considerable prácticamente con un pequeño gasto de energía que no requiere ningún frenado dinámico o por rozamiento, mediante la utilización del frenado regenerativo. El principio es el de un dinamo de C.C.; funciona como motor cuando su inducido se conecta a la fuente de alimentación, cuando tiene una $F_{cm.}$, su tensión es menor en los bornes, y marchará a velocidad determinada por su excitación y absorberá

corriente de la red; si con la fuerza motriz lleva a una velocidad más elevada la trabajará a veces como generador.

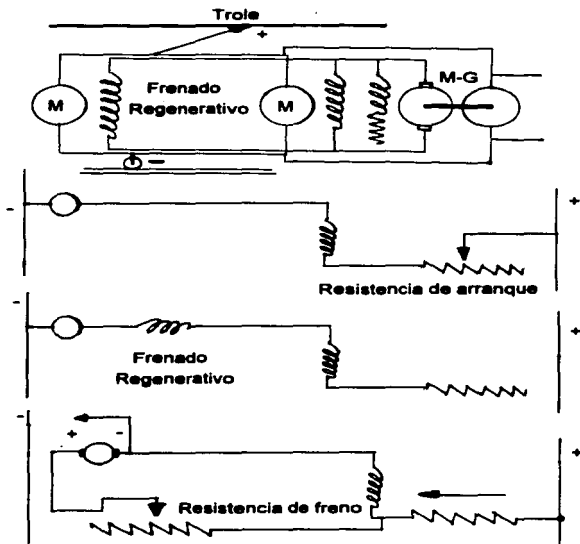


Figura 3.2.1. Frenado regenerativo

TÉCNICAS PARA EL CONTROL DE MOTORES C.A.. DE INDUCCIÓN.

3.6.1. APLICACIÓN

El siguiente circuito muestra la secuencia de fase de un estator de varios polos de un motor de inducción:

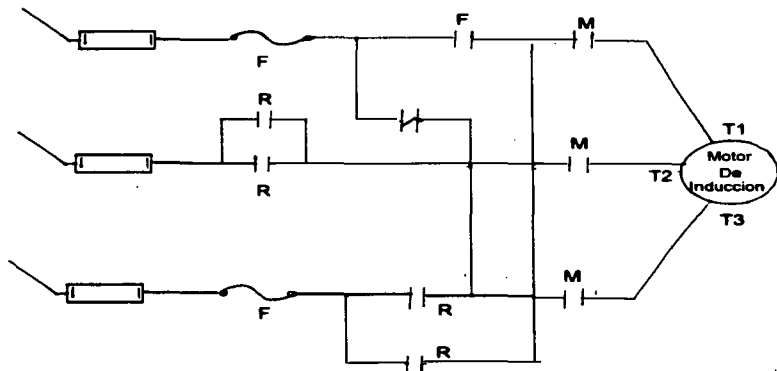


Figura 3.2.2. Secuencia de fase de un estator de varios polos de un motor de inducción:

El circuito de potencia para inversión manual y automática en un motor de inducción puede invertirse mediante el cierre de los contactos F o bien R. Esto mediante el empleo de interruptores de tambor, de otra manera con pulsadores y contactores de línea con relés en sentido directo o inverso. Conocemos ya el empleo de los motores de C.A.. Ahora veremos el control de velocidad para dichos motores

3.6.2. CONTROL DE VELOCIDAD EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE C.A.

La velocidad puede cambiarse variando el número de polos; este es un método que se adapta mejor a los motores de jaula de ardilla. Automáticamente supone el mismo número de polos que el estator. Con el objeto de prevenir una diferencia en las densidades de flujo para 2 velocidades, los devanados están conectados en delta, en este caso serie para el mayor número de polos y en estrella-paralelo para número menor.

El motor polifásico síncrono y el motor de inducción asíncrono, donde el primero es un dinamo de velocidad constante (par variable), doblemente excitada, cuyo inducido estático se excita con C.A. polifásica de una frecuencia determinada y cuya excitación rotórica es un electroimán de C.C., o un imán permanente. La velocidad del campo giratorio es función directa del número de polos y de la frecuencia de la fuente polifásica de C.A.:

$$S = \frac{120f}{P}$$

Otras formas de variar la velocidad serían:

- 1. Mediante la introducción de tensiones aplicadas al rotor de frecuencia deseada.*
- 2. Mediante el control de deslizamiento rotórico por medio del control reostático del rotor.*
- 3. Mediante el montaje del estator sobre cojinetes y conduciéndolo con un motor auxiliar.*

Las clases de motores polifásicos de todos los tipos, son de velocidad controlada mediante conmutación manual o reguladores automáticos.

TÉCNICAS DE CONTROL DE MOTORES MEDIANTE FORMAS DE DETENCIÓN DEL MOTOR DE C.A. (TIPOS DE FRENADO).

3.6.3. FRENADO POR INVERSIÓN.

Puede utilizarse el frenado de inversión siempre y cuando se desconecte el motor de la red como sucede en un motor de C.C. antes que se invierta su sentido de giro. Cuando un motor de inducción se pone en marcha a plena tensión (puede invertirse con las conexiones de líneas), de igual manera mediante arranques con la reducción de la corriente de línea que sería otra manera, mediante dispositivos de protección como pueden ser interruptores centrífugos o un relé de frenado por inversión para desconectar el motor de las líneas invertidas.

3.6.4. FRENADO DINÁMICO.

Al establecer este tipo de frenado, el estator se excita con C.C., produce polos electromagnéticos fijos. Los conductores del rotor de jaula de ardilla tienen una Fem. inducida alterna, entonces existen elevadas corrientes donde el motor de inducción

aumenta de un valor bajo a máximas velocidades, a un máximo a medida que la velocidad disminuye, pero desciende a un mínimo cerca del reposo veremos el siguiente circuito:

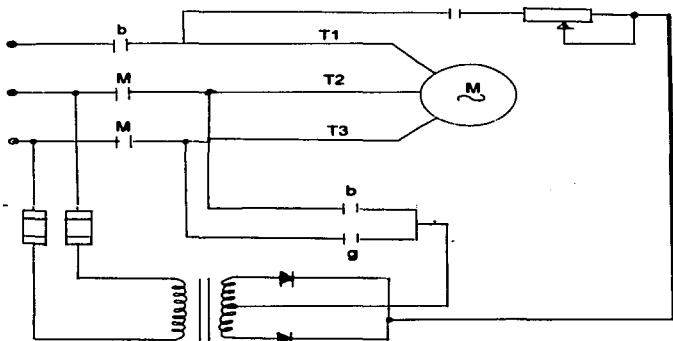


Figura 3.2.3. Frenado dinámico para motores de inducción.

Se muestra la conmutación para el frenado dinámico de C.C., manual y automático de un motor trifásico cuando los contactos M se cierran. Se muestra cuando los contactos B de frenado del circuito de fuente con C.C., excitado por medio de un transformador y de un rectificador de onda completa establecen a través de las terminales T1, T2 y T3 del inducido estático en un montaje serie-paralelo, la excitación de C.C. Se controla por medio de una resistencia variable que sirve para limitar la excitación y proteger los rectificadores. Las L y L' están continuamente con corriente.

3.6.5. FRENADO REGENERATIVO.

Sirve para limitar la excesiva velocidad del motor sin la necesidad de frenado mecánico y con pequeñas pérdidas de energía. Particularmente aplicable a cargas tales como montacargas, grúas, elevadores, ascensores y aplicaciones de tracción, donde la inercia de la carga o la fuerza de gravedad tiende a aumentar excesivamente la velocidad del motor.

3.7.1. SISTEMA DE ACELERACIÓN EN UN MOTOR DE C.C. Y C.A..

Generalidades: Cuando el motor comienza a trabajar, acelera mientras su torsión sea mayor que lo que recibe la carga; quedaría dentro el arranque mediante los controles automáticos de aceleración que abarcan los medios necesarios de controlar, el cierre de contactores de aceleración en la secuencia debida. Hay 3 métodos generales de aceleración:

- 1. Sistema de aceleración definida.*
- 2. Sistema de aceleración por límite de corriente.*
- 3. Aceleración de frecuencia.*

3.7.2. SISTEMA DE ACELERACIÓN DEFINIDA.

Se emplean relevadores de tiempo, los intervalos de tiempo entre los sucesivos pasos se ajustan a necesidades normales de pares de arranque. Los ajustes proporcionan una aceleración suave bajo condiciones promedio de carga. Si el motor no arranca aún durante el primer paso, el siguiente paso operará en el tiempo ajustado incrementando el par. Esto da al motor la oportunidad de acelerar bajo condiciones anormales de operación severa. Para un motor de C.A., donde el funcionamiento de los relevadores hace que los contactores pongan en cortocircuito progresivamente a un grupo de resistencias, la sincronización prefijada de los relevadores acelera al motor a una rapidez independiente de las condiciones de la carga.

Un arrancador por límite de corriente lleva un motor cargado ligeramente hasta su velocidad de operación a mayor rapidez que en motor cargado fuertemente, lo que constituye una ventaja sobre el arrancador de tiempo definido, que más adelante veremos. Sin embargo, con frecuencia es preferible este último debido a su aceleración medida cuidadosamente en el tiempo, cuando una máquina funcionando debe repetir el mismo ciclo en un proceso de manufactura, lo cual veremos en un motor de C.C.

El siguiente diagrama muestra un circuito arrancador de 2 pasos que nos muestra la aceleración y la alta inercia, producto del motor jaula de ardilla y volante de inercia para el motor de C.C., con campo en paralelo. La resistencia de arranque se ha reducido a 20. La resistencia de 10 en serie con el contacto M15-16 conectado a través de la armadura con frenado dinámico producido por el volante de inercia. Observe el circuito de la figura donde el relevador de voltaje de aceleración que consiste en el relevador TR y la resistencia 33, en serie 3 resistencias de 1000, a través de la armadura del motor.

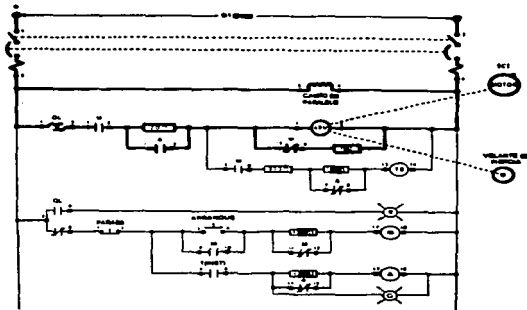


Figura 3.2.4. Circuito arrancador de dos pasos.

3.7.3. SISTEMA DE ACELERACIÓN POR LÍMITE DE CORRIENTE.

Emplea relevadores de respuesta de corriente en lugar de relevadores de tiempo para controlar los contactores de aceleración. El contactor de cada paso cierra solamente cuando la corriente del rotor ha caído a un valor predeterminado, esto significa ajustes de arranque automático para varias condiciones de carga; se mantienen uniformes la corriente de aceleración y picos de par. El método puede evaluarse donde la carga accionada no puede usar un par arriba de ciertos límites. Por ejemplo: Un sistema de cadenas que llevan los elevadores, una banda transportadora, la cual podría deslizarse. Lo veremos en el motor de inducción.

Para un motor de C.C., se hace para cambiar los valores de la corriente de armadura conforme acelera el motor. A su vez, los relevadores funcionan para suministrar energía a los contactores conforme cortan o ponen en cortocircuito, sucesivamente, a un número igual de resistencias. Para este control tenemos un motor de C.C. en derivación con arranque y parada a través de un botón de arranque, contactor principal, relevadores de aceleración, resistencias. Los relevadores se conectan a través de la armadura, en la que el voltaje aumenta progresivamente según el motor adquiere su velocidad. Los relevadores se ajustan para funcionar a voltajes sucesivamente más altos en 50, 75 y 90% de la velocidad total; cierran sus contactos y dan energía a los contactores de aceleración, los que a su vez ponen en cortocircuito a las resistencias de arranque. Al arrancar el motor, su F_{cem} , en la caída de voltaje a través de los relevadores de aceleración, es baja. Sin

embargo, cuando acelera el motor y la F_{cm} aumenta lo bastante para hacer funcionar el relevador 1AR (50% de voltaje), el contacto 1A se cierra en el circuito del contactor 1A; esto hace que se cierre el contacto 1A y ponga en cortocircuito el primer paso de la resistencia R_1 . Con aceleración adicional del motor, el relevador 2AR opera a su potencial ajustado (75% del voltaje) y cierra el contacto 2AR y el contactor 2A. Con el resultado la resistencia R_2 esta en cortocircuito y finalmente, cuando el motor ha acelerado hasta el punto en que la F_{cm} de la armadura es aproximadamente 90% de voltaje de línea, el relevador 3AR cierra su contacto en serie con la bobina contactora 3A. El contactor 3A pone entonces en cortocircuito a la resistencia R_3 y la armadura opera normalmente al potencial total de la línea .

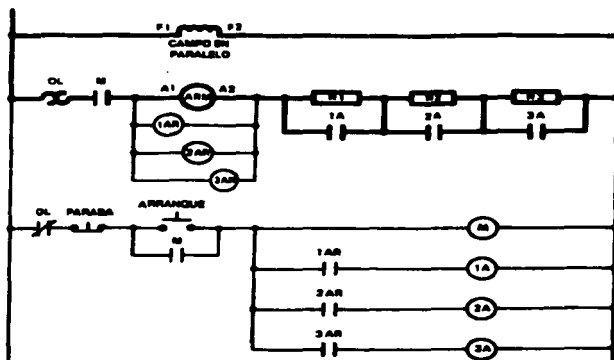


Figura 3.2.5. sistema de aceleración por límite de corriente.

3.7.4. ACELERACIÓN DE FRECUENCIA.

El tercer método consiste en la aceleración de frecuencia secundaria; está basado en el hecho de que la frecuencia del rotor es proporcional al deslizamiento y es por lo tanto una medida precisa de la velocidad de respuesta de frecuencia; puede usarse para controlar contactores de aceleración a velocidades predeterminadas del motor.

3.7.5. CONTROL DE MOTORES MEDIANTE FRECUENCIA AJUSTABLE.

La velocidad sincrónica de motores síncronos y asíncronos es directamente proporcional a la frecuencia aplicada. Una forma de conseguir variar la velocidad de estos motores es a través de la alimentación de frecuencia variable. Este tipo de control es eficaz y con motores síncronos, puede sobreexcitar el motor síncrono de modo que genere la potencia reactiva en lugar de consumirla. Esta propiedad hace a este sistema de accionamiento particularmente útil en el caso de potencias grandes, pues es relativamente fácil compensar la potencia reactiva necesaria para la conmutación del inversor sin utilizar condensadores (se debe notar que en el caso de motores síncronos controlados por una frecuencia variable, no es posible alimentar la red con reactivos, como en el uso de motores síncronos de velocidad constante). Es por lo tanto, un dispositivo de control capaz de generar potencia con frecuencia ajustable; en general consisten en:

1. *Un rectificador tiristorizado, sencillo o doble, o un rectificador de diodos.*
2. *Una reactancia de conexión (filtro) y posiblemente una batería de condensadores.*
3. *Un inversor, capaz de proveer cargas con factor de potencia inductivo, en el caso de los motores de inducción.*

Para formar un sistema de ondas de tensión trifásico con un inversor, se conectan por lo menos 6 tiristores en configuración puente. Excitándose los tiristores con señales generadas externamente en una secuencia preestablecida, se genera una forma de onda rectangular o escalonada de un sistema trifásico en las terminales de C.A. del puente. Aumentando o disminuyendo la variación de la excitación se puede alterar la frecuencia del sistema trifásico generado, e incluso aumentar la frecuencia por encima del valor de la red una vez que la conversión en C.C. desacopla la salida de la entrada.

3.7.6. CONTROL DE FRECUENCIA AJUSTABLE CON FLUJO CONSTANTE.

De la ecuación de flujo de campo:

$$\phi = \frac{U}{KNF}$$

U es la tensión de alimentación.

N es el número de espiras.

F es la frecuencia de alimentación.

En el caso de que ϕ se mantenga constante, el par motor se mantendrá también.

Esto se consigue variando V y F, lo que conforma la curva par-velocidad para un motor asíncrono con control de frecuencia constante.

En caso de que esto no se efectúe, habrá una reducción del par motor (comprobable a la debilitación del campo de los motores de C.C.). Otro tipo de sistema para variar la frecuencia es el llamado *cicloconvertor*. Este tipo se recomienda más en el uso de motores de C.C., que de C.A., porque consume más potencia debido al gran número de tiristores y por lo tanto, el control se hace bastante complicado. Además, la velocidad del motor se limita aproximadamente a un tercio de la velocidad síncrona que corresponde a la frecuencia de la red.

EMBRAGUES ELECTROMAGNÉTICOS.

3.8.1. ACCIONAMIENTOS CON EMBRAGUES.

Generalidades: La finalidad básica de la utilización de embragues es permitir que durante la aceleración de motores asíncronos, el arranque se haga prácticamente en vacío. De esta manera, las altas corrientes se caracterizan en el arranque de los motores que tienen una duración mínima, con evidentes ventajas para la línea de alimentación y para el motor. Si se carga el motor por medio del embrague, a partir de una velocidad síncrona para velocidades más bajas, implica que el motor puede alcanzar su par con velocidades descendentes y no con crecientes. Se pueden utilizar los embragues para controlar la velocidad; también como convertidores de par. Son los amortiguadores de los transitorios de la carga.

3.8.2. EMBRAGUES Y FRENOS ELECTROMAGNÉTICOS (CLUTCHES Y BRAKES).

Los embragues electromagnéticos y frenos magnéticos pueden estar agrupados dentro de dos categorías principales:

Tipos friccionales, los cuales no utilizan contacto físico entre la entrada y la salida. Estos incluyen partículas magnéticas, corrientes de Eddy e histéresis. En la partícula magnética de freno, existe un flujo magnético y en la desmagnetización, fluye entre la entrada y la salida de los miembros. Cuando el aceite es energizado, las partículas son magnetizadas y todo junto forman una cadena casi como una masa sólida de metal. Más cara que las unidades de fricción, para proveer rápida respuesta en su operación, la torsión es independiente de la velocidad. Las corrientes de Eddy en los embragues, emplean un campo magnético en el cual las corrientes de Eddy

producen el manejo de la fuerza; con este método, la entrada puede rotar más rápido que el rendimiento del rotor para producir el esfuerzo de torsión. Como resultado, este tipo de freno no puede ser usado para ciertas aplicaciones. También puede ser sensitivo a la temperatura.

Las corrientes de Eddy en los embragues son utilizadas en los ajustes de el manejo de velocidad para el equipo de procesamiento, ya que forzan hacia afuera la correa de transmisión, que se ve en el proceso de impresión y maquinaria de paquetería.

Bajo el principio de histéresis, la parte magnetizante sólo provee la fuerza necesaria para poder transmitir la fuerza de torsión. Este tipo de embrague está por lo general limitado para bajos rangos de torsión (menos de 10 Lb-ft). Esta ventaja proporciona una buena linealidad para un apropiado rango. El torque es independiente del deslizamiento de la velocidad.

Los embragues de fricción y frenos son los llamados caballos de fuerza de la industria. No son caros, pero si versátiles y de rápida acción. En una fricción eléctrica actúa el embrague y el rotor es montado al eje del motor y ayudado con una llave, que es insertada dentro de la cara del rotor; es una fricción del material que provee una superficie de distribución para una larga área, resultando un gran consumo. En muchas aplicaciones, puede ser recuperable gradualmente y cuando un miembro del embrague rota más rápido que el otro, el embrague se desliza. Como las dos partes están cerradas, la fricción entre ellas se incrementa y el manejo de las partes rotatorias, rotan más rápido y más rápido, hasta que ambas partes son operadas a la misma velocidad (sin deslizamiento). Este es un compromiso gradual seguido por la carga para que sea recuperable, lento y al parejo (La velocidad de deslizamiento es la velocidad en la cual el manejo se encuentra desviado, menor a la velocidad del manejo del miembro).

Una momentánea fricción del material por lo general está montada entre el mecanismo de transmisión para llevar una buena resistencia. La principal desventaja de los embragues de fricción esta en la superficie de contacto, y de su necesidad por ajustar, y de su eventualidad en su remplazo. En suma, las unidades tienen que estar rodando para continuos deslizamientos, sencillos y múltiples discos de señales. Están disponibles para ambos embragues de tipo axial y radial. Mientras un disco sencillo sea designado puede haber superficies de contacto por cada disco; los embragues de discos múltiples tienen gran superficie, por eso tienen una capacidad más grande. Por montones o incrementos del número de discos, el diámetro de un embrague de fricción podrá ser reducido sin pérdida de su capacidad. Este rasgo es usado cuando el espacio disponible entre la máquina o el sistema es limitado. Sin embargo, los embragues de múltiple disco por lo general no son recomendados para deslizamientos continuos.

Un positivo compromiso del embrague puede ser usado en situaciones donde la carga gradual no es requerida. En este caso un engrane de la armadura está dibujado, depende de técnicas de interrupción y en la protección de contactos. Sin la protección de contactos, desengranar tiempos de alrededor de 50 seg. hay poca respuesta a valores que pueden ser esperados. Para asegurar respuestas rápidas de operación, la interrupción podrá ser ejecutada en la parte de corriente alterna que la fuerza ha de proveer. De esta manera, responde a tiempos que no son afectados por el tiempo requerido de filtración de la red de la energía requerida. La capacidad de un embrague está determinada por esta habilidad para mantener el contacto por entre la rueda motriz y el mecanismo de transmisión, es decir, para transmitir la torsión.

Generalmente, la más grande superficie de trabajo o área de contacto de la fachada, la de más grande capacidad para transmitir la torsión. Tres tipos de torsión son importantes en la aplicación de los embragues. La torsión a un embrague que se transmite durante el deslizamiento es llamada *torsión dinámica*.

Una segunda se encuentra cuando una carga puede estar acelerada o traer una cierta velocidad dentro de un periodo de tiempo, es conocido como el *tiempo a velocidad promedio de torsión*. Cuando el embrague esta totalmente enganchado, a una condición de deslizamiento cero, el embrague transmite la máxima torsión, llamada estática o *torsión de manejo de carga completa*. La torsión para el embrague/freno puede ser expresada en términos de caballos de fuerza y velocidad ó tiempo y velocidad, entonces:

$$T = \frac{5250kp}{N} \dots\dots\dots 1$$

$$T_{acc} = \frac{(AN)WR}{3086} \dots\dots 2$$

Quando la torsión actual requerida no esta disponible y la inercia de la carga WR, no pueden ser determinada tan fácilmente, la ecuación (1) puede ser utilizada. El valor del factor de seguridad k, generalmente varia entre 1.5 y 3. Para encender el medio de aplicaciones, tales como maquina de fabricación las cuales empiezan a cortar después de que la herramienta entra a la velocidad, el factor de servicio es de 1.5. En este caso la máxima torsión es requerida después de acelerar. Un factor de servicio de 3 es usado en la aplicación de cargas pesadas, por ejemplo fabricar la máxima barra de una carga, puede ser acelerada desde cero para algunos manejos de velocidad y máxima torsión, hasta la que es requerida durante la aceleración.

Las tablas en la caja proveen una rápida guía para la medida del embrague/freno para un particular caballo de fuerza, para el primer movimiento, y el eje de velocidad.

La ecuación 2 se aplica para la inercia de el sistema y la torsión adicional para vencer la fricción. Finalmente, el calor de disipación y la porción del ciclo de la unidad podría ser también checada. Durante la aceleración o desaceleración de la carga, el calor se genera con la superficie de deslizamiento. El calor generado está determinado por:

$$E = 1.7WR^2 \left(\frac{CN}{100} \right)^2$$

El limite superior del número de comienzo o paro por minuto es:

$$C = (4 \times 10) \frac{A}{WR^2 N^2}$$

El porcentaje más rápido del ciclo, el alto calor de entrada, el calor se incrementa con la resistencia, resultando aún mas lejano el deslizamiento e incrementándose el calor de entrada a la bobina. Un alto porcentaje del ciclo (50% de ciclo obligatorio), por lo general produce gran consumo y reduce la vida de operación.

3.8.3. AHORRO DE ENERGÍA CON EMBRAGUES Y FRENOS ELECTROMAGNÉTICOS.

La escasez de energía ha movido el interés por encontrar nuevas aplicaciones para los embragues y frenos electromagnéticos, con componentes de comienzo y para torsiones que frecuentemente pueden ser producidos por pequeños motores.

El motor puede estar produciendo velocidades separadas, entonces acopladas a la carga a través del embrague; el motor no necesita proveerse de alta torsión para evitar la fricción de la carga. En una aplicación de un embrague electromagnético/freno ensamblado.

El porcentaje del ciclo de una máquina común es doble al incrementarse la producción. Originalmente las tres velocidades giran alrededor de 0.5 HP de un motor de C.A., con pie-freno ensamblado. La carga se recupera directamente con el motor y el pie-freno para cuando el motor está en corto. Una desventaja de esta máquina está en su poca respuesta.

Es considerable el tiempo requerido para que el motor llegue a alcanzar la velocidad y para el freno para parar el eje. Para remplazar el existente pie-freno con un embrague electromagnético, sin embargo, el ciclo se incrementa por 100% y la vida del motor improvisado.

Es considerable el ahorro de energía. La figura muestra la forma de aplicación.

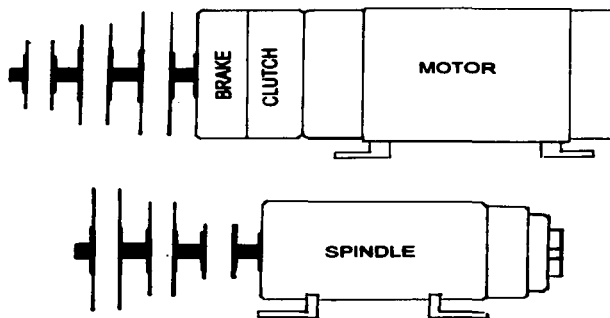


Figura 3.2.6. Ensamblaje original.

En el ensamblaje modificado, el motor gira continuamente a la constante de la velocidad, y la carga es enganchada por el embrague; al final del ciclo, el embrague desengancha y también el freno del eje.

Para encontrar la proporción embrague/freno se ensambla un incremento en el ciclo, lo que requiere la torsión para la ecuación:

$$\text{TORQUE} = \frac{\text{PAR}(k)(\text{Velocidad De Giro})}{\text{N}(\text{RPM})}$$

Las siguientes tablas son una gran guía para una medida de un embrague o freno electromagnético. Para poder utilizar las tablas, primero se determina si la aplicación es ligera ($k = 1.5$) o pesada ($k = 3$). Entonces por lo general el uso de los caballos de fuerza y la velocidad del eje para determinar el diámetro de el embrague o freno.

Estas tablas producen básicamente los mismos resultados como utilizar la ecuación descripta en el ahorro de energía y el calor de disipación y tablas de inercia, a continuación se muestran las tablas:

El calor de disipación no es factor, porque la mantisa de la superficie no resbala, y por lo tanto, este tipo de embrague no genera calor.

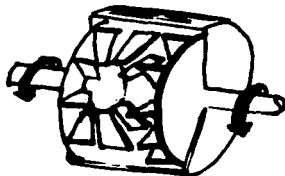
3.8.4. EMBRAGUES Y FRENOS ELECTROMAGNÉTICOS SIN FRICCIÓN.

La corriente por histéresis se acopla en la entrada y salida. Estos dispositivos están limitados para bajo-torsión en aplicaciones tales como: manejo de cinta e instrumentos de servicio. Las partículas magnéticas de lazo rígido entre la entrada y salidas del rotor en estos dispositivos tienen una moderada baja de respuesta y son ampliamente utilizadas a una velocidad ajustable del sistema de manejo. Los embragues electromagnéticos usan electromagnetismo para acoplar la entrada y salida del eje. Una bobina eléctrica genera magnetismo para atraer la fachada del material dentro del compromiso para transmisión de la energía. La suma de corriente aplicada a la bobina de control da la fuerza magnética hasta transmitir la torsión. Similarmente los frenos electromagnéticos utilizan campo magnético para atraer el freno dentro del espacio. En este caso, una de las fachadas se encuentra en forma estacionaria, mientras la otra rota con la vuelta del otro componente. En suma, para separar las unidades de la combinación de un freno y embrague ensamblado, son también disponibles estos ensambles que operan en coordinación de los mismos principios como la separación de las unidades. Generalmente el electromagnetismo es rodeado por una aura. Como resultado hay alguna confusión acerca de la designación recomendada para producir electromagnetismo en los embragues y frenos y en general, a los dispositivos no sofisticados, que muestran una simplificación para elegir la mejor aplicación.

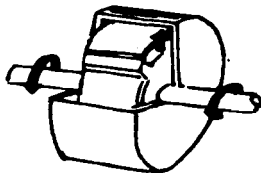
3.8.5. CARACTERÍSTICAS DEL ACOPLAMIENTO PARA EMBRAGUES MAGNÉTICOS.

El acoplamiento centrífugo es menos costoso que el acoplamiento por deslizamiento, con la más alta capacidad de torsión. El acoplamiento centrífugo es frecuentemente insertado entre una combustión interna y la carga sobre el pequeño control de operación del artefacto tales como: cortadoras de césped y cadena cortadoras de equipo industrial y vehículos. Para la designación automática en baja velocidad, el acoplamiento se provee de un medio de conexión de la máquina a la de simple control de trote, donde se precisa que el compromiso no sea crítico. Del tipo de acoplamiento de fluido son de los más costosos y su operación es igual a la de los tipos centrífugos, pero con eficiencia baja, debida a que el acoplamiento del fluido no cierra la entrada y salida juntas. El acoplamiento de fluido se usa típicamente en aplicaciones que requieren extremadamente un empieza suave, protección de cargas de choque, y cargas con alta inercia. El acoplamiento magnético provee una alta precisión, en el acoplamiento de fluido por deslizamiento, pero requiere una fuente de energía externa y un circuito de control. Las

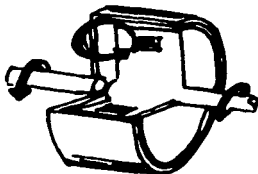
características de deslizamiento son reguladas por un ajuste o por una señal externa aplicada directamente por medio de un control electrónico. Debido a el volumen, delicado y natural, y el costo de sus controles y de su fuente de poder, el acoplamiento magnético está generalmente confiado a ser estacionario, por la precisión en su aplicación, tal como la alta velocidad en computadoras periféricas.



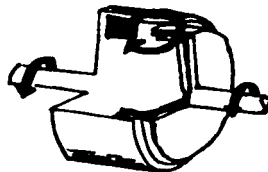
a) De fluido



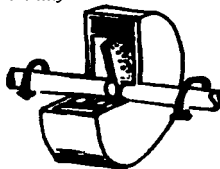
b) Centrífugo



c) Corriente de Eddy



d) De histéresis



e) De partículas magnéticas.

Figura 3.2.7. Tipos de embragues.

3.8.6. CAMBIO EN EL DESLIZAMIENTO DEL TIEMPO.

El cambio del deslizamiento requerido acelera la carga desde el reposo hasta una alta velocidad que es de aproximadamente 20 segundos. Para deslizamiento de velocidad más precisa se requiere que la transmisión de torsión en el acoplamiento sea modificada, por ejemplo, bajar el nivel del fluido en un acoplamiento de fluido incrementa el deslizamiento como se muestra en la gráfica:

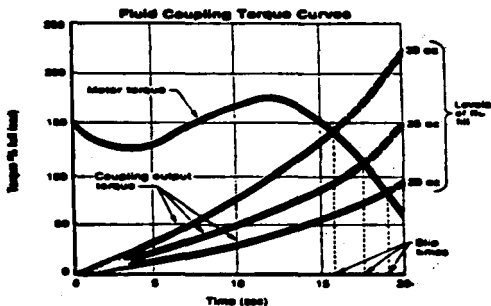


Figura 3.2.8. cambio en el deslizamiento

Este mismo efecto es obtenido en otros tipos de acoplamiento para bajar la corriente en la bobina del acoplamiento y por restringir la fricción de un acoplamiento centrífugo. Como el tiempo de deslizamiento es incrementado, sin embargo, al empezar la torsión, es decreciente y el calor disipado se incrementa. Por esta razón, más acoplamientos por deslizamiento tienen mayor porcentaje de tiempos deslizables basados en la capacidad térmica. Los tiempos de deslizamientos máximos son típicos solamente en pocos minutos, pero algunos acoplamientos tienen aire centrífugo en la entrada del eje, para aire circulante. El tiempo de deslizamiento mínimo para una aplicación será calculada desde el motor y el parámetro de carga mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{IN^2}{(1.61 \times 10^6 p)}$$

Si las corrientes de Eddy no pueden ser usadas efectivamente en ambientes de alrededor de los 180 a 200° F, el acoplamiento tiene grandes acciones de acojinamiento del acoplamiento magnético y son, sin embargo, usadas donde hay un empleo suave y choque de cargas como protección requerida. También, rehabilita y da servicio de vida que son excelentes, porque no hay conexión física entre la entrada y la salida de los componentes.

El acoplamiento por histéresis es muy eficiente y es el más preciso de todos los acoplamientos. Con una alta precisión en las unidades capaces del 0.1% de respetabilidad. Sin embargo el dispositivo de histéresis es más largo por unidad de torsión que otros acoplamientos magnéticos, y por lo general, tiene una baja respuesta y un mayor precio que otros acoplamientos magnéticos.

3.8.7. FACTORES DE DISEÑO.

Hay ciertamente características y parámetros que determinan la correcta medida del embrague o freno para un trabajo específico; uno de los más importantes factores de diseño es el de responder al tiempo; el embrague responde al "tiempo o velocidad definida", como el tiempo desde el momento en que es energizado hasta una velocidad específica. La rotación, sin embargo, no funciona hasta que la salida de torsión del embrague excede la carga de fricción. Donde la carga es pequeña, el tiempo para vencer la fricción puede ser ignorada porque el embrague tiene suficiente rendimiento en el instante de contacto. La respuesta más rápida puede ser producida por la fuerza de voltajes, como 50 veces la respuesta. La técnica puede reproducir respuestas por 50% a 80%. Energizando a 1.5 la bobina de C.D., con 75 V.c.d., por varios milisegundos.

La actual respuesta de tiempo depende de la carga sobre el embrague o freno, de la entrada angular, de la velocidad entre la pieza y el manejo de la carga. Cuando la operación de la capacidad de torsión completa así la localización de un embrague o freno en una alta o baja velocidad del eje como un profundo efecto de su capacidad, por un instante, la localización de la unidad de alta velocidad del eje resulta en una pequeña unidad; baja el costo de la unidad y posee una mayor habilidad para disipar el calor porque convierte el calor de disipación a lo más grande. Sin embargo, la entrada del calor es también más grande que el deslizamiento; generalmente, la velocidad más grande del eje es seleccionada en el deslizamiento del calor.

3.8.8. UNIDAD DE MEDIDA.

Cuando se especifica un embrague, freno, o combinación para una aplicación particular, se pueden considerar dos puntos:

1. Cuando la selección es hecha sobre la base de torsión requerida, la capacidad del calor de disipación puede ser evaluada.
2. El tiempo de respuesta de una unidad puede no afectar la respuesta del sistema.

La unidad de procedimiento incluye términos :

- a) Encontrar la torsión requerida para hacer el trabajo (ecuación 1 o 2) basada sobre información disponible acerca de las aplicaciones: medida del motor, velocidad de operación o velocidad del eje o porcentaje cíclico.
- b) Encontrar el embrague/freno de la torsión para el diámetro (ver tablas).
- c) Checar la selección de la unidad para la capacidad de disipación del calor (ver gráfica de disipación del calor)

En la aplicación de tensión-control, la selección producida por el embrague o freno también puede desconectar el deslizamiento. Esta condición genera mas calor, especialmente a baja velocidad, en el eje de máximo radio:

$$N = \frac{N_s}{2\pi R}$$

La torsión es calculada en el punto máximo radio:

$$t = FR$$

Usando los valores de N y t, los caballos de fuerza y la energía de disipación es calculada como se hizo antes.

3.8.9. EJEMPLO DEL BRAKE/CLUTCH.

Esta es una aplicación sobre el light-duty con una constante $K=1.5.$, pero también con la condición de baja velocidad requerida y el alto torque y velocidad $N=750$ R.P.M., por lo tanto el torque es:

$$T = \frac{5,250(1.5)(0.5)}{750}$$

$$T = 5.25 \text{ lb-ft.} = 63 \text{ lb-in.}$$

Para las características en 2.45 pulgadas del diámetro del freno, que son las unidades requeridas del torque. Nuevamente el freno será checado por la alta

capacidad de calor disipado. Porque la alta velocidad de operación es el peor caso por calor generado. $N = 3.000 \text{ RPM.}$, es utilizado en este calculo para la tabla A = 14 por este freno/embrague.; también lo inmóvil del sistema representa que es:

$$WR^2 = \frac{0.398 \text{ LB-FT}^2}{\text{IN}}$$

Por lo tanto el máximo número de vueltas será hasta el tope de 3000 RPM que es en este caso:

$$C = \frac{4 \times 10^5 (14)}{(0.398)(3000)^2}$$

$$C = 1.56 \text{ operaciones/minuto} = 94 \text{ operaciones/hora.}$$

Lo cual es tan grande que requerimos de 70 operaciones/hr. y para la ecuación 3.

$$E = 1.71(0.398)(1.56) \left(\frac{3000}{100} \right)^2$$

$$E = 949 \text{ lb-ft/min.}$$

Checando el calor de disipación de la tabulación del diámetro del freno en 2.45 pulgadas, tuvo una capacidad de 3,100 lb-ft por minuto y por lo tanto es adecuado para la aplicación.

3.9.1. VARIADORES DE VELOCIDAD PARA MOTORES DE C.A. Y DE C.C.

En los variadores de velocidad con motor de C.C., el colector impide que la máquina pueda ser utilizada en ciertos campos de aplicación:

- *Velocidades elevadas (más de 3000 RPM).*
- *Potencias elevadas (más de 10 MW).*
- *Tensiones de alimentación elevadas (más de 1500V).*

La presencia del colector requiere un mantenimiento continuo e impide ser empleado en atmósferas explosivas; debido a esto, necesitaremos de motores de C.A. que requieren una electrónica de potencia que podría elevar el costo, pero nos proporcionan como alternativa una mejor rentabilidad.

Para variar la velocidad de rotación, podemos cambiar la frecuencia de alimentación. Si alimentamos el deslizamiento se puede reducir:

- *Tensión de alimentación en el rotor de jaula de ardilla.*
- *Aumentando la resistencia en el secundario de las fases rotóricas con ayuda de un reóstato; si el rotor es bobinado, recuperaríamos algo de energía del rotor. Afirmaríamos que para variar la frecuencia necesitaremos que las tensiones sean aplicadas.*

Recuperación de potencia de lado del Rotor. - Puede regularse la velocidad del motor con anillos rozantes, alimentado directamente por la red a la tensión y frecuencia constantes actuando sobre la potencia sacada del rotor por los anillos; si se desprecia todas las pérdidas, la dificultad que aparece es que las tensiones entre los anillos tienen un valor y sobre todo una frecuencia variable. Si se utiliza la potencia que sale del rotor, será preciso convertirla de alterna a continua rectificando las tensiones de salida del rotor mediante semiconductores

3.9.2. VARIADORES NO REVERSIBLES.

Cuando un motor de C.C., sólo debe girar en un sentido y la carga no requiere frenados rápidos, se utiliza un variador no reversible; o sea, en un giro sólo para un lado y sólo permite el funcionamiento en el primer cuadrante como se ve en la figura:

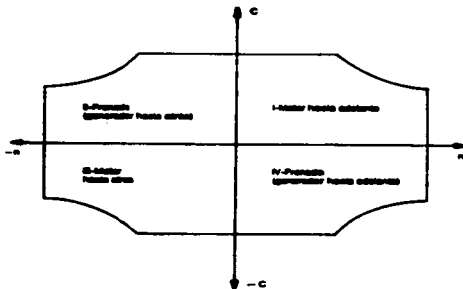


Figura 3.2.9. Funcionamiento en cuadrantes.

Dentro de los variadores, entran los montajes alimentados con tensión monofásica que habitualmente se alimentan de una fase de voltaje; en los variadores de velocidad de pequeña potencia, hasta 10 KW aproximadamente, se utiliza el puente con 4 tiristores y diodos que permiten un mejor rizo de tensión, factor de potencia en la línea y por lo tanto menor potencia reactiva consumida. En montajes de media y baja potencia alimentados con tensión trifásica se utiliza el montaje mixto (2 diodos y 2 tiristores), para elevar potencia, debido al hecho de que requiere la mitad de tiristores. Además de disminuir la tensión rectificadora, los factores de potencia se deterioran menos, pero presentan el inconveniente de no poder dar valores muy pequeños de tensión, lo que obliga casi siempre a poner una inductancia en serie con el inducido; por último, tiene el inconveniente de tomar la red trifásica corrientes que contienen armónicos. En montajes de gran potencia con tensión trifásica, que funcionan con equipos de gran potencia, se alimentan normalmente por la red trifásica bajo una tensión tal que hace preciso la utilización de un transformador reductor, además de reducir el rizado de la tensión rectificadora aplicada al motor y procurar no tomar demasiada potencia reactiva de la red, que la corriente no tenga un nivel de armónicos demasiado elevado; para ello se utilizan combinaciones de diodos y tiristores para formar un doble puente mixto.

3.9.3. LOS VARIADORES REVERSIBLES.

Se entiende por variador reversible aquel sistema que permite la inversión rápida del sentido de giro; si no hace falta que la inversión de sentido de giro sea rápida puede utilizarse un variador no reversible. Para frenar la máquina funcionando como generador que alimente a una resistencia y una vez parada se invierte con un interruptor mecánico el sentido de aplicación de la tensión del inducido, se utiliza el frenado rápido que empleamos en las aplicaciones; en este capítulo de frenados eléctricos se tienen montajes como son:

- *Para la inversión de la corriente en el inductor.*
- *Para la inversión de la corriente en el inducido.*

El primero nos dice que el inducido se alimenta con un solo rectificador y con tiristores (puente de cuatro) para un circuito monofásico, (puente de 6 para un sistema trifásico). La inversión del par se realiza invirtiendo la corriente del inductor. El siguiente se da con el inducido que alimenta también con un rectificador y tiristores; la inversión del par se obtiene invirtiendo con ayuda de un contactor bipolar, este hace que la corriente sea nula. El tiempo de reposo de inversión al par corresponde al tiempo de detención de la corriente nula, más el tiempo de respuesta del sistema mecánico que varía entre 0.1 seg y 0.3 seg'; esto da menor fiabilidad al sistema, al mismo tiempo que requiere un mayor mantenimiento si el número de inversiones es elevado.

CAPÍTULO I V

**CONTROL ELECTRONICO DE MOTORES
ELECTRICOS**

CAPÍTULO I V

CONTROL ELECTRÓNICO DE MOTORES ELÉCTRICOS.

4.1.1. DESARROLLO DEL CONTROL ELECTRÓNICO EN MOTORES ELÉCTRICOS.

Generalidades: Con el desarrollo del motor de C.A., y la extensa distribución de energía, se idearon diversos tipos de procedimientos para el control de motores para C.A., dejando atrás el de C.C. La aparición de la válvula electrónica triodo de gas y de los tiristores, el amplificador magnético y los amplificadores de potencia (rotativos), entre ellos el Ward Leonard, amplidina, etc., junto con el desarrollo del SCR (rectificador controlado de silicio), para servicios de baja y media potencia, ha creado posibilidades ilimitadas para el control de motores de una fuente de C.A. mediante dispositivos electrónicos. En tamaño, seguridad y eficacia los SCR's son ahora asequibles hasta 400 A (eficaces) con tensiones nominales de (paso y de bloqueo) 1200 V. Por encima de esta potencia es preferible utilizar rectificadores de vapor de mercurio, amplificadores magnéticos o convertidores rotativos, a fin de transformar y proporcionar la C.C. suficiente para motores (superiores a 100 CV. de 115 V de C.C ó 200 CV a 220 V) en líneas trifásicas o monofásicas.

4.2.1. EQUIPOS DE REGULACIÓN Y CONTROL.

En este capítulo nos introduciremos al control electrónico de motores. Mencionaremos los equipos analógicos, y digitales, los cuales en su conjunto ya abarcan la alimentación, la disposición mecánica e instalación, etc. En el diagrama a bloques se presentan en forma esquemática.

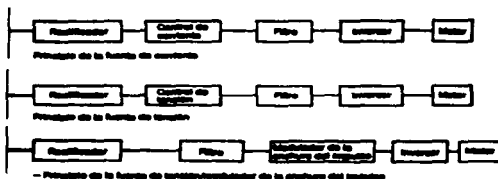


Figura 4.1.0. Diagrama a bloques.

Como podemos observar, a los equipos los constituyen los dispositivos de alimentación, consigna y medida, convertidores, rectificadores, reguladores y

equipos de potencia con la máquina eléctrica. Desde una red trifásica o monofásica con un interruptor principal, con sus protecciones de sobrecarga, deberá haber una concepción de acuerdo a las perturbaciones provocadas por el equipo de potencia en los dispositivos electrónicos. En el circuito de potencia, la salida será una variable directa, alternando la fuente de voltaje o variando la frecuencia y el voltaje. Del circuito que proporcione respuesta a las señales para el sistema, controlando los tiristores de potencia del circuito, encendiendo o apagando en un determinado sistema. Un ejemplo muy simple sería una máquina rotatoria, con el manejo de cargas apropiado para una retroalimentación de salida, y controlando el comando en respuesta de realimentación de señales, a un circuito digital.

DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS.

4.3.1. OPERACIÓN DEL SCR.

Es un rectificador controlable compuesto de silicio (SCR), dispositivo de 3 terminales utilizado para controlar corrientes relativamente grandes de una carga.



Figura 4.1.1. Rectificador controlable de silicio.

Actúa de manera similar a un interruptor. Cuando está conduciendo, presenta un camino de baja resistencia para el flujo de corriente de ánodo a cátodo y actúa como un interruptor cerrado. Cuando está bloqueado, no puede fluir corriente de ánodo a cátodo, actúa como interruptor abierto; debido a que es un dispositivo de estado sólido, la conmutación de un SCR es muy rápida. Un promedio de la corriente que fluye por la carga es controlable por medio de un SCR en serie con la carga que podría ser un motor de C.A. ó C.C.

Se utiliza una fuente de C.D. en circuitos especiales con SCR's y con 60 Hz de frecuencia. Si la fuente de alimentación es de C.A., el SCR permanece en cierta posición del periodo que es de 16.67 mseg. Estos deben repartirse entre el estado de conducción y el estado bloqueado. Si el SCR permanece en el estado de conducción durante una pequeña porción del periodo, la magnitud promedio de la corriente puede fluir de la fuente a la carga a través del SCR solamente durante un semiciclo positivo de la fuente; es el tiempo en el cual el ánodo es más positivo que el cátodo; en el otro semiciclo, la polaridad es negativa, la cual hace que se encuentre inversamente polarizado, lo cual impide que circule cualquier corriente hacia la carga, debido a la conexión peculiar de la figura siguiente, tenemos retroalimentación positiva.

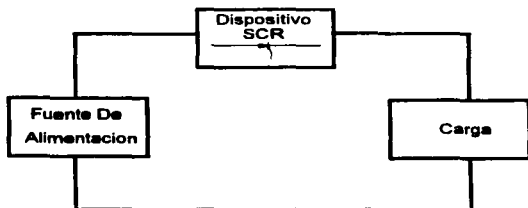


Figura 4.1.2. Retroalimentación positiva.

Por ejemplo, si la corriente de base de Q_2 se incrementa, la corriente de colector de Q_2 se incrementa también. Esto fuerza a que más corriente de base circule por Q_1 . A su vez esto produce una corriente de colector mayor en Q_1 , lo cuál excita más la base de Q_2 . Este aumento en las corrientes continúa hasta que ambos transistores son llevados a saturación. En este caso, el circuito actúa como un conmutador cerrado. Pero si algo ocasiona que la corriente de base Q_2 disminuya, la corriente de colector Q_2 decrecerá. Esto produce la corriente de base de Q_1 , lo cual reduce la corriente de base de Q_2 ; la corriente de colector de Q_2 decrecerá, produciendo que la corriente de base de Q_1 sea menor. Habrá menos corriente de colector de Q_1 , lo cuál reduce la corriente de base de Q_2 aún más. Pero si algo ocasiona que la corriente de base de Q_2 disminuya, la corriente de colector de Q_2 decrecerá. Esto produce la corriente de base Q_1 . A su vez habrá menos corriente de colector de Q_1 , se reduce la corriente de base de Q_2 . Está retroalimentación positiva continúa hasta que ambos transistores son llevados a corte; el circuito de conmutación puede estar en cualquiera de los estados, cerrado a abierto. Permanecerá en cualquiera de ellos indefinidamente hasta que se active la compuerta y comience la retroalimentación positiva.

Una forma de cerrar un SCR es utilizar un disparador. La idea es aplicar un disparo (un pico de voltaje) para polarizar en directa el diodo base emisor de Q_2 . Este disparo se aplica en la compuerta; el disparo momentáneamente enciende la corriente de base de Q_2 y de ésta se iniciará la retroalimentación positiva; hay que notar que para el colector de Q_1 , el pulso de disparo ya no es necesario. Una vez que la retroalimentación positiva se inicia, se sustentará ella misma y llevará ambos transistores a la saturación. Otra forma es usar el *rompimiento a saturación*. Este consiste en utilizar un voltaje de alimentación suficientemente grande V_{cc} para lograr el rompimiento de la corriente; surge de uno de los colectores y excita la otra base y se inicia la retroalimentación positiva hasta que se saturan ambos transistores. En resumen el funcionamiento del SCR sería:

1. Podemos cerrar el SCR mediante un disparo de polarización en directa o si se satura.
2. Abriremos un switch por medio de un disparo de polarización en inversa.
3. Se comporta como interruptor, conmutador, regulador.

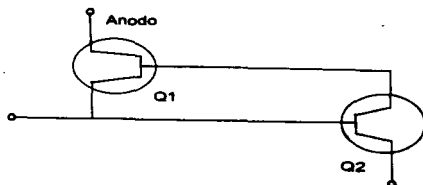


Figura 4.1.3.a. Dos SCR's.

La corriente de enganche es la mínima corriente necesaria para cerrar el SCR, la cual se aplica en la compuerta para permitir que el diodo conduzca; esta corriente circula de compuerta a cátodo (corriente de carga) para que el SCR se mantenga en conducción. Si este valor de corriente es menor que el nominal, entonces el SCR se abrirá y no conducirá la corriente de carga.

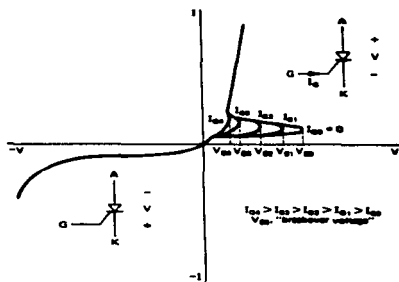


Figura 4.1.3.b. Características de voltaje y corriente del SCR.

4.3.1.1. DURACIÓN DE LOS IMPULSOS DE PUERTA EN SCR'S.

La duración puede limitarse a microsegundos o menos, aumentando la amplitud para una carga inductiva; en una carga inductiva la corriente a controlar ha de tener una amplitud superior a la corriente de puerta I_{GT} durante un tiempo (t) como mínimo igual al que tarda la corriente de ánodo en alcanzar el valor de la corriente de enganche ($I_L =$ corriente de línea).

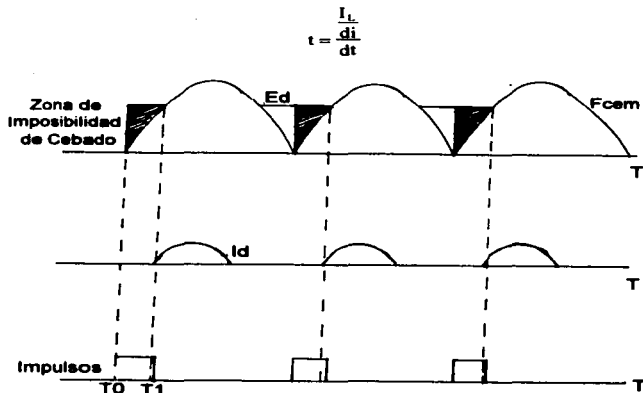


Figura 4.1.4.a. Características de impulsos del SCR.

En un montaje con tiristores, la secuencia de funcionamiento, o la naturaleza de la carga, exige casi siempre el empleo de impulsos de control de una duración mucho mayor que la necesaria para un tiristor solo, por ejemplo: En el caso de un variador de velocidad, el cebado del tiristor no es posible; si un ánodo es superior a la F_{CEM} , se ordena el cebado entre t_0 y t_1 ; éste sólo se podrá producir si el impulso de control se mantiene hasta pasado t_1 ; la duración del impulso ha de ser superior al valor máximo del tiempo ($t_1 - t_0$) que son de separación 30° eléctricos. Solo tendremos para circuitos de montaje monofásico. Para un trifásico, cada semiconductor controlado conduce durante un ángulo de 120° , la distribución de los impulsos de control. Esta siempre produce un impulso en un lado del puente convertidor cuando un tiristor del otro lado se encuentra en la mitad de su periodo de conducción.

4.3.1.2. DIODOS.

El diodo es un elemento bipolar que conduce cuando se aplica una tensión positiva en su ánodo y no conduce cuando esta tensión es negativa; un tiristor controlado en su característica inversa es equivalente a un diodo.

4.3.1.3. UJT.

Operación del Transistor de Monojuntura: es un dispositivo de tres terminales, las cuales se denominan emisor, base 1 y base 2. No hay similitud entre el emisor del UJT y el emisor de un TBJ; como en las demás terminales, su funcionamiento interno considera la acción de los portadores de carga.

Cuando el voltaje entre emisor y base 1, V_{EB1} , es menor que un cierto valor denominado voltaje de pico, V_p , el UJT esta cortado, y no puede fluir corriente de E a B₁ ($I_E = 0$).

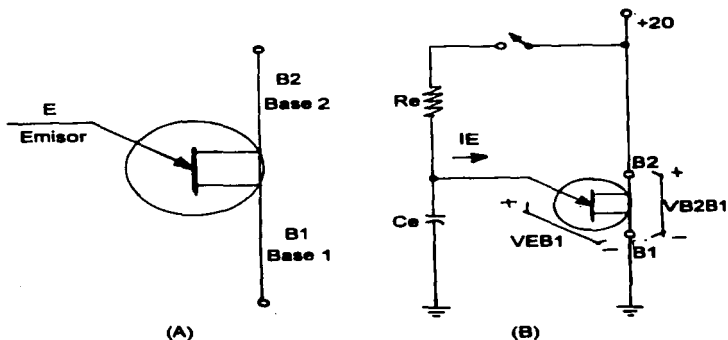


Figura 4.1.4.b. U.J.T.

Cuando V_{EB1} sobrepasa a V_p en una pequeña cantidad, el UJT se dispara y conduce. Cuando esto sucede, el circuito E a B₁ es prácticamente un cortocircuito y la corriente fluye instantáneamente de una terminal a otra. En la mayoría de los

circuitos con UJT., el pulso de corriente de E a B₁ es de corta duración. Y el UJT rápidamente regresa al estado de corte.

Para un tipo de UJT el V_p es un cierto porcentaje fijo de valor $nV_{B_2B_1}$ más 0.6 V. Se denomina la relación intrínseca entre contactor de UJT y n es por tanto:

$$V_p = nV_{B_2B_1} + 0.6 \text{ V}$$

Donde los 0.6 corresponden a la caída de voltaje en sentido directo de la unión pn de silicio que existe entre emisor y base 1.

Como funciona un UJT para un circuito de potencia: En el control de potencia industrial hay veces que el punto de disparo se selecciona por medio de una señal de voltaje de realimentación, lo necesario para la carga, mediante una señal para controlar el ángulo de conducción y la velocidad del motor, y se efectúa el control de cebado para un SCR con el dispositivo UJT.

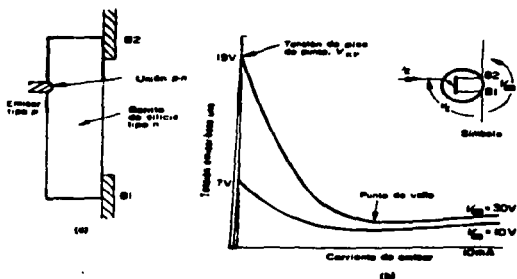
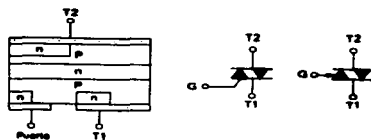


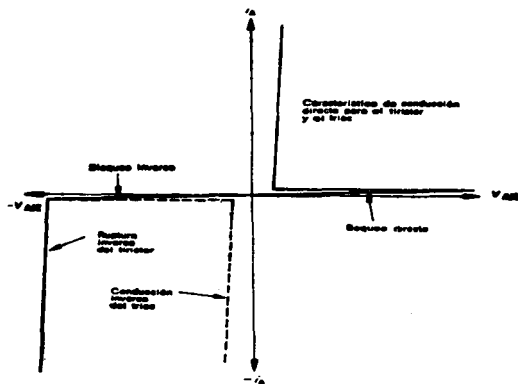
Figura 4.1.4.c. a) Sección transversal de un transistor unión, y b) curvas características estáticas correspondientes.

4.3.1.4. TRIAC O TIRISTOR BIDIRECCIONAL.

El triac es un elemento semiconductor multicapa; el dispositivo es bidireccional en un punto que puede ser disparado en el estado de conducción cuando T_2 es positivo o bien negativo con respecto a T_1 , siendo T_1 y T_2 las principales terminales de conducción:



(a)



(b)

Figuras 4.1.5.a y 4.1.5.b. a) El triac o transistor bidireccional y b) Característica estática del tiristor de bloqueo inverso representada por línea continua y característica inversa del triac por línea de trazos.

La característica directa (cuando T_2 es positivo con respecto a T_1) es similar al SCR. Una peculiaridad importante del triac es que puede ser cebado o disparado en conducción por una señal de puerta de cualquier polaridad: positiva o negativa con respecto a T_1 .

4.3.1.5. DIAC O DIODO BIDIRECCIONAL DE RUPTURA.

Este es un dispositivo de dos terminales de aspecto igual que un diodo de señal. La figura siguiente muestra su símbolo y una característica estática típica para tensiones positivas aplicadas menores que V_{BR} , y tensiones negativas menores que V_{BRZ} .

El dispositivo bloquea la corriente y es realmente un circuito abierto: las tensiones V_{BR} y V_{BRZ} se llaman tensiones de ruptura y visualmente tienen un valor comprendido entre 30 y 50. Los dos valores de la tensión de ruptura de un dispositivo particular pueden diferir en algunos volts. Cuando la tensión aplicada exceda de la tensión de ruptura, el DIAC comienza a conducir y la tensión entre sus terminales disminuye algunos volts. Es sensible a la tensión, cuando se utiliza un condensador.

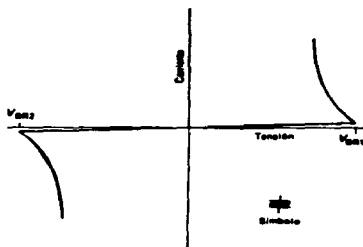
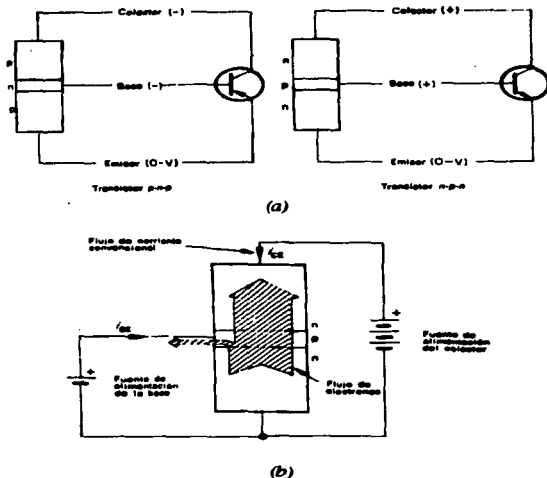


Figura 4.1.6. El diodo bidireccional de ruptura o diac.

4.3.1.6. TBJ: TRANSISTOR BIPOLAR DE JUNTURA.

El TBJ actúa como un semiconductor. Emplea las regiones como son N y P (son de silicio). En la siguiente figura se muestran los N-P-N y P-N-P. N se maneja como emisor y P se denomina *región base*, que es el control del transistor. La región de colector también se llama N; las regiones P se llaman *extremas* y son el colector y el emisor. N es la *región central base*.

Los transistores se consideran a menudo adecuados para aplicaciones industriales o profesionales; el proceso es económico y las tolerancias de los parámetros son normalmente amplias.



Figuras 4.1.7.a. y 4.1.7.b. Símbolos del transistor y conexión de emisor común.

4.3.1.7. FET: TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO.

Mediante el flujo de corriente de FET, se controla un campo eléctrico en el semiconductor, y el campo lo produce una tensión aplicada entre el electrodo (gate) y el conductor del dispositivo, que es representado por un semiconductor del tipo N. La corriente que fluye en el canal, es debida al flujo de electrones que entran en el electrodo surtidor y salen en el electrodo drenador; el electrodo surtidor está conectado al polo negativo de la fuente de alimentación y el otro al polo positivo.

Cuando la tensión de polarización de puerta V_0 es cero, es decir cuando la puerta y el surtidor están conectados entre sí, y cuando la tensión de drenador es bajo, el canal conductor del FET tiene la misma característica que una resistencia

cuyo valor está comprendido entre 100 y 1 K Ω . El manejo P-N convencionalmente se parece a al de un diodo.

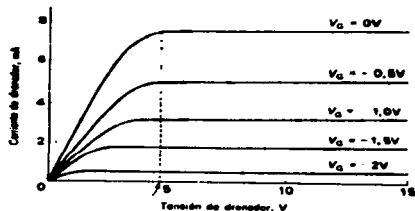
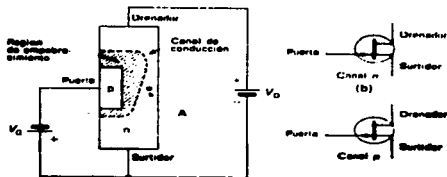


Figura 4.1.8. Símbolos del FET y características.

4.3.1.8. ANÁLISIS DE DIODOS.

El diodo es un elemento bipolar que conduce cuando se aplica una tensión positiva en su ánodo y no conduce cuando esta tensión es negativa.

4.3.1.9. DIODO DE UNION TIPO P-N Y ZENER.

Un diodo de unión P-N está constituido por un monocristal con una región N y una P. Si una batería se conecta a P (polo negativo) y N al positivo P, los huecos móviles de la región N hacia el polo positivo se les llama *empobrecimiento de carga*. Se puede observar en la siguiente figura que:

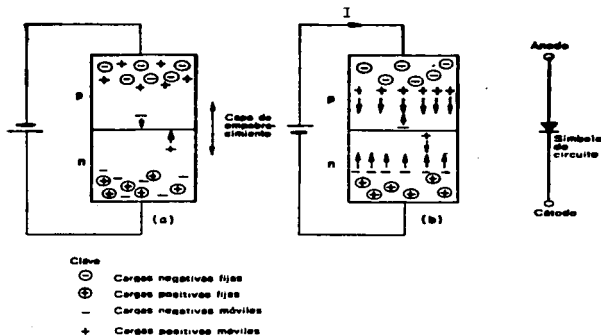


Figura 4.1.9. Funcionamiento del diodo de unión p-n bajo: a) polarización inversa, b) polarización directa.

• Si se polariza en inversa, existe corriente de fuga.

Y que bajo condiciones de polarización inversa, se da la corriente de saturación. Otros tipos de diodos utilizados son: SCHOTTKY y ZENNER

4.4.1. AMPLIFICADORES DE C.A.

Se clasifican de la siguiente manera, debido a su acoplamiento y potencia:

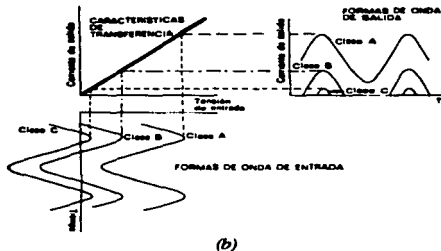
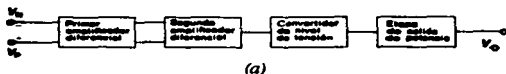
- Amplificadores de ancho de banda.
- Amplificadores de banda estrecha.
- Amplificadores de corriente continua (amplificadores tocadores).

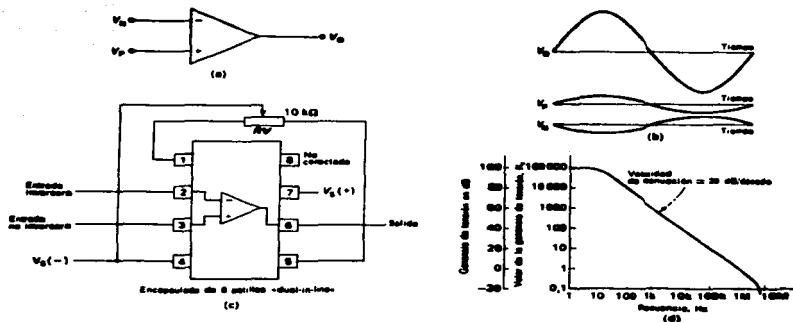
Dentro de los amplificadores de banda existen las clases A, que trabajan con audiofrecuencia de baja potencia, mientras que los de alta potencia en audiofrecuencia y los osciladores de radiofrecuencia se ubican en la clase C.

Los *amplificadores de conmutación y de impulsos* forman a menudo otro grupo; estos conciernen principalmente a las señales de transmisión que cambian rápidamente entre dos niveles de tensión o corriente, sin retardar la señal o distorsionar la forma de onda; los *amplificadores de tensión* aumentan la magnitud de la señal de tensión de entrada, pero son generalmente incapaces de proporcionar una apreciable potencia de salida; los *amplificadores de corriente* presentan la diferencia con los de tensión en la impedancia de salida; lo demás es relativamente similar. Los *amplificadores de potencia* se destinan a producir una potencia de señal suficiente para accionar dispositivos de salida; ésta varía de watts a megawatts y la elección del dispositivo de amplificación es muy amplia; el rendimiento puede ser un factor o la distorsión en un sistema de control de alta potencia. La señal de entrada puede presentarse en la forma de tensión continua y la salida puede aparecer con una sucesión de impulsos. La magnitud de distorsión aceptable depende de la aplicación a que se destine. Dentro de las principales características de interés en los amplificadores, podemos mencionar la capacidad de amplificar señales en un rango muy grande. Encuentran un amplio margen de aplicación en los campos más especializados de la Electrónica, incluyendo los instrumentos de medición, sistemas automáticos de control, reguladores de tensión o RC y computadores analógicos.

4.4.1.1. AMPLIFICADOR OPERACIONAL.

El siguiente diagrama nos representa un dispositivo de valor muy elevado de ganancia de tensión: El OPAM.





(c)

Figura 4.2.0. a) Esquema de bloques del OPAM, b) formas de onda de entrada y c) Símbolo, formas de onda de salida y operacional 741.

El diagrama a bloques representa al OPAM, el cual tiene 2 operacionales diferenciales: uno marca "-" y el otro "+"; éstos signos de polaridad se refieren a la relación de fase evidente entre la señal de entrada y la señal de salida. Cuando es aplicada una tensión en la entrada, puede haber inversión a la misma. Cuando es aplicada una tensión en UP (entrada directa), la señal de salida está en fase. Hay que señalar aquí que el signo "+" en la entrada UP no impone restricción alguna sobre la polaridad de la señal de entrada, ya que puede ser aplicada una señal de cualquier polaridad, positiva ó negativa. El amplificador con convertidor del nivel de tensión varía este nivel en una salida del segundo amplificador diferencial hasta un valor en que la tensión nula de entrada diferencia de éste es:

$$V_p - V_n = 0$$

Que nos proporciona la tensión cero de salida ($V_o = 0$).

4.4.2. TRANSFORMADOR.

El transformador dentro del contexto electrónico es empleado como un dispositivo transformador de impedancia. Es decir, se utiliza para modificar el valor

de una resistencia de carga conectada entre los bornes del secundario, para obtener un valor diferente desde el lado primario, puesto que nos ocupamos del flujo de corriente en los arrollamientos del transformador y es aplicable a la señal de C.A.

4.4.3. CELDAS FOTOCONDUCTORAS.

Se utilizan en aplicaciones en las que los niveles de iluminación son muy apreciados, por ejemplo en dispositivos de exposición de cámaras fotográficas, circuitos de control de iluminación de calles, detectores, etc. Las más conocidas son las resistencias dependientes de la luz (LDR).

Existen sistemas fotoconductores en forma de circuito integrado de película, lo cual permite conectar dispositivos activos (por ejemplo transistores). Normalmente utilizan codificación.

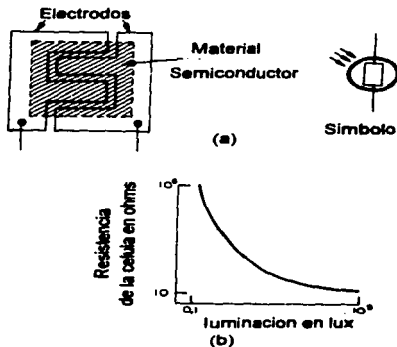


Figura 4.2.1. a) Célula fotoconductora usual y b) Curva característica de la misma.

4.4.4. FOTODIODOS.

Es un dispositivo de unión similar al diodo convencional; la principal diferencia es la existencia de una "ventana" en la envoltura de fotodiodo para permitir que la luz incida sobre él; se hacen funcionar bajo condiciones de polarización inversa, de manera que la corriente fluya a través de ellos.

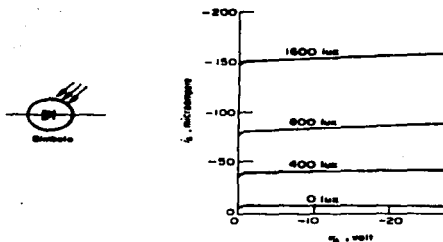


Figura 4.2.2. fotodiodo y sus características.

4.4.5. FOTOTRANSISTORES.

Son elementos bipolares que se hacen funcionar exponiendo la región de la base a la luz, siendo la energía radiante equivalente a una corriente de base adicional. La conexión de la base se hace accesible a efectos de polarización. La sensibilidad de un fototransistor es de $500 \text{ m}^2/\text{m}$ de unos pocos milímetros, que es la adecuada para activar la bobina de un relé. Aquí se presenta su símbolo y curva característica:

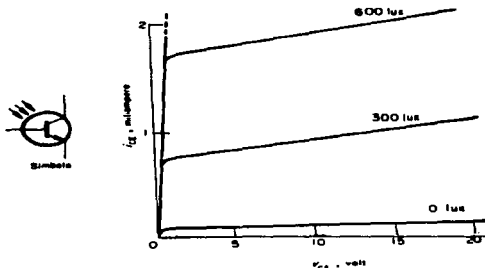


Figura 4.2.3. Características de un fototransistor.

4.4.6. FOTOFET.

Es transparente a la luz y la energía luminosa que pasa a través de él hasta el sustrato que libera los portadores de la carga existente en éste. Ésta aumenta la conductividad del canal conductor entre el surtidor y el drenador, por lo que corriente del drenador es función de la intensidad de iluminación. Los *tiristores de activación luminosa de cuatro capas P-N-P-N* son disparados por la luz incidente, proporcionando dicha luz la energía a la región de puerta. Los tiristores de activación luminosa son muy sensibles y para evitar disparos inadvertidos del tiristor por impulsos inducidos de tensión, la región de cada parte y de todo se unen generalmente por medio de una resistencia. Los circuitos de potencia pueden ser controlados directamente por fototransistores.

4.4.7. CELDAS FOTOVOLTAICAS O CELDAS SOLARES.

Una celda fotovoltaica es un dispositivo que genera una FEM entre sus terminales cuando la luz incide sobre ella y se fabrica en forma de un cristal de silicio P-N. Una de las regiones es una capa difusa muy delgada (1mm de profundidad) a través de la cual pueda pasar la luz sin gran pérdida de energía.

Cuando la luz alcanza la unión P-N su energía es liberada dentro de la red cristalina, generándose electrones y huecos en la unión. Por lo tanto, el proceso normal de difusión de portadores de carga (puesto que una de las regiones es muy delgada) se satura rápidamente con los portadores de carga y aparece una diferencia de potencial entre las dos regiones. A continuación se presentan su gráfica y símbolo.

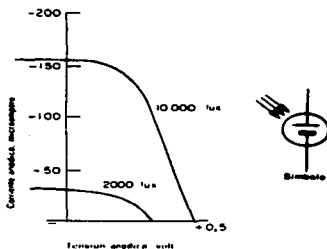


Figura 4.2.4. Características de una célula fotovoltaica

4.4.8. LED.

El diodo emisor de luz consta de una epitaxial tipo, de fosfocise puro de galio, que se ha formado sobre un sustrato de arseniuro de galio. Una región muy delgada se difunde en la capa epitaxial y en dicha región P, se constituye un ánodo en forma de peine o configuración similar. Cuando el diodo se halla polarizado directamente, los electrones se introducen en la región anódica, los huecos en la región catódica y de ésta se desprende energía en forma de luz. La mayor parte de luz alcanza la superficie, pero sólo una pequeña proporción se libera. Entre las aplicaciones se incluyen dispositivos de lectura digital, indicadores de sintonía, indicadores de sobrecarga, sistemas de comunicación de línea visual y sistemas de comunicación donde se utiliza fibra óptica.

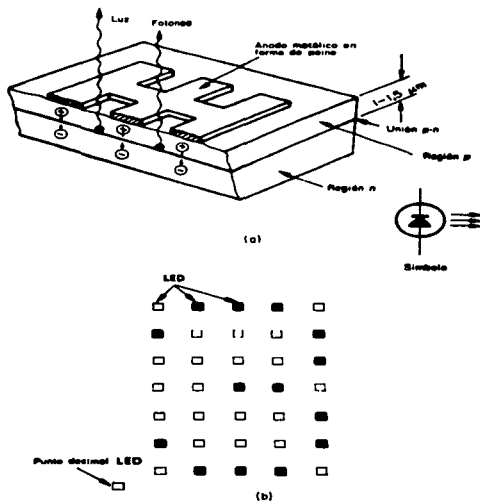


Figura 4.2.5. Vista en sección de un diodo emisor de luz y b) Disposición de 7x5 diodos emisores de luz.

4.4.9. AISLADORES ACOPLADOS ÓPTICAMENTE.

Los diseñadores de circuitos se enfrentan a menudo con el problema de proveer aislamiento eléctrico entre circuitos, sin detrimento de mantener la transmisión de señal en frecuencias altas. en la figura podemos observar las partes del aislador:

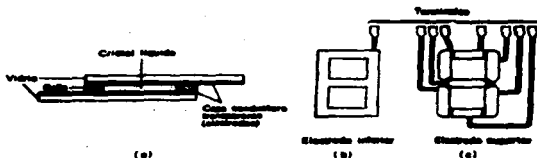


Figura 4.2.6. Visualizador de cristal líquido.

En que un led y un dispositivo fotodetector constituyen el sistema; ambos están contenidos en un encapsulado sensible a la luz por medio de un fotodetector, que puede ser un fotodiodo, fototiristor o fototransistor.

CIRCUITOS DE CONTROL.

Para el análisis de los circuitos de control se consideran los parámetros como: características de puerta de los tiristores, modo de funcionamiento de convertidor y el tipo de realimentación; cada uno de éstos recibe un impulso de control (frecuencia, posición, amplitud, tiempo, nivel de aislamiento), desfase y cebado. Los circuitos de control de los convertidores proporcionan también funciones como: limitación en desfase, supresión de impulsos y secuencia de distribución.

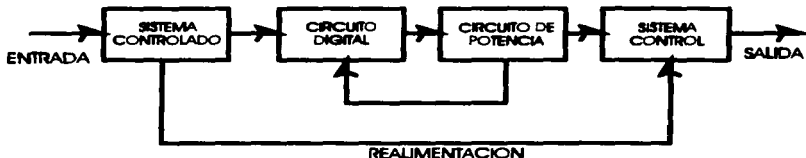


Figura 4.2.7. Diagrama de control.

4.5.1. CONTROL DE MOTORES MEDIANTE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS, CIRCUITOS DE POTENCIA Y USO DEL SCR PARA MOTORES DE C.C. Y C.A.

Como veremos en la siguiente figura, encontramos el SCR, como interruptor:

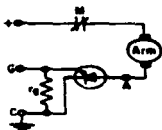


Figura 4.2.8.a. La figura representa en acción de interrupción a la armadura. Circuito sencillo de aplicación para sobrecorrientes.

En donde el inducido de un motor de C.C., se conecta a una fuente de C.C. En ausencia de un impulso positivo a G, el interruptor y el inducido del motor desexcitado.

La resistencia de puerta R_g , conectada entre el ánodo y cátodo y G proporciona una corriente negativa de polarización de puerta, asegurando la posición estable de bloqueo; por lo tanto, se debe adecuar R_g . El motor se conecta al circuito mediante la aplicación de un impulso positivo de tensión (0.5 a 1.0 V con una corriente A durante 1 seg). El motor en funcionamiento sólo puede desconectarse una vez que esté excitado, abriendo el contacto nc (M). Cerrando M otra vez no hará que el motor se conecte hasta que reaparezca un impulso positivo en G.

La siguiente figura muestra al circuito de potencia de conmutación Flip-Flop de SCR. 2 motores de C.C. pueden ser excitados alternativamente mediante la aplicación de impulsos positivos a las entradas 1 y 2.

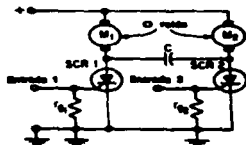


Figura 4.2.8.b. El circuito emplea la conmutación en forma de un interruptor de Flip-Flop.

Un impulso positivo a la entrada 1 conectará el motor M_1 , y cargará C de tal forma que se aplique un potencial negativo al ánodo del SCR. El condensador C deberá mantener el potencial durante un tiempo, mientras realiza la transición desde la regeneración a estado estable. Si se aplica un potencial a la entrada 2, ocurre la conducción del SCR, conectándose M_2 y cargando C. El SCR funciona para conectar y desconectar un motor por medio de impulsos en sustitución de M_2 por una resistencia equivalente.

4.5.1.1. CONTROL DE INDUCIDO POR MEDIO DE SCR'S.

La siguiente figura utiliza el método de *control de inducido de onda completa* en una dirección para arrancar y mantener en marcha un motor de C.C. desde una fuente monofásica de C.A. Este circuito consta de 2 diodos y 2 SCR's; las dos fases de las entradas a puerta G, pueden regularse por medio de defasamiento o disparo, haciendo posible la conducción en cada medio periodo de C.A.

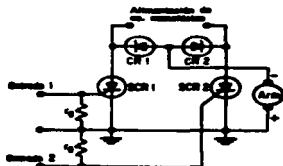


Figura 4.2.9. Control de la tensión de inducido unidireccional en puente de onda completa.

Este tipo de circuito sitúa el inducido del motor de C.C. respectivamente, con un puente de onda completa de diodos; los SCR's son sólo interruptores, determinan la conducción de cada semiciclo. Los impulsos aplicados para Ent₁ y Ent₂ como los muestra en la figura pueden regularse para producir la supresión del ciclo completo, o duraciones desiguales de los semiciclos. Tiene control sobre los 360 grados de una onda de entrada de C.A.

4.5.1.2. CONTROL DE VOLTAJE TRIFÁSICO.

Se puede utilizarse 6 SCR's o diodos para accionar un motor de C.C. en una sola dirección mediante el control de voltaje de inducido desde una fuente trifásica; lo mostramos en la figura siguiente:

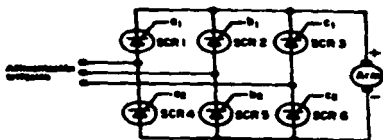


Figura 4.3.0. Control de voltaje trifásico.

Cada par de SCR's conectados en paralelo tiene rectificación completa en cada fase. La tensión de salida resultante de C.C., y puede emplearse para el control de arranque y de la velocidad por voltaje inducido. Si las señales de disparo a_1 , b_1 , y c_1 , pueden ser defasadas 180 grados y tiene un control del 100% de la plena tensión de salida de C.C., y éstas están a 120 grados; será del 25 al 100%. Estos circuitos operan al arranque y al control de velocidad donde se desee girar el motor solamente es en un sentido. Si se desea invertir, se puede efectuar por conmutación con SCR's.

4.5.2. APLICACIONES DENTRO DEL CONTROL ELECTRÓNICO PARA MOTORES ELÉCTRICOS DE C.C. Y C.A.

En la mayoría de las situaciones industriales, los motores son operados directamente de las líneas de alimentación de C.D. ó C.A., provenientes de los devanados del motor; su funcionamiento esta determinado por la naturaleza de la carga mecánica conectada a su eje, es decir, si la carga es fácil de manejar, el motor tenderá a entregar un torque relativamente pequeño y girará a alta velocidad. Si la carga es difícil de manejar, el motor tenderá a entregar más torque que velocidad. Quizás sean más adaptables los motores de C.D. en el control industrial, que los de C.A.

4.5.3. CONTROL POR TIRISTOR DE VOLTAJE Y CORRIENTE DE ARMADURA.

Se acopla un SCR al motor de C.D. Shunt., para proporcionar el control de velocidad mediante el control de armadura.

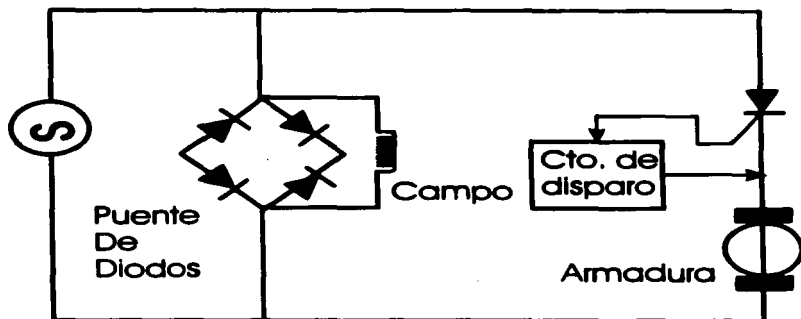


Figura 4.3.1. Control de velocidad mediante control de armadura.

La fuente de C.A. es rectificadora para proporcionar potencia convertida en C.D., para el devanado de campo. El SCR proporciona control y rectificación de media onda al devanado de armadura. Cebando temporalmente al SCR, su promedio de voltaje y corriente de armadura se incrementa y el motor puede, por consiguiente, girar más rápido; si se incrementa la corriente, el par es mayor. Cebando tardíamente el SCR (un ángulo mayor de disparo), se reduce el promedio de voltaje y corriente de armadura, y el motor gira más lento; el circuito de disparo es un bucle en función cerrada.

4.5.4. SISTEMA MONOFÁSICO DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA MOTOR DE C.D.

La figura muestra otro circuito de control de velocidad; funciona de la manera siguiente: La potencia de C.A. de entrada es rectificadora por un puente rectificador de onda completa, cuyo voltaje de salida de C.D. pulsante se aplica al circuito de control de armadura.

El condensador C se carga por la corriente que fluye hacia abajo a través de D₂ y del potenciómetro de ajuste de velocidad y de la placa superior del condensador; el cual se carga hasta que alcanza el voltaje de disparo del diodo de

cuatro capas. En este instante, el diodo de cuatro capas permite que parte de la carga del condensador se vacíe hacia la puerta del SCR, cebándolo.

El ángulo de disparo se determina por la resistencia del potenciómetro de ajuste de velocidad, la cual determina la velocidad de carga del condensador. El diodo D_3 suprime cualquier reacción de inducido que se produzca por el devanado inducido de armadura a la terminación de cada semiciclo. Cuando el SCR se bloquea al final de un semiciclo, continúa circulando corriente en el bucle armadura - D_2 - durante un corto período. Esto disipa la energía almacenada en la inductancia de la armadura.

Este sistema también proporciona realimentación de FCEM y por consiguiente tiene buena regulación de carga. Su funcionamiento es el siguiente: Supongamos que el potenciómetro de ajuste de velocidad está posicionado de tal manera que produce una velocidad al eje de 2000 RPM a un cierto torque resistivo. Si por alguna razón aumentase la carga, lo primero que el motor hace es bajar un poco su velocidad para admitir más corriente de armadura. Cuando esto sucede, la FCEM de la armadura decrece un poco. A medida que la FCEM disminuye, aumenta el voltaje disponible para cargar el condensador. Esto sucede debido a que el voltaje disponible para cargar el condensador es la diferencia entre el voltaje pulsante del puente y la FCEM, creada por la armadura. Esto puede entenderse si nos referimos a las marcas de polaridad de la FCEM.

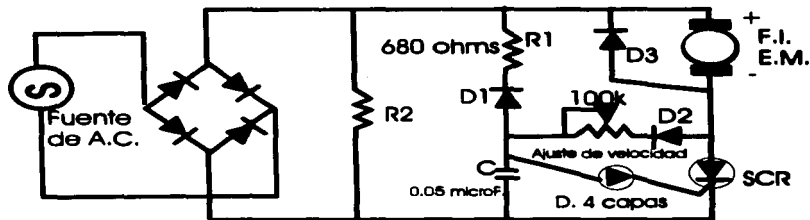


Figura 4.3.2. Diagrama esquemático de un circuito operador de media onda con SCR.

Con más voltaje disponible para cargar al capacitor, es natural que C se cargará más pronto al voltaje de disparo; de este modo, aumenta el voltaje promedio entregado a la armadura corrigiendo la tendencia del motor a girar más lento y regresar a la misma velocidad de antes.

4.5.5. SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR SHUNT CON MEDIA ONDA.

La figura siguiente muestra un circuito simple de media onda producto de un SCR, para controlar la velocidad a un motor de C.D.; la velocidad del motor se ajusta por medio de un potenciómetro de ajuste de velocidad con valor de $25\text{ k}\Omega$. A medida que el potenciómetro es movido hacia arriba (su contacto móvil se mueve alejándose de tierra), crece la velocidad del motor. Esto sucede debido a que el voltaje de puerta respecto a tierra se hace una porción más grande del voltaje de línea de C.A., permitiendo que el voltaje de puerta a cátodo alcance el voltaje de disparo del SCR más pronto en el ciclo.

A medida que el potenciómetro de ajuste de velocidad se mueva hacia abajo, el voltaje de puerta a tierra se vuelve una pequeña porción del voltaje de línea, de modo que toma más tiempo para que el voltaje de puerta alcance el valor necesario para cebar el SCR. La relación entre la velocidad y ángulo de disparo para este sistema está graficado en la figura que se muestra; como puede verse es imposible que el motor alcance el 100% de su velocidad nominal porque el sistema solamente puede entregar potencia de media onda a la armadura.

Este sistema tiene una característica deseable; la cual tiende a estabilizar la velocidad del motor aun frente a cambios en la carga y será mediante la realimentación de la FCEM, que trabaja de forma que, si suponemos que el potenciómetro de ajuste de velocidad está posicionado para producir una velocidad en el eje de 1500 RPM, si el torque de la carga en el motor se aumenta, hay una tendencia del motor a girar más lento. Esto hace que la FCEM, disminuya ligeramente, permitiendo que aumente el flujo de corriente de armadura. El incremento de la corriente de armadura proporciona el empuje necesario en torque para operar esta carga pesada.

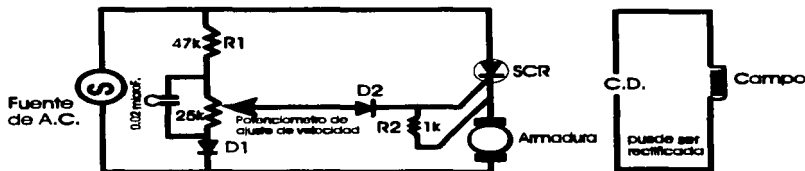


Figura 4.3.3.a. Control de velocidad con media onda.

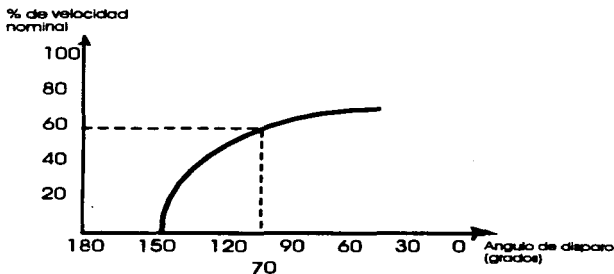


Figura 4.3.3.b. Gráfica de velocidad en el eje versus ángulo de disparo para el circuito de la figura anterior.

4.5.6. CONTROL REVERSIBLE DE VELOCIDAD EN MOTORES DE C.C.

Algunas aplicaciones de control de velocidad en la industria requieren que la rotación de un motor sea reversible. Es decir, el motor debe ser capaz de girar a uno y a otro lado del sentido de las manecillas del reloj, además de tener una velocidad ajustable.

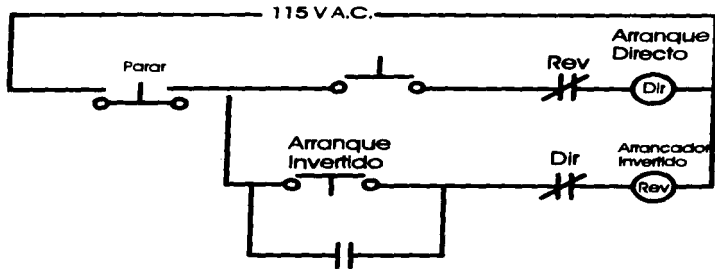
La inversión dirección de rotación puede efectuarse de dos maneras :

- a) *Invertiendo la dirección de la corriente de campo, manteniendo la misma dirección de la corriente de armadura.*
- b) *Invertiendo la dirección de la corriente de armadura, manteniendo la corriente la misma dirección ya explicada en secciones anteriores.*

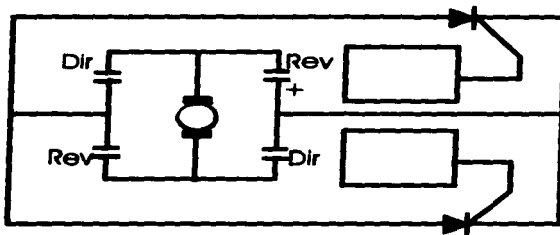
El siguiente circuito de la figura muestra como puede invertirse la dirección de la corriente de armadura en un sistema de control de onda completa.

El método más directo para invertir la corriente de armadura o la corriente de campo es utilizando separadamente dos arrancadores de motor.

El contactor directo hace que la corriente fluya a través de la armadura en una dirección, mientras el otro contactor de reversa, hace que la corriente fluya en la dirección opuesta.



(a)



(b)

Figuras 4.3.4.a. y 4.3.4.b. Inversión de la corriente de armadura y circuito de armadura.

En las figuras, la dirección de rotación está determinada por el circuito de disparo que está habilitado. Si está habilitado el circuito de disparo directo, los dos SCR's de la parte de arriba se cebarán en semiciclos alternados de la línea de C.A., y enviarán corriente a través de la armadura de izquierda a derecha. Si está habilitado el circuito de disparo invertido, los dos SCR's de abajo se cebarán en semiciclos alternados de la línea de C.A., y enviarán corriente a través de la armadura de izquierda a derecha funcionando uno para habilitar mientras el otro para inhabilitar.

CONVERTIDORES.

4.6.1. CONVERTIDORES O TROCEADORES.

Un tiristor alimentado por una fuente de C.C. necesita de un circuito auxiliar para interrumpir la conducción; un troceador permite alimentar una carga con una tensión sensiblemente continua y variable desde una tensión nula a una máxima. La aplicación no es más que un interruptor; su frecuencia es fija y con relación cíclica variable; pueden estar limitados a pequeñas y grandes potencias. En el caso de los controles continuos y con pequeñas pérdidas de la tensión de los motores de C.C., permiten la recuperación en el frenado dentro de los motores de C.A.; se pueden aplicar en tracción o propulsión eléctrica y también como alimentación similar a baterías de acumuladores.

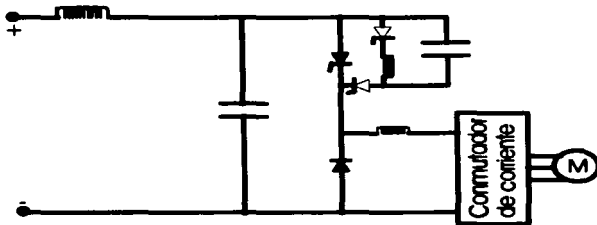


Figura 4.3.5. Troceador - Conmutador de corriente.

4.6.1.1. UTILIZACIÓN DEL TIRISTOR DE DOS TERMINALES EN EL EFECTO DE CARGAS INDUCTIVAS PARA LA VARIACIÓN DE VOLTAJE DEL CONTROL DE FASE.

Si la carga conectada al controlador de ángulo de fase es de naturaleza inductiva (como en realidad son las máquinas), entonces se introducen nuevas complicaciones en la operación del controlador; como la corriente de carga no puede cambiarse instantáneamente, la corriente en la carga no crece inmediatamente al encender el SCR y tampoco dejará de circular exactamente al final del semiciclo; sucederá que el voltaje inductivo sobre la carga mantenida en el SCR seguirá conduciendo por algún tiempo dentro del siguiente semiciclo, hasta que la corriente circulante a través de la carga y del SCR caiga finalmente por debajo de la corriente de mantenimiento. Este retraso en las ondas de voltaje y corriente se muestra en la figura.

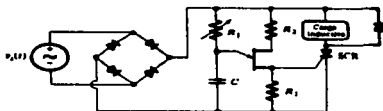


Figura 4.3.6. Controlador de ángulo de fase con carga inductiva.

Una carga fuertemente inductiva puede causar dos problemas serios con un controlador de fase:

1. Cuando el SCR se pone en conducción, la inductancia puede hacer que la corriente crezca en forma demasiada lenta y no alcance el valor de mantenimiento antes de que desaparezca la corriente de compuerta. En este evento, el SCR no se mantendrá en conducción, porque su corriente es menor que la de mantenimiento.
2. Si la corriente, después del final de un ciclo dado, continúa lo suficientemente grande, antes de llegar a la corriente de mantenimiento, el voltaje aplicado en el siguiente ciclo podría ser lo suficientemente alto para mantener la corriente circulante en el SCR, que nunca dejará de conducir.

La solución común al primer problema es usar un circuito especial para suministrar al SCR un pulso de corriente de compuerta o gate más grande. Este pulso más grande suministra la cantidad de tiempo suficientemente para que la corriente a través del SCR crezca permitiendo al elemento mantenerse en conducción por el resto del semiciclo. Una segunda solución es utilizar el tiristor de dos terminales (de cuatro capas semiconductoras); éste a través de la carga, está orientado para que no conduzca durante la circulación de corriente. Al final de un semiciclo, la corriente en la carga inductiva procurará mantenerse circulando en la misma dirección que estaba fluyendo.

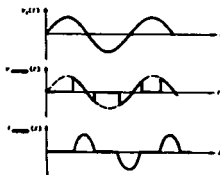


Figura 4.3.7. Voltajes y corrientes presentes en controlador de fase de c.a., conectado a una carga inductiva.

Sobre la carga aparecerá un voltaje con la polaridad requerida para mantener fluyendo la corriente. Este voltaje polarizará en directo, lo que suministrará un camino para descarga de la corriente de carga. De esta manera el SCR puede apagarse sin necesidad de que la corriente del inductor caiga instantáneamente a cero para el motor de C.C.

4.6.1.2. CONVERTIDORES (CHOPPER'S O CUCHILLAS).

Los convertidores de C.C. a C.C., comúnmente llamados *Chopper's*, son empleados para variar el promedio elevado de el voltaje directo aplicado para la carga al circuito y será introduciendo uno o más tiristores mediante la carga al circuito y a la fuente de C.D. La función del convertidor está ilustrada en la figura 4.3.8.

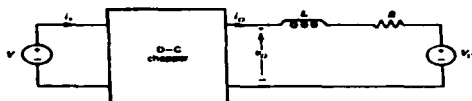


Figura 4.3.8. Chopper C.D.

El método en el cual el promedio de voltaje en la carga está reducido, es debido a la resonancia que proporciona la fuente, como está indicado en la figura 4.3.9.

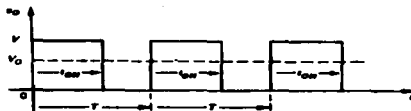


Figura 4.3.9. Función de un chopper de C.D.

Donde $t = t_{on}$ (tiempo de encendido).

T PERIODO. El convertidor aplica ondas en forma de trenes de pulsos de voltaje de una sola dirección para la carga del circuito; la magnitud de esos pulsos, puede ser como la de la fuente de voltaje. La carga de voltaje V_0 puede ser variada de tres maneras diferentes:

1. Variando en tanto el periodo de tiempo T , teniendo constantemente pulsos con modulación.
2. Manteniéndose constante a ratos donde T será variado con la frecuencia de modulación.
3. Combinados el ancho de los pulsos y la frecuencia de modulación en toda práctica.

Los convertidores no mantienen la salida ideal de voltaje y variaciones, mostrada en la figura anteriormente.

Analizando el principio básico de operación de los distintos tipos de convertidores, son primeramente en breve expuestos en forma simple e idealizada mediante modelos, y éstos serán entonces analizados en los detalles que nos interesan para los circuitos diseñados.

Analizaremos los convertidores en velocidades variables con manejos de corriente directa, donde es deseable eliminar la disipación de energía en la forma de calor producido en reposo.

4.6.1.3. TIPOS DE CONVERTIDORES EN CIRCUITOS.

En la figura 4.4.0. se muestra el tipo básico de convertidor, el "A", en el cual se indican el voltaje V_o y la corriente I_o .

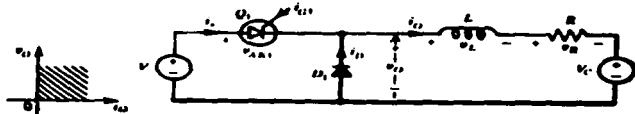
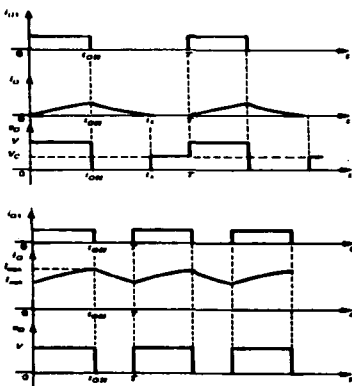


Figura 4.4.0. Convertidor tipo A básico.

Pueden ser sólo de sentido positivo. En el diagrama del circuito, el símbolo del tiristor se adjunta.

En el círculo se representa al tiristor, que quizás este encendido y conmutando; esto será mediante elementos de circuito no incluidos en el diagrama; D es un diodo de rueda libre. Dos posibles condiciones de operación son ilustrados en las figuras 4.4.1. y 4.4.2.:



Figuras 4.4.1. y 4.4.2. Principio básico de un chopper tipo A.

Donde esto será asumido en que el control será por medio de modulación de frecuencia en la figura 4.4.1. La carga de corriente esta descontinuada, así que durante el intervalo para el cual I_0 es cero, $V_0 = V_C$. En la figura 4.4.2., el periodo de tiempo T ha tenido reducción. Para tal extensión I_0 no tiene flujo antes que Q_1 , que está otra vez encendido, como consecuencia la salida de voltaje V_0 consiste de trenes de pulsos rectangulares de magnitud V . Debido al incremento de la carga en el circuito, y de la inductancia L , la reducción de V_C tiene a continuar en la salida de corriente. La figura 4.4.3. ilustra al convertidor tipo B:

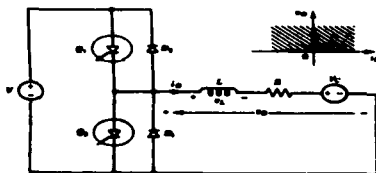


Figura 4.4.3. Convertidor tipo B.

En el cual puede ser positivo o negativo, pero V_o debe ser positivo. Al convertidor de este tipo empleándolo con el circuito de carga, es capaz de regenerar y regresar energía para la fuente V.A, representa dos tiristores, que pueden estar encendidos y conmutados.

Para la operación con salida positiva de corriente, el tiristor Q_1 y el diodo D_1 son controlados y funcionan en el mismo punto como vía del tiristor y el diodo de la figura 4.4.2. Para operación con salida negativa de corriente, los elementos Q_2 y D_2 son los que entran en función; en un instante, Q_1 es apagado. Si $V_C > 0$ y Q_2 es encendido, entonces la I_o es negativa y la energía fluirá para la fuente; energía que estará almacenada en la inductancia L .

Si Q_2 está conmutando, entonces el valor de V_L resultará positivo y en conjunción con la fuente de voltaje V_C , manejará la corriente I_o , entre el diodo D_2 , y la fuente V ; en esta vía la energía almacenada en la inductancia L será suministrada a la fuente V .

La figura siguiente nos muestra el convertidor de circuito en el cual tanto V_o e I_o son positivos o negativos separadamente o simultáneamente en combinación.

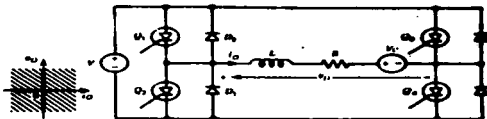


Figura 4.4.4. Convertidor de circuito.

Convertidor capaz de revertir y regenerar. El convertidor de este tipo puede proveer ambos. Si el control está determinando los sentidos contrarios de V_o e I_o , pero a la misma frecuencia, entonces el convertidor está dentro del factor de operación senoidal en el sistema de C.A. y funciona como fase sencilla de puente invertido, siendo de carga conmutada y/o conmutación forzada, ambos muy utilizados, aunque la última función quizás es la más común.

El principio básico de operación en la conmutación forzada ha tenido, exposición en todo esta sección del capítulo 4, pero la conmutación forzada adicional y subdividida dentro del voltaje conmutado y la corriente conmutada son discutidos cuando se emplea al convertidor del tipo A. A la larga variedades de circuitos conmutados, se ha dado un bosquejo analizando métodos por medio de dos circuitos típicos.

ANÁLISIS DEL TIPO CONVERTIDOR.

En esta sección, se mencionará la operación de la potencia en el circuito, bajo continuidad y discontinuidad de corriente; considerando estas primeras condiciones se efectuará el análisis de los circuitos conmutadores.

4.6.1.4. CIRCUITOS DE POTENCIA A CONVERTIDORES TIPO "A".

Es conveniente por principio, considerar el caso de corriente continua de operación ilustrado en la figura E y en el circuito de la figura C.

Tomando en cuenta la siguiente ecuación, mediante el análisis de suma de voltaje:

$$-V_o + V_L + V_R + V_C = 0 \text{ [Volts]} \dots\dots\dots(1)$$

Para el cual:

$$\frac{dI_o}{dt} + \frac{R}{L} I_o = \frac{V_o - V_C}{L} \left[\frac{\text{Amp}}{\text{Seg}} \right] \dots\dots\dots(2)$$

Cuando el tiristor Q, es encendido hacia $t = 0$, entonces hacia $t = 0^+$, $V_o = V_e$ $I_o = I_{\min}$, para la ecuación 1 y esa condición inicial:

$$I_o = \frac{V - V_C}{R} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + I_{\min} e^{-\frac{t}{T}} \text{ [Amp]} \dots\dots\dots(3)$$

Donde : $0 < t < t_{ON}$ (segundos).

Por lo tanto:

$$T = \frac{L}{R} \text{ [Segundos]} \dots\dots\dots(4)$$

Hacia $t = t_{ON}$ cuando Q, está conmutado:

$$I_o = I_{\max} = \frac{V - V_C}{R} (1 - e^{-\frac{t_{ON}}{T}}) + I_{\min} e^{-\frac{t_{ON}}{T}} \text{ [Amp]} \dots\dots\dots(5)$$

Para V_o entonces, debido a que la función es cero para la condición del diodo de rueda libre D_1 , para la ecuación 2:

$$\frac{di_o}{dt} + \frac{R}{L} I_o = \frac{-V_c}{L} \text{ [Amp]} \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

$$t' = t - t_{ON} \text{ [Segundos]} \dots \dots \dots (7)$$

Hacia $t' = 0^+$, $I_o = I_{max}$ y para la ecuación 6:

$$I_o = \frac{-V_c}{R} (1 - e^{-\frac{t'}{T}}) + I_{max} e^{-\frac{t'}{T}} \text{ [Amp]} \dots \dots \dots (8)$$

$t_{ON} < t < 1$; hacia: $t' = T - t_{ON}$; $t = T$, $I_o = I_{min}$ y para la ecuación 8.

$$I_o = I_{min} = \frac{-V_c}{R} (1 - e^{-\frac{(1-t_{ON})}{T}}) + I_{max} e^{-\frac{(1-t_{ON})}{T}} \text{ [Amp]} \dots \dots \dots (9)$$

La solución de la ecuación 5 y 9 para rodamiento I_{max} e I_{min} de rendimiento:

$$I_{max} = \frac{V}{R} \frac{(1 - e^{-\frac{1-t_{ON}}{T}})}{(1 - e^{-\frac{1}{T}})} - \frac{V_c}{R} \text{ [Amp]} \dots \dots \dots (10)$$

$$I_{min} = \frac{V}{R} \frac{(e^{-\frac{1-t_{ON}}{T}} - 1)}{(e^{-\frac{1}{T}} - 1)} - \frac{V_c}{R} \text{ [Amp]} \dots \dots \dots (11)$$

Para las ecuaciones 10 y 11 será notable que cuando Q_1 es continuamente encendido pero $t_{ON} = T$ entonces:

$$I_{max} = I_{min} = \frac{V - V_c}{R} \text{ [Amp]} \dots \dots \dots (12)$$

Si t_{ON} es decreciente para el valor t_{ON}^x , al cual $I_{min} = 0$, entonces el convertidor está operando con sobrecambio de operación. Para corriente continua en operación,

ilustrado en la figura E y para operación de corriente discontinua, ilustrado en la figura C, se establece esta condición limite para la ecuación 11:

$$\frac{V_C}{V} = \frac{(e^{\frac{t_{ON}}{T}} - 1) - (e^{-\frac{t_{OFF}}{T}} - 1)}{(e^{\frac{t}{T}} - 1)} \dots \dots \dots (13)$$

$$m = \frac{(e^{\rho\sigma} - 1)}{(e^{\sigma} - 1)} \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

$$m = \frac{V_C}{V} \dots \dots \dots (15)$$

$$\rho = \frac{t_{ON}^*}{T} \dots \dots \dots (16)$$

$$\sigma = \frac{t}{T} \dots \dots \dots (17)$$

Dada la ecuación 14, una familia de curvas de m en contra de ρ trazadas con σ como parámetro son mostradas en la figura 4.4.5.:

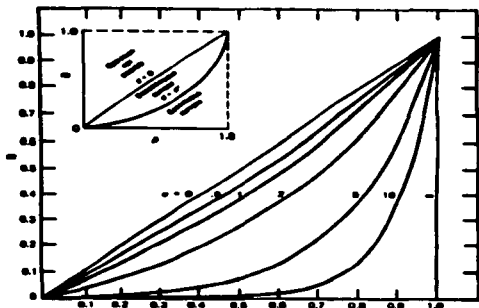


Figura 4.4.5. Operación entre corriente continua y discontinua.

Un punto (P.M.) abajo la curva para un particular valor, significa corriente continua de operación.

Para un circuito operando con la relación de un punto sobre la curva, significa corriente discontinua en operación. La operación cercana a un punto (P.M.) sobre la línea es correspondiente para un circuito de carga inductiva discontinua y además determina el límite de la condición definida por la curva de la figura H a $I_{min} = 0$ y para la ecuación 5:

$$I_{max} = \frac{V - V_C}{R} (1 - \varepsilon^{-\frac{t_{ON}}{T}}) \text{ [Amp]} \dots \dots \dots (18)$$

y para las ecuaciones 8 y 18:

$$I_0 = \frac{V_C}{R} (1 - \varepsilon^{-\frac{t'}{T}}) + \frac{V - V_C}{R} (1 - \varepsilon^{-\frac{t_{ON}}{T}}) \varepsilon^{-\frac{t'}{T}} \text{ [Amp]} \dots \dots \dots (19)$$

Esta corriente llegara a ser "0" un tiempo $t = t_x$ ó $t' = t_x - t_{ON}$. Y sustituyendo de ese extremo de la condición en la ecuación 19 de rendimiento:

$$t_x = T \ln \left\{ \varepsilon^{\frac{t_{ON}}{T}} \left[1 + \frac{V - V_C}{R} (1 - \varepsilon^{-\frac{t_{ON}}{T}}) \right] \right\}, \text{ donde } 0 < t_{ON} < t_{ON}^x \text{ [Segundos]} \dots \dots (20)$$

En algunas casos se establece que la variación de tiempo para carga de voltaje V_0 es una muy cerrada aproximación para una forma ideal de onda, mostrada en las figuras 4.4.1. y 4.4.2. Cuando ésta es mayor, su análisis será determinado por la serie de Fourier. Así el tiempo de variación V_0 puede ser representado por la serie:

$$V_0 = V_0 + \sum_{n=1} a_n \text{Sen } n \omega t + \sum_{n=1} b_n \text{Cos } n \omega t = V_0 + \sum_{n=1} C_n \text{Sen } (n \omega t + \theta_n) \text{ [Volts]} \dots (21)$$

Donde ω es la velocidad angular del convertidor de frecuencia y será definida por:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \left[\frac{\text{Rad}}{\text{Seg}} \right] \dots \dots \dots (22)$$

Determinando esto dentro las series en la ecuación 21, es conveniente considerar el modo de corriente discontinua demostrado en la figura D, para el caso en general, la

expresión obtenida por V_0 , C_n y 0 es mayor, entonces enseguida se observa que la forma correspondiente por el modo de corriente continua es la siguiente ecuación:

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^T V_0 dt = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_{ON}} V dt + \int_{t_x}^T V_C dt \right] = \frac{t_{ON}}{T} V + \frac{(T-t_x)}{T} V_C \text{ [Volts](23)}$$

Cuando $t_x = T$ nos queda ésta nueva y simple expresión:

$$V_0 = \frac{t_{ON}}{T} V \text{(24)}$$

En la ecuación 21 y evaluando la integral:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T V_0 \sin n\omega t dt = \frac{2}{T} \left[\int_0^{t_{ON}} V \sin 2n\pi t dt + \int_{t_x}^T V_C \sin \frac{2n\pi - 1}{T} dt \right] \text{(25)}$$

$$a_n = \frac{V}{nT} [1 - \cos n\omega t_{ON}] - \frac{V_C}{n\pi} [1 - \cos n\omega t_x] \text{ [Volts]}$$

Y cuando $t_x = T_x$:

$$a_n = \frac{V}{n\pi} [1 - \cos n\omega t_{ON}] \text{ [Volts](26)}$$

Similarmente, la ecuación 21:

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T V_0 \cos n\omega t dt = \frac{V}{n\pi} \sin n\omega t_{ON} - \frac{V_C}{n\pi} \sin n\omega t_x \text{ [Volts](27)}$$

Y cuando $t_x = T$:

$$b_n = \frac{V}{n\pi} \sin n\omega t_{ON} \text{ [Volts](28)}$$

También:

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \text{(29)}$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \frac{b_n}{a_n} \dots\dots\dots(30)$$

Y cuando $t_x = T$, sustituyendo para las ecuaciones 26 y 28 en esas últimas dos expresiones de rendimiento:

$$C_n = \frac{\sqrt{2}V}{n\pi} \sqrt{[1 - \cos n\omega T_{ON}]} \text{ [Volts]} \dots\dots\dots(31)$$

$$\theta_n = \tan^{-1} \frac{\text{sen } n\omega T_{ON}}{1 - \cos n\omega T_{ON}} \dots\dots\dots(32)$$

Cuando los R.M.S. valuados a la salida de voltaje V_o , de corriente I_o y los valores armónicos R.M.S. y factores de rizo nuevamente sean determinados, lo explicaremos en otra sección. El máximo valor de la corriente promedio del tiristor cuando ocurre que $t_{ON} = T$, está dado por:

$$I_{Qmax} = I_{QRmax} = \frac{V - V_C}{R} \text{ [Amp]} \dots\dots\dots(33)$$

Será sustituido por la ecuación 10 en la ecuación 8 la expresión para el diodo de corriente I_D obtenido y empleado para determinar el promedio de corriente y los R.M.S. Esto es similar al método de obtención de la corriente de diodo en R.M.S., pero algunas veces los empleamos para obtener el promedio de corriente de diodo desde la posición principal del tiristor y el diodo. El promedio es aproximado a los R.M.S. de corriente y es usualmente la determinación del factor lo que merece nuestra atención para determinar el promedio de la corriente de diodo. El promedio de corriente I_D es cero cuando el tiempo de encendido $t_{ON} = 0$ y también cuando $t_{ON} = T$ (tiempo periódico); entre esos dos límites ellos estarán al máximo valor que decidirá la posición requerida del diodo. Para proporcionar el valor de I_D , debe ser calculado por las series de valores obtenidos gráficamente a posiciones aproximadas del diodo. Podría ser obtenidos asumiendo que la carga del circuito de inductancia es grande, con lo que para mantenerlo al constante valor se requiere que:

$$I_o = \frac{V_o - V_C}{R} = \frac{t_{ON}}{T} \times \frac{V}{R} - \frac{V_C}{R} \dots\dots\dots(34)$$

El promedio aproximado al diodo del corriente es entonces:

$$I_D = \frac{T - t_{ON}}{T} I_o = \frac{T - t_{ON}}{RT} \left[\frac{t_{ON}}{T} V - V_C \right] \dots\dots\dots(35)$$

Y éstos tendrán esos máximos valores cuando:

$$\frac{dI_D}{dt_{ON}} = \frac{1}{RT} \left(1 - \frac{2t_{ON}}{T} \right) V + V_C = 0 \dots\dots\dots(36)$$

Para el cual:

$$\frac{t_{ON}}{T} = \frac{V + V_C}{2V} \dots\dots\dots(37)$$

Y constituyéndose en la ecuación dada:

$$I_{Dmax} = \frac{V}{4R} - \frac{V_C}{V^2} \text{ [Amp]} \dots\dots\dots(38)$$

El peor caso ocurrirá cuando: $V_C = 0$. Y para las ecuaciones 37 y 38: $\frac{t_{ON}}{T} = \frac{1}{2}$

$$I_{Dmax} = \frac{V}{4R} \text{ [Amp]} \dots\dots\dots(39)$$

Los R.M.S. del diodo de corriente correspondiente para las condiciones de la ecuación 39 serán:

$$I_{DRmax} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\frac{V}{2R} \right)^2 dt} = \frac{V}{2\sqrt{2}R} \text{ [Amp]} \dots\dots\dots(40)$$

Derivando esas expresiones no tendrán posibilidad para tomar dentro de la cuenta, sobre la operación del convertidor, sea el sistema en el cual esté, la carga del circuito al cual es incorporado; esto es muy común, por ejemplo, para incluir la reacción en un lazo semejante al sistema que tiene que limitar la salida de corriente para un valor específico más bajo que el máximo valor obtenido. Para las ecuaciones en el análisis, la potencia del circuito semejante al anterior, necesita ser tomada dentro de la relación y escogiendo el mecanismo para el sistema. Sobre la base de la potencia del circuito, se analiza la luz del exterior necesaria sobre el sistema variable. Los mecanismos son escogidos en la próxima etapa en el diseño del convertidor y será la conmutación del circuito en base a la manufactura especificada del mecanismo.

4.6.1.6. VOLTAJE DE CONMUTACION DEL CONVERTIDOR TIPO A .

Esto es una idealización del circuito no solamente porque los elementos requeridos para proteger los tiristores son omitidos, sino también porque el transformador está compuesto de parejas de inductancia lineales L_1 y L_2 requeridos para magnetizar corriente, en otras palabras, las inductancias L_1 y L_2 son parejas ideales y de comparación con el circuito básico de la figura 4.4.6. serán el tiristor Q_1 y el diodo D_1 , de resistencia insignificante . El principal mecanismo que lleva la carga de corriente que se ve en la comparación con los elementos adicionales que no funcionan en la figura 4.4.6., son requeridos para el voltaje de conmutación en particular el capacitor es cargado y empleado para conmutar el tiristor Q_1 vía el diodo D_1 , será causando en V_{AK1} para favorecer negativamente; así si $V_C > 0$ los tiristores Q_a y Q_b están encendidos para conmutar a Q_1 ; análogamente si $V_C < 0$ entonces Q_c y Q_d están encendidos; el propósito del arreglo del puente de tiristores es circundante, que de alternativamente esté cargando y descargado, alterando el voltaje en esta terminal la secuencia de operación por el circuito como sigue:

1.- Conmutando el circuito, es decir *switch*ando por sobre varios circuitos de alteración de V_C pero que en el estado fijo es alcanzando alterando condiciones.

2.- Al $t=0$ cuando el será asumido y que V_C tuvo la función de polarizado en la figura 4.4.6., el tiristor Q_1 para favorecer y la corriente de carga se incrementa exponencialmente para cero.

3.- Al $t=0$ los tiristores Q_a y Q_b son encendidos conmutando Q_1 y desviando la corriente I_{Q1} a través de C como I_C .

4.- Durante el intervalo $t_{on} < t < T$, las dos partes del circuito separado será Q_1 operando independientemente como sigue:

A - I_C decae exponencialmente a través del diodo D_1 .

B.- La energía almacenada en L_1 y C resulta en la oscilación de niveles en los cuales $|v_C| > V$ después la cual parte del circuito inicial de energía almacenada y no finalmente almacenada en C es regresada para la fuente V . Será la inductancia L_2 .

5.- Cuando toda la energía almacenada en el transformador tiene que regresar para la fuente V será L_2 ; el tiristor Q es encendido a través de $t = T$.

6.- La carga de corriente I_0 quizás sea continua o discontinua dependiendo del valor de T , t_{on} , L , R , y V_C si I_0 es discontinua, entonces otra vez se incrementa durante el intervalo.

$$T < t < T + t_{on}$$

exponencialmente para cero. Si i_0 es continua, ésta incrementará para algunos valores iniciales de i_{min} ; después varios ciclos de operación toman lugar en el estado fijo valorado en i_{min} demostrado en la figura 4.4.6., será llevado y el valor será mantenido hasta que T , t_{on} son cambiados.

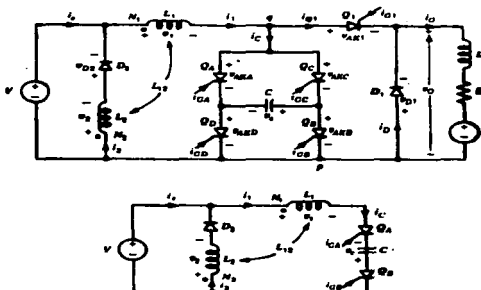


Figura 4.4.6. Convertidor tipo A. Voltaje de conmutación.

El análisis detallado de la conmutación en el circuito se explica a continuación. Tendrá que ser nuevamente transportado a fuera en el transformador. Los mismos caminos se emplean para las inductancias L_1 y L_2 los números de vueltas son N_1 y N_2 respectivamente:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = n \dots \dots \dots (41)$$

Así se estará asumiendo qu los arreglos del período preliminar descrito en el paso 1 alterando el voltaje que se tiene producido en la terminal del capacitor C semejante que g el y de cada uno de los ciclos de operación.

$$V_c = \pm V(1 + n) \text{ [Volts]} \dots \dots \dots (42)$$

Las variables durante el ciclo típico de estado fijo de la conmutación del circuito, donde éstas nuevamente son determinadas en primer lugar por la operación sobre la no carga y posteriormente entonces por la operación de la sobrecarga. La conmutación sobre la no carga, \underline{a} permite que.

$$V_C = \pm V(1+n) \text{ [Volts]}; \quad t=0 \text{ [Segundos]} \dots\dots\dots(43)$$

Así que \underline{a} y un ciclo al voltaje del capacitor de esto, presenta algunas magnitudes pero de signo opuesto y que quizá anticipando permite abstrair Q_a , Q_b sean encendidos a que $t = 0$ entonces por el lazo exterior del circuito equivalente anterior.

$$V = V_1 - V_C = L_1 \frac{dI_C}{dt} + \frac{1}{C} \int I_C dt - v(1+n) \text{ [Volts]} \dots\dots\dots(44)$$

para el cual:

$$\frac{d^2 I_C}{dt^2} + \frac{1}{L_1 C} I_C = 0 \left[\frac{\text{Amp}}{\text{Seg}^2} \right] \dots\dots\dots(45)$$

y también para la ecuación 44:

$$V_1 = L_1 \frac{dI_C}{dt} = V + V(1+n) \text{ [Volts]}; \quad t = 0 \text{ [Segundos]} \dots\dots\dots(46)$$

Así que las condiciones iniciales para la solución de la ecuación 45 son:

$$I_C = 0 \text{ [Amperes]}; \quad \frac{dI_C}{dt} = \frac{V(2+n)}{L_1} \left[\frac{\text{Amp}}{\text{Seg}} \right]; \quad t = 0 \text{ [Segundos]} \dots\dots\dots(47)$$

La solución de la ecuación 45 es entonces:

$$I_C = \frac{V(2+n)}{WrL_1} (\text{sen } Wrt) \text{ [Amp]} \dots\dots\dots(48)$$

donde:

$$Wr = \frac{1}{\sqrt{L_1 C}} \left[\frac{\text{Rad}}{\text{Seg}} \right] \dots\dots\dots(49)$$

Será la frecuencia de zumbido de la L,C en el circuito; también para la ecuación 48:

$$V_1 = L_1 \frac{di_c}{dt} + V(2+n) \cos \omega r t \quad [\text{Volts}] \dots \dots \dots (50)$$

Y:

$$V_2 = \frac{V_1}{n} = \frac{V(2+n)}{n \cos \omega r t} \quad [\text{Volts}] \dots \dots \dots (51)$$

Aunque para las ecuaciones 44 y 50:

Las variaciones de corriente y voltajes descriptos en las ecuaciones 48 y 50 y para la 52 durante un continuo periodo del intervalo de conmutación son demostrados en la figura 4.4.7.

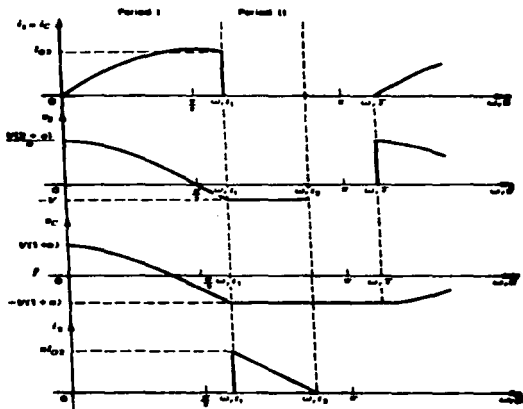


Figura 4.4.7. Operación sin carga del circuito de voltaje-conmutación.

Donde se asume que $n=1$ periodo ya final, al que en algunos instantes $t = t_1$; cuando V_2 se haga negativo e igual en magnitud para V , cuando se da esta situación

es alcanzado D_2 y comienza para conducir V_1 , V_2 Y V_C son abrazados e I_c se hace cero, los tiristores Q_a y Q_b se apagan en este instante.

$$V_1 = nV_2 = -nV \quad [\text{Volts}] ; t = t_1 \quad [\text{seg}] \dots \dots \dots (53)$$

y:

$$V_c = V_1 - V = -V(n+1) \quad [\text{Volts}] ; t = t_1 \quad [\text{seg}] \dots \dots \dots (54)$$

El valor de V_c dado en la ecuación 54 justifica la suposición hecha en la ecuación 42 desde el capacitor de voltaje que estuvo igual en magnitud pero en la polaridad opuesta para que $t = 0$ sea la sustitución por V_2 y t en la ecuación 51 de rendimiento:

$$t_1 = \frac{1}{\omega r} \cos^{-1} \left(\frac{-n}{2+n} \right) \quad [\text{Seg}] \dots \dots \dots (55)$$

Y para la figura 4.4.7., se puede observar que $\omega r t_2$ es el ángulo del segundo cuadrante del periodo II de la conmutación; el intervalo de conmutación nuevamente comienza cuando $t' = 0$ y donde:

$$t' = t - t_1 \quad \text{a} \quad t' = 0 \quad [\text{Seg}] \dots \dots \dots (56)$$

En $t' = 0$, I_c se hace cero, la corriente I_{o2} llega a la inductancia L_2 ; se sitúa la corriente en la inductancia L_2 y el diodo D_2 continúa para la conducción hasta que se cumple $t' = t_1'$. La energía que fue almacenada en el transformador a $t' = 0$, ha retornado a la fuente V durante el segundo periodo.

$$V_2 = -L_2 \frac{dI_2}{dt} \quad [\text{Volts}] ; 0 < t' < t_1' \quad [\text{Seg}] \dots \dots \dots (58)$$

y será empleada la condición inicial:

$$I_2 = nI_{o2} \quad [\text{Amp}] ; t' = 0 \quad [\text{Seg}] \dots \dots \dots (59)$$

La solución de la ecuación 58 es sustituida por:

$$I_2 = nI_{o2} - \frac{V}{L_2} t' \quad [\text{Amp}] \dots \dots \dots (60)$$

Así cuando toda la energía del transformador ha sido almacenada para la fuente V e I_2 se hace cero;

$$t' = t_1' = nI_{o2} - \frac{L_2}{V} \quad [\text{Seg}] \dots \dots \dots (61)$$

El segundo periodo se muestra en la figura anterior, concluyendo que:

$$t_2 = t_1 + t_1' \quad [\text{Seg}] \dots \dots \dots (62)$$

Donde el intervalo de conmutación es completo y un nuevo ciclo de la conmutación del circuito variable será iniciado por el encendido de los tiristores Q_c y Q_d . Al final de este segundo ciclo este será base que vc otra vez tenga el valor dado en la ecuación 43.

La conmutación sobre la carga en operación en este caso sin carga ya mostrada en la figura 4.4.0., y dada la siguiente ecuación si:

$$vc = V(1+n) \quad [\text{Volt's}]; \quad t = 0 \quad (\text{seg}) \dots \dots \dots (63)$$

El periodo del intervalo de conmutación anterior comienza cuando $t=0$; con el quitar las señales de entrada para el tiristor Q_c , y la simultánea aplicación de las señales de entrada para los tiristores Q_A y Q_B .

El capacitor de voltaje aparece entre nodos P y Q, pero Q, es conmutado y D, empieza a conducir así:

$$i_0 = i_{o1} \quad [\text{Amper's}] \quad t = 0 \quad [\text{seg.}] \dots \dots \dots (64)$$

La carga de corriente i_{o1} decae a través de el diodo D_1 . El valor inicio en este caso particular donde se dice que $i_{o1} = I_{max}$; sin embargo donde no es un valor verdadero por todo lo posible carga del circuito y es mejor empleando otro símbolo para la corriente inicial del capacitor en las ecuaciones 44 y 45, de nuevo se aplican para la operación del circuito de conmutación, sin embargo las condiciones iniciales son nuevamente:

$$i_c = i_1 = i_{o1} \quad [\text{Amper's}]$$

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{V(2+n)}{L_1} = \quad [\text{Amper's}]/[\text{seg.}] \dots \dots \dots (65)$$

Y la solución de la ecuación 45 en este caso será:

$$i_c = I_0l(\cos Wrt) + \frac{V(2+n)}{WrL_1(\sin Wrt)} \quad [\text{Amper's}] \dots \dots \dots (66)$$

Esta expresión por i_c que será comparada con que la ecuación 48 también para la ecuación 66:

$$v1 = L_1 \frac{di_c}{dt} = WrL_1(I_0l \sin Wrt) + V(2+n)(\cos Wrt) \quad [\text{volt's}] \dots \dots \dots (67)$$

Y:

$$v2 = \frac{v1}{n} = -WrL_1 I_0l (\sin Wrt) + \frac{V(2+n)}{(\cos Wrt)} \quad [\text{volt's}] \dots \dots \dots (68)$$

Mientras para la ecuación 44:

$$V_c = V1 - V = -WrL_1 I_0l (\sin Wrt) + V(2+n)(\cos Wrt) - V \quad [\text{volt's}] \dots \dots \dots (69)$$

Las variaciones de corriente y voltajes descritos en las ecuaciones 66 a 69 continuados durante el primer periodo del intervalo de conmutación, son funciones apropiadas.

Donde esto es a través de que se de el valor de $n = 1$, en el l periodo final. Así en la descarga en el caso de $t = t_1$ y cuando $v_2 = -V$ la consecuencia para el caso se aplica en las ecuaciones 53 y 54 donde a través de ellas, se aplica y se sustituye por v_2 y t en la ecuación 68, donde:

$$t_1 = \frac{1}{Wr} [\cos^{-1} A - \tan^{-1} B] \quad [\text{Seg.}] \dots \dots \dots (70)$$

donde la ecuación (70):

$$A = \frac{-nV}{[(WrL_1 I_0l)^2 + V^2(2+n)^2]^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (71)$$

$$B = \frac{WrL_1 I_0l}{V(2+n)} \dots \dots \dots (72)$$

Por otra parte donde la arcotangente es el ángulo del primer cuadrante entonces arcocoseno se debe al segundo cuadrante. El posible valor de esos ángulos son indicados en la figura 4.4.8. ilustrada:

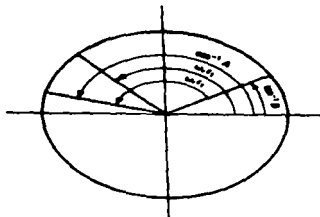


Figura 4.4.8. Valor posible de los ángulos

El II periodo del intervalo de conmutación a $t' = 0$, donde la ecuación 56 se aplicará a través de $t' = 0$ para la ecuación 66.

$$i_1 = i_c Io1(\cos Wrt_1) + \frac{V(2+n)}{WrL_1}(\text{Sen}Wrt_1) = Io2 \text{ [Amper's]} \dots \dots \dots (73)$$

Y esta ecuación será comparada con la ecuación 58, donde el valor de $Io2$ aplicado sobre la descarga que esta da y sus ecuaciones siguiendo las ecuaciones 58 y 59 serán aplicados adelante en la ecuación 61, la cual es repetida aquí por convención, esto es:

$$t'1 = \frac{nIo2L_1}{V} \text{ [Seg.]} \dots \dots \dots (74)$$

Donde $t'1$ en el instante al cual de toda la energía almacenada en el núcleo del transformador con $t'=0$ será regresada a la fuente V. El valor de $Io2$ será sustituido en la ecuación 74 es de curso que se obtiene para la ecuación una y otra vez el intervalo de conmutación y estará dado:

$$t_2 = t1 + t'1 \text{ [Seg.]} \dots \dots \dots (75)$$

Quedando de importancia el circuito variable es vAK_1 . Cuando el tiristor Q_1 esta necesariamente conduciendo:

$$vAK_1 = 0 \text{ [Volt's]} : iQ_1 = 0 \text{ [Amper's]} \dots \dots \dots (76)$$

También durante el periodo I del intervalo de conmutación:

$$v_{AK_1} = -vc \text{ [Volt's]} : 0 < t < t_1 \text{ [Seg.].....(77)}$$

Durante el II periodo del intervalo de conmutación, el momento D_1 y D_2 ambos están conduciendo:

$$v_o = 0 \text{ [Volt's]} : v_1 = nv_2 = -nV \text{ (Volt's)} : t_1 < t < t_2 \text{.....(78)}$$

y

$$v_{AK_1} = V - v_1 = V(1+n) \text{ (Volt's)} : t_1 < t < t_2 \text{.....(79)}$$

Para el fin del intervalo de conmutación a el instante al cual Q_1 es otra vez encendido $v_1 = 0$ y para la ecuación (79). Las variaciones de tiempo del circuito cargado y de conmutación de circuito variable son demostrados en la figura 4.4.9. Y con la asistencia de este diagrama seguro criticamos la importancia de intervalos de tiempo que serán determinados por la figura 4.4.9. El intervalo angular $Wrtq$ durante el cual $v_{AK_1} < 0$ es función del tiempo disponible por apagado del tiristor Q_1 y es por lo tanto t_q . El intervalo $Wrtq$ es también que por el cual $vc > 0$, los componentes de vc expresados en la ecuación 69 son demostración en la figura 4.4.9., donde es asumido que $n = 1$.

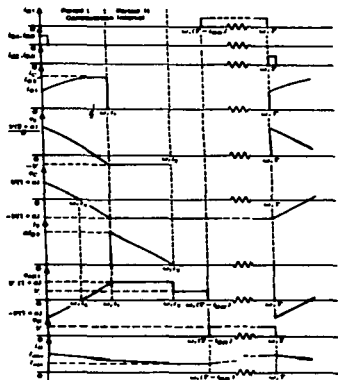


Figura 4.4.9. Variaciones de corriente y voltaje.

Dará este diagrama y esto quizás se vea que t_q tiene el máximo valor cuando $Io1 = 0$, y el convertidor está operando sobre la descarga por algún valor $Io1$, t_q será fácilmente obtenido gráficamente para un diagrama semejante como el de la figura o alternativamente esto será obtenido proponiendo $vc = 0$ y $t = t_q$ en la ecuación 69, obteniendo:

$$t_q = \frac{1}{W_r} [\text{Cos}^{-1}C - \text{Tan}^{-1}D] \quad [\text{Seg.}] \dots \dots \dots (81)$$

Donde la ecuación 81:

$$C = \frac{V}{[(WrL_1 Io1)^2 + V^2 (2+n)^2]^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (82)$$

$$D = \frac{WrL_1 Io1}{V(2+n)} \dots \dots \dots (83)$$

Por otra parte desde la arcotangente y el arccoseno, son ambos ángulos del primer cuadrante, Wrt_q también será ángulo del primer cuadrante. Al inspeccionar de la figura 4.4.9., se demuestra que Wrt_q aprovecha estos máximos valores como $Io1$ aprovecha cero, que es como el convertidor cerca la descarga, condición que sustituyéndola en las ecuaciones 81 y 83 de rendimiento:

$$t_{q_{max}} = \frac{1}{W_r} \text{Cos}^{-1} \frac{1}{2+n} = \sqrt{LC} \left(\text{Cos}^{-1} \frac{1}{2+n} \right) \quad [\text{Seg.}] \dots \dots \dots (84)$$

Así el tiempo de variación para el apagado decrece como $Io1$, incrementa y al limite permisible alcanzado cuando $Wrt_q = Wrt_{off}$, para el tiristor Q_1 , limitando los valores de $Io1$, que serán determinados, proponiendo $vc = 0$ y $t = t_{off}$ en la ecuación 69, dando y limitando los valores de $Io1$ como:

$$Io1 = \frac{V(2+n) \text{cos} Wrt_{off} - V}{WrL_1 \text{Sen} Wrt_{off}} \quad [\text{Amper's}] \dots \dots \dots (85)$$

Si en el transformador la energía es retornada a la fuente, antes el tiristor Q_1 , es otra vez encendido y si el circuito de carga tiene pequeñas inductancias esa sería una posibilidad que la disipación de la parte sobrante de el transformador de energía en la carga del circuito será acompañada por el pico de corriente suficientemente grande para dañar el tiristor Q_1 . Así el pulso de $Io1$ nada mas antes de aparecer I_2 tiene caída para cero apareciendo la condición necesaria por lo tanto:

$$T > t_{on} + t_2 \quad [\text{Seg.}] \dots \dots \dots (86)$$

Como una consecuencia de la limitación expresada en la ecuación 86 el promedio de salida de voltaje, siempre será menor que la fuente de voltaje y este máximo valor posible es dado por:

$$\hat{V}_o = \frac{T - t_2}{T} \quad [\text{Volt's}] \dots \dots \dots (87)$$

4.6.1.6. CHOPPER'S DE CUARTO CUADRANTE.

En el circuito de potencia para el convertidor D.C. a D.C.; capacitado en operación para valores V_o contra I_o en alguno de los cuatro cuadrantes de nuestro plano conocido, el circuito que es parecido al del convertidor tipo B de conexión en antiparalelo en serie una inductancia y resistencia con dos tiristores conduciendo y en cortocircuito para hacer funcionar la fuente principal en este caso para valores negativos mostrados en la figura 4.5.0.



Figura 4.5.0. Convertidor tipo B con conexión en antiparalelo.

CHOPPER TIPO B Y CONVERTIDOR A.C. A A.C.

4.6.1.7. ANALISIS DEL CIRCUITO CONVERTIDOR TIPO B

En esta sección la operación del circuito de potencia, entrarán a discusión dos métodos de conmutación de corriente, los cuales son descritos a continuación:

4.6.1.8. CIRCUITO DE POTENCIA DEL CONVERTIDOR TIPO B.

La figura 4.5.1. demuestra a las señales de entrada para dos tiristores. Y esto asume que con esas señales de entrada a los valores de V y V_c son semejantes a los valores que el promedio de la entrada de corriente I_o es positiva y que el convertidor esta operando en el primer cuadrante de un diagrama de V_o contra I_o .

después el convertidor tiene switcheo por sobre un tiempo corto, esto será con el fin de operar con tiempo variado a las variables de circuito semejantes como son demostradas en la figura 4.5.1.

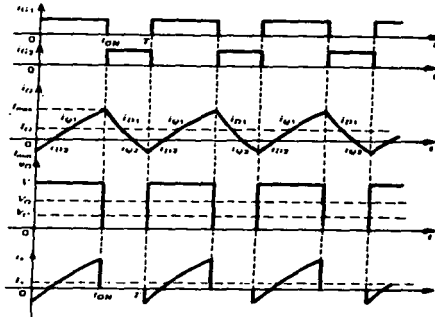


Figura 4.5.1. Principios básicos de un chopper tipo B.

Las formas de onda de la figura 4.5.1 ahora serán comparadas con las de la figura 4.5.2. Cuando esta esté vista que la diferencia esencial entre los dos convertidores es que, por parte del ciclo del convertidor tipo B, $i_0 < 0$ y esto ocurre por presencia del tiristor Q_2 y del diodo D_2 . En otras palabras el tipo B no puede operar con carga discontinua de corriente. El tipo B de forma de onda i_0 será comprendido dentro a cuatro segmentos. Mecanismo semiconductor de idéntica corriente con i_0 por algún intervalo es indicado en la forma de onda para i_0 .

Esto es nuevamente necesario para determinar relaciones entre las variables independientes T , t_{on} , V , V_c , y las variables dependientes en el circuito, del cual las más significantes son V_0 , i_0 e I es el promedio de la fuente de corriente. Esto ahora será notado a esta etapa que desde la corriente discontinua opera de este convertidor, no es posible esto será asumiendo para el propósito del circuito de potencia analizados esto que no es el intervalo entre el fin de la primera entrada de señal y Jando a la otra. Eso es siempre demostrada la letra que de la operación del circuito conmutado y requiere ser semejante al primer intervalo, aunque muy pequeño. Comparación de ondas figura 4.5.2

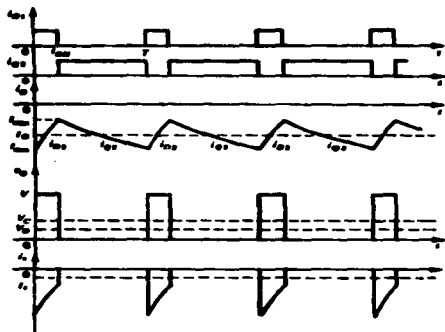


Figura 4.5.2. Continuación figura 4.5.1.

El análisis desarrollado en la anterior sección para C.C., en operación del convertidor tipo A será directamente aplicado al circuito de la figura 4.5.1. Así, las ecuaciones 88, 89, 90 y 91 son:

$$i_0 = \frac{v - v_c}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + I_{am} e^{-\frac{t}{T}} \quad [\text{Amper's}] \dots (88)$$

$$0 \leq t \leq t_m \quad [\text{Seg.}] ; \quad \text{donde } T = \frac{L}{R} \quad [\text{Seg.}] \dots (89)$$

$$i_0 = \frac{-v_c}{R} \left(1 - e^{-\frac{t'}{T}} \right) + I_{am} e^{-\frac{t'}{T}} \quad [\text{Amper's}] ; \quad t_m \leq t \leq T \quad [\text{Seg.}] \dots (90)$$

donde:

$$t' = t - t_{on} \quad [\text{Seg.}] \dots (91)$$

La sustitución de fin de las condiciones en la ecuaciones 88 y 90, solucionando para I_{max} e I_{min} entonces tendrán un valor esas expresiones por las corrientes, las cuales son para las ecuaciones 10 y 11:

$$I_{max} = \frac{V}{R} \left(\frac{1 - \epsilon^{\frac{-t_{on}}{T}}}{1 - \epsilon^{\frac{T}{T}}} \right) - \frac{V_c}{R} \text{ [Amper's].....(92)}$$

$$I_{min} = \frac{V}{R} \left(\frac{\epsilon^{\frac{t_{on}}{T}} - 1}{\epsilon^{\frac{T}{T}} - 1} \right) - \frac{V_c}{R} \text{ [Amper's].....(93)}$$

Las variables independientes en las ecuaciones 92 y 93 serán semejantes si $I_{min} > 0$. En este caso el convertidor es simple operación como el tipo A con salida de C.C. El tiristor Q_2 y el diodo D_2 no conduce durante alguna parte del ciclo este es el primer cuadrante de operación la figura anterior. Si las variables independientes son semejantes tal que $I_{max} > 0$ e $I_{min} < 0$, entonces el resultado será la operación del primer cuadrante como es ilustrado en la figura 4.5.1 donde $t_o > 0$. Si las variables independientes son semejantes, que I_{max} tuvo un valor muy pequeño positivo e I_{min} un valor muy largo negativo, ellos son demostrados en la figura 4.5.1 pero que $t_o < 0$. Entonces el resultado estará en operación del segundo cuadrante; finalmente si las variables independientes son semejantes que $I_{max} < 0$ entonces $t_o < 0$, y el resultado de esta en operación está en el segundo cuadrante; debajo de esas condiciones el tiristor Q, y el diodo D, no conducirán durante algunas partes del ciclo. El cuadrante en el cual el convertidor esta operando será enseguida determinado para el circuito de carga con voltajes. Como el tipo A, V_o es siempre definido y para la ecuación 94 el promedio de carga de voltaje es:

$$V_o = \frac{t_{on}}{T} \text{ [Volt's].....(94)}$$

Ahora si $V_o > V_c$ entonces el promedio de flujos de potencia para la carga en el circuito y la operación del convertidor estará en el primer cuadrante, así mismo $V_o < V_c$ entonces el promedio de flujos de potencia para la carga del circuito a la fuente V, y la conversión operando en el segundo cuadrante esas condiciones son ilustradas en la forma de onda para voltajes de las figuras B Y C. Cuando Q, es continuamente encendida para que $t_{on} = T$ entonces:

$$I_{max} = I_{min} = \frac{V - V_c}{R} \quad [\text{Amper's}] \dots \dots \dots (95)$$

Cuando Q_2 es continuamente encendida pero que $t_{on} = 0$, entonces:

$$I_{max} = I_{min} = \frac{V_c}{R} \quad [\text{Amper's}] \dots \dots \dots (96)$$

También desde los tiristores y diodos son considerados a ser ideales si seguimos que :

$$V_{is} = V_o I_o \quad [\text{Watt's}] \dots \dots \dots (97)$$

El resultado del análisis de Fourier del operador tipo A bajo condiciones de C.C., será aplicado directamente a el tipo B. Así para las ecuaciones 21,22 y 31, 32.

$$V_o = V_o + \sum_{n=1}^{\infty} [C_n \text{Sen}(n)(Wt_{on})] \quad [\text{Volt's}] \dots \dots \dots (98)$$

$$W = \frac{2\pi}{T} \left[\frac{\text{Rad}}{\text{Seg.}} \right] \dots \dots \dots (99)$$

$$V_o = \frac{t_{on}}{T} (T) \quad [\text{Volt's}] \dots \dots \dots (100)$$

$$C_n = \frac{V_{2v}}{n\pi} (1 - \cos nWt_{on})^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (101)$$

$$\theta_n = \text{Tan}^{-1} \frac{\text{Senn}Wt_{on}}{1 - \cos nWt_{on}} \quad [\text{Rad}] \dots \dots \dots (102)$$

Para esas expresiones, los valores rms de la salida de voltaje V_o y corriente I_o como bien si las armónicas de corriente rms y factores de rizo serán determinados como en otras aplicaciones, el promedio máximo y el valor de los rms de la corriente en el tiristor Q_1 . Así $t_{on} = T$ para:

$$I_{Q1max} = I_{Q1Rmax} = \frac{V - V_c}{R} \quad [\text{Amper's}] \dots \dots \dots (103)$$

Correspondiéndole el máximo valor para el diodo D₁ también ocurre durante el primer cuadrante las ecuaciones siguientes:

$$ID_{1max} = \frac{V}{4R} \left[1 - \frac{V_C}{V} \right]^2 \quad [\text{Amper's}] \dots\dots\dots (104)$$

$$ID_{1Rmax} = \frac{V}{2\sqrt{2}R} \quad [\text{Amper's}] \dots\dots\dots (105)$$

El máximo promedio y valor rms de la corriente en el tiristor Q₂ son idénticos durante la operación del segundo periodo cuando t_{on} = 0 , quedando:

$$IQ_{2max} = IQ_{2Rmax} = \frac{V_C}{R} \quad [\text{Amper's}] \dots\dots\dots (106)$$

Por el diodo D₁ se aproxima a un rango que será obtenido asumiendo otra vez, que la carga del circuito inductivo es suficientemente grande para mantener i_o al constante valor dado por la ecuación 34.

$$I_o = \frac{t_{on}}{T} \left(\frac{V}{R} \right) - \frac{V_C}{R} \quad [\text{Amper's}] \dots\dots\dots (107)$$

El promedio de corriente del diodo es entonces:

$$I_{DL} = \frac{t_{on}}{T} \left[\frac{t_{on}}{T} - \frac{V}{R} - \frac{V_C}{R} \right] \quad [\text{Amper's}] \dots\dots\dots (108)$$

A diferencia de la ecuación 24 con respecto a t_{on} y haciendo la ecuación para cero rendimientos:

$$t_{on} = \frac{1}{2} \frac{V_C}{V} (T) \quad [\text{Seg.}] \dots\dots\dots (109)$$

$$ID_{2max} = \frac{1}{2} \frac{V_C}{V} T \quad [\text{Amper's}] \dots\dots\dots (110)$$

La advertencia alrededor dada al final de la sección que en factor de la máxima corriente en muchos casos será obligado a limitar corriente.

4.6.1.9. CONVERTIDORES DE CORRIENTE ALTERNA A CORRIENTE ALTERNA

Los convertidores que convierten la energía para una m - fase en la fuente de C.A., al dar la frecuencia a una n - fase en el circuito de carga de C.A., algunas u otras de diseñadas frecuencias. Esos convertidores en general tienen las siguientes características :

- 1.- Cumplir a la eliminación de uno o mas convertidores necesarios para proveer un intermedio de C.D. , de un vínculo. Esos convertidores son mas eficientes.
- 2.- En mas casos, la salida de control de voltaje es inherente en el convertidor.
- 3.- La conmutación en la línea a la carga es normalmente empleada, la conmutación forzada es posible pero complicada.
- 4.- La entrada de la corrección del factor de potencia y la reducción de armónicas son usualmente necesarias.

En la simplificación del diagrama de un convertidor dual demostrado en la siguiente figura 4.5.3.

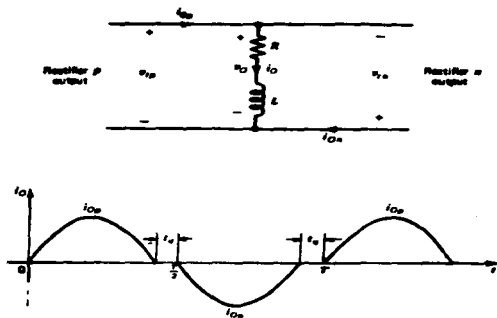


Figura 4.5.3. Convertidor dual empleado como ciclovonvertidor.

Visto que, si el voltaje y la corriente en la carga en la rama son variables. Una salida alternante en cual los dos rectificadores de C.D., para inversores de frecuencia señalada de C.A.

Cuando el convertidor dual es empleado en este camino y es el denominado cicloconvertidor. Si el rectificador controlado en la figura 4.5.3. es alambrado y para el rectificador de fase simple de el tipo de la figura mostrada, entonces el sistema constituirá una simple fase a fase simple o fase simple en el cicloconvertidor.

En la otra mano si el rectificador controlado alambra el puente de tres fases del convertidor tipo A mostrada ya anteriormente, entonces las tres fases a fase simple en el convertidor estará formado con tres semejantes convertidores que podrán ser empleados con su salida en fase sencillas acoplados por un transformador de tres fases para proveer a tres fases y para el convertidor de tres fases A, algo que idealiza la forma de onda de salida de corriente demuestra en la figura 4.5.4., la línea de conmutación es empleada y la corriente en el intervalo cero de duración t_0 que favorecerá necesariamente bajo ciertas condiciones de operación.

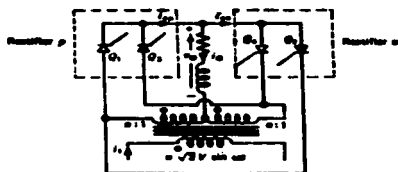


Figura 4.5.4. Convertidor de 3 fases.

Que las fuentes de los dos rectificadores no son cortocircuitadas en fase simple a fase simple en los cicloconvertidores no son muy utilizados por razón que estará favoreciendo aparentemente cuando ellos son discutidos en mas detalles de cualquier modo para un ejemplo útil, por medio de cual operándolo básicamente y principalmente será estableciendo principios que serán entonces aplicados a sistemas mas complicados.

Las características operando de todos cicloconvertidores son semejantes que esto es necesario a restringir la máxima salida de frecuencia para un valor que es solo el convertidor.

La fracción de la fuente de frecuencia en ellas son particularmente sustituidas por alta potencia (directo a 5000 Hp) con manejo de motor de C.A., de velocidades

variables en cual la baja velocidad es requerida, se consideran los convertidores que proveen una sola salida de frecuencia que es una integral múltiple de la fuente de frecuencia el factor de multiplicación es relativo para el número de fases. Ese empleo en la línea de conmutación el circuito de una triple frecuencia con una carga resistiva en rama es demostrada en la figura 4.5.5.

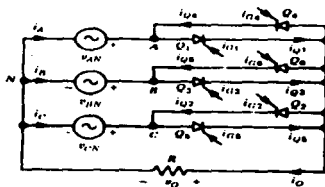


Figura 4.5.5. Circuito de triple frecuencia con carga resistiva.

Esta será de buena gana entendido por considerar ello como la combinación de tres fases sencillas de voltaje controlado abasteciéndolo al común de la carga del circuito y excitada por la línea al neutral de voltajes de la fuente de tres fases. El ángulo de retardo para esta carga será variada por encima del rango:

$$\frac{2}{3} + W_s t q \leq \infty \leq \text{rad} \dots\dots\dots(1)$$

Donde W_s es la fuente de frecuencia, tq es el tiempo disponible para el apagado de los tiristores en la figura 4.5.7 son demostradas las formas de onda de las variables de la triple frecuencia con el ángulo de retardo reducido a el límite inferior, resultando en máxima salida, la forma de onda de la salida de voltaje y corriente demuestra que la salida de frecuencia es de tres tiempos que da la fuente solo un tiristor conduce para algún instante, y el intervalo de corriente cero de duración tq impide el cortocircuito de dos de tres fases de la fuente aunque sean dos tiristores. El triple circuito es de la línea conmutada en la figura 4.5.6.

De cualquier modo si unas series oscilatorias de RLC, del circuito de carga es proveído, la carga de conmutación será empleada.

El convertidor puede proveer una salida de frecuencia que será una integral múltiple de la fuente de frecuencia. Esta carga conmutada múltiple, y algunos tiempos dominara un cicloconvertidor mostrado en la figura 4.5.7.

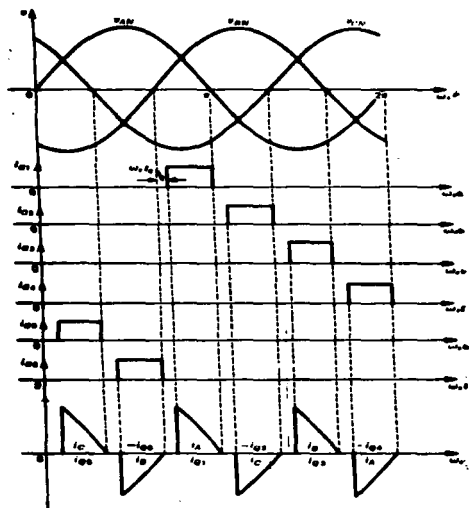


Figura 4.5.6. Formas de onda.

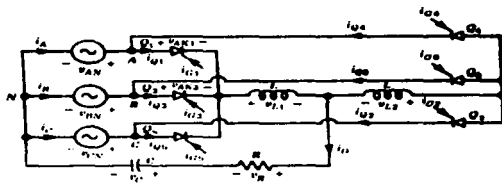


Figura 4.5.7. Multiplicador de frecuencia con conmutación de carga.

Donde dos inductancias iguales, una por el medio positivo y otra por el negativo ciclo de la salida de corriente son; introduciendo en series con la carga de circuito limitado a valores de $\frac{dv}{dt}$ aplicados a los tiristores y este circuito será comparado con esta relación a la demás series inversoras. La figura demuestra las formas de onda de la múltiple carga la frecuencia anillando de el circuito será más semejante a la corriente del intervalo $t_q > t_{off}$ está presentes medios ciclos sucesivos de la onda de corriente en el mismo de la figura A. Las fuentes que normalmente estarán. Los emf's en las vueltas del secundario del transformador de tres fases debido a la conexión de la rama, dos circuitos de carga a la estrella. Punto de esas vueltas, ellos conducirán a la salida de corriente. Estas serán situadas a el empleo del circuito demostrado en la figura 4.5.8. Donde la capacitancia del circuito anillado es proveída por tres capacitores conectados a la salida de las líneas de tres fases.

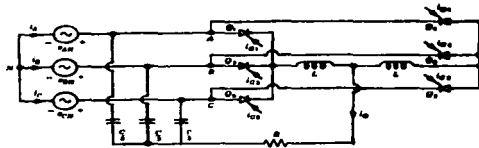


Figura 4.5.8. Tres capacitores a la salida de las 3 fases.

Las formas de onda de la salida de corriente de este convertidor es parecido con el del convertidor de la figura del convertidor tipo B para voltajes de salida.

4.6.2.0. CHOPPER'S EN MOTORES DE C.A.

La habilidad para construir una alternación estática de la fuente controlable con frecuencia inmediatamente presenta la posibilidad de la velocidad variable empleando maquinas de motores sincronicos de estándares de letras definidas A, B, y C. Para el motor jaula de ardilla la única calificación que es más hecha para esta expresión es que no solo la frecuencia sino también el voltaje de la fuente esta muy controlado. Esto se debe al hecho que si la excitación de frecuencia en el motor de A.C., que es reducida con la aplicación de voltaje, el circuito magnético de la maquina que se satura pudiendo ser evitado si al reaccionar de voltaje para la frecuencia que es mantenida constantemente sobre el flujo magnético, la velocidad a emplearse solo a altas frecuencias cuando las resistencias son comparadas del motor giratorio porque apreciablemente esto es necesario para aumentar esta reacción 3 posibles combinaciones del semiconductor convertidor de potencia que nos va a dar. La variación de frecuencia rendida en cada caso se invierte.

4.6.2.1. CONVERTIDOR DE FRECUENCIA INDUSTRIAL MICROMASTER DE SIEMENS

Es un convertidor de frecuencia con circuito intermedio de tensión para variar la velocidad de motores de C.A. Es posible utilizar motores de C.A. de 250 W a 550W, de alimentación monofásica de 230V y trifásica de 400-500V. Con compensación de carga, que tiene lugar automáticamente a través de la regulación de corriente con generación de rampas, que permite la aceleración y deceleración. Dentro la elevación de tensión programada o automática siendo posible variar la velocidad con graduación de precisión. Su freno incorporado de C.C. , asegura una parada rápida y definida. El chopper de freno integrado y una resistencia de freno permite impulsar y frenar ambos sentidos de giro. Puede conectarse a motores asíncronos y síncronos individualmente o en paralelo como grupos motrices , funcionando a través de valores programados y con bornes que se ajustan a la frecuencia nominal y a la variación de la misma como por ejemplo P006 = BORNE 10 = 20 Hz, como también la detención de errores con fallos programados. Si en caso que no jalase el motor después de la orden de arranque comprobar la frecuencia nominal su consigna la frecuencia de salida y el número de revoluciones del motor. Variando con potenciómetro motorizado. Fallos provocados por: sobretensión, sobrecorriente, sobrecarga, y tensión insuficiente. Los motores de jaula de ardilla adaptados a los convertidores de frecuencia tienen jaulas concebidas para limitar la corriente y aumentar el par de arranque sirven los de doble jaula y con barras profundas para la frecuencia variable pero primero en condiciones nominales, para el caso de los motores alimentados con ondas impuestas de tensión conducen a una disminución rápida de las inductancias de las barras de jaula para los armónicos ya que el rotor los eleva sus precauciones serian a las inductancias de fugas que son diametralmente opuestas según el tipo de motor que tenga que ser alimentado con ondas de tensión impuestas o por ondas de corriente impuestas y con ello aumento de la potencia aparente una opción auxiliar seria el motor con pequeña reactancia.

4.7.1. INVERSORES PARA CIRCUITOS CONVERTIDORES.

Veremos de que manera se dan las configuraciones en los inversores.

Los convertidores inversores de potencia C.D. a C.A. algunos designan a la salida de voltaje y frecuencia las aplicaciones de los inversores incluyen los siguientes pasos:

- 1.- Abastecimiento de potencia constante.*
- 2.- Abastecimiento ininterrumpido de potencia para computadoras.*
- 3.- Velocidad variable para el manejo de motores de C.A.*
- 4.- Abastecimiento en potencia para aviones de manera constante.*

5.- Da facilidad calentando inducciones.

6.- Facilita la salida de corriente directa en líneas de transmisión.

En mas aplicaciones de inversores si es necesario será capaz para controlar ambas, la salida de voltaje y la salida de frecuencia, el voltaje controlado requiere mayor altzamiento fuera de lo necesario para vencer la regulación en el equipo de C.A. conectada o para mantenerlo constantemente, cambian en el manejo del motor de C.A. de velocidad variable. serán variaciones de suficiente frecuencia. Si la entrada de voltaje de C.D., es controlable, entonces tanto invertimos con el asegurada relación de entrada de voltaje de C.D., no es controlable y entonces el control de la salida de voltaje será mejor obtenido si se emplea la modulación con pulsos ya discutimos la conexión con convertidores de D.C. a D.C. La salida de voltaje y la forma de onda en el inverso no es si no uso y mas aplicaciones de los armónicos de voltaje que tienen un circuito significativo sobre el funcionamiento total del sistema esos armónicos quizás reducen a el costo de aumento de complejidad del circuito inverso decisiva económica tan mejor hecha sobre el grado al cual esto se debe a algunas técnicas de reducción en los armónicos .

La simple fase sencilla del medio puente invertido y el método de conmutación empleados lo discutiremos con detalles. Esto será siguiendo las descripciones de la fase sencilla del puente inverso y el método de voltaje controlado y reduciendo la salida de los armónicos trifásicos y series de inversores que son empleado al uso en el control de motores.

4.7.1.1. TIPOS DE CIRCUITOS INVERSORES

La figura 4.5.9. ilustra el principio básico de la fase sencilla del medio puente, invertido el símbolo del tiristor se representa en un circuito que tal vez esta encendido, si es necesario será conmutado por medio del circuito de elementos no incluidos en diagrama. La secuencia de señales de entrada y el resultado de la salida de voltaje de forma de onda demostrado en la figura 4.6.0.

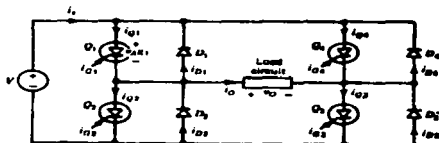


Figura 4.5.9. Principio básico de la fase sencilla del medio puente.

Donde la salida angular de frecuencia dada por:

$$W = \frac{2\pi}{T} \left[\frac{\text{Rad}}{\text{Seg}} \right] \dots\dots\dots (1)$$

Esta fuerza que aparece solamente en el tiristor de la figura 4.6.0 ilustrada provee la forma de onda de voltaje de esa función. Sin embargo esta provisión será mas para el factor que la carga en el circuito poseerá algunas inductancias o capacitancias como resultado de el cual la corriente de carga i_o no estará necesariamente en reversa a las algunos instantes, como en las cargas de voltaje v_o .

El diodo en antiparalelo de cada tiristor permite que de el flujo de la carga de corriente, la serie de desventajas del medio puente inversor es que este requiera a través de alambres o hilos de la fuente de C.D. consecuentemente empleado cuando la salida a la fase sencilla de C.A. que es requerida para la fuente de C.D.

Es reconocido como aparece identificando la configuración con el cuarto cuadrante del convertidor las necesarias señales de entrada por los tiristores y la salida de forma de onda de voltaje resultante son función en la figura 4.6.0.

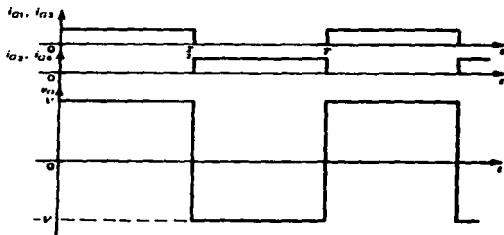


Figura 4.6.0. Invertidor de una fase.

Demuestra el circuito a tres fases del puente inversor del cual las tres fases del circuito de carga presuntamente conectado a terminales A, B, Y C las señales de entrada a las que son requeridas demostradas en la figura 4.6.1.

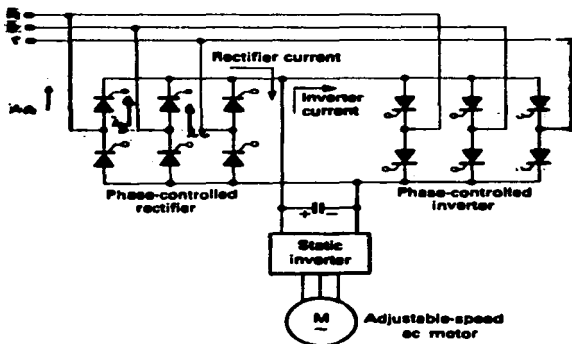


Figura 4.6.1. Conexión de doble convertidor.

Como también son el resultado de voltaje línea a línea balanceados formados de la fuente de tres fases. Los tiristores permitidos para el flujo de corriente que son fuera de fase con esos voltajes.

4.7.1.2. ANALISIS DEL MEDIO PUENTE INVERSOR.

La operación del circuito de potencia de este inversor es primeramente discutido y esto es seguido como será la explicación de métodos de conmutación; métodos de posición del mecanismo son entonces considerados los circuitos de potencia del medio puente inverso ya mostrado si el circuito de carga es en serie al circuito RLC al cual un voltaje rectangular forma de amplitud $V/2$, V y un periodo de tiempo T es aplicado entonces este sistema será representado en el circuito equivalente de la figura 4.6.2.

Donde:

$$v_s = \frac{V}{2} \quad [\text{Volt's}] \quad : \quad 0 < t < \frac{T}{2} \quad [\text{Seg}] \dots \dots \dots (2)$$

$$v_s = -\frac{V}{2} \quad [\text{Volt's}] \quad : \quad \frac{T}{2} < t < T \quad [\text{Seg}] \dots \dots \dots (3)$$

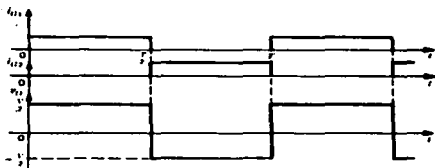
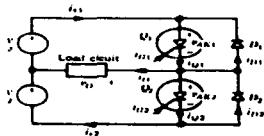


Figura 4.6.2. Invertidor de una fase.

Cuando varios ciclos de la fuente de voltaje v_s tiende a transcurrir, el tiempo de variaciones de la corriente que va a tener establecida en un periodo de forma semejante que :

$$i_o = i_{o1} \quad [\text{Amper's}] \quad ; \quad t = \frac{T}{2} \quad [\text{Seg}] \dots \dots \dots (4)$$

$$i_o = -i_{o1} \quad [\text{Amper's}] \quad ; \quad t = 0 \quad [\text{Seg}] \dots \dots \dots (5)$$

Por el circuito de la figura 4.5.9., durante el intervalo $0 < t < T/2$ [Seg] (5):

$$v_o = \frac{V}{2} = v_R + v_L + v_C \quad [\text{Volt's}] \dots \dots \dots (6)$$

ò:

$$\frac{V}{2} = Ri_o + \frac{Li_o}{dt} - \frac{1}{C} \int_0^t i_o dt + V_c dt \quad [\text{Volt's}] \dots \dots \dots (7)$$

Donde V_{C_0} es el voltaje al otro lado del elemento capacitivo del circuito de carga a $t=0$; será diferenciando la ecuación:

$$\frac{d^2 i_0}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di_0}{dt} + \frac{1}{LC} i_0 = 0 \quad \left[\frac{\text{Ampere's}}{\text{Seg.}} \right] \dots\dots\dots(8)$$

La solución de ecuación es empleando la condición inicial de la ecuaciones anteriores dadas en general describiendo expresiones de la corriente de carga i_0 como la función de tiempo. Sin embargo desde la carga de voltaje v_0 , el valor de la corriente necesario por la posición del mecanismo en el circuito inversor puede ser enseguida obtenido por análisis de Fourier; esta determinación de la expresión analítica por i_0 en algún caso particular es innecesario cualitativo y comprensivo de como es demostrado en la figura 4.6.3.; un apagado bajo es oscilatorio al circuito de carga puede tener la forma de onda semejante como queda demostrado en la figura del circuito de carga, de donde como ilustramos al circuito de carga de resistencias ideales desde la practica de algunos circuitos que poseerán todas las tres propiedades de resistencia, inductancia, y capacitancia en algunos grados sobre el primer ciclo.

4.7.1.3. CONMUTACION DE CARGA DEL MEDIO PUNTE INVERSOR.

Si los parámetros de RLC de la carga son semejantes el responsable para la forma rectangular de onda de voltaje aplicado es oscilatorio de corriente de carga. Entonces al tiempo de variación de corriente será mediante la forma de onda como se ve ilustrado en la figura 4.6.3. en caso semejante lo reversible antes de V_0 , reversible pero que por el fin de cada un medio ciclo del voltaje visto en la figura 4.6.3 la corriente va negativa de que la corriente será mas bien una forma de onda que esta ilustrado en figuras anteriores, en un caso semejante i_0 contrario ante v_0 contrario, como que al fin de cada mitad del ciclo la carga de corriente es transportada por los diodos. Y durante la primera mitad del ciclo de voltaje. La corriente i_0 va hacer negativo a esto: $t = t_x$.

$$t_q + \frac{T}{2} - t_x > t_{on} \quad [\text{Seg}] \dots\dots\dots(9)$$

Donde t_{on} es el tiempo de apagado de los tiristores Q_1 y Q_2 entonces cuando la entrada de la señal esta trasladada para Q_1 y Q_2 sean encendidos en $t = \frac{T}{2}$, Q_1 no va a conducir bajo esas circunstancias el inversor es conmutado por la carga si la diferencia en la ecuación 9 no es satisfecha, o si algunas de las condiciones representadas en la figura 4 dirigidos entonces los tiristores mas bien serán por conmutación forzada.

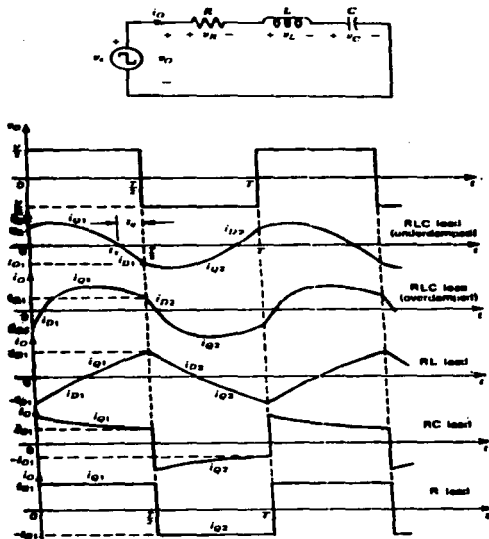


Figura 4.6.3. Circuito equivalente y respuestas.

4.7.1.4. VOLTAJE DE CONMUTACION DEL PUNTE INVERSOR.

Mediante el método McMurray - Bedford se utiliza el voltaje conmutado en este caso complementario, solo de dos tiristores, en el circuito de potencia dos diodos conmutando 2 capacitores e inductancias de igual magnitud; formando un transformador ideal de esta manera tenemos un flujo de encadenamiento con nodos y un diferencial de potencial para el circuito de carga tomando en cuenta la relación del transformador.

4.7.1.5. CONTROL DE VOLTAJE DE FASE SENCILLA PARA INVERSORES.

En mas aplicaciones de inversores en menos pasos de la relación voltaje, corriente de C.A. a la carga serán necesarios ejemplos típicos de semejantes requerimientos que son:

- 1.- Un inversor empleando el sistema a una batería como la fuente de C.C., y requerida para distribuir voltaje constante de C.A., al circuito de carga de hacerlo será capaz de eliminar el efecto de la variación de voltaje en la batería.*
- 2.- Manejan un sistema con inversor a la C.A., del motor más capaz a mantener una aproximación constante a la relación de salida de voltaje y frecuencia a eludir la saturación del hierro en el motor.*

4.7.1.6. LOS METODOS DE CONTROL DE VOLTAJE QUE COMUMENTE SE EMPLEAN

A. Introducción de una fuente de C.A., de voltaje controlada entre las terminales de salida del inversor y la carga.

B. Introducción de equipo de control , la entrada de voltaje de C.C., entre las terminales de entrada del inversor y la fuente.

C. Elaboración del circuito de control invertido que permite la variación de la relación entre la entrada de C.C., y la salida de voltaje de C.A., del mismo inversor.

La introducción de un voltaje controlado de C.A., a la salida de las terminales. El inversor generalmente será eludido desde el resultado en altas armónicas, muchas contenidas de la salida del voltaje a los valores reducidos que de el voltaje. Si la fuente disponible es C.A., entonces la salida de voltaje de C.C., a el inversor será controlada por una variedad de métodos esos incluyen :

- 1.- A punto motor - generador de C.A. a C.C.*
- 2.- Controlador rectificador.*
- 3.- Regulador de inducción abasteciendo a un rectificador controlable.*
- 4.- Abastecimiento al reactor saturable con rectificador controlable.*

Si la fuente disponible es de C.C. , entonces tendremos dos métodos de control a la salida de voltaje a el inversor y estos son:

- 1.- A punto el motor - generador C.C. a C.C.*
- 2.- Voltaje controlado por un convertidor de C.C. a C.C.*

La ventaja principal de la salida del control de voltaje de C.C., es que provee que el arreglo constituye una ideal fuente de voltaje directo. El contenido de armónicas de la salida de voltaje C.A., restos constantes a todos los voltajes. La principal desventaja es que la capacidad de conmutación de corriente de un inversor con conmutación forzada esto reducido como la entrada de voltaje de C.C., es decrecida. Apreciándose ese punto se estará observando que la reducción tq disponible por el encendido de los tiristores. Este efecto más de curso será guardado en contra para algunas extensiones por la reducción de los parámetros del circuito de conmutación. Pero si esto es transportado también al extremo, la larga conmutación del capacitor favorecerá aunque no se desea , este problema en algún tiempo es solucionado por la utilización auxiliar fijado en la fuente de voltaje directo por la conmutación del circuito pero el circuito total del inversor entonces no lo favorece al complicarlo.

El sistema de entrada del control de voltaje de C.C., que provee un voltaje ideal directo en la fuente demanda cualquiera al generador de C.C. , o al circuito de filtro ante las terminales de entrada del inversor. Cualquiera de esas alternativas es indeseable si al sistema con respuesta rápida si es requerido. Además la introducción de otro convertidor cualquiera si el mecanismo esta rotando, girando o este rotando nos referimos a algún motor. Entre la fuente y la carga es indeseable, desde el incremento de las perdidas en el sistema. El mejor método de control es por lo tanto que permitiendo variación de la relación entre la entrada de voltaje de C.C. y la salida de voltaje de C.A. , del inverso mismo. Las técnicas disponibles diferentes en el contenido de armónicas que ellas producen en la salida de voltaje del inversor. Así el contenido aceptable de armónicas es el factor que determina la elección de técnicas , las tres mas comúnmente utilizadas y todas empleadas de modulación de amplitud de pulsos y que serán listadas como :

- 1.- Modulación simple de pulsos.*
- 2.- Modulación múltiple de pulsos.*
- 3.- Modulación senoidal de pulsos.*

Para PAM , la conmutación forzada es esencial a continuación veremos las formas de onda para MSP , MMP Y MSINP.

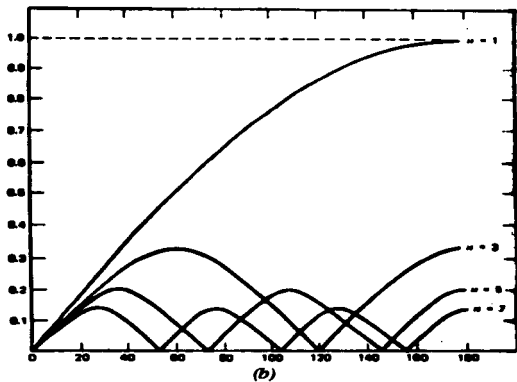
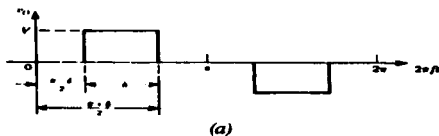
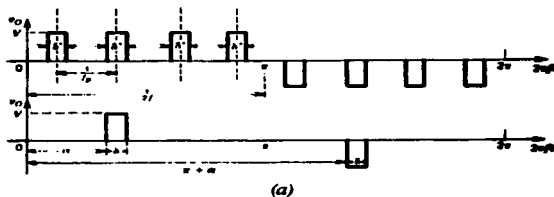


Figura 4.6.4. a) Salida de voltaje con modulación de pulso y b) Contenido de armónicas de la forma de onda



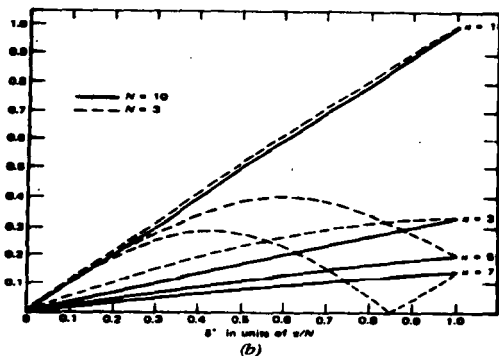


Figura 4.6.5. a) Salida de voltaje con modulación de varios pulsos y b) Contenido de armónicas de la forma de onda

La modulación senoidal se demostrará más adelante.

4.7.1.7. INVERSORES DE TRES FASES.

La fuente de tres fases será obtenida para la fuente de voltaje directo por el simple empleo de tres fases simples invertidas y ordenando que las señales de entrada por las tres inversiones aparezcan cambiando la fase a 120 grados eléctricos de la salida en el intervalo de frecuencia.

Las tres salidas entonces serán traídas para la transformación de tres fases, las vueltas del transformador en el primario serán mas aisladas para uno o otro, el espacio a las vueltas del transformador en el secundario será conectado en estrella o delta a proveer la carga en el circuito.

El control de voltaje de la conmutación efectuada y la reducción de las armónicas ser obteniendo las conexiones en las ramas del circuito con la simple fase de los inversores, para que los componentes clasificados sean determinados y el diseño transportado fuese exacto como lo describen las necesidades. La fuente de

tres fases también será obtenida para el puente inversor de tres fases; estos a continuación serán dos posibles modelos de señales de entrada:

1.- Tres tiristores encendidos en algunos instantes, este resultado a la salida de ondas de voltajes que son definidos bajo todas las condiciones de la carga.

2.- Dos tiristores encendidos en algunos instantes; esté resultado en indefinidas salidas de ondas de voltaje bajo algunas condiciones de la carga.

Cualquier modelo de señal de entrada es empleado si es necesario que las señales sean aplicadas y separadas en intervalos de 60 grados eléctricos de la salida de la forma de onda para voltajes. Así estos son 6 distintos periodos de operación en un ciclo, los tiristores en la figura 4.6.4. son numerados en la secuencia en la cual las señales de entrada son aplicados a ellas a dar una secuencia positiva de voltaje VAB , VBC, y VCA a la salida de las terminales A, B, y C. Cuando algún tiristor es encendido, el tiristor y el diodo son conectados en antiparalelo que con esto constituye un cortocircuito.

Así por ejemplo el tiristor Q₁ es encendido y la terminal A de salida es llevada a la fuente de potencia de la terminal positiva conversalmente cuando Q₁ es encendida (para el cual el tiempo en Q₁ será apagado), la terminal A es llevada a la fuente de potencia de la terminal negativa. Similares consideraciones son determinadas a las fuentes de potencia de las terminales B y C.

4.7.1.8. APLICACION DE LA INVERSION DE TERMINALES EN LA FUENTE DE VOLTAJE MOTORES DE INDUCCION CON FUENTE DE VOLTAJE INVERTIDO.

Una fuente de voltaje invertido es suministro de una fuente de voltaje directa. idealmente, esta es una fuente de impedancia interna cero, que puede deliberar corriente ilimitada constantemente, controlable por la terminal. La entrada puede ser usada para excitar un nivel, tres fases, motor de inducción jaula de ardilla con frecuencia controlable y diferencia de potencial, un numero de posibles combinaciones podrán manejar el motor o motores y una de las ventajas de la fuente de voltaje invertido es que puede manejar un grupo de motores similares conectados en paralelo.

Por la general la fuente de poder es un sistema de tres fases de C.A. y la combinación básica del convertidor consiste en un rectificador y un inversor conectado por un enlace de C.D. esta combinación puede ser referida como un "convertidor de AC/AC con enlace de C.D.". Pero esta terminología no es empleada aquí porque puede dar a confusión cuando las combinaciones alternativas son discutidas.

4.7.1.9. COMBINACIONES DEL CONVERTIDOR.

La velocidad de un motor de inducción puede ser controlado por variación de la frecuencia de la fuente, también en la variación en la fuente de la terminal es esencial, cada combinación del convertidor. Lo mas simple de una fuente de voltaje de circuitos inversores tienen una firme razón en la terminal de entrada de C.D. a la terminal con este control de inversión de C.D. en la entrada será necesario y puede ser obtenida por la combinación mostrada en la figura 4.6.6. en la cual el rectificador controlado varia en la C.D. para intervenir a la vez la frecuencia de salida inversor.

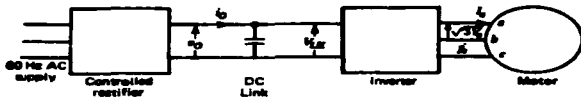


Figura 4.6.6. Combinaciones del convertidor.

El rectificador es una línea conmutada y el inversor es una forzada conmutación. El enlace de C.D. puede incluir una inductancia en serie, pero lo componente importante es un capacitor la cual la entrada de C.D., de la terminal a el inversor para un valor efectivo de constante VLK.

Este sistema no puede regenerar, porque una reversa de i_o podría ser requerida, si la regeneración es necesaria podría ser obtenida por un cambio de la fase de control del rectificador con un convertidor dual. Un sistema en el cual la C.D. de enlace es constante, es mostrada en la figura 4.6.7. El control de C.A. de la terminal de salida es llevada afuera en el invertidor por pulsos de modulación amplias (PWM). La regeneración no es posible para este sistema, sin embargo, si el firme de la fuente de C.D. para el inversor es un sistema de distribución de C.D. que puede aceptar energía regenerada, como en un tranvía o sistema de rápido transito, un numero de motores en diferente estados de manejo que puede operar de un fuente de voltaje de C.D. particular.

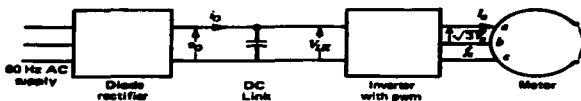


Figura 4.6.7. Combinaciones del convertidor (C.D. etc.)

Una tercera posible es ilustrada en la figura 4.6.8., la cual la variación del terminal de voltaje es obtenida por la cuchilla. Esta es una combinación que es usada cuando es requerida una alta frecuencia en la salida, y el PWM en el inversor no es por lo tanto posible. En suma, un alto poder de entrada es obtenida de un diodo rectificador.

Este arreglo puede también ser usado con una distribución de C.D. para excluir del sistema de distribución el ancho rango de armónicas que podría de otro modo ser producidas por el inversor.

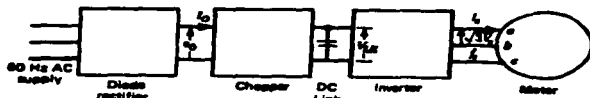


Figura 4.6.8. Invertidor de fuente de voltaje C.D.

Esta armónica pueden intervenir con la señal del sistema de comunicación en la cual el conocimiento de las frecuencias armónica producidas por la cuchilla pueden ser suprimidas. Según una clase de cuchillas podrían permitir la regeneración. Las pérdidas en los convertidores consideradas hasta hoy lo han hecho abatible, y cada entrada de la cuchilla en la cual la computación forzada es usada ha sido posible considerando las pérdidas en el sistema de la figura 4.6.9., los inversores también pueden ser conmutación forzada y con el PWM hay muchas comunicaciones por ciclo. En cada calculo de operación podrían ser almacenadas las pérdidas, o en sus efectos limitar los rangos de esos manejos para el uso de los motores de no mas de 500 HP (373KW).

Estos principios básicos de operación de rectificadores y cuchilla se tratan en anteriores capítulos respectivamente, antes considerar el sistema en la figura 4.6.0, en cada detalle de alguna discusión de la operación de la fuente de voltaje invertida será necesaria.

4.7.2.0. INVERSOR DE LA FUENTE DE VOLTAJE TRIFASICO.

La figura 4.7.0., y muestra el circuito de voltaje de un invertidor trifásico suministrado por un enlace de C.D., de una fuente de voltaje. El símbolo del tiristor, rodeado por un círculo indica que puede ser cortado para forzar la conmutación.

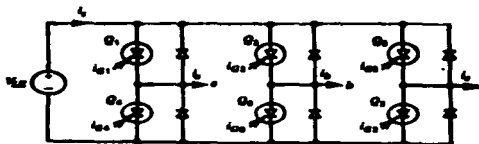


Figura 4.6.9. Circuito del convertidor.

Los tiristores en este circuito están numerados en secuencia en la cual la entrada de señales son mostradas como forma de onda de i_{G1} , i_{G2} . En este arreglo ilustrado se ve la duración de las señales de entrada tales que tres tiristores son encendidos a la vez. Cada tiristor tiene una forzada conmutación después de un intervalo de medio ciclo a la salida fuente voltaje.

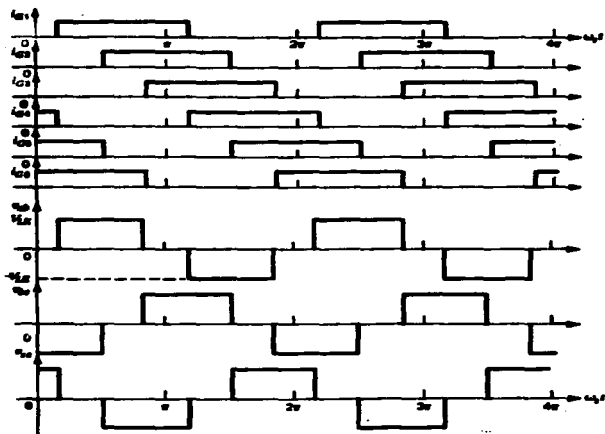


Figura 4.7.0. Invertidor de tres fases.

Cuando cada tiristor encendido por el diodo conectado en antiparalelo que con esto se constituye un corto circuito, cuando por ejemplo, el tiristor que es conectado a la terminal de la salida "a", es atraído a el potencial de la terminal positiva de C.D., S_1 , a la vez, el tiristor Q_2 es encendido a la salida de la terminal b, será atraído a la terminal de potencial negativa, y $V_{ab} = V_{LK}$, esto indica la diferencia de potencial de esta manera el patrón de la señal de entrada mostrada en la figura 4.7.0., resulta en la forma de onda de línea a línea a la salida de la terminal también mostrada.

Es posible operar el circuito inversor en la figura 4.7.1 a con señales de entrada de duración en radianes así que solamente dos tiristores son encendidos instantáneamente. Aunque esto tiene una ventaja practica de proveer amplio tiempo para el apagado, la duración de las señales de entrada tienen poco efecto en el comportamiento de un motor manejado por un inversores por que la forma de onda de línea a línea no define dificultades en el análisis.

Por esta razón solo en el caso en la cual tres tiristores sean encendidos en el instante considerado aquí. Desde la discusión, es claro que la amplitud de la C.D. línea a línea, la terminal de fuentes de poder o voltaje podrá ser igual a V_{LK} , por eso la amplitud de esta pueden ser variadas por los sistemas en las figuras 4.6.6. y 4.6.8. En el sistema de la figura 4.6.7 V_{LK} es constante y la línea a línea de la terminales aplicadas al motor es variada por el PWM en el inversor. Un método por el cual puede ser realizado es ilustrado en la figura 4.7.1.

Cada medio ciclo de línea a línea de la terminal ahora consiste en dos pulsos separados y hay intervalos durante el ciclo en la cual todos los tres de línea a línea son ceros. esta condición es llevada acabo por el encendido de los tiristores Q_1 , Q_3 , y Q_5 , o alternativamente Q_2 , Q_4 , y Q_6 simultáneamente así atrayendo terminales a, b y c en la figura 4.6.6. para un común potencial para utilizar todos los tiristores son utilizados alternativamente a través de un ciclo. Las señales de entrada que llevan acabo esta alternación, también son mostradas en la figura 4.7.1 revelan que cada tiristor puede ser conmutado tres veces por ciclo en lugar de un vez.

En la practica, mucho mas que dos pulsos por medio ciclo son usados, y los pulsos no son arreglados simétricamente en cada medio ciclo. la frecuencia de pulso no esta hecha de un múltiplo integral para frecuencia de salida W_s por que esto podría degenerar armónicas, de relativa y baja frecuencia. Hay sin embargo una practica limite para el numero de pulsos por medio ciclo y esta por dos razones. En primer lugar la conmutación de un tiristor toma un tiempo definido la cual limita el pulso de frecuencia. En segundo lugar cada conmutación de un tiristor es acompañado por algo de energía perdida y un alta rango de pulso bajo la eficiencia de el inversor.

Hasta donde el motor es interferido, la proporción del pulso puede estar

compuesto para evitar cualquier efecto en el funcionamiento del motor, la onda de salida puede ser considerado como se muestra en la figura 4.7.0. y para mantener un amplitud igual al valor del rango de los pulsos tomen sobre una tercera parte de un ciclo. El componente de la terminal de fuente de potencia de la onda mostrada en la figura 4.7.0., y que se da para decidir la torsión en el motor son, por supuesto, los fundamentales.

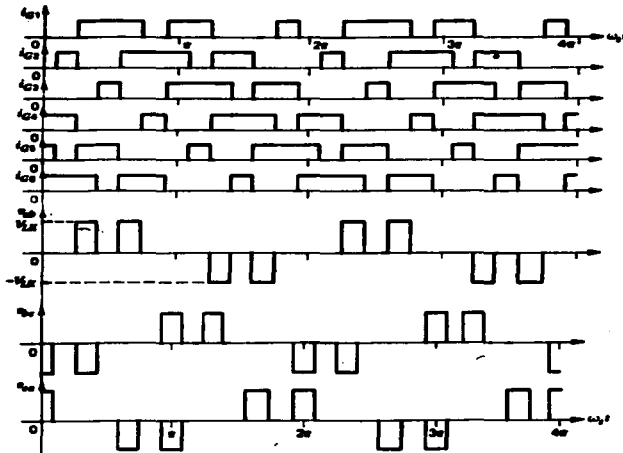


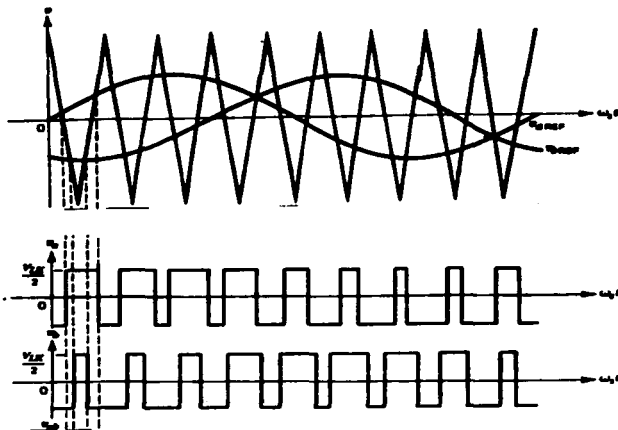
Figura 4.7.1. Modulación de pulsos con un inversor de tres fases.

La componente de torsión también son producidos por las armónicas en esta forma de onda y la resultante de corrientes armónicas en el motor, pero el motor es un dispositivo con una alta inducción y los flujos armónicos son pequeños. Por eso el resultado de torsión tienen un efecto negligible sobre el funcionamiento del motor. Una desventaja, sin embargo para la forma de onda simple en la figura B y la equivalente producido por PWM de el tipo descrito en la conclusión aparece a bajo velocidad por eso a bajos valores de luz. La onda sinusoidal de la terminal aplicada por una norma, tres fases, la fuente de C.A., para el estator de un motor de inducción produce corriente senoidales en la maquina y una onda sinusoidal de

flujos que rotan a velocidad constante. La forma de onda de la terminal ilustrada en la figura 4.7.1, tienden a producir un flujo de onda que mueve la abertura de aire en este paso. Este fenómeno puede causar al motor un tirón cuando gira y puede producir torsiones de oscilación en ejes cuando esta en movimiento estas desventajas pueden ser eliminadas, y necesarias, por una elaborada forma de PWM.

4.7.2.1. MODULACION SENOIDAL DE PULSO - ANCHO.

Si el ancho del pulso es realizado a través de una función senoidal de ωt y señalar la reducción en el contenido de armónicas de la línea a línea en las terminales son obtenidas, las formas de onda rectangulares son reemplazadas por efectivas senoidales y el paso tendencia de rotación en el motor es eliminado. La forma de onda de el potencial en terminales del inversor a y b, relativos al punto neutral, que resulta de este tipo de PWM, son ilustrados en la figura 4.7.3. El modo de determinar la posición y el ancho de los pulsos son mostrados en la figura



Figuras 4.7.2. y 4.7.3 Modulaciones de pulsos.

En lo cual cada intersección de una referencia senoidal con la onda de diente de sierra resulta en el encendido o en la conmutación del tiristor (acompañado por supuesto, por la conmutación o encendido de los tiristores en serie en una de las tres ramas del circuito en la figura 4.7.3. En verdad, el diagrama 4.7.3. ilustra las bases de la técnica electrónica que puede ser usada para el control de la entrada de la señal requerida en el inversor.

La forma de onda V_{ab} que resulta de esos de V_a y V_b mostrados en la figura 4.7.4., como también la componente fundamental, la inclusión de una onda de referencia $V_{C_{ref}}$ en a y la suma de una correspondiente forma de onda de V_{bc} y V_{ca} que con V_{ab} forman las tres fases del motor de excitación. Un motor manejado por este sistema puede ser considerado para estar suministrando simplemente la componente fundamental de los tres línea a línea.

Méritos relativos del sistema de la figura A., La gran atracción de los tres sistemas de la figuras A es por supuesto que pueden manejarse simplemente, económicamente y puntualmente en motores de jaula de ardilla sobre un amplio rango de velocidad, porque el límite superior de frecuencia de salida conseguida es por su valor del rango.

Una fuente de voltaje invertida puede ser utilizada para manejar a los motores de inducción. Ellos podrían no girar necesariamente de manera exacta a la misma velocidad si los motores son manejados a diferentes cargas, pero si están acoplados por ejes eléctricos o mecánicos por el manejo de ruedas y rieles de un multimotor.

La velocidad de estos manejos puede ser controlada, y por la adición de corrientes con un control máximo permisibles en la torsión del motor puede ser desarrollado a cualquier velocidad. El método de control puede ser modificado para acomodar la carga característica. Cada manejo ilustrado en la figura A., tienen estas ventajas y desventajas. A baja velocidad el factor de fuerza de entrada del rectificador controlado en el sistema a podría ser bajo. Los otros dos sistemas podrían ser virtualmente unidas a todas las velocidades. Aunque el PWM senoidal puede ser instalados en el sistema b , la medida del motor que puede ser manejado podría ser limitado por un largo apagado de tiempo requerido por grandes tiristores y las pérdidas invertidas podrían ser incrementadas por un gran número de conmutaciones por ciclo.

En sistemas (a) y (c) la variación en VLK con velocidad necesita una fuente de la separada por el circuito de inversión. El sistema (c) introduce una tercera fuerza-conmutada, por eso el sistema perdido es incrementado. El equipo adicional es requerido en todos los tres sistemas si el freno regenerativo es provisto, el freno dinámico puede ser provisto por conexión por una cuchilla a través de las terminales de C.D., de cada uno de los inversores.

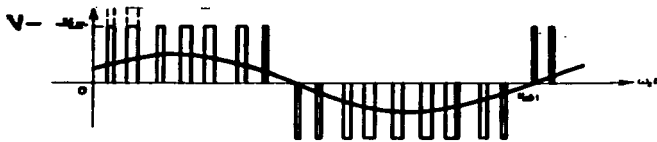


Figura 4.7.4. Modulación senoidal de pulso.

4.8.0. MULTIPLICADORES DE TENSION.

Existe una necesidad en muchos instrumentos de una fuente de alimentación de C.C. de elevada tensión en la que requiere de kilovolt's. El circuito de la figura 4.7.5. proporciona una tensión de salida sin carga de valor aproximado igual al doble del valor pico de la señal de entrada.

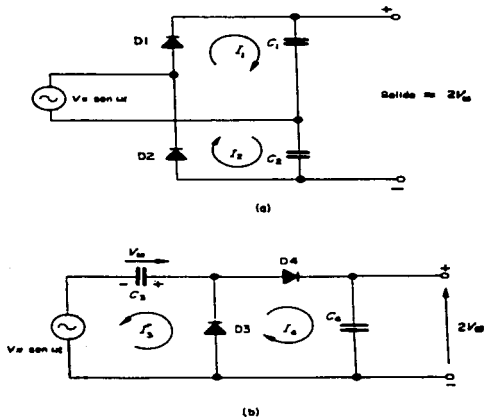


Figura 4.7.5. Circuitos duplicadores de tensión.

Cuando se consume corriente se genera una tensión de gran ondulación esto montando en cascada circuitos multiplicadores de tensión provocados por la carga y descarga de los condensadores se pueden generar tensiones de C.C., superiores 4 veces al valor pico de la tensión alterna de alimentación.

4.8.1. RECTIFICACION.

Tenemos un montaje trifásico de media onda y la transferencia de corriente de un diodo a otro se efectúa cuando la tensión de la fase del nuevo diodo se hace superior a la fase precedente.

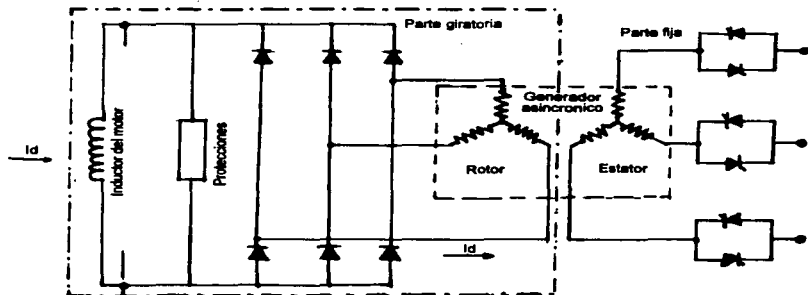


Figura 4.7.6. Corrientes en el transformador.

En la figura 4.7.6. se presentan las corrientes en el primario y en el secundario del transformador, con relación de transformación unitaria y con autoinductancia supuesta. Cada secundario conduce con su diodo durante un periodo. La tensión rectificada está formada por arcos de senos y de idénticos de longitud. El periodo dado:

$$\delta W_t = \frac{2\pi}{\rho} \text{ y sus límites: } \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{\rho} \Rightarrow \text{Superior } \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{\rho} \Rightarrow \text{Inferior} \dots\dots\dots(3)$$

Donde p es el numero de las fases, Entonces la tensión eficaz E_s y E_{do} , que es la tensión media:

$$E_{do} = \frac{1}{T} \int_0^T \mu(t) dt = \frac{\rho}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{\rho}}^{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{\rho}} E_s \left[(\sqrt{2} \text{Sen} \omega t) (d\omega t) \right] \dots\dots\dots(4)$$

$$E_{do} = E_s \sqrt{2} \frac{\rho}{\pi} \text{Sen} \frac{\pi}{\rho} \dots\dots\dots(5)$$

En el montaje de onda completa se multiplica por dos como lo vemos así sucesivamente. En la tabla:

Monofásico de onda completa	2	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} E_s = 0.9 E_s$
Trifásico media onda	3	$\frac{3\sqrt{6}}{2\pi} E_s = 1.17 E_s$
Trifásico onda completa	3	$\frac{3\sqrt{6}}{2\pi} E_s = 2.34 E_s$
Hexafásico media onda	6	$\frac{6\sqrt{2}}{2\pi} E_s = 1.35 E_s$

CONVERTIDOR CON CONTROL DE FASES: Para este montaje monofásico de dos pulsaciones utilizada de semiconductores (tiristores) se provoca una tensión mayor y con una fuerza contraelectromotriz, como se ve en la figura 4.7.7. en un motor de corriente directa, utilizando el tap del transformador.



Figura 4.7.7. Motor con tap del transformador.

Los impulsos de cebado de acuerdo no pueden intervenir hasta el par de la tensión de red; se pueden retardar en el cebado. Del ángulo de 0 a 180 grados eléctricos.

$$\alpha = 60$$

La tensión de salida cuyo valor medio se obtiene integrando área de tensión $E_d =$ Tensión de salida.

$$E_d = \frac{1}{\pi} \int_{-\alpha}^{+\alpha} E_s \sqrt{2} \text{Sen} \omega t d(\omega t) \dots\dots\dots(1)$$

$$E_d = \frac{E_s \sqrt{2}}{\pi} [-\text{Cos} \omega t]^{+\alpha} \dots\dots\dots(2)$$

$$E_d = \frac{2E_s \sqrt{2}}{\pi} \text{Cos} \alpha = E \text{Cos} \alpha = E_d = 0.9 \text{Cos} \alpha \dots\dots\dots(3)$$

De la conmutación hay reductancias en el circuito que no permite variaciones tan rápidas de la corriente caída de tensión debido a la conmutación se da debido a que conduce dos tiristores simultáneamente, la tensión de la salida es la tensión media entre V_1 y V_2 . Figura 4.7.8.

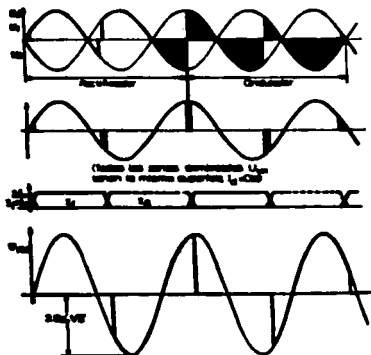


Figura 4.7.8. Formas de onda de las tensiones y las corrientes con variación de α .

4.8.1.1. RECTIFICACION (EN FUNCIONAMIENTO CON ONDULADORES).

Por encima de un defase de 90 grados, se invierte el signo de la tensión media rectificada como que el signo de la corriente no ha cambiado, resulta pues que el sentido de circulación de la potencia, cambia el convertidor que devuelve la potencia a la red, la carga se ha convertido en generación. Figura 4.7.9.

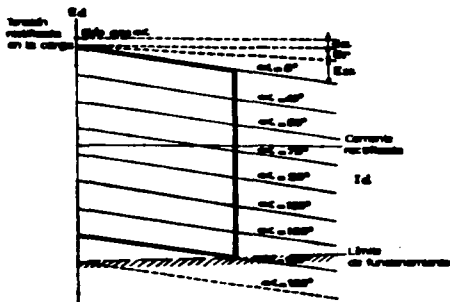


Figura 4.7.9. Límites de funcionamiento de un convertidor de dos cuadrantes.

En el funcionamiento como ondulator, el tiempo de conmutación adquiere una importancia notable. El ángulo de retardo es menor de 180 grado que para transmitir la corriente de un tiristor a otro debido a la polaridad; si antes de la inversión de polaridad de la tensión, la conmutación no ha acabado, se produce la conducción del tiristor; se bloquea. Si el convertidor funciona como rectificador produciendo esto sobre intensidades importantes en cortocircuito de alterna y continua defase es:

$$\alpha_m = 180 - \beta \dots\dots\dots(1)$$

$$\beta = \mu + \nu \dots\dots\dots(2)$$

Donde μ = ángulo de conmutación, ν = ángulo de bloqueo. Limitado en 150 grados. Armónicos para C.C.

Debido a las componentes alterna tiene siempre la misma frecuencia para un puente de 4 diodos o 6, y las mismas amplitudes dado $\delta = 0$. Hay sin embargo una diferencia notable para $E_d = 0$, estas componentes sin estar nulas y para el puente

completo son máximos. La ausencia de partes negativas en la tensión disminuye la amplitud de la ondulación para una inductancia es menor y el límite de conducción discontinuo y se desplaza a las corrientes bajas.

Armónicos para la red.- La amplitud de la corriente de red es igual a la corriente continua, pero la duración de onda es igual al intervalo de conducción, el valor eficaz de δ es :

$$I_R = \frac{I_d \sqrt{180^\circ - \alpha}}{180^\circ} \dots \dots \dots (1)$$

I_R = Corriente de la red.

I_d = Corriente de conducción del tiristor.

4.8.1.2. CIRCUITOS RECTIFICADORES.

Un circuito rectificador es aquel que convierte potencia de C.A. en C.C., existen diferentes circuitos de rectificación los cuales producen diferentes niveles de aislamiento en la salida de C.C., los mas comunes son:

1. *Circuito trifásico de media onda.*
2. *Circuito trifásico de onda completa.*
3. *circuito monofásico de media onda.*
4. *circuito monofásico de onda completa.*

Una buena medida de aislamiento en la salida de C.C., en un rectificador es el factor de rizado. El porcentaje de rizado es una fuente de potencia de C.C., se define como la relación entre el valor rms de la componente de C.A., en el voltaje suministrado y el valor de C.C., de el voltaje ecuación siguiente.

$$r = \frac{V_{CA} rms}{V_{CC}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

En donde V_{CA} , rms es el valor de la componente de C.A., del voltaje de salida y V_{CC} es la componente de C.C., del voltaje de salida. Entre mas pequeño sea el factor de rizado en una fuente de alimentación, mas lisa es la onda resultante de C.C.

La componente de C.C. del voltaje de salida V_{CC} es el promedio del voltaje de salida:

$$V_{CD} = \frac{1}{T} \int V_o(t) dt \dots\dots\dots(2)$$

El valor rms de la componente de C.A. del voltaje de salida será la sustracción de la componente de C.C., y el factor de rizado r se puede calcular de la siguiente forma:

$$r = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{CD}}\right)^2} - 1 \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Donde V_{rms} es el valor rms del voltaje total de salida del rectificador y V_{CD} es el voltaje promedio de salida, la frecuencia de entrada será 60Hz.

4.8.1.3. CIRCUITOS TRIFÁSICOS DE MEDIA ONDA

Para salidas superiores a unos 2 Kw., el contenido de ondulación en la salida de un rectificador monofásico es muy elevado. Si se desea una potencia de salida superior de baja ondulación, se emplean circuitos rectificadores. El circuito trifásico de semionda lo muestra la figura siguiente.

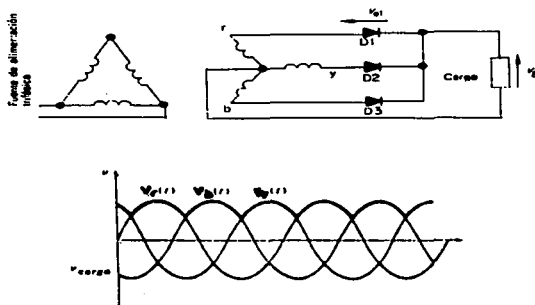


Figura 4.8.0. Circuito trifásico de media onda.

En el cual se utiliza un transformador trifásicos estrella-delta para suministrar la potencia. Cuando la tensión de fase r es superior a la de y o de b , el diodo D ,

conduce puesto que se halla polarizado directamente D_2 y D_3 , en inversa, dados los ángulos 30 y 150 grados eléctricos, la tensión de V_y es superior a la de V_r obligando a conmutar el diodo D_2 en el instante que esto ocurre, el cátodo de D_1 está elevado a un potencial superior a V_y , la corriente conmuta, al diodo D_3 , D_1 conduce y empieza un nuevo ciclo igual a la siguiente ecuación.

$$\text{Voltaje de rizo} = V_p.$$

$$V_L = 0.827.$$

4.8.1.4. CIRCUITOS TRIFASICOS DE ONDA COMPLETA

Es un circuito hexafásico de semionda, el circuito en puente trifásico de la figura 4.8.1.

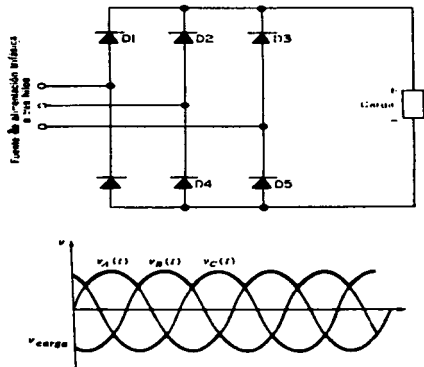


Figura 4.8.1. Circuito trifásico de onda completa.

Es utilizado y no requiere de transformador. En el cual cuando cualquiera de las fases de la fuente de alimentación es más positiva que las otras, la conexión superior de la carga se une a la línea de alimentación por medio del diodo apropiado D_1 , se polariza en directa y D_2 y D_3 en inversa; la corriente vuelve a la fuente a través de D_4 y D_5 . Cada diodo está sometido a una tensión inversa de pico que no es tan

grande como en otros sistemas rectificadores, la principal ventaja de los rectificadores polifásicos es que son capaces de suministrar una elevada potencia.

4.1.8.5. CIRCUITO MONOFASICO DE MEDIA ONDA.

Una rectificación simple de media onda tiene poca forma constante en C.C., contiene la componente de frecuencia de C.A. de 60 Hz y todos sus armónicos. Un rectificador de media onda tal como el mostrado tiene un factor de rizado $r = 121$ por ciento, lo cual significa que en su salida la componente de voltaje de C.A., es mas grande que la C.C.

Evidentemente, el rectificador de media onda es una forma muy pobre de producir voltaje de C.C. a partir de una fuente de C.A.

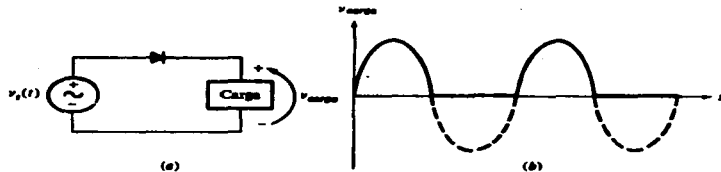


Figura 4.8.2. a) Circuito rectificador de media onda b) Voltaje de salida del circuito rectificador.

4.8.1.6. CIRCUITO MONOFASICO DE ONDA COMPLETA.

En la figura se muestra un puente rectificador de onda completa y su voltaje de salida. En este circuito los diodos D1 Y D3 conducen en el semiciclo positivo de la entrada de C.A. y los diodos D2 y D4 conducen en el semiciclo negativo.

La forma del voltaje de salida de este circuito es mas alisada que la del rectificador de media onda, pero contiene componentes de frecuencia de C.A. a 120 Hz y sus armónicos.

El factor de rizado de un rectificador de onda completa de esta forma es $r = 48.2\%$, es más óptimo.

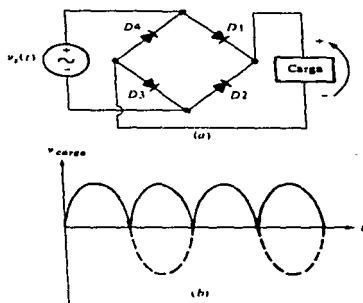


Figura 4.8.3. a) Circuito puente rectificador de onda completa b) Voltaje de salida del circuito rectificador.

La tensión inversa de pico que no es tan grande como en otro sistema rectificador, la principal ventaja de los circuitos rectificadores polifásicos es que son capaces de suministrar una elevada potencia.

4.9.1. REGULADORES.

Reguladores de Corriente Alterna. La regulación de velocidad en motores con frecuencia fija en el estator se determina con un principio mediante reguladores de C.A., es un interruptor constituido por 2 tiristores en paralelo, o un triac según la potencia, el primero con potencias elevadas y el otro con pequeñas. En los sistemas de alimentación de C.A., a conversión de C.C., la fuente de alimentación no estabilizada es un simple rectificador y un circuito aislado. La salida de la fuente de alimentación no estabilizada se aplica a un dispositivo de control que regula la tensión para dar una salida de régimen de C.C. Una parte de la señal de salida es realimentada, a partir de un tipo resistivo de red y se compara con una señal de referencia. La diferencia entre las dos señales se utiliza para activar el elemento de control de tal manera que se mantiene el nivel de la magnitud de salida a un valor constante. La regulación de los motores de C.A., asíncronos se realiza con buenos resultados mediante convertidores estáticos de frecuencia que realizan una doble operación pasando por una etapa intermedia de C.C. El tipo de convertidor está constituido por un rectificador controlado de conmutación hecho por la red, o con un troceador que es un circuito intermedio de tensión de C.C. y un ondulado que realiza la función de conmutador de corriente en la máquina.

4.9.1.1. REGULACIÓN DE TENSIÓN MEDIANTE CIRCUITOS TROCEADORES.

Para un conmutador de tensión, tenemos una red ya rectificada con una fuente de diodos; también se puede realizar con una fuente de C.C., con transistores para potencias de Kw o decenas de kw.

4.9.1.2. LA REGULACIÓN DE LA TENSIÓN.

Se efectúa mediante un transistor que trabaja como troceador y a la vez como conmutador, constituido por seis transistores, depende la potencia (el número de transistores en paralelo). El chopper puede trabajar a frecuencias elevadas (1 a 2 KHz.), lo que representará una reducción del filtro por lo general se realiza para el control de pequeños motores y el control de motores rápidos, la capacidad de los transistores a funcionar a una frecuencia elevada permitiendo optimizar su dimensionado de corriente. La inductancia de magnetización disminuye por el hecho de que los armónicos conducen una cierta saturación. Pueden subdividirse en dos grupos:

- Reguladores Serie.
- Reguladores Paralelo.

A un regulador no sólo se le pide hacer coincidir el valor de la variable por decir la velocidad con una magnitud de referencias, realizando también cierto número de funciones necesarias para el buen comportamiento de la máquina.

4.9.1.3. REGULACIÓN DENTRO DE UN INVERSOR.

Mediante C.C., que se obtiene de una fuente trifásica de 60 Hz empleando el circuito de SCR's de onda completa de 6 scr's, la regulación de fase con la conducción de scr's de los rectificadores. La forma de onda de salida de C.C. y la entrada al inversor de C.C. pueden variarse de cero al máximo como nos muestra la figura a bloques.

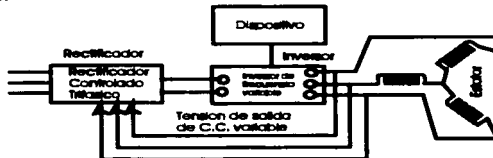


Figura 4.8.4. Diagrama a bloques.

Como es necesaria la reducción de frecuencias que viene acompañada de una reducción proporcional de la tensión, la reducción de frecuencia acusada en la carga es realimentada al rectificador de regulación de la fase que a la vez reduce la entrada de tensión de C.C., al inversor en proporción a la variación de frecuencia. Cada uno de los métodos de síntesis de la forma de onda de tensión de salida permiten controlar la tensión de salida y en algunos grupos prefabricados de rectificadores - inversores trifásicos de estado sólido, la frecuencia y la tensión de salida se realimentan en el circuito de disparo para proporcionar la regulación adecuada de la tensión de salida. También es posible regular la salida del inversor, precisamente antes de conectarlo al estator mediante diversos a base de transformadores (reguladores de inducción, amplificadores magnéticos y scr's de fase controlada).

4.9.2. UTILIZACION EN AMPLIFICADORES DE POTENCIA.

El valor medio esta dado por :

$$V_{\text{carga}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_{\text{carga}} d(\omega t) \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{\text{carga}} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_0 \text{Sen} \omega t d(\omega t) \dots\dots\dots(2)$$

$$V_{\text{carga}} = \frac{V_0}{\sqrt{2\pi}} - \text{Cos} \omega t \Big|_{\alpha}^{\pi} \dots\dots\dots(3)$$

$$V_{\text{carga}} = \frac{V_0}{\sqrt{2\pi}} + \text{Cos} \alpha \dots\dots\dots(4)$$

Los valores extremos son :

Máximo para:

$$V_{\text{carga}} = 0.45 V_0$$

Mínimo para:

$$V_{\text{carga}} = 0$$

Y dada la figura 4.8.5. de ángulo de encendido:



Figura 4.8.5. Ángulo de encendido.

Donde la relación de voltaje medio al ángulo de encendido, sea el circuito de armadura de un motor de C.D. como se ve en la figura 4.8.6.

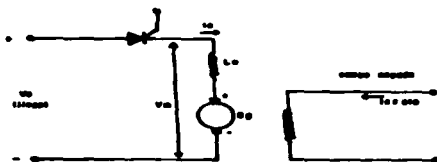


Figura 4.8.6. Motor de C.D. excitado separadamente.

El pulso de corriente i_a se inicia en el momento de disparo al SCR. (ángulo de disparo). El voltaje V_m es menor al voltaje V_o en el instante en que se pone en conducción el SCR, V_m sigue la señal V_o . El pulso de corriente continua durante el ángulo de conducción δ , hasta el instante en que la corriente toma el valor cero en $Vt = \beta$ en que la corriente toma esta función de la integral $\int (V_o - e_x) dt$ de manera que la corriente crece en tanto la diferencia $V_o - e_x > 0$ y disminuye cuando ecuación i_a se hace cero cuando las áreas de la figura 4.8.7. son iguales compensándose para obtener un alto para la misma velocidad, el ángulo de conducción debe ser ampliado. Por obtener alta velocidad al mismo por el ángulo de conducción que debe ser reducido por la ecuación 4.

$$V_o = I_a R_a + I_a \frac{dL_a}{dt} + e_x \dots \dots \dots (4)$$

Integrando la expresión anterior durante el periodo de conducción nos da la ecuación siguiente:

$$\int_{\omega}^{\omega} V_o dt = R_a = \int_{\omega}^{\omega} I_a dt + I_a \int dI_a + \int_{\omega}^{\omega} e_g dt \dots\dots\dots(5)$$

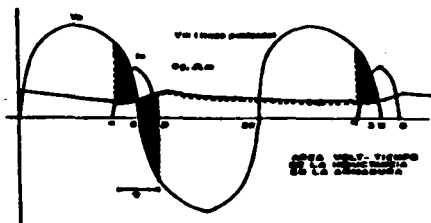


Figura 4.8.7. Formas de onda del motor de la figura anterior.

El termino que contiene a la inductancia es cero a causa de que el valor de la corriente regresa a su valor inicial que este caso es cero. La ecuación anterior la podemos transformar en:

$$\bar{V}_m = \bar{I}_a R_a + \bar{E}_g \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

V_m = voltaje medio en las terminales del motor.

I_a = corriente de armadura media = ecuación 7.

$E_g = Fcem$ de la armadura del motor media = Km , $m = E_g$.

m = Velocidad media.

Para el sistema mecánico, si la J es la inercia de la armadura del motor y T el paro electromagnético, la ecuación del sistema mecánico es:

$$T = KmI_c = TL + J \frac{d\Omega m}{dt} \dots\dots\dots(8)$$

Donde K_m es la constante del motor y T es el par que presenta la carga al motor. Integrando:

$$K_m \int_0^{\pi/\omega} I_a dt = \int_0^{\pi/\omega} T_L dt + J \int_0^{\pi/\omega} d\omega_m \dots\dots\dots(9)$$

Quedando: $K_m I_a = T_L$.

Ejemplo: Un motor de 1 Hp esta operando a 38.4 por ciento de par electromagnético nominal en un circuito con un SCR media onda. El ángulo de encendido α es 90 grados eléctricos y el ángulo de extinción β es 210 y el ángulo de encendido es de 90 grados; las constantes del motor son:

$R_a = 7.50$ ohms, $L_a = 0.55$ Hy, $K_m = 4.23$ New.M/Amp. o $K_m = 4.23$ volts .seg/rad.. el voltaje rms de la línea es de 120 volts. Encontrar la velocidad media.

1) El ángulo de conducción es $\delta = \beta - \alpha$:

$$\beta = 210^\circ = 7/6 \pi$$

$$\delta = 210^\circ - 90^\circ = 120^\circ = 2/3 \pi$$

El valor del voltaje medio aplicado al motor durante el periodo de conducción:

$$V_m = \frac{\sqrt{2}V_0}{2/3} \int_{\pi/2}^{7\pi/6} \text{Sen}Wt d(Wt) \dots\dots\dots(11)$$

$$V_m = \frac{3\sqrt{2}V_0}{2\pi} \int_{\pi/2}^{7\pi/6} \text{Sen}Wt d(Wt) \dots\dots\dots(12)$$

$$V_m = \frac{3\sqrt{2}V_0}{2\pi} - \text{Cos}Wt \Big|_{\pi/2}^{7\pi/6} \dots\dots\dots(13)$$

Si el par en condiciones normales de operación es 20.3 new.m para las condiciones del problema.

$$T_L = 20.3 * 0.384 = 7.8 \text{ new.m.}$$

La corriente de armadura media es: $I_a = \frac{T_L}{K_m} = \frac{7.8}{4.23} = 1.84$ amper.

Como I_a es un periodo del voltaje de la línea, I_a en el periodo. De conducción que $\frac{2\pi}{3}$; en el periodo de conducción :

$$V_m = I_a R_a + K_m \Omega_m = V_m - \frac{I_a R_a}{K_m} = 69.6 - 5.52 * 7.56/4.26.$$

por separado obtenemos = $6.6 * 60/2 = 63$ rpm. factor de conversión.

$$I_a = \frac{V}{2\pi} I_a, I_a = 3.$$

4.9.3. COMPESADORES ESTATICOS.

Un método para mejorar el factor de potencia de la fuente de alimentación es el de suministrar potencia reactiva de otra fuente por separado. El método ayuda en la estabilización del voltaje de alimentación. Este tipo de compensadores estáticos es mas adecuado para aplicarse en líneas de transmisión y cargas industriales variables , como hornos de arco eléctrico laminadoras, etc. estas para grandes cargas fluctuantes como :

- El sistema principal de C.A., no puede mantener un voltaje terminal dentro de limites aceptables.*
- Es antieconómico suministrar toda la potencia reactiva de la fuente de alimentación.*

Ciertos circuitos utilizan una aproximación de capacitancia variable para la compensación pero no es ideal comparada con la compensación de inductancia variable.

CAPÍTULO V

AUTOMATIZACION

CAPÍTULO V

AUTOMATIZACION.

5.1.1. LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS.

El objetivo es la actualización de conocimientos sobre los siguientes temas:

- *Objetivo y estructura de un sistema automatizado.*
- *Comparación de tecnologías cableadas y programadas.*
- *Evolución de las necesidades en automatización industrial.*

5.1.2. OBJETIVO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.

- **Enfoque Global de un Sistema de Producción con Estructura de un Sistema Automático.**

FASE 1

- 1) *Alimentación de energía.*
- 2) *Mecanismo a controlar.*

FASE 2

- 1) *Accionadores*

FASE 3

- 1) *Mando de potencia.*
- 2) *Puesta en marcha.*
- 3) *Variadores electrónicos para velocidad.*

Un sistema de producción tiene por objetivo, aportar un valor añadido: partiendo de materiales de piezas, de subconjuntos... elabora productos de valor superior y que pueden ser:

- *Productos acabados, directamente comercializados.*
- *Productos intermedios que sirven para la realización de los productos acabados.*

La figura 5.1.0. muestra un sistema de producción, que partiendo de materia prima, genera productos elaborados y que por tanto, requiere de alimentación de energías (eléctrica, aire comprimido...) y provisto de elementos consumibles (agua de enfriamiento, lubricantes...).

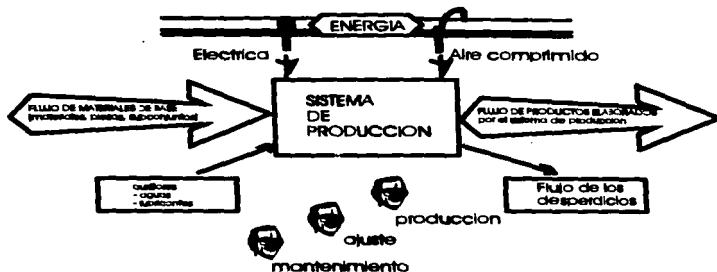


Figura 5.1.0. Sistema de producción.

Este sistema de producción por supuesto, genera diversos desperdicios: de cortes, de aguas residuales,...

El funcionamiento del sistema de producción necesita diferentes intervenciones humanas, en las áreas de: mantenimiento ajuste y producción.

5.1.3. OBJETIVO DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN.

Las producciones industriales cada vez son más automatizadas. Esto en parte se debe a:

- La automatización de las operaciones que antaño eran enteramente manuales; por ejemplo, los ensamblajes, la supervisión,...
- La automatización más avanzada de operaciones ya parcialmente automatizadas, por ejemplo:
- El paso de máquinas semiautomáticas, hacia las automáticas.
- El reemplazo de máquinas rígidas (que sólo fabrican un tipo de producto), por máquinas flexibles susceptibles de operar sobre diversas variantes de productos.

Los objetivos perseguidos por una automatización pueden ser bastante variados, como referencia se mencionan:

- La búsqueda de costos más bajos para el producto, por medio de la reducción de los gastos de mano de obra, de la optimización de material, de ahorro de energía...
- La supresión de los trabajos peligrosos pesados y la mejora de las condiciones de trabajo por medio del ennoblecimiento de las tareas...
- La búsqueda de una mejor calidad del producto, limitando el factor humano y multiplicando los controles automatizados...
- La realización de operaciones imposibles de controlar manualmente o intelectualmente, por ejemplo, los ensamblajes miniaturizados, las operaciones muy rápidas, las coordinaciones complejas...
- La automatización al servicio de la competitividad del producto.

En una economía de mercado, toda automatización tiene por objetivo ayudar a la competitividad global del producto, ya sea directamente (costo, calidad,...) o bien indirectamente (mejora de las condiciones de trabajo,...) Esta competitividad del producto final se puede definir como su capacidad para venderse bien en los mercados a que se destina. Como lo muestra la figura 5.1.1., la competitividad resulta esencialmente de los resultados obtenidos en los siguientes factores: costo, calidad, innovación, disponibilidad...



Figura 5.1.1. Competitividad del producto.

Al mismo tiempo, es importante verificar que el producto al que se aplica la automatización, sea optimizado al máximo y responda siempre a las necesidades del mercado. No necesariamente debe pensarse en grandes automatizaciones, las pequeñas son más usuales. La actividad más repetitiva, con mayor mano de obra, es la que se debe optimizar.

La experiencia muestra que una inversión en automatización, conduce con frecuencia a cuestionar el proceso de fabricación y, por lo tanto, el producto. Una nueva concepción simultánea del producto y de los medios de fabricación, brinda mejores resultados de competitividad. El automatismo de los equipos de producción, por consecuencia, se debe realizar con la cooperación de los responsables del producto y del proceso.

RENTABILIDAD DE UNA AUTOMATIZACIÓN.

Al igual que para toda inversión, un proyecto de automatización se juzgará por su rentabilidad. Esta puede expresarse claramente en forma del tiempo de retorno de las inversiones.

$$\frac{\text{Inversion}}{\text{Ganancias Anuales}} = \text{Cantidad de años para recuperar la inversion.}$$

Si este tiempo es inferior a tres años, generalmente se considera el proyecto interesante, a condición de que la duración de vida del producto fabricado sea más larga.

5.1.4. ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS.

Cada sistema automatizado comprende dos partes principales:

- *Una parte operativa (P.O.). Cuyos accionadores actúan sobre el proceso automatizado.*
- *Una parte de mando (P.M.). Que coordina las acciones de la parte operativa.*

PARTE OPERATIVA. Es la que opera sobre la máquina y el producto, en general comprende:

- *Los útiles y los medios diversos que se aplican en el proceso de elaboración, por ejemplo, moldes, útiles de estampar, máquinas herramientas, bombas de agua...*
- *Los accionadores destinados a mover el proceso automatizado, por ejemplo:*
 - Motor eléctrico destinado al accionamiento de una bomba.
 - Cilindro hidráulico para cerrar un molde.
 - Cilindro neumático para mover una cabeza de marcado.
 - Motor eléctrico destinado al accionamiento del transporte de cajas de refresco programados al consumo.

PARTE DE MANDO. Es la que emite las órdenes a la parte operativa y recibe las señales de retorno para coordinar sus acciones. Realizada cada vez más con tecnologías de tratamiento programables, la parte de mando, es la que detallaremos...

En el centro de la Parte de Mando, está el "tratamiento" que coordina los tres diálogos a que convergen:

- El diálogo con la máquina. Mandos de los accionadores (motores, cilindros) a través de los preaccionadores (contactores, arrancadores, variadores electrónicos) adquisición de las señales de retorno por los sensores que informan de la evolución de la máquina.*
- El diálogo hombre-máquina. Para utilizar, ajustar, reparar la máquina, el personal emite consignas y recibe informaciones en retorno.*
- El diálogo con otras máquinas. Varias máquinas pueden cooperar en una misma producción. Su coordinación está garantizada por el diálogo entre sus Partes de Mando.*

La figura 5.1.2., muestra la composición de la Parte de Mando, con respecto a la Parte Operativa.

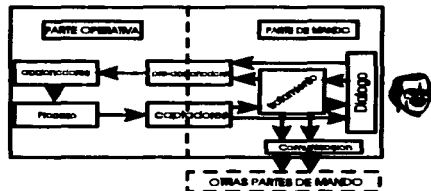


Figura 5.1.2. Parte de mando.

5.1.5. TECNOLOGÍAS DE MANDO CABLEADAS Y PROGRAMADAS.

Con una *Tecnología Cableada*, el automatismo se realiza por los módulos conectados entre sí. El funcionamiento obtenido resulta de la elección de estos módulos y del cableado que los conecta. En todos los casos, el automatismo es por su realización material, muy específico. Encontramos aquí: relevadores electromagnéticos, módulos lógicos neumáticos, tarjetas o módulos electrónicos.

Por el contrario, con una *Tecnología Programada*, el automatismo se realiza por la programación de constituyentes previstos para este efecto. El funcionamiento obtenido resulta de la programación efectuada. Encontramos aquí: tarjetas electrónicas estándares; micro y mini-ordenadores, controles lógico programables.

5.1.6. EVOLUCIÓN EN LAS NECESIDADES EN AUTOMATIZACIÓN

1.- LAS NUEVAS EXIGENCIAS PARA LOS AUTOMATISMOS.

Hasta ahora, la automatización de las máquinas se limitaba:

Al automatismo reflejo, que aseguraba la dirección y el control de las operaciones elementales a ejecutar en un tiempo de respuesta establecido y según un secuenciamiento definido.

A un diálogo-operador relativamente limitado, mientras las máquinas ofrecían muy poca flexibilidad en el plano mecánico.

Hoy en día aparecen nuevas exigencias concernientes a la PRODUCTIVIDAD, la CALIDAD, la FLEXIBILIDAD, la SEGURIDAD... que inducen a una creciente complejidad que se trata de dominar.

2.- EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURACIÓN.

El desarrollo de la automatización induce a una evolución de la estructuración de las partes de mando (PM). Enumeremos algunas características importantes:

- *La máquina automatizada es sencilla y aislada. un automatismo convencional (cableado o programado) conviene perfectamente.*
- *Poco a poco se asocian otras máquinas, para constituir una línea de producción. Este tipo de asociación continúa siendo no obstante rígido y difícilmente se adapta a las evoluciones de productos.*
- *Para resolver este inconveniente, se puede instalar una parte de mando común. Este mando demasiado centralizado ocasiona problemas: el sistema es difícil de explotar, los incidentes locales provocan paros generales, etc.*
- *Se busca un compromiso descentralizando las funciones de mando e instalando una estructura de coordinación optimizando los recursos del sistema de producción.*

Esta estructura es más flexible, más adaptable, más progresiva.

5.1.7. LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC's).

DEFINICIÓN. Se entiende por Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en inglés - Programmable Logic Controller), o Automata Programable, a toda máquina electrónica, diseñada par controlar en tiempo real y en medio industrias procesos secuenciales. Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas, series, temporizaciones, contajes y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc.

También se puede definir como una "caja negra" en la que existen terminales de entrada a las que se conectarán pulsadores, interruptores límite, fotocélulas, detectores... y unas terminales de salida, a las que se conectarán bobinas de contactores, bobinas de arrancadores, electroválvulas, lámparas de señalización... de tal forma que la actividad de éstos últimos está en función de las señales de entrada que están activadas en cada momento, según el programa almacenado.

Esto quiere decir que los elementos tradicionales como relés auxiliares, relés de enclavamiento, temporizadores, contactores... son internos. La tarea del usuario se reduce a realizar el "programa", que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida.

Otra definición de Controlador Lógico Programable: es una computadora industrial "amigable" que lleva a cabo funciones de control de muchos tipos y niveles de complejidad.

Puede ser programado, controlado y operado por una persona inexperta en el manejo de computadoras. Un PLC básicamente dibuja líneas y equipos de diagramas escalera (ladder), tomando así, el lugar de una gran cantidad de alambrado requerido para el control de un proceso. El PLC operará cualquier sistema que tenga equipos de salida con estados lógicos: todo o nada. También operará sistemas con salidas variables.

El PLC puede ser operado a través del módulo de entradas con equipos de estados lógicos todo o nada o por equipos de entrada variable.

5.1.8. EVOLUCIÓN AL PRESENTE PLC.

Los primeros sistemas de PLC fueron desarrollados a partir de las computadoras convencionales a finales de los 60's y principios de los 70's.

Estos primeros PLC's fueron instalados en su mayoría en plantas automotrices. Tradicionalmente estas plantas tenían que parar la producción por más de un mes al cambiar de un modelo a otro, incluso trabajando tiempo extra.

Al principio los PLC fueron usados junto con otras nuevas técnicas de automatización para acortar los tiempos de cambio. Y es que, uno de los mayores consumidores de tiempo habían sido, precisamente, el alambrado y revisión de nuevos relevadores y paneles de control.

La terminal de un PLC al reprogramar, también reemplaza a un panel lleno de cables, relevadores, temporizadores, y otros componentes. Los nuevos PLC ayudaron a reducir los tiempos de reprogramación a un asunto de pocos días.

Sin embargo, había un gran problema con estos PLC de principios de los 70's, en lo que concierne a su procedimiento de programación. Los programas eran complicados y requerían para su manejo, una persona altamente entrenada para realizar cambios.

Los adelantos en los PLC alcanzados a finales de los 70's los hicieron más "amigables" a los usuarios; en 1978 la introducción del microprocesador incrementó el poder de la computadora para toda clase de sistemas automatizados y disminuyendo su costo. La Robótica, equipos de automatización y toda clase de computadoras, incluyendo los PLC alcanzaron muchos adelantos. Los programas de PLC llegaron a ser accesibles y comprensibles.

En los 80's, con más poder de cómputo por peso disponible, los PLC incrementaron su uso de manera exponencial, algunas grandes compañías de electrónica y computación y algunas divisiones de grandes corporaciones encontraron que los PLC habían llegado a ser su producto más importante en ventas.

Como referencia, en Estados Unidos de Norteamérica, el mercado de los PLC's creció de un volumen de ventas de 80 millones de dólares en 1978, a un billón de dólares por año para 1990 y continúa en crecimiento. En la industria de las máquinas herramientas donde se usaba el control numérico, están usando PLC's.

Los PLC's también tienen gran uso en edificios para efecto de ahorro de energía y en el control de sistemas de seguridad. Para la década de los 90's se considera que otras aplicaciones no tan tradicionales para los PLC's como las casa habitación y equipo médico, incrementarán su demanda.

5.1.9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES.

Aún cuando en principio existen características afines para la mayoría de los PLC's, no todas ofrecen las mismas ventajas, ello es debido, principalmente a la variedad de modelos existentes en el mercado, (incluso para la misma marca) y a las innovaciones técnicas que surgen constantemente.

Tales consideraciones nos obligan a referirnos a las ventajas que proporciona un PLC de tipo medio.

6.1.9.1. VENTAJAS DEL PLC.

6.1.9.2. FLEXIBILIDAD.

En el pasado, cada máquina controlada electrónicamente requería su propio controlador, 15 máquinas requerían 15 diferentes controladores. Ahora es posible emplear un sólo Plc para hacer trabajar cualquiera de las 15 máquinas, porque bajo el control del PLC cada máquina puede tener su propio programa de control.

6.1.9.3. MODIFICACIÓN DE PROGRAMA Y CORRECCIÓN DE ERRORES.

Con un panel tradicional de lógica cableada, cualquier alteración al circuito requiere mucho tiempo para recablear tableros de control. Con un PLC se pueden hacer cambios rápida y fácilmente a través de la terminal de programación y no es necesario recablear. También si hay un error en la programación puede corregirse rápidamente con la terminal de programación.

6.1.9.4. GRAN CANTIDAD DE CONTACTOS.

Un PLC tiene un gran número de contactos para cada una de las bobinas disponibles en su programación. Suponga que un panel tradicional con relevadores cableados tiene 4 contactos y todos están en uso cuando por necesidades de control se hace necesario un cambio en el diseño requiriéndose tres contactos más. Esto significaría que debe tomarse en cuenta el tiempo necesario para instalar un nuevo relevador o un block de contactos auxiliares. Sin embargo, empleando un PLC, sólo se requiere programar esos contactos adicionales adicionales y automáticamente estarían disponibles. Claro está que un ciento de contactos pueden usarse para una sola bobina si existe suficiente memoria disponible en el PLC.

El avance tecnológico ha hecho compactar diferentes funciones en equipos pequeños y cada vez más económicos. En los 90's es posible comprar un Plc numerosos relevadores, temporizadores, contactores, secuenciadores, tambr, etc. El PLC siempre será más económico que su equivalente en equipos de lógica cableada.

6.1.9.5. PRUEBAS PRELIMINARES.

Un circuito de control programado en un PLC, puede ser prearrancado y evaluado en la oficina o en el laboratorio. En estas condiciones, el programa al ser

pre-probado, observado y modificado si es necesario, ahorra tiempo valioso en la fábrica. En la tecnología por relevadores, deben ser probados en las propias plantas, lo cual puede consumir tiempo invaluable en áreas de producción.

5.2.1. OPERACIÓN DE PLC.

La operación de un circuito programado en un PLC, puede ser observada directamente en una pantalla, tal y como sucede en un momento específico, de esta forma pueden solucionarse problemas más rápidamente.

En sistemas de PLC avanzados, se pueden programar mensajes al operador para cada posible falla. La descripción de la falla aparece en la pantalla cuando es detectada por el Plc (por ejemplo: "SOBRECARGA EN EL MOTOR") también se pueden tener descripciones de cada componente del circuito. Por ejemplo: la entrada en el diagrama podría tener "INTERRUPTOR LÍMITE DE BANDA TRANSPORTADORA" como una descripción.

5.2.1.1. VELOCIDAD DE OPERACIÓN.

Los relevadores tradicionales pueden tomar un tiempo considerable para actuar. La velocidad de operación para ejecutar un programa en un PLC es muy rápida y esta determinada por el tiempo de SCAN (búsqueda), el cual es un asunto de milisegundos.

5.2.1.2. MÉTODO DE PROGRAMACIÓN LADDER O BOOLEANO.

La programación del PLC puede ser llevada a cabo en lenguaje ladder por un eléctrico o un técnico. Existen también PLC que pueden ser programados en lenguaje booleano a través de la terminal de programación.

5.2.1.3. CONFIABILIDAD.

En general, los equipos de estado sólido son más confiables que los relevadores y temporizadores electromecánicos. Los PLC están fabricados con componentes electrónicos de estado sólido con altos estándares de confiabilidad.

5.2.1.4. SENCILLEZ PARA DISPONER ELEMENTOS DE CONTROL.

Un PLC es un equipo muy completo; cuando se adquiere un PLC, se dispone de contadores, relevadores y otros componentes de manera inmediata. Por otra parte, cuando se tiene un tablero convencional de lógica cableada, se pueden tener 20 diferentes relevadores y temporizadores de diferentes marcas, que traen como consecuencias stocok elevados e importantes pérdidas de tiempo cuando no se dispone de partes de repuesto. Con un PLC se tiene inmediatamente disponibles elementos adicionales.

Si se requiere un circuito control programado en un PLC, puede imprimirse en minutos. No es necesario buscar en archivos, planos o diagramas. Con el PLC se imprime un circuito, mostrando el estado de los componentes en un momento específico haciendo más fácil la tarea de verificación y mantenimiento.

5.2.1.5. SEGURIDAD.

Un programa en el PLC no puede ser cambiado a menos que se tenga código de acceso al propio programa y la terminal de programación. En los tableros de control por relevadores, a menudo se realizan cambios sin que se lleven registros.

5.2.1.6. FÁCIL REPROGRAMACIÓN.

Si se requiere hacer algún cambio en la programación, se efectúa en cuestión de segundos.

5.3.1. DESVENTAJAS DEL PLC.

5.3.1.1. TECNOLOGÍA NUEVA.

Es difícil cambiar la forma de pensar del personal técnico, de la tecnología tradicional de relevadores, hacia la tecnología programada por PLC.

5.3.1.2. APLICACIONES EN PROGRAMAS FIJOS.

Un PLC tiene múltiples elementos que pueden adecuarse a diversos programas. Si el circuito de control es pequeño y prácticamente no tendrá cambios, es posible que un PLC no sea necesario, además los relevadores tradicionales serían menos costosos. El PLC es más efectivo cuando se realizan cambios periódicos en los sistemas de control.

5.3.1.3. CONSIDERACIONES AMBIENTALES.

Ciertos procesos ambientales, por ejemplo donde se manejan altas temperaturas y vibraciones, interfieren con equipos electrónicos en los PLC's, lo que limita su uso.

5.3.1.4. OPERACIÓN A PRUEBA DE FALLA.

En sistemas de relevadores, el botón de paro desconecta circuitos y si la alimentación falla, el sistema para. Además los sistemas por relevador no restablecen la energía cuando ésta regresa. Esto puede programarse con un PLC. Sin embargo, en ciertos PLC's se necesita aplicar un voltaje a una entrada para parar el equipo. Estos sistemas no son "contra falla". Esta desventaja puede

superarse agregando relevadores de seguridad en los sistemas controlados por PLC.

Un PLC puede estar alojado en uno o más gabinetes, cada uno de los cuales incluiría funciones múltiples. Un PLC más complejo, que controle un gran sistema, puede tener tres, cinco o más gabinetes interconectando subsistemas.

5.4.1. DIVISION DE PLC'S.

Los PLC's se dividen por su estructura, básicamente en:

- *Estructura Compacta.*
- *Estructura Modular.*

5.4.1.1. ESTRUCTURA COMPACTA.

Este tipo de PLC se distingue por presentar en un *solo bloque todos sus elementos*, esto es: fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas / salidas, etc. En cuanto a su forma de programación, existen tres versiones: Unidad fija o enchufable directamente en el PLC (no es muy común); enchufable mediante cable y conector, o la posibilidad de ambas conexiones. Si la unidad es sustituida por una PC, nos encontraremos que la posibilidad de conexión del mismo será mediante cable y conector. El montaje del PLC al armario que ha de contenerlo se realiza por cualquiera de los dos sistemas conocidos: riel DIN y placa perforada.

5.4.1.2. ESTRUCTURA MODULAR.

Como su nombre lo indica, la estructura de este tipo de PLC's se divide en *módulos o partes* del mismo que realizan funciones específicas. Esto es, podemos encontrar separados la fuente de alimentación, el CPU, el módulo de entradas, el módulo de salidas, la memoria, etc.

Las ilustraciones de varias subpartes de un PLC serán mostradas, así como su interconexión. La mayoría de las conexiones eléctricas de un Plc se realiza fácilmente, sin embargo, la conexión de módulos remotos puede ser más elaborada.

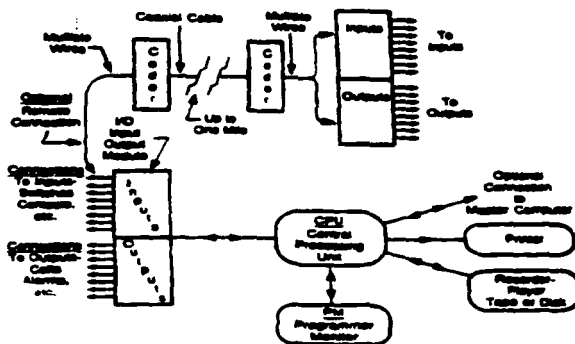


Figura 5.1.4. Partes principales de un PLC.

5.5.1.1. UNIDAD CENTRAL DE PROCESO (CPU).

Considerado el "cerebro" o corazón del sistema.

5.5.1.2. TERMINAL DE PROGRAMACIÓN.

La terminal es el teclado sobre el cual las instrucciones del programa son determinadas por el usuario. Cuenta con un display o pantalla sobre la cual se muestran las instrucciones y la operación del PLC.

5.5.1.3. EL MÓDULO DE ENTRADAS Y SALIDAS.

Es muy común encontrarlo con la abreviación I/O, Inputs / Outputs. El módulo de entradas tiene terminales dentro de los cuales el usuario hace llegar señales eléctricas de un proceso externo. El módulo de salidas tiene otro conjunto de terminales que envían las señales de acción al proceso. De ser requeridos módulos de entradas / salidas remotos pueden agregarse (se conocen como módulos de expansión).

5.5.1.4. LA IMPRESORA.

Un equipo donde el programa contenido en el CPU, puede ser impreso adicionalmente, la información sobre la operación del PLC puede ser impresa.

5.5.1.5. GRABADORA DE PROGRAMA.

Algunos PLC antiguos usaron grabadoras, otros emplearon disquetes para guardar y tener el respaldo del programa. Los PLC más nuevos para programar y respaldar el programa usan el disco duro de las PC's. Los programas se almacenan, para que más tarde se vuelvan a introducir dentro del CPU si el programa original se pierde o presenta fallas.

Para grandes aplicaciones, otra opción posible es la conexión del CPU a una computadora maestra, que puede ser usada en grandes procesos o fábricas, que coordinan la función de muchos PLC's.

5.6.1. DESEMPEÑO DEL CPU.

La Unidad Central De Proceso (CPU por sus siglas en inglés - Central Processing Unit) es el corazón del PLC. El CPU puede ser más grande o más pequeño que el mostrado y dependerá del tamaño del proceso a controlar. Es importante dimensionar el PLC de acuerdo a la memoria interna necesaria para "correr" el proceso.

Para controlar una pequeña operación, un PLC pequeño con memoria limitada puede ser suficiente, sin embargo, para controlar sistemas más complejos, se requerirán PLC's mayores y con más capacidad en memorias y funciones.

Algunos CPUs pueden tener memoria adicional que se agrega fácilmente, a otros no se les puede agregar o ampliar. Una planeación adecuada toma en cuenta necesidades presentes y necesidades futuras para dimensionar el sistema que se ha de adquirir.

El CPU contiene varios conectores para conectar los cables que van a otro sistema de PLC's. Es importante conectarlos adecuadamente con los cables suministrados por el fabricante.

Muchos CPU's contienen baterías de respaldo que mantienen operando el programa, en el evento de que fallara la energía de alimentación. El tiempo de soporte común, es de un mes a un año. La operación básica del programa es permanentemente almacenada en el CPU, y no se pierde si falla la energía.

Sin embargo, el control del proceso no se almacena permanentemente. La batería de respaldo permite retener el programa en el evento de falla de energía, sólo es el control del proceso, el cual se puede perder o borrar cuando falla la energía.

Los CPUs tiene condiciones, algunas de las cuales requieren la operación de un interruptor para prevenir que personal no autorizado, arranque un sistema que está apagado. Esto previene alteraciones a la operación del programa. La posición del interruptor varía de fabricante a fabricante, pero son similares. Las posiciones típicas son:

OFF. El sistema no puede ponerse en marcha (run) o ser programado.

RUN. Permite que el sistema trabaje, pero no pueden realizarse alteraciones al programa.

MONITOR. Muestra en pantalla, información sobre la operación.

RUN / PROGRAM. El sistema puede trabajar y se pueden realizar modificaciones al propio programa mientras esté corriendo. Este modo debe ser utilizado con mucho cuidado. En este modo el programa no puede ser completamente borrado (por seguridad) pero sí puede ser modificado. Para borrar el programa entero, la tecla debe estar en posición off.

OFF / PROGRAM. El sistema no puede correr, pero puede ser programado o reprogramado.

5.6.2. EQUIPOS DE PROGRAMACIÓN.

Algunas terminales de programación son pequeñas y manuales (conocidas como hand-held programmers), con un display igualmente pequeño. La diferencia con el tamaño del display, está relacionada directamente con su costo. Las terminales de tipo industrial son considerablemente más costosas, pero dan más información en pantalla.

Por ejemplo, una pantalla grande muestra un circuito entero de uno a cinco líneas, la terminal manual muestra sólo una parte del circuito a la vez. Con la unidad más pequeña es necesario avanzar dos o tres pasos para ver sólo una línea correspondiente a un diagrama ladder.

Una terminal para programar tipo "laptop" es menos costosa y al mismo tiempo más común. La terminal de programación se conecta al CPU por un cable. Después de que el CPU ha sido programado y se ha puesto en operación, la terminal puede apagarse y desconectarse.

Por lo tanto, se puede requerir sólo una terminal de programación para ciertas operaciones del CPU. La terminal puede cargarse fácilmente si es necesario y en

muchos casos utilizarse para PLC's de la misma marca y modelo. Esto es, una misma terminal puede ser utilizada en la oficina o laboratorio para cargar diferentes programas.

5.6.3. MÓDULOS DE ENTRADAS Y SALIDAS.

Ahora que está programado el CPU del PLC, se obtiene información del mundo real a través de los módulos de entrada y salida. Las terminales del módulo de entrada reciben señales de cables conectados a interruptores, botones pulsadores, sensores y otros equipos que envían información al módulo de entradas. Las terminales del módulo de salidas, accionan para permitir que valores de voltajes mayores, energizen bobinas de contactores, arrancadores y válvulas logrando que los equipos de salida (motores) trabajen.

Es común encontrar 4, 8, 12 ó 16 terminales por módulo. Generalmente es mayor el número de terminales para las entradas, que el número asignado a las salidas. Por ejemplo, un PLC puede tener 12 entradas y 8 salidas, ó 8 salidas y 6 entradas.

En otros PLC's más grandes, los módulos de entradas y salidas están separados del CPU y se colocan en grupos sobre racks o gabinetes tal como se muestra en la figura 5.1.5. Los racks son conectados al CPU a través de conexiones que tienen multiconductores.

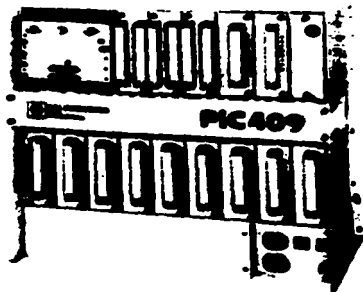


Figura 5.1.5. Conexión al CPU.

Típicamente arriba de 256 terminales pueden ser controladas usando únicamente de 9 a 24 alambres interconectores. El número exacto de alambres está determinado por el tipo de configuración de la computadora, usado de la terminal al CPU para el intercambio de información. Las señales de control eléctrico desde el CPU hasta las terminales I/O son codificadas y decodificadas electrónicamente, haciendo innecesario el empleo de 256 cables para 256 terminales.

Una consideración muy importante para un módulo de entradas / salidas (I/O) es el voltaje y la corriente que se maneja. Tanto el voltaje como la corriente deben ser acordes a los requerimientos eléctricos del sistema al cual van a ser conectadas. Un módulo de entradas que trabaja a 24 Volts C.D., no debe trabajar a 120 V. C.A., e incluso puede causar daño si el fusible del módulo, no actúa rápidamente. Un equipo de salida que requiere 4.5 Amp. no puede ser activado por un módulo de salidas que trabaja a 2 Amp., el fusible del módulo se fundiría.

Muchos módulos más nuevos, tienen una computadora interna para controlar la operación del proceso más rápidamente.

Por ejemplo, un proceso debería tener una entrada crítica, la cual debe ser activada inmediatamente para seguridad del personal. Al enviar señales al CPU, este analiza y regresa la señal tomando mucho tiempo. El módulo puede hacer el análisis continuo y rápidamente y actuar inmediatamente.

UTILIZACIÓN

IMPRESORAS

Las impresoras son usadas para grabar información desde el CPU para un análisis visual. Algunos programas (en escalera) no pueden ser mostrados completamente sobre una pantalla, ya que en las pantallas se visualiza únicamente de una a cinco líneas. La ventaja de tener una impresión en papel es que podemos tener impreso un programa muy largo, con esto se puede analizar completamente el circuito, en capacitación estas impresiones pueden ser usadas para checar que las instrucciones se hayan "introducido" correctamente en el programa.

Existen diferentes tipos de información del PLC que pueden ser impresas:

- *Diagramas en escalera (Ladder- el cual puede incluir referencias cruzadas de bobinas y contactos).*
- *Estados de registros.*
- *Estados y listado de condiciones forzadas.*

- *Impresión a tiempo real de contactos y registros.*
- *Diagramas de otras funciones especiales.*

La unidad central de proceso es propiamente una computadora controlada por un microprocesador y opera de manera similar a una computadora personal.

Los módulos de entrada son activados por elementos de entrada y convierten las señales de entrada eléctricas a señales de salida analizadas por el CPU.

La señal enviada al CPU desde el módulo de entradas llega a través de pulsos digitales de 5 volts. Los pulsos son analizados por el CPU para determinar cuáles entradas están activadas o desactivadas.

A su vez, el módulo de salidas recibe pulsos eléctricos digitales de 5 volts desde el CPU. La determinación del estado de las salidas se realiza a través de los pulsos y son decodificados por el módulo de salidas. El resultado de esta decodificación se observa en una adecuada señal de salida.

5.6.4. OPERACIÓN DEL CPU.

La figura 5.1.6. ilustra las secciones que intervienen en la operación del CPU de un PLC. Las principales secciones son la fuente de alimentación, la memoria fija, la memoria alterable, el procesador y la batería de respaldo. La fuente de alimentación convierte los voltajes de suministro (110 - 220 V. C.A., 24 V. C. D. etc,...) a valores de alimentación que puedan ser usados por el CPU y todo el sistema completo.

La memoria fija contiene la programación efectuada por el fabricante y está dentro de circuitos integrados especiales, llamada memoria ROM (Read Only Memory). esta memoria fija, no puede ser alterada o borrada durante la operación del CPU. El programa fijado en la memoria, a menudo se le conoce como memoria "no volátil", no se pierde cuando deja de alimentarse el CPU.

La memoria alterable contiene muchas secciones, su información también se almacena en circuitos integrados que pueden ser programados, alterados y borrados por el usuario o programador. La memoria alterable se almacena principalmente en chips RAM (Random Access Memory). a menudo se le llama memoria de escritura-lectura. La memoria RAM pierde toda la información que tiene almacenada cuando deja detener energía eléctrica o ésta se pierde. Existen algunas memorias RAM que no son volátiles,

En muchos sistemas que emplean PLC's, es usual encontrar baterías de respaldo que previenen la pérdida de programas que se hayan insertado dentro de la memoria RAM.

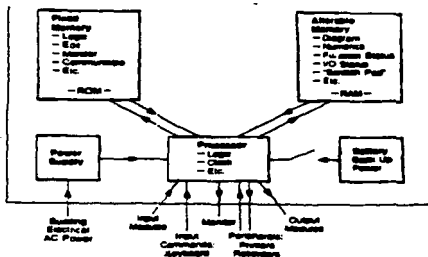


Figura 5.1.6. Secciones principales de operación en el CPU de un PLC.

Tal como lo ilustra la figura, la sección del procesador tiene interconexiones hacia otras subsecciones del CPU y hacia equipos de salida. El procesador es el controlador que logra que la información fluya de un lado a otro y contiene un circuito de reloj que permite que cada transferencia de información, tome lugar en tiempos precisos. Como también pueden haber otros chip's empleados (memorias).

La memoria EAPROM es similar a la EPROM y quiere decir Electrically Alterable Programmable Read Only Memory, en lugar de requerir luz ultravioleta para ser borrada, se le aplica una señal eléctrica. Su desventaja sobre la memoria EPROM es la facilidad y rapidez con la cual se borra y regresa a sus condiciones iniciales.

5.6.5. UTILIZACIÓN DE FUENTES DE PODER.

En la mayoría de las plantas se tiene disponible fuentes de alimentación a 120 Volts de corriente alterna (CA) a 60 hertz. El PLC opera internamente con valores de +5 y -5 Volts de corriente directa (CD).

El CPU del PLC tiene elementos que convierten los 120 Volts CA en la entrada a valores de 5 Volts CD. Esto se logra por una fuente de alimentación interna, la siguiente figura muestra los elementos que conforman un fuente típica. La figura 5.1.7. también muestra las ondas de voltaje en función del tiempo, en varios puntos de la fuente de alimentación.

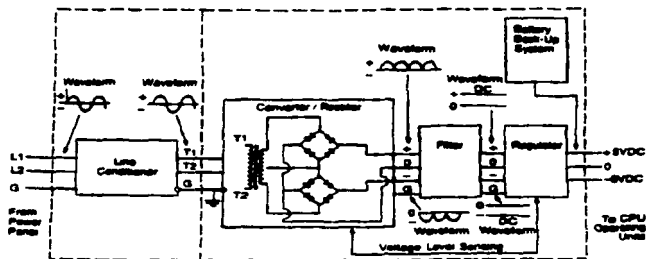


Figura 5.1.7. Utilización de una fuente típica.

El segundo bloque es el rectificador que cambia la acción bidireccional de a a una unidireccional pulsante en CD. Internamente un transformador marca el voltaje hacia un nivel apropiado, entonces dos rectificadores producen salidas pulsantes en CD. Una salida es + 5 Volts y la otra -5 Volts. Este voltaje dual es requerido para operar muchos de los circuitos integrados en el CPU. Una computadora necesita una entrada constante de voltaje en CD (no pulsante), para su correcta operación. Una acción pulsante en CD, la forma de onda de salida del rectificador falsea como un grupo de pulsos al CPU. Por lo tanto, esto significa suavizar la salida a valores razonablemente constantes.

El tercer bloque en el diagrama es la sección del filtro el cual lleva a cabo la uniformización de la onda requerida; el filtro consiste de un circuito interno que incluye capacitores y elementos resistivos o inductivos. Alternadamente el filtrado se puede lograr electrónicamente por este block de filtrado. Un cuarto block muestra en el diagrama, al regulador, que mantiene los valores de voltaje a niveles requeridos de 5 Volts. El regulador corrige electrónicamente una variación de voltaje hasta antes de 5, o al menos lo suficientemente cerca para lograr que la operación del CPU sea la adecuada.

La batería de respaldo es mostrada en la parte superior del diagrama. Un interruptor (no mostrado) puede transferir la salida desde la fuente de alimentación hacia la batería, el interruptor es colocado para controlar la salida desde la fuente de alimentación hacia la batería de respaldo rápida y automáticamente si falla la fuente de alimentación en la entrada. El suministro de alimentación cesa si el conector del CPU se desconecta, también cuando falla la fuente de alimentación interna.

Dentro de la operación del PLC, que no es más que el funcionamiento de un microprocesador, está el diagrama de estados, el cual se encuentra dentro de la memoria ROM.

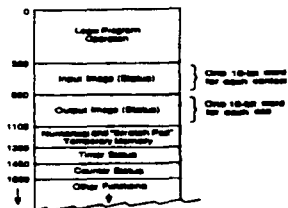


Figura 5.1.8. La entrada de estados (0,1) y salidas, almacenamiento y temporización de memoria en el PLC.

5.6.6. EL PROCESADOR.

El procesador es la parte del CPU, que recibe, analiza, procesa y envía información. La información, en forma de pulsos digitales, es enviada y recibida como se muestra en la figura 5.1.9.a.

La sección de control del procesador determina cuáles secciones serán activadas, en que orden y por cuanto tiempo. La operación actual para controlar la función es muy complicada y cubierta en detalle en textos referidos a microprocesadores.

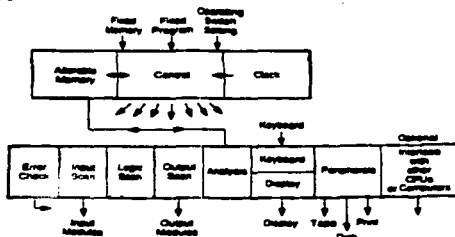


Figura 5.1.9.a. Partes del procesador.

El block de búsqueda de entrada al ser llamado para operar busca las entradas y coloca los estados de las entradas individuales en la memoria alterable. Después del análisis, la lógica de búsqueda actualiza la lógica de salida a un estado apropiado. Enseguida, las salidas son buscadas y actualizadas. Los estados de las salidas son cambiados o dejados solos, dependiendo del análisis de la lógica.

Los estados de salida dependen de los estados de las señales de salida de CPU. Otras funciones del procesador también toman lugar en diferente tiempo o mismo tiempo, los intervalos de operación dependen de la prioridad de la función a controlar. En algunos CPU, pueden tomar lugar simultáneamente dos o más operaciones de cómputo, esto significa que el PLC puede operar a mayores velocidades, lo cual es siempre deseable. El intervalo de tiempo para la operación de cada sección es dirigido por la porción de la función de reloj de el block de control.

Otras funciones típicas llevadas a cabo por el procesador también se muestran en la figura anterior., la sección del teclado lleva a cabo una acción basada en cualquier operación que ocurra en el teclado. Como consecuencia el display es apropiadamente actualizado. Una parte importante del procesador es la sección de chequeo de errores, mostrada a la izquierda de la figura. El chequeo de errores es hecho en el procesador para detectar cualquier lógica de error interno. Existen dos tipos de sistemas de detección de error en equipos de cómputo y son *parity* y *checksum*. Este y otros sistemas para el chequeo de errores se detallan en la mayoría de los textos referidos a la lógica digital.

En la parte derecha de la figura se encuentra la sección opcional de interfase. Esta sección es requerida si el PLC es parte de un sistema mayor y se llevan a cabo comunicaciones con otros PLC's y una computadora maestra.

MÓDULOS DE ENTRADA.

El módulo de entrada ejecuta 4 tareas electrónicamente. Primero, sensa la presencia o ausencia de una señal de entrada para cada una de sus terminales de entrada. La señal de entrada nos dice que interruptor, sensor u otra señal se encuentran activadas o desactivadas en el proceso que será controlado.

Segundo, convierte la señal de entrada para encendido o alto, a un nivel que pueda ser usado por el circuito electrónico del módulo. Para bajo, desactivado, ninguna señal es convertida, indicando apagado. Tercero, el módulo de entrada es a cabo aislamiento electrónico. Finalmente su circuito electrónico debe producir una salida que será detectada por el CPU. Todas estas funciones son ilustradas por el diagrama de bloques mostrado. Un módulo de entradas típico, tiene 4, 6, 8, ó 16 terminales, más un común y terminales de seguridad para aterrizar el equipo. La figura muestra el circuito únicamente para una terminal, las demás terminales en un módulo dado tienen circuitos idénticos. El primer block, el sensor, es conectado directamente hacia el convertidor.

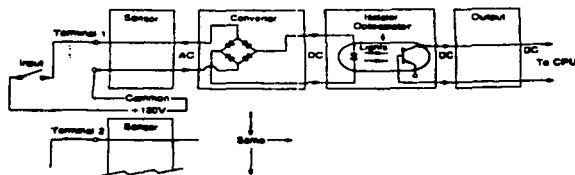


Figura 5.1.9.b. Sensor.

El segundo block recibe la señal de entrada desde el sensor, para un voltaje de entrada en CA, el segundo block, el convertidor, consiste de un rectificador y elementos que colocan el voltaje a un nivel que pueda ser utilizado. Para voltajes de entrada en CD, se requieren algunos tipos de conversión CD a CD dentro del block convertidor.

La salida del convertidor no está directamente conectada al CPU. Si se conecta directamente, puede ocurrir un inadecuado funcionamiento que alcance al CPU, por ejemplo, si el rectificador en el convertidor tiene un corto, podría tener 120 Volts de CA alimentando al CPU y recordemos que sólo trabaja con 5 Volts, en CD, de tal manera que podría dañarse. El block de aislamiento protege al CPU de este tipo de daños.

El aislamiento usualmente se realiza a través de un optoaislador tal y como se muestra. La señal todo - nada se transmite a un rayo de luz en una dirección. Con esto se evita que pasen picos eléctricos a través del optoaislador en cualquier dirección.

El aislador, cuando su entrada está activada envía una señal al CPU a través del block de salida. Cuando la salida del aislador se activa, se detecta por una señal codificada desde el CPU, a cada módulo se le asignan una serie de números codificados.

Cada número en la terminal del módulo es asignado a un número en orden consecutivo, los estados activado - desactivado para cada número se checan en cada barrido de búsqueda de entrada. El resultado, activado o desactivado, es colocado en la memoria alterable, como se mencionó anteriormente.

MÓDULOS DE SALIDA.

Los módulos de salida operan de manera opuesta al módulo de entradas. Una señal de CD desde el CPU es convertida a través de cada sección (terminal) a un voltaje de salida utilizable, ya sea en CA o CD.

5.7.1. CIRCUITOS PARA EL PLC Y SIMBOLOGIA LOGICA PARA CONTACTOS.

El control típico , tiene funciones lógicas de control (secuenciación y control), basándose únicamente en el cableado de relevadores lo cual dificultaba cualquier cambio, en el PLC las funciones lógicas son cambios fácilmente, su instalación eléctrica es actualizada alterando únicamente parte de la trayectoria hacia dispositivos, el PLC cambia los sistemas como lo vemos en la figura 5.2.0.

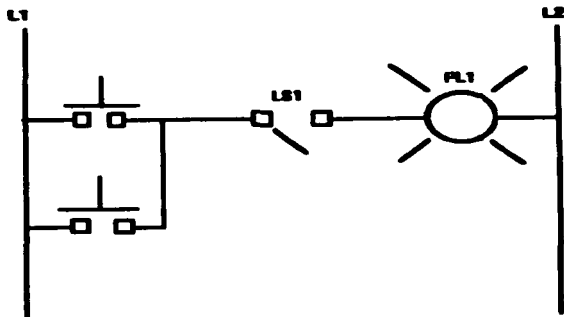
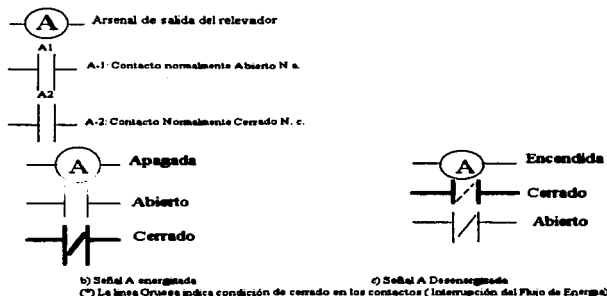


Figura 5.2.0. Circuito electromecánico.

Con su correspondiente diagrama escalera del circuito eléctrico de un sistema por relevadores y su correspondiente montaje con PLC. Las conexiones de la circuitería son determinadas mediante instrucciones de software. Estas conexiones pueden ser consideradas que comparte el CPU del PLC , este sistema se construye a base de funciones AND, OR, NOT, pueden ser utilizadas independientemente combinadas entre sí, formando las construcciones que controlan los dispositivos instrucciones así formadas engloban los comandos que se transmiten y el lenguaje de comunicación para el controlador. El diagrama de escalera es el más utilizado dentro del lenguaje de programación similar al diagrama eléctrico , cuenta con instrucciones que representan gráficamente los contactos n.a.,n.c. en los sistemas de cableado fijo , simplemente es una forma de representar el control lógico del PLC.

Si se utiliza como programación, la translación de un sistema con lógica de relevadores a un sistema por lógica programada se reduce a un sólo paso que la representación como funciones lógicas, la convención a la simbología de contactos

es necesario ver la figura 5.2.1A. Se muestra que se puede diseñar mediante circuitos individuales teniendo una salida única cada circuito es conocido como una etapa o red del sistema (figura 5.2.1.B.); las etapas forman lazos de control por lo que son interdependientes para generar una salida en el PLC. Algunos controladores permiten etapas con salidas múltiples , sin embargo lo convencional son las etapas con una sola salida. El programa completo de un PLC consiste de etapas fijas que son controladas a los dispositivos de campo.



Simbología Básica del Lenguaje de Escalera Representado por Sistemas de Relevadores

Figura 5.2.1.a. Configuración estándar para relevadores NA y NC

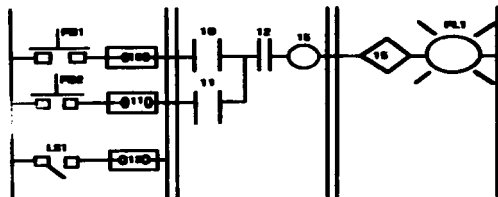


Figura 5.2.1.b. Implementación de un PLC.

¿Qué elementos fundamentales constituyen al PLC? Un controlador programable esta formado de dos partes fundamentales, la unidad central de procesos y el sistema de interfaces entrada /salida como lo vemos en la figura 5.2.2.

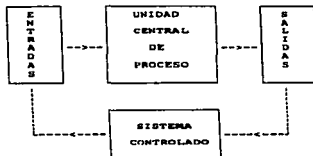


Figura 5.2.2. Diagrama a bloques de un PLC.

MONITOREO AL INTERCAMBIO DE INFORMACION

En la siguiente figura se ilustra el sistema del PLC , que lo constituyen , una interfase de entrada que recibe las señales mediante interruptores o detectores enviándolas al microprocesador del CPU que interactúa , en la memoria almacena el programa de control en el diagrama de escalera. Este CPU sigue la secuencia de los pasos programados de acuerdo a la información recibida y envía ordenes al proceso a través de la interfase de salida que normalmente esta conectado a lamparas arrancadores de motores. Durante la operación la unidad central de proceso manipula toda la información de las interfaces E/S , llamándose monitoreo al intercambio de información. Los microprocesadores desempeñan operaciones matemáticas , manejo de datos y rutinas de diagnósticos una de las ventajas que no serian posibles con el control por cableado mediante relevadores. El mando que hace el microprocesador junto con su programada llamada ejecutiva que es el supervisor , almacenando y verificando la información del sistema en el controlador. con una fuente de voltaje se ilustra de manera global la interacción del PLC en la figura 5.2.3.

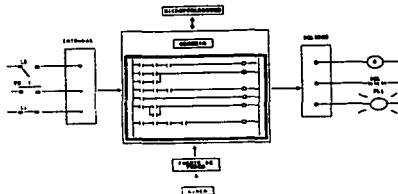


Figura 5.2.3. Interacción del PLC con el sistema.

Dentro de este, el microprocesador ejecuta el programa de control almacenado en memoria en un lenguaje estándar su principal función es el mando y determinación de las actividades.

Dentro de cada etapa cada red es una combinación de las condiciones de entrada (símbolos) , conectándose de izquierda a derecha entre dos líneas verticales el símbolo que representa las entradas son conectadas en serie y paralelo o combinaciones de ambas con las que se obtienen la función lógica deseada ; estos símbolos de entrada del PLC. El concepto de programación por etapas "rung" , es remanente de los sistemas por relevadores , en los cuales los dispositivos de entrada son conectados en serie o paralelo para controlar las diferentes salidas cuando se activan estos dispositivos de entrada que permiten la alimentación de corriente al circuito la suspensión de la misma encendiendo o apagando de esta manera algún dispositivo por ejemplo:

Botón.	Lampara Piloto
Interruptor Selector.	Relevador.
Interruptor Limitador.	Motor
Interruptor de Proximidad.	Válvula
Contactador.	Solenoides

El programa ejecutivo posee un software que establece la comunicación entre el PLC, el sistema y el usuario o programador mediante los dispositivos de programación. Otros tipos de comunicación en la periferia del sistema es soportado también por el programa mencionado. Tales comunicaciones periféricas incluyen al monitoreo constante de las variables de control y dispositivos de memoria , interfaces y fuente de voltaje.

En caso que exista desconexión del CPU , existen tarjetas inteligentes llamadas PID., modulo de control (Proporcional - Integro - Derivativo). Con memoria que mantiene el ciclo de control es necesario considerar que la fuente de energía es diseñada para tolerar las fluctuaciones de la tensión de línea, es conveniente considerar que algunas industrias por el tipo de equipo que utilizan en sus procesos pueden provocar inestabilidad en la línea de alimentación , en estos casos es recomendable prevenir de alguna forma los efectos que se producirán en el controlador.

La compensación para las variaciones de voltaje dependen de los niveles mínimo y máximo que pueden alcanzar , así como la localización del PLC y se pueden provocar por:

- Arranque o paro de equipo cercano a motores, bombas, compresores, acondicionadores de aire.

- *Perdidas en la línea de una posible subestación.*
- *Perdidas en la línea interna de la planta provocadas por las malas conexiones.*
- *Situaciones que provocan la interrupción accidental o necesaria del suministro de energía, lo que reduce la actividad normal de la planta.*

Una solución es la instalación de un transformador en donde se logran compensar las variaciones de voltaje con un circuito que entrega un nivel de tensión más estable.

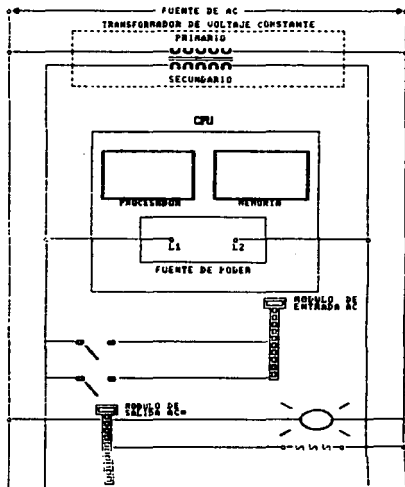


Figura 5.2.4. Circuito para eliminar fluctuaciones en la línea mediante un transformador

5.7.2. AISLAMIENTO EN AMBIENTES PARA EL PLC.

El PLC, considerando como un computador industrial, al igual que cualquier equipo de cómputo, requiere estar aislado de ambientes que generen interferencias electromagnéticas (EMI); es común que el fabricante recomiende que se instale el PLC en un gabinete que los aisle de cualquier interferencia que pudiera alterar el funcionamiento correcto de la circuitería. Como seguridad se agrega al circuito que separa eléctricamente de la fuente de C.A., que alimenta a los equipos que generan interferencias electromagnéticas.

5.7.3. CARACTERIZACION DEL PLC.

<i>PROGRAMA EJECUTIVO</i>	{	<i>Temporizadores Internos.</i>
		<i>Operaciones Logicas.</i>
		<i>Operaciones Aritmeticas.</i>
		<i>Funciones De Transferencia.</i>
<i>APLICACION</i>	{	<i>Temporizadores Externos.</i>
		<i>Lectura De Instrumentos.</i>
		<i>Instrucciones Exclusivas Del Programa De Aplicacion.</i>

Que son funciones características que se realizan dentro del CPU.

La estructura de la memoria consiste en una celda que almacena una lógica que indica un alto o bajo nivel de voltaje, para 0 es un nivel "bajo", para 1 "será alto". Estos niveles representan el no paso o paso respectivamente, en forma de bytes; ejemplo:

Dirección	Contenido
0 30 A	278 A
0 30 B	E 3 F B

Para entradas AC/DC, la cual la primera no necesita convertidor en cambio la segunda selección debe reconocer los niveles de voltaje.

5.7.4. DISPOSITIVOS DIGITALES.

Interruptor Selector	Alarma
Botón Pulsador	Lamparas
Ojo Electrónico	Bocinas
Contactores	Arrancadores Para Motor Eléctrico

PARA DISPOSITIVOS ANALOGICOS

Transductores de carga	Mediante las siguientes instrucciones:
Potenciómetros	ANDL0D, ORL0D, TIMMER, MCS, SHF.
Modo de programación	DELTEND, SHFR, RUN, STOP.

* Instrucciones LOD	Carga el contactor al inicio la línea.
* Instrucciones Timer	Tiempo de retardo.
* Instrucciones AND	Retardo al encendido.
* Instrucciones OR	Apagado
* Instrucciones ANDL0D	Realiza funciones y los agrupa en conjunto
* Instrucciones ORL0D	Agrupar funciones en paralelo y en conjunto.
* Instrucciones MCS	Maneja subrutina mando de subrutina.
* Instrucciones MCR	Maneja el regreso de la subrutina.
* SHF	Tecla master. Inicia el desplazamiento (Habilitar o Deshabilitar).
* SHFR	Tecla de registro de corriente 32,64, 128 Bits.
* DELT END <>	Tecla para borrar restricción.
* RUN STOP	Paro de programa.
* LOAD	Carga del programa.
* ADR # READ	Búsqueda de instrucción.
* OUT	Fuera de programa.
* END	Fin de programa.

STR

Se utiliza para seleccionar la primera variable que se va a utilizar en una serie o secuencia de instrucción.

STR NOT

Selecciona la primera variable invertida utilizar en una secuencia de instrucciones.

OUT

Instrucción determinada el fin y salida de una etapa o lazo (runga) . actuando sobre la variable de salida interna o externa que se le asocian.

OUT NOT

Active sobre la variable de salida (interna o externa) asociada a ella.

OR

Realiza la función lógica (O) entre la variable especificada por ella y una o mas variables combinadas.

OR NOT

Ejecuta la función (O) entre la negación de la variable especificada por ella y una o mas variables combinadas.

AND

Realiza la función lógica (Y) entre la variable especificada por ella y una o mas variables combinadas.

AND NOT

Aplica la función (y) a una o mas variables y a la negación de la variable especificada por ella.

OR STR

Aplica la operación lógica (O) a los dos secuencias anteriores a esta iniciación por STR, STR NOT

AND STR

Aplica la operación lógica y a las dos secuencias anteriores a ella iniciadas por STR o STR NOT.

TIMMER

X_i = Variable a puesta a cero

X_j = Variable temporizada.

CTR

Ejecuta la función de control, se puedan utilizar dos o tres variables.

JMP JME

Permiten la ejecución de la zona de instrucciones contadas entre ellas.

(L - ILC)

Permiten la actualización de todas las salidas internas y externas actualizadas normalmente dependiendo de que el resultado inmediato anterior sea uno o (0) lógica.

5.7.5. ALGORITMO DE CONTROL PARA EL PLC.

- *Grupo de una o mas instrucciones que ejecutan una función de procedimiento.*
- *E/S entrada o salida.*
- *Decisión punto donde el procesador debe elegir entre dos alternativas de secuencia lógica.*
- *Preparación grupo de instrucciones que preparan las condiciones preliminares para el procesamiento consecuente.*
- *Proceso predefinido grupo de instrucciones no detalladas en este diagrama de flujo como las de una subrutina.*
- *Terminal origen fin de punto de interrupción en un programa.*
- *Conector.*

- *Líneas de flujo.*
- *Anotaciones notas de explicación para aclarar instrucciones.*
- *Conector de página permite conectar las páginas. de un diagrama de flujo externo.*
- *Líneas de comunicación.*

PROCESO
Grupo de una o más instrucciones que ejecutan una función de procesamiento.

ENTRADA/SALIDA
Cualquier función que comprende la entrada o salida de un dispositivo o señales internas de control.

DECISION
Punto en el que el procesador debe entre dos alternativas de secuencia lógica.

PREPARACION
Grupo de instrucciones que preparan las condiciones preliminares para el procesamiento subsiguiente.

PROCESO DEFINIDO
Grupo de instrucciones no detalladas en este diagrama de flujo como una subrutina.

TERMINAL
Origen, fin, o punto de interrupción en un programa.

CONECTOR
Entrada desde, salida a, conecta dos partes de un diagrama de flujo.

LÍNEA DE FLUJO
Designa el flujo del proceso o flujo de datos.

ANOTACIONES
Comentarios o notas de explicación para aclarar alguna(s) instrucciones.

CONECTOR DE PÁGINA
Permite conectar las páginas de un diagrama de flujo externo.

LÍNEA DE COMUNICACIÓN
Indica transmisión de datos o información de un lugar a otro mediante línea de comunicación.

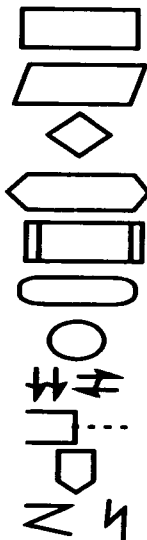


Figura 5.2.5. Símbolos comunes del algoritmo de control.

5.8.1. AUTOMATIZACION INDUSTRIAL.

La automatización es la mejor rentabilidad que se tiene en las industrias, por medio de máquinas automáticas que imitan los movimientos de los obreros y según sus interpretaciones son:

- *Bien la parte de mando de una máquina.*
- *O bien una herramienta de producción que comprende la máquina y sus dispositivos de mando.*

Pueden ser con sistemas de tecnología cableada o programada.

Los autómatas programables aparecieron en Estados Unidos en 1969 - 1970 con particularidad en el sector de la industria automotriz. A fin de situarlos bien con relación a los otros equipos de cálculo y de automatismo que se emplean, todo lleva un orden y los elementos que permiten comparación serán:

- *Seccionador.*
- *Ordenador.*
- *Calculador Industrial.*
- *Microprocesador.*
- *Microcalculador.*
- *Autómata Programable.*

Así facilitar al ingeniero de la planta industrial el control de producción que hoy en día constantemente manejan como: la transferencia de datos, stock's, paquetes, block's en control industrial con la finalidad de optimizarlos diariamente.

5.8.1.1. SECCIONADORES.

Es una asociación de varios módulos de etapas, correspondiendo un módulo a una etapa de diagrama funcional. Permite mandar y controlar el desarrollo del ciclo de funcionamiento, previamente definido de una máquina o de una instalación. Pero una vez determinado, el programa es fijo y se repite en el mismo orden cronológico. El seccionador puede ser realizado en tecnología eléctrica, electrónica o neumática.

5.8.1.2. ORDENADORES.

Se caracterizan por una cantidad de instrucciones muy importantes , los programas deben ser establecidos por personal competente en informática; se utiliza:

- *Calculo Científico.*
- *Transferencia de Datos.*
- *Gestión de Empresas.*
- *Gestión de Stock's.*
- *Teleinformatica (Transacciones)*

Son computadoras personales con CPU, drives, periféricos convencionales e impresoras; con la variedad de manejarios en red y en la actualidad en Internet.

5.8.1.3. CALCULADOR INDUSTRIAL.

Vigila y controla las máquinas y procesos industriales con este cometido , efectúa mandar del tipo " todo o nada " y regulaciones analógicas , almacenan generalmente informaciones para establecer balances de consumo y editar diarios de marcha de la instalación. Al servicio del calculador industrial con dos tipos de periféricos convencionales e industriales (informaciones en medios industriales).

5.8.1.4. MICROPROCESADOR.

Contiene uno o varios circuitos integrados de complejidad muy grande y realiza las funciones de una unidad central. Generalmente se utiliza junto con circuitos electrónicos exteriores.

5.8.1.5. MICROCALCULADOR.

El microcalculador es un calculador constituido en torno a un microprocesador no difiere , pues , de un calculador mas que por sus prestaciones.

5.8.1.6. AUTOMATA PROGRAMABLE.

Es un aparato electrónico cuyo funcionamiento está definido por un programa. En diferencia de los calculadores , su programación no requiere competencia en informática y realiza mandos de tipo lógico y secuencial en las fábricas , bien puede ser adaptado en su explotación a la formación y las costumbres del personal de fabricación y de mantenimiento. El número de instrucciones tratadas es bastante reducido , su dirección viene a cabo del automatista y este trabajo es facilitado aún

más gracias a una consola de programación, tiene funciones, una impresora y transmisiones periféricas; se presenta bajo la forma de un conjunto de tarjetas o circuitos impresos sobre los cuales están montados componentes electrónicos integrados estas tarjetas están alojadas en cestas que protegen mecánicamente las conexiones analizamos el siguiente diagrama.

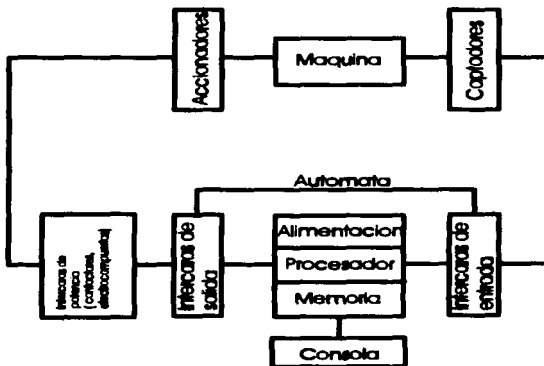


Figura 5.2.6. Automatización

5.8.1.7. CAMPOS DE APLICACIÓN.

Mandos de máquina. Ejemplos:

- Máquinas - Herramientas.
- Máquinas de llenado de botellas.
- Máquinas de trabajar el vidrio.
- Máquinas para la industria textil.
- Prensas de inyección.
- Embaladoras.
- Cintas transportadoras.
- Centrifugadoras.

5.8.1.8. CAMPOS DE INSTALACIÓN.

- *Instalaciones de dosificación.*
- *Instalaciones de transportadoras (transporte y almacenamiento).*
- *Cadenas de transferencia.*

5.8.1.9. CAMPOS DE SEÑALIZACIÓN.

- *Dispositivos de señalización de mandos de procesos.*
- *Señalización de defectos y estados.*
- *Control de instalaciones de proceso.*

Debido a estas tremendas características los autómatas programables con memoria se adaptan a un gran número de problemas de mando tales como: máquinas - herramientas, máquinas para materiales y mantenimiento industrial, instalaciones en general, automatización de edificios.

5.9.1. TRANSDUCTORES.

El transductor es un mecanismo que es utilizado para transformar una o más entradas analógicas, dentro del valor analógico notado más sustituible para usarse dentro la instrumentación. La salida es relativa para las entradas en prescritas relaciones. Ellas son comúnmente utilizadas por instrumentos remotos o para proveer datos analógicos a los PLC'S y las computadoras, ellos generalmente aislados; la corriente y el voltaje transformados del secundario en el circuito a situación de control remoto. Muchos transductores tienen a la salida de corriente en miliamper's que es proporcional a las medidas cuantitativas. Estas permiten que las señales sean transmitidas encima de largas distancias con alambres de pequeños calibres. Algunos pueden de nuevo ser remplazados con poderosos multifuncionales de monitores digitales con el cual pueden comunicarse todos los parámetros medidos vía una comunicación por cable a un monitor remoto o adquisición mecánica de datos. Esos son similares a multifunciones digitales, instrumentos/medidas pero no son incluidos en un display de localización.

MEMORIA DE CALCULOS

MEMORIA DE CALCULOS.

CALCULO PARA EL DISEÑO DE INSTALACIONES ELECTRICAS PARA ARRANQUE DE MOTORES EN UNA PLANTA INDUSTRIAL CON SUBESTACION.

La tensión eléctrica en los buses o barras principales de los tableros en las instalaciones se determina utilizando alguno de los siguientes métodos:

- *Flujos de potencia.*
- *Caída de tensión con reactancias.*
- *Caída de tensión con impedancias.*

De la tensión eléctrica aplicada a los motores en operación, cuando arranca el motor principal se incluye 3% de la caída en el alimentador derivado y 2% de caída en el alimentador principal. Se recomienda que al arrancar el motor principal, la tensión aplicada a los otros motores en operación sea como mínimo del 80 % de su tensión nominal. Para aumentar la tensión aplicada hasta valores cercanos al 90% es necesario utilizar arrancador a tensión reducida para el motor o motores mayores.

Cuando se aumenta la tensión en el secundario del transformador moviendo el selector de derivaciones debe calcularse la máxima tensión aplicada a los primeros motores que entran en operación evitando rebasar el límite de +10 % de la tensión nominal.

En general, no se considera recomendable cambiar el calibre de los conductores de los motores en operación o del motor principal, considerando el arranque del motor, puesto que dicho calibre debe ser seleccionado conforme normas. Al estudiar los diferentes métodos de arranque, es necesario confirmar que el par del motor siempre es superior al par requerido por el equipo impulsado en cada valor de velocidad, principalmente con el rotor bloqueado y también al ocurrir el par mínimo a tensión mínima aplicada al motor.

IMPEDANCIAS POR UNIDAD DEL SISTEMA EXTERNO.- En este método se considera una potencia base (S_{BASE}) a la cual estarán referidos todos los valores de impedancias, será recomendable considerar la potencia base igual a la nominal del transformador y se determinan las impedancias por medio de las siguientes fórmulas para posteriormente realizar un diagrama de impedancias equivalentes y obtener la impedancia total del circuito.

$$Z_s = \frac{S_{BASE}}{S_{CC\text{Sistema}}}$$

En donde :

Z_S : Impedancia (P.U.) del sistema eléctrico externo.

S_{base} : Potencia base, igual a la potencia nominal del transformador a la planta.

S_{CC} Sistema: Potencia de corto circuito mínima disponible en el lado de alta tensión del transformador.

IMPEDANCIA (P.U.) DEL TRANSFORMADOR.- Para calcular la impedancia por unidad del transformador se utiliza la siguiente fórmula considerando que la potencia base es igual a la capacidad del transformador.

$$Z_T = \frac{Z\%}{100}$$

Si no se tomara la potencia del transformador como valor base la fórmula sería la siguiente:

$$Z_T = \frac{S_{BASE} \times Z\%_T}{S_{TRANS} \times 100}$$

donde:

Z_T : Impedancia por unidad del transformador .

$Z\%_T$: Impedancia del transformador en %.

S_{TRANS} : Potencia del transformador.

Impedancia por unidad de los motores.

Impedancia del motor a plena carga.

$$Z_{mp} = \frac{V_f - n}{I_{nom}} = \text{ohms}$$

Impedancia del motor al arranque:

$$Z_{ma} = \frac{V_f - n}{I_{arranque}} = \text{ohms}$$

Transformando los valores de ohms a valores en por unidad.

Impedancia del motor a plena carga por unidad.

$$Z_m(p.u.) = \frac{S_{BASE} X Z_{mp}}{KV^2 X 1000}$$

Y la impedancia del motor al arranque en (P.U.).

$$Z_{ma} = \frac{S_{BASE} X Z_{mp}}{KV^2 X 1000}$$

Donde:

Z_{mp} = Impedancia del motor a plena carga en ohms.

$Z_{mp}(P.U.)$ = Impedancia del motor a plena carga (P.U.).

Z_{ma} = Impedancia del motor al arranque en ohms.

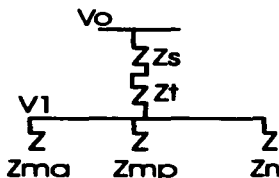
$Z_{ma}(P.U.)$ = Impedancia del motor al arranque (P.U.).

I_{nom} = Corriente nominal.

$I_{arranque}$ = Corriente de arranque (Es aceptable tener un valor para la corriente de arranque entre 5.5 a 6 veces la corriente nominal para efectos de cálculo o mediana norma para motores de rotor devanado).

KV = Tensión nominal en las terminales del motor en Kilovolt's.

Con los valores calculados se obtiene el diagrama de impedancias:



Reduciendo el diagrama de reactancias de la siguiente forma para obtener el valor de V_1 .

$$Z_s + Z_t = (Z_{st})$$

La corriente total (I_{TOT}) es :

$$I_{TOT} = \frac{1}{Z_{TOTAL}} = ?$$

Se calcula la impedancia equivalente de las cargas en V_1

$$Z_{eq} = \frac{1}{Z_{ma}} + \frac{1}{Z_{mp}} + \dots + \frac{1}{Z_n}$$

El número de términos depende del arreglo físico. La tensión en V_1 es :

$$V_1 = V_0 - I_{total} (Z_S + Z_T)$$

De donde la caída de tensión resulta ser :

$$\% e = \frac{V_{nom} - V_1}{V_{nom}} \times 100$$

EJEMPLO MODELO 1: En una planta se tienen 3 motores que operan constantemente, se desea calcular la caída de tensión en el CCM., en el arranque de los motores considerando la condición más crítica de en el arranque del motor mayor y los demás a plena carga.

Datos:

Capacidad interruptiva de línea de alimentación = 100 MVA.

Capacidad del transformador = 75 KVA.

Porcentaje de impedancia (Z%), del transformador = 3.7 %.

1.- Motor de 10 Hp, 440 V, 3 Fases, $I_{nom} = 11$ Amp.

2.- Motores de 50 Hp, 440 V, 3 Fases, $I_{nom} = 68$ Amp.

Cálculos:

$Z_{SISTEMA}$:

$$Z_S = \frac{75}{100000} = 7.5 \times 10^{-4} \text{ ohms}$$

Z_{TRANSFORMADOR}:

$$Z_r = \frac{3.7}{100} = 0.037 \text{ ohms}$$

Z_{MOTOR 50 Hp}:

$$Z_{mp} = \frac{440/\sqrt{3}}{68} = 3.73 \text{ ohms}$$

Para la impedancia al arranque:

$$Z_{mp} = \frac{440/\sqrt{3}}{5.5 \times 68} = 0.67 \text{ ohms}$$

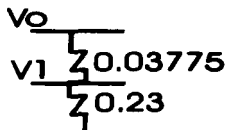
Z_{MOTORES de 10 Hp}:

$$Z_{mp} = \frac{440/\sqrt{3}}{11} = 23 \text{ ohms}$$

Para la impedancia al arranque.

$$Z_{mp} = \frac{440/\sqrt{3}}{5.5 \times 11} = 4.19 \text{ ohms}$$

$$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{7.5 \times 10^{-4}} + \frac{1}{8.9} + \frac{1}{8.9}} = 0.23 \text{ ohms}$$



$$Z_{\text{Total}} = 0.03775 + 0.23 = 0.2744 \text{ ohms}$$

$$I_{\text{TOTAL}} = \frac{1}{Z_{\text{TOTAL}}} = 3.6 \text{ Amper's}$$

La tensión en V_i es:

$$V_i = 1.0 - 3.6 (0.03775).$$

$$V_i = 1.0 - 0.13.$$

$$V_i = 0.8624.$$

$$V_i = 440 \times 0.8624 = 379.47 \text{ Volt's.}$$

$$\% e = \frac{440 - 379.47}{440} \times 100 = 13.75\%$$

Transformando los valores de Ohms a valores de (P.U.).

Para motor de 50 Hp:

$$Z_{mp}(p.u.) = \frac{75 \times 3.73}{0.44^2 \times 1000} = 1.44 \text{ P.U.}$$

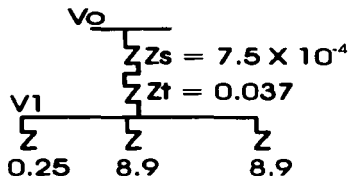
$$Z_{mu}(p.u.) = \frac{75 \times 0.67}{0.44^2 \times 1000} = 0.25 \text{ P.U.}$$

Para motores de 10 Hp.

$$Z_{mp}(p.u.) = \frac{75 \times 2.3}{0.44^2 \times 1000} = 8.9 \text{ P.U.}$$

$$Z_{mu}(p.u.) = \frac{75 \times 4.18}{0.44^2 \times 1000} = 1.61 \text{ P.U.}$$

Diagrama de reactancias considerando los dos motores 10 Hp a plena carga y el de 50 Hp al arranque.



Reduciendo:

$$Z_{\text{Total}} = Z_s + Z_t = 7.5 \times 10^{-4} + 0.037 = 0.03775$$

EJEMPLO MODELO 2:

FABRICA DE CHOCOLATES "LA AZTECA S.A."

PLANTA ACRA

CALCULO DE CORTOCIRCUITO PARA UN PANEL DE 13 MOTORES ELECTRICOS DE INDUCCION CONTROLADOS POR ARRANCADORES, CON LA CONTRIBUCION DE 400 MVA POR PARTE DE COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. EL CALCULO SE DESARROLLARA EN BASE AL ESTANDAR ANSI/IEEE.

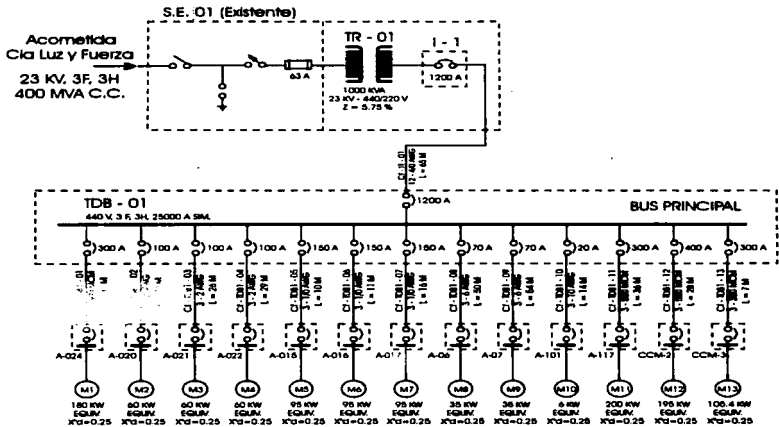
Consideraciones:

- a) La carga de alumbrado es carga estática, la cual no contribuye a un cortocircuito.
- b) 1Hp = 1KVA = 1KW.

Valores Base.

$$MVA_{(BASE)} = 10.$$

DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO



Alta Tensión:

$KV_{(BASE)} = 23 \text{ KV.}$

$$I_n = \frac{10 \times 1000}{\sqrt{3} \times (23)} = 251.03 \text{ A}$$

Baja Tensión:

$$I_n = \frac{10 \times 1000}{\sqrt{3} \times (0.44)} = 13122 \text{ A}$$

$$\Omega\% = \frac{\Omega \times 10 \text{ MVA}_n}{(KV_n)^2}$$

CALCULO DE LAS IMPEDANCIAS DE LOS ALIMENTADORES:

a) Alimentador principal: CF-I1-01: 12-4/0 AWG (4/FASE), 600V.

$$R = 0.00700 \frac{\Omega}{100'}$$

$$X = 0.00482 \frac{\Omega}{100'}$$

L = 65 m.

$$R = 0.007 \left[\frac{\Omega}{100'} \right] \left[\frac{100'}{30.5m} \right] (65m) = \frac{(0.007)(65)\Omega}{30.5} = 0.014918 \Omega \Rightarrow R_T = \frac{0.014918}{4} = 0.003729 \Omega$$

$$X = 0.00482 \left[\frac{\Omega}{100'} \right] \left[\frac{100'}{30.5m} \right] (65m) = \frac{(0.00482)(65)\Omega}{30.5} = 0.0102721 \Omega \Rightarrow X_T = \frac{0.0102721}{4} = 0.002568$$

$$Z = \sqrt{(0.003729)^2 + (0.002568)^2} = \sqrt{0.0000204} = 0.00451663 \Omega$$

b) Circuito CF -TDB1 - 01: 3 - 300 MCM, 600 V.

$$R = 0.00520 \frac{\Omega}{100'}$$

$$X = 0.00474 \frac{\Omega}{100'}$$

L = 37 m.

$$R = \frac{(0.00520)(37)\Omega}{30.5} = 0.006308 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00474)(37)\Omega}{30.5} = 0.00575 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.006308)^2 + (0.00575)^2} = \sqrt{0.0000727} = 0.00852642 \Omega$$

c) Circuito CF -TDB1 - 02: 3 - 2 AWG, 600 V.

$$R = 0.0203 \frac{\Omega}{100'}$$

$$X = 0.00513 \frac{\Omega}{100'}$$

L = 23 m.

$$R = \frac{(0.0203)(23)\Omega}{30.5} = 0.015308 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00513)(23)\Omega}{30.5} = 0.003868 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.015308)^2 + (0.003868)^2} = \sqrt{0.0002492} = 0.01578606 \Omega$$

d) Circuito CF -TDB1 - 03: 3 - 2 AWG, 600 V.

$$R = 0.0203 \frac{\Omega}{100'}$$

$$X = 0.00513 \frac{\Omega}{100'}$$

L = 28 m.

$$R = \frac{(0.0203)(26)\Omega}{30.5} = 0.017305 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00513)(26)\Omega}{30.5} = 0.004373 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.017305)^2 + (0.004373)^2} = \sqrt{0.0003185} = 0.01784656 \Omega$$

e) Circuito CF -TDB1 - 04: 3 - 2 AWG, 600 V, L = 29 m.

$$R = \frac{(0.0203)(29)\Omega}{30.5} = 0.019301 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00513)(29)\Omega}{30.5} = 0.004877 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.019301)^2 + (0.004877)^2} = \sqrt{0.0003962} = 0.01990477 \Omega$$

f) Circuito CF -TDB1 - 05: 3 - 1/0 AWG, 600 V.

$$R = 0.0131 \frac{\Omega}{100'}$$

$$X = 0.00495 \frac{\Omega}{100'}$$

L = 10 m.

$$R = \frac{(0.0131)(10)\Omega}{30.5} = 0.00429 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00495)(10)\Omega}{30.5} = 0.0016229 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.00429)^2 + (0.0016229)^2} = \sqrt{0.000021} = 0.00458257 \Omega$$

g) Circuito CF -TDB1 - 06: 3 - $\frac{1}{0}$ AWG, 600 V, L = 11 m.

$$R = \frac{(0.0131)(11)\Omega}{30.5} = 0.0047245 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00495)(11)\Omega}{30.5} = 0.0017852 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.0047245)^2 + (0.0017852)^2} = \sqrt{0.0000254} = 0.00503984 \Omega$$

h) Circuito CF -TDB1 - 07: 3 - $\frac{1}{0}$ AWG, 600 V, L = 18 m.

$$R = \frac{(0.0131)(18)\Omega}{30.5} = 0.0068721 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00495)(18)\Omega}{30.5} = 0.00734166 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.0068721)^2 + (0.00734166)^2} = \sqrt{0.0000539} = 0.00734166 \Omega$$

i) Circuito CF -TDB1 - 08: 3 - 6 AWG, 600 V.

$$R = 0.0498 \frac{\Omega}{100'}$$

$$X = 0.00598 \frac{\Omega}{100'}$$

$$L = 50 \text{ m.}$$

$$R = \frac{(0.0498)(50)\Omega}{30.5} = 0.0816393 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00598)(50)\Omega}{30.5} = 0.0098032 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.0816393)^2 + (0.0098032)^2} = \sqrt{0.006761} = 0.0822 \Omega$$

j) Circuito CF -TDB1 - 09: 3 - 6 AWG, 600 V. L = 54 m.

$$R = \frac{(0.0498)(54)\Omega}{30.5} = 0.0881704 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00598)(54)\Omega}{30.5} = 0.0105875 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.0881704)^2 + (0.0105875)^2} = \sqrt{0.007886} = 0.0888 \Omega$$

k) Circuito CF -TDB1 - 10: 3 - 10 AWG, 600 V.

$$R = 0.1240 \Omega / 100'$$

$$X = 0.00687 \Omega / 100'$$

$$L = 14 \text{ m.}$$

$$R = \frac{(0.01240)(14)\Omega}{30.5} = 0.056918 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00687)(14)\Omega}{30.5} = 0.0031534 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.056918)^2 + (0.0031534)^2} = \sqrt{0.0032495} = 0.0570 \Omega$$

l) Circuito CF -TDB1 - 11: 3 - 500 MCM, 600 V.

$$R = 0.00359 \Omega / 100'$$

$$X = 0.00450 \Omega / 100'$$

$$L = 38 \text{ m.}$$

$$R = \frac{(0.00359)(36)\Omega}{30.5} = 0.004237 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00450)(36)\Omega}{30.5} = 0.005311 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.004237)^2 + (0.005311)^2} = \sqrt{0.0000461} = 0.00678969 \Omega$$

m) Circuito CF -TDB1 - 12: 3 - 500 MCM, 600 V, L = 28 m.

$$R = \frac{(0.00359)(28)\Omega}{30.5} = 0.003295 \Omega$$

$$X = \frac{(0.00450)(28)\Omega}{30.5} = 0.004131 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.003295)^2 + (0.004131)^2} = \sqrt{0.0000278} = 0.0052725 \Omega$$

n) Circuito CF -TDB1 - 13: 3 - 350 MCM, 800 V.

$$R = 0.0378 \Omega / 1000$$

$$X = 0.0491 \Omega / 1000$$

L = 7 m.

$$R = \frac{(0.0378)(7)\Omega}{30.5} = 0.0008675 \Omega$$

$$X = \frac{(0.0491)(7)\Omega}{30.5} = 0.0011268 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(0.0008675)^2 + (0.0011268)^2} = \sqrt{0.0000019} = 0.00137840 \Omega$$

VALORES EN POR UNIDAD (P.U.).**A) Acometida (Sistema de 23 KV).****Contribución de Compañía de Luz y Fuerza: 400 MVA.**

$$X\% = \frac{10}{400} = 0.025 \text{ P.U.}$$

B) Transformador Principal TR - 01: 1000 KVA, 23 KV - 440 V, Z = 5.75 %.

$$X\% = 0.0575 \left(\frac{10}{1} \right) = 0.575 \text{ P.U.}$$

C) Alimentador Principal CF - I1 - 01: 12 - 4/0 AWG (4/FASE).

$$X\% = \frac{0.00451663 \cdot X10}{(0.44)^2} = 0.2332954 \text{ P.U.}$$

D) Circuitos Derivados:**a) CF - TDB1 - 01: 3 - 300 MCM**

$$X\% = \frac{0.00852642 \cdot X10}{(0.44)^2} = 0.4404132 \text{ P.U.}$$

b) CF - TDB1 - 02: 3 - 2 AWG

$$X\% = \frac{0.002492 \cdot X10}{(0.44)^2} = 0.0128719 \text{ P.U.}$$

c) CF - TDB1 - 03: 3 - 2 AWG

$$X\% = \frac{0.001784656 \cdot X10}{(0.44)^2} = 0.9218233 \text{ P.U.}$$

d) CF - TDB1 - 04: 3 - 2 AWG

$$X\% = \frac{0.01990477 \cdot X10}{(0.44)^2} = 1.0281353 \text{ P.U.}$$

e) CF - TDB1 - 05: 3 - $\frac{1}{0}$ AWG

$$X\% = \frac{0.00458257 \times 10}{(0.44)^2} = 0.2366993 \text{ P.U.}$$

f) CF - TDB1 - 08: 3 - $\frac{1}{0}$ AWG

$$X\% = \frac{0.00503984 \times 10}{(0.44)^2} = 0.2603202 \text{ P.U.}$$

g) CF - TDB1 - 07: 3 - $\frac{1}{0}$ AWG

$$X\% = \frac{0.00734166 \times 10}{(0.44)^2} = 0.3792148 \text{ P.U.}$$

h) CF - TDB1 - 08: 3 - 6 AWG

$$X\% = \frac{0.0822 \times 10}{(0.44)^2} = 4.245867 \text{ P.U.}$$

i) CF - TDB1 - 09: 3 - 6 AWG

$$X\% = \frac{0.0888 \times 10}{(0.44)^2} = 4.586776 \text{ P.U.}$$

j) CF - TDB1 - 10: 3 - 10 AWG

$$X\% = \frac{0.0570 \times 10}{(0.44)^2} = 2.944214 \text{ P.U.}$$

k) CF - TDB1 - 11: 3 - 500 MCM

$$X\% = \frac{0.00678969 \times 10}{(0.44)^2} = 0.3507076 \text{ P.U.}$$

l) CF - TDB1 - 12: 3 - 500 MCM

$$X\% = \frac{0.0052725 \times 10}{(0.44)^2} = 0.2723398 \text{ P.U.}$$

m) CF - TDB1 - 13: 3 - 350 MCM

$$X\% = \frac{0.0013784 \cdot X10}{(0.44)^2} = 0.0711983 \text{ P.U.}$$

E) Agrupaciones Equivalentes de Motores

a) $M_1 = 180 \text{ KW}$, $X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.180} \right) = 13.888 \text{ P.U.}$$

b) $M_2 = 60 \text{ KW}$, $X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.060} \right) = 41.666 \text{ P.U.}$$

c) $M_3 = 60 \text{ KW}$, $X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.060} \right) = 41.666 \text{ P.U.}$$

d) $M_4 = 60 \text{ KW}$, $X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.060} \right) = 41.666 \text{ P.U.}$$

e) $M_5 = 95 \text{ KW}$, $X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.095} \right) = 26.3157 \text{ P.U.}$$

f) $M_6 = 95 \text{ KW}$, $X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.095} \right) = 26.3157 \text{ P.U.}$$

g) $M_7 = 95 \text{ KW}$, $X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.095} \right) = 26.3157 \text{ P.U.}$$

h) $M_8 = 35 \text{ KW}$, $X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.035} \right) = 71.42857 \text{ P.U.}$$

i) $M_9 = 35 \text{ KW, } X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.035} \right) = 71.42857 \text{ P.U.}$$

j) $M_{10} = 6 \text{ KW, } X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.006} \right) = 416.666 \text{ P.U.}$$

k) $M_{11} = 200 \text{ KW, } X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.200} \right) = 12.5 \text{ P.U.}$$

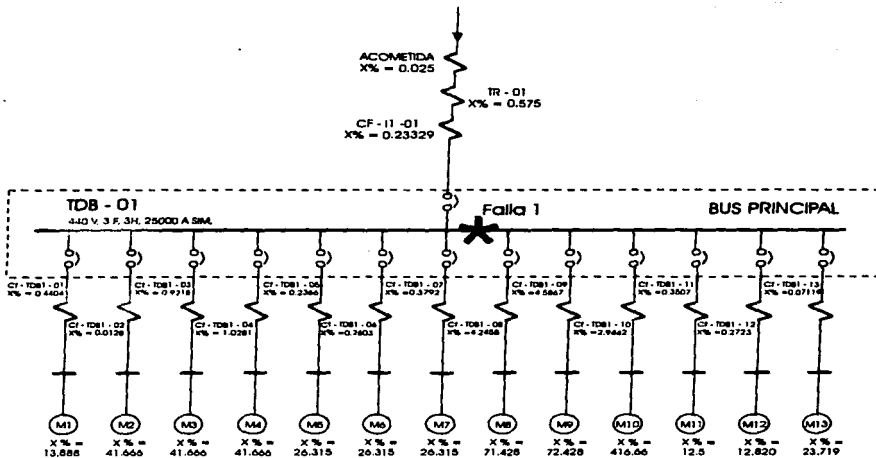
l) $M_{12} = 195 \text{ KW, } X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.195} \right) = 12.820512 \text{ P.U.}$$

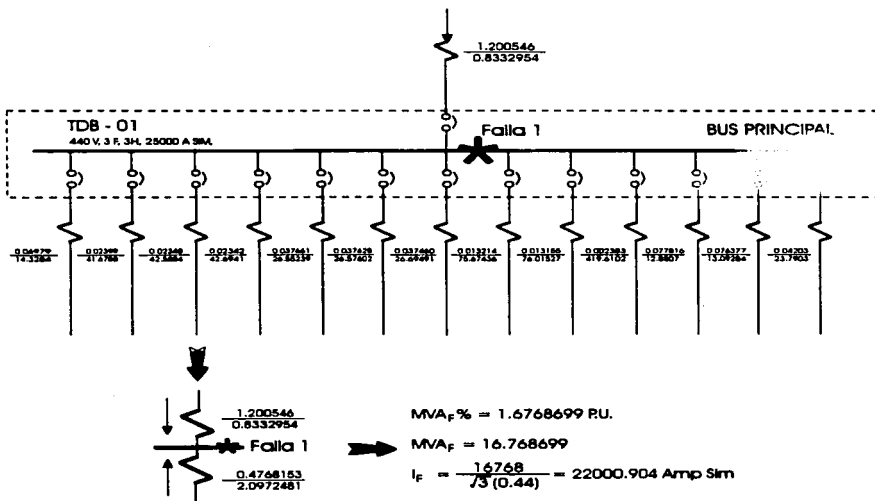
l) $M_{13} = 105.4 \text{ KW, } X^{\text{d}} 0 \text{ } 0.25$

$$X\% = 0.25 \left(\frac{10}{0.1054} \right) = 23.719165 \text{ P.U.}$$

DIAGRAMA DE REACTANCIAS



CALCULO DE FALLA F1



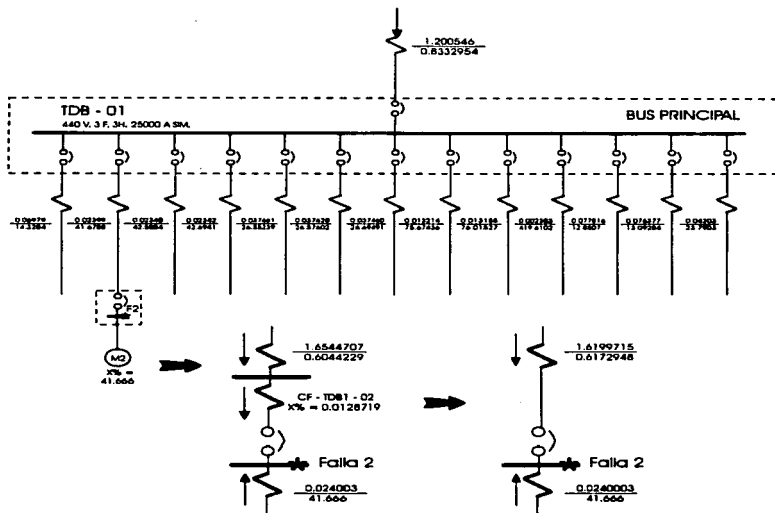
$$MVA_F \% = 1.6768699 \text{ RU.}$$

$$MVA_F = 16.768699$$

$$I_F = \frac{16768}{\sqrt{3} (0.44)} = 22000.904 \text{ Amp Sim}$$

CONCLUSION: Los interruptores de marco 100 Amp, deberan ser de alta capacidad interruptiva.

CALCULO DE FALLA F2



$$MVA_F \% = 1.6439718 \text{ PU.}$$

$$MVA_F = 16.439718$$

$$I_F = \frac{16439.718}{\sqrt{3} (0.44)} = 21572.8 \text{ Amp}$$

NOTA DEL CALCULO:

CF - TDB

CF = Circuito de Fuerza.

TDB = Tablero de Distribución para Interruptor Termomagnético.

CCM = Centro de Control de Motores.

AWG, MCM = Características del Calibre del Conductor.

ACLARACIONES TECNICAS

ACLARACIONES TECNICAS

Categorías de empleo

La finalidad de empleo y las condiciones a que se encuentran sometidos los interruptores para conectar motores y de contactores, pueden fijarse indicando la categoría de empleo en combinación con la intensidad de corriente nominal de servicio I_n y la tensión nominal de servicio U_n .

Categorías de empleo de interruptores para conectar motores según VDE 0660, parte 104/9, 1982 e IEC (CEI) 292-1/1989, y de contactores, según VDE 0660 parte 102 e IEC (CEI) 158/1970.

Categoría de empleo	Ejemplos de aplicaciones	Requisitos para comprobar la vida útil eléctrica		Desconexión I_c U _n /U _c cos φ bien L/R	Mandras % de la vida útil mecánica	Requisitos para la capacidad de conexión y desconexión en conformidad con la categoría de servicio		Ciclo de pruebas (número de conexiones y desconexiones prescritas) VDE 0660 / parte 102 IEC 158 / VDE 0660 parte 104 IEC 292					
		Conexión I_c U _n /U _c cos φ bien L/R	Desconexión I_c U _n /U _c cos φ bien L/R			Conexión I_c U _n /U _c cos φ bien L/R	Desconexión I_c U _n /U _c cos φ bien L/R						
Corriente alterna													
AC1	Cargas no inductivas o de baja inductancia, hornos de resistencias	1	1	0,95	1	1	0,95	20 s conexión (por separado) 25 s desconexión					
AC2	Motores de entos rozantes	2,5	1	0,65	1	0,4	0,65						
AC3	Motores con rotor de jaula												
AC4	Arranque, desconexión de motores durante la marcha							100 s conexión (separado con accionamiento manual) 25 s desconexión					
	VDE 0660, VDE 0660, parte 102 e parte 104 e IEC 158-1 IEC 292-1 I_c ≤ 100 A, I_n < 100 A I_c > 100 A, I_n ≤ 100 A	6	1	0,35 ^{a)}	1	0,17	0,35 ^{b)}		25%	10	1,1	0,35 ^{b)}	8
AC4	Marcha breve, frenado por contracorrientes, inversión del sentido de giro							100 s conexión (separado con accionamiento manual) 25 s desconexión					
	VDE 0660, VDE 0660, parte 102 e parte 104 e IEC 158-1 IEC 292-1 I_c ≤ 100 A, I_n > 100 A I_c > 100 A, I_n ≤ 100 A	6	1	0,35 ^{a)}	6	1	0,35 ^{b)}		25%	12	1,1	0,35 ^{b)}	10
Corriente continua													
DC1 ^{a)}	Cargas no inductivas o de baja inductancia, hornos de resistencias	1	1	1 ms	1	1	1 ms	20 s conexión, por separado 25 s desconexión					
DC2	Motores de excitación independientes	2,5	1	2 ms	1	0,1	7,5 ms						
DC3	Arranque y desconexión del motor durante la marcha	2,5	1	2 ms	2,5	1	2 ms						
DC4	Motores de excitación en serie	2,5	1	7,5 ms	1	0,3	10 ms						
DC5	Arranque y desconexión del motor durante la marcha	2,5	1	7,5 ms	2,5	1	7,5 ms						
DC5	Marcha breve, frenado por contracorrientes, inversión del sentido de giro	2,5	1	7,5 ms	2,5	1	7,5 ms						

ACLARACIONES TECNICAS














Símbolos Eléctricos empleados en Diagramas Eléctricos

Tabla comparativa































1. Tensión, corriente, frecuencia

Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Corriente directa		-	-	-
Corriente alterna		-	-	-
Corriente directa o alterna		-	-	-
Impulso rectangular positivo, negativo		-	-	-
Corriente monofásica alterna	1-16 2/3 Hz	-	1 PHASE-2 WIRE.** 16 2/3 CYCLE	o bien 1-16 2/3 c/s
Corriente trifásica alterna	3-60 Hz 440 V	-	3 PHASE-3 WIRE.** 60 CYCLE 440 V	-
Corriente trifásica con conductor neutro	3/N-60 Hz 440 V	-	3 PHASE-4 WIRE.** 60 CYCLE 440 V	3N-60 Hz 440 V o bien 3N-60 c/s 440 V
Corriente trifásica con conductor neutro con función protectora	3/PEN-60 Hz 440 V	-	3 PHASE-4 WIRE.** 50 CYCLE 440 V (with neutral)	3 PEN-60 Hz 440 V
Corriente trifásica con conductor neutro y conductor de protección	3/N/PE-60 Hz 440 V	-	3 PHASE-5 WIRE.** 50 CYCLE 440 V (with neutral and protection earth)	3NPE-60 Hz 440 V
Corriente directa, 2 conductores	2-220 V	-	2 WIRE DC, 220 V**	-
Corriente directa, con conductor neutro	2/M-220 V*	-	3 WIRE DC, 220 V**	2M-220 V*
*Según DIN 40108, 40705, 42400, IEC 445		**Símbolo no definido		

ACLARACIONES TECNICAS

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
2. Símbolos gráficos para tipos de circuitos de devanados				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Un devanado		-	-	-
Tres devanados separados	 o bien	-	-	-
Devanado trifásico conexión en delta		-	-	-
Devanado trifásico conexión en estrella		-	-	-
3. Conductores, uniones				
Conductor general		-	-	-
Cable con denominación del número de conductores		-	-	-
Conductor de protección (PE) o conductor neutro con función de protección (PEN)		-		
Unión conductiva de conductores		-		
Regleta de terminales de conexión en fila		-	-	-

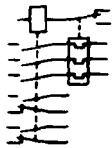
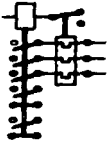
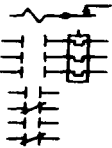
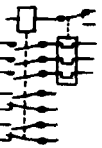
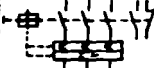
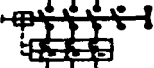








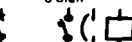
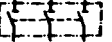





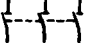
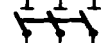
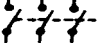







ACLARACIONES TÉCNICAS

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
4. Elementos generales de circuitos				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Resistencia		-	o bien 	= o bien 
con derivaciones		-	-	-
Bobinado, inductividad		-		o bien 
con derivaciones		-		= o bien  o bien 
Condensador, capacidad		-		= o bien 
con derivaciones		-	-	-
Condensador, polarizado		-	-	-
Condensador de electrolito, polarizado		-		= o bien 
Acumulador, batería (línea larga = polo positivo)		-	-	-
Tierra		-	-	-
5. Aparatos de maniobra				
Botón de contacto momentáneo				-
manual				-
de pie				-

ACLARACIONES TÉCNICAS

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Contacto de cierre				
Contacto de apertura				
Contacto de conmutación				
Contacto de conmutación sin interrupción				
Elemento de conmutación de retardo				
Contacto de cierre, retardado al cierre				
Contacto de apertura, retardado				
Contacto de cierre, abre retardado				
Contacto de apertura, cierre retardado				

ACLARACIONES TÉCNICAS

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Contactor con relevador bimetalico				o bien  (o cont. análogos)
Interruptor tripolar con mecanismo de embrague con relevador bimetalico y disparador de acción instantánea				
Seccionador de potencia			-	
Interruptor Interruptor de potencia			o bien 	o bien 
Seccionador tripolar bajo carga			-	
Seccionador de fusibles tripolar				-
Seccionador tripolar				
Fusible	 Red	 Red	o bien 	-
Dispositivo de enchufe		-		o bien 

ACLARACIONES TÉCNICAS

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos

Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1989	ANSI	IEC
Accionamiento por levas				
Interruptor de flujo para apertura				
Interruptor de presión y vacío para apertura				-
Interruptor termostático para cierre				-
Interruptor de flotador para cierre				-
Elevado: baja velocidad de flujo	$V > / v <$	-	$V \downarrow / v \uparrow$	-
Elevada: baja presión	$P > / p <$	-	$P \downarrow / p \uparrow$	-
Elevada: baja temperatura	$T > / t <$	-	$T \downarrow / t \uparrow$	-
Elevado: bajo nivel líquido	$Q > / q <$	-	$L \downarrow / l \uparrow$	-
Elevada: baja velocidad	$n > / n <$	-	$SP \downarrow / SP \uparrow$	-
Ejemplo interruptor de apertura instantánea por sobrevelocidad			$> \neq SP \downarrow$	-
interruptor de cierre instantáneo por baja temperatura			$> \neq T \downarrow$	-
Accionamiento por embolo				-
Accionamiento por fuerza				-
Accionamiento por motor		-		-

ACLARACIONES TECNICAS

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos		DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Sistema de accionamiento. Bobina en general. Se regresa al reposo al cesar la fuerza de accionamiento.		.	.	- o bien o bien	-
Relevadores con 2 bobinados de igual sentido	 representación elegible o bien o bien	.	.		- o bien
Midiendo, con indicación de magnitud a medir, p. ej., tensión mínima.		.	.	- o bien o bien	-
Retardos p. accionamientos electromecánicos.		.	.	- o bien o bien	- o bien
Abertura retardado magnético.		.	.	- o bien o bien	- (muy retardado)
Relevadores de cierre retardado		.	.	- o bien o bien	-
Abertura y cierre retardado.		.	.	- o bien o bien	-
Relevadores polarizado.			.	- o bien o bien	- o bien o bien
Relevadores de remanencia.			.	-	- o bien o bien

ACLARACIONES TÉCNICAS

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
E.- Transformadores, reactancia, transformadores de medición				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1989	ANSI	IEC
Transformador con 2 devanados separados		-		 o bien =
Transformador con 3 devanados separados.		-		 o bien =
Autotransformador		-		 o bien =
Bobina de reactancia		-		 o bien =
Transformador de corriente	 o bien	-		 o bien =
Transformador de tensión (... de potencial)	 o bien	-		 o bien =

ACLARACIONES TECNICAS

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos










7.- M6quinas

Denominación	DIN Edici6n 1980	DIN Edici6n 1989	ANSI	IEC
Motor trif6sico con rotor de anillos rozantes				
Motor trif6sico con rotor de jaula de ardilla				
Motor trif6sico con rotor de jaula con seis terminales de bobinas.				
			M 6 MOT G 6 GEN	

8.- Aparatos de Se6nalizaci6n

Bocina				
Timbre				.
Sirena				.
Zumbador		.		
L6mpara avisadora		.		.
Indicador de se6nal		.	-	.

ACLARACIONES TÉCNICAS

Tabla comparativa de Símbolos Eléctricos				
9.- Aparatos de medición				
Denominación	DIN Edición 1980	DIN Edición 1969	ANSI	IEC
Ampermetro		-	-	-
Voltmetro		-	-	-
Voltmetro doble			-	
Contador de corriente alterna, monofásica, modelo 1.				

NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DEL CME.

Debido a la peligrosidad de la corriente eléctrica, (ya que de 0.7 a 1 mA provoca percepción y movimientos involuntarios en la personas y a los 116 mA provoca la muerte) es necesario prevenir las disposiciones dentro del manejo. Será necesario aplicar las técnicas del control en motores eléctricos por personal calificado que se entienda como personas familiarizadas con la instalación , el montaje , puesta en marcha y funcionamiento del sistema que disponga de las siguientes calificaciones para ejercer actividades laborales:

- (a) Formación profesional , instrucción , autorización para conectar y desconectar , poner a tierra , clasificar circuitos , aparatos de acuerdo a los estándares de la técnica de seguridad por personas profesionales.
- (b) Formación profesional o instrucción de acuerdo con los estándares de seguridad en cuanto al cuidado y uso de equipos adecuados.
- (c) Curso de formación de primeros auxilios.

Tomar en consideración importantes reglamentaciones de seguridad dentro de la higiene industrial.

PELIGRO.- Quiere decir que se producirá muerte , grave lesión corporal o daño material considerable si no se toman las respectivas medidas de precaución.

PRECAUCIÓN.- Quiere decir que puede producirse muerte de una lesión corporal grave o daño material considerable si no se toman las respectivas medidas de precaución.

CUIDADO.- Quiere decir que puede producirse una lesión corporal ligera o daño material si no se toman las respectivas medidas de precaución.

REQUISITOS TÉCNICOS DE CARÁCTER GENERAL (APLICACIONES DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM.). DEFINICIONES GENERALES DE LA MISMA.

BREVIARIO.

A PRUEBA DE. En general, se aplica al equipo (o instalación) diseñado o construido de tal modo que su buen funcionamiento no es afectado por la presencia del agente externo contra el cual se considera protegido y que debe mencionarse en cada caso. Esta definición se aplica, por ejemplo, a los términos: "a prueba de agua", "a prueba de intemperie", "a prueba de lluvia", "a prueba de polvo", etc.

Al fijar requisitos para el equipo a "prueba de intemperie", debe considerarse que las condiciones de la presencia de nieve, hielo, polvo o temperatura externas.

ABIERTO (aplicado a equipo eléctrico). Se dice de una máquina, aparato o dispositivos, contruidos sin protección especial de sus partes sometidas a potencial o en movimiento.

ACCESORIO. Elemento complementario o auxiliar en una instalación o en un equipo.

ACCESIBLE (APLICADO A CANALIZACIONES). Que se puede ver o retirar sin dañar partes de la construcción o su acabado, o que no está permanentemente encerrada por la construcción o cubierta por el acabado.

ACCESIBLE (APLICADO A EQUIPO). Que permite la aproximación de personas, porque no está guardado por puertas cerradas o no está elevado o resguardado por otros medios.

ACOMETIDA (AÉREA O SUBTERRÁNEA). Los conductores que ligan la red de distribución, del sistema de suministro, con el punto en que se conecta el servicio a la instalación de un usuario. Se le llama también línea de servicio.

AJUSTE (DE UN INTERRUPTOR AUTOMÁTICO). Valor de la corriente que determina su disparo.

ALIMENTADOR. Véase "circuito alimentador"

ALTA TENSION. Véase artículo 102.16

APAGADOR. Interruptor pequeño, de acción rápida, operación manual y baja capacidad, que generalmente se usa para el control de aparatos pequeños domésticos y comerciales y unidades pequeñas de alumbrado.

APARTARRAYOS. Aparato o dispositivo que se emplea para proteger al equipo conectado a un circuito eléctrico, contra el efecto de ondas de sobretensión que se producen, tanto por descargas atmosférica, directas o cercanas a circuitos aéreos, como por la operación de interruptores o por otras causas de disturbios en el propio circuito.

ÁREA PELIGROSA (O LOCAL PELIGRO). Véase "lugar peligro"

AUTOMÁTICO. Que actúa por sí mismo cuando es afectado por una acción no personal ya sea por una variación de intensidad de corriente, presión, temperatura, etc.

BAJA TENSIÓN. Véase artículo 102.16

CABLE (APLICADO A LA FORMA DE CONSTRUCCIÓN DE UN CONDUCTOR). Conductor formado por varios filamentos torcidos, con lo cual se obtiene un conductor más flexible que el alambre (conductor sólido) de sección equivalente.

CABLE AISLADO. Conductor (generalmente formado por filamentos) o grupo de conductores, provisto cada uno de su propio aislamiento y envuelto el conjunto por una capa aislante y por una cubierta exterior protectora.

CANALIZACIÓN. El medio o los medios que se usan para alojar a los conductores de una instalación eléctrica y que son diseñados, construidos y utilizados solamente para tal fin. Las canalizaciones pueden ser de metal o de cualquier otro material aprobado.

CARGA ELÉCTRICA. Potencia que demanda en un momento dado, un aparato o máquina o un conjunto de aparatos de utilización conectados a un circuito eléctrico (La carga puede variar en el tiempo, dependiendo del tipo de servicio).

CARGA CONECTADA. La suma de las potencias nominales de las máquinas y aparatos que consumen energía eléctrica, conectados a un circuito o a un sistema.

CARGA CONTINUA. Carga cuya corriente máxima se espera que se conserve durante 3 horas o más.

CASA HABITACIÓN. Esta designación se aplica a cualquier tipo de local destinado a la habitación de personas, ya sea que se trate de una construcción para una sola familia (casa sola) o de una construcción multifamiliar (edificio de departamentos), de cualquier tamaño.

CERRADO (APLICADO A EQUIPOS). Se dice de una máquina o aparato construido con protección especial de sus partes sometidas a un circuito o un sistema.

CIRCUITO ALIMENTADOR. Es el conjunto de los conductores y demás elementos de un circuito, en una instalación de utilización, que se encuentra entre el medio principal de desconexión de la instalación y los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los circuitos derivados.

CIRCUITO DERIVADO. En una instalación de utilización, es el conjunto de los conductores y demás elementos de cada uno de los circuitos que se extiende desde los últimos dispositivos de protección contra sobrecorriente en donde termina el circuito alimentador, hasta las salidas de las cargas. Los dispositivos de protección contra sobrecarga de motores tales como relevadores térmicos y otros dispositivos semejantes. No deben considerarse como los últimos dispositivos de protección contra sobrecorriente a que se refiere el párrafo anterior.

CIRCUITO DERIVADO INDIVIDUAL. Es un circuito derivado que alimenta a un sólo equipo de utilización, como un motor o un aparato que, por su tamaño, requiere alimentación individual.

CIRCUITO DERIVADO MULTIFILAR. El compuesto de dos o más conductores activos con una diferencia de potencial entre sí y de un conductor más que éste puesto a tierra y que tenga la misma diferencia de potencial con respecto a cada uno de los conductores activos.

CONDUCTOR ACTIVO. Conductor de un circuito que normalmente tiene una diferencia de portadoras de corriente. (Se le llama también conductor de conexión a tierra).

CONDUCTOR PUESTO A TIERRA. Un conductor de un circuito o sistema que intencionalmente se conecta a tierra, como en el caso del conductor neutro de un sistema puesto a tierra (se le llama también conductor conectado a tierra).

CONTACTO COMO DISPOSITIVO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS. Dispositivo formado por un receptáculo (no del tipo de casquillo roscado), previsto como salida de una instalación eléctrica y que se usa para recibir las clavijas de cordones o cables flexibles de aparatos que están alimentados por este medio.

CONTROLADOR. Dispositivo o grupo de dispositivos que sirven para gobernar, en alguna forma predeterminado la potencia eléctrica suministrada a los equipos, los cuales están conectados.

DESCONECTADOR. Dispositivo destinado a abrir o cerrar en aire un circuito, solamente después de que se ha desconectado la carga por algún otro medio, pero que puede tener potencial aplicado en el momento de su operación.

ELECTRODO DE TIERRA. Una o más partes conductoras (generalmente varillas, tubo o placas), enterradas en el suelo, con el propósito de hacer contacto eléctrico firme con la masa general de la tierra en el lugar.

EQUIPO DEL SERVICIO. Es el conjunto de aparatos, propiedad del organismo suministrador o bajo su cuidado, necesarios para el adecuado suministro del servicio, tal como equipo de mediación, transformadores de instrumento y gabinetes que los contienen, cuchillas auxiliares, etc. que se encuentran instalados en el extremo de la acometida más próximo al servicio.

EQUIPO DE UTILIZACIÓN. Equipo que consume energía eléctrica para usos mecánicos, químicos, caloríficos, luminosos, etc. en el texto de la presente norma, se aplica en general, a equipo eléctrico que forma parte de la instalación de un consumidor o que se puede conectar a ésta.

EQUIPO ELÉCTRICO. Término general que comprende aparatos, máquinas, dispositivos, etc. que se usan en instalaciones eléctricas, para generación, conversión, transformación o utilización de energía eléctrica, incluyendo instrumentos de medición, dispositivos de protección y aparatos accesorios.

FÁCILMENTE ACCESIBLE. Que se pueda alcanzar con facilidad y rapidez para su operación, inspección o mantenimiento, sin necesidad de quitar obstáculos, o hacer uso de escalerillas, banquillos, etc.

HERMÉTICO A (Aplicado a equipo eléctrico). Construido de tal modo que el agente externo de que se trata (y que en cada caso debe mencionarse) no puede penetrar a la caja que protege al equipo. Instalación eléctrica. Cualquier combinación de equipo eléctrico que se encuentra interconectado, incluyendo los conductores y demás elementos de interconexión y accesorios, dentro de un espacio o localización determinados.

INSTALACIÓN OCULTA. La que tiene canalización embutida en muros, techos, pisos, etc. o dentro de estos, en forma que no sea visible. Instalación visible instalación en línea abierta o en canalización colocada en forma que sea visible.

INTERRUPTOR. Dispositivo que puede abrir un circuito eléctrico, cuando circula corriente, con un valor hasta el de la capacidad del mismo dispositivo, sin sufrir daño alguno.

INTERRUPTOR AUTOMÁTICO. Interruptor que abre automáticamente por una sobrecorriente en el circuito, incluyendo condiciones de cortocircuito en el mismo, dispositivo, sin sufrir daño alguno.

INTERRUPTOR DE FUGA A TIERRA. Dispositivo cuya función es interrumpir el circuito cuando una corriente de falla a tierra excede determinado valor, que es apreciablemente menor que el requerido para que opere el dispositivo de protección

contra sobrecorriente del propio circuito. El objeto primordial del uso de este tipo de circuitos o equipo defectuosos.

LÍNEA ABIERTA. La que forma un conductor o forman varios conductores, colocados paralelamente y separados entre sí, sin estar dentro de una canalización.

LÍNEA AÉREA. Es aquella que esta constituida por conductores desnudos o aislados, tendidos en el exterior de edificios o en espacios abiertos y que están soportados por estructuras o postes, con los accesorios necesarios para la fijación, separación y aislamiento de los mismos conductores.

LÍNEA SUBTERRÁNEA. Es aquella que esta constituida por uno o varios cables aislados que forman parte de un circuito eléctrico o de comunicación colocados bajo el nivel del suelo, ya sea directamente enterrados, en ductos o con cualquier otro medio de protección mecánica.

LUGAR DE CONDICIONES CORROSIVAS. Se incluyen es esta designación los lugares húmedos o mojados, lugares situados en zonas costeras (hasta aproximadamente 50 kilómetros) los lugares donde existen gases, vapores o polvos de productos químicos, ácidos o alcalinos y lugares similares.

LUGAR HÚMEDO. Lugar sujeto a un moderado grado de humedad por condensación, tal como algunos sótanos, graneros, depósitos refrigeradores y similares.

LUGAR MOJADO. Lugar donde pueden existir condiciones extremas de humedad, tales como los lugares expuestos a la intemperie, locales para lavado en garajes y lugares similares. Las instalaciones subterráneas en contacto directo con la tierra, se consideran como instalaciones en lugares mojados.

LUGAR PELIGROSO. Área o local en donde las instalaciones y el equipo eléctrico quedan expuestos a las condiciones de peligro que se originan por la existencia y concentración, en la atmósfera de los mismos lugares, de gases, vapores, líquidos volátiles, polvos o pelusas combustibles inflamables.

LUMINARIO Es un aparato que distribuye, filtra o controla la luz emitida por una o varias lámparas, el cual incluye todos los accesorios necesarios para la fijación, protección y funcionamiento de dichas lámparas.

MATERIALES ELÉCTRICOS. Componentes de una instalación eléctrica tales como conductores, canalizaciones , cajas de conexión y otros que individualmente no constituyen un equipo eléctrico.

MEDIO DE DESCONEXIÓN. Dispositivo o grupo de dispositivos por medio de los cuales los conductores de un circuito pueden desconectarse, a voluntad, de su fuente de suministro.

MOTOR COMPLETAMENTE CERRADO. El que, sin ser necesariamente hermético, está cubierto en forma de que se restrinja efectivamente el paso del aire del exterior al interior o viceversa.

PARARRAYOS DE EDIFICIOS (O DE ESTRUCTURA). Dispositivo de protección contra descargas atmosféricas, que constituye un medio de conducir a tierra las descargas que inciden directamente sobre los puntos más elevados de un edificio o de una estructura de cualquier tipo.

PARTES NO CONDUCTORAS EXPUESTAS. Partes metálicas externas de un equipo, que generalmente sirven para protegerlo o reforzarlo mecánicamente y que, por su situación, pueden ser tocadas por las personas.

PARTES VIVAS. Son aquellas que se encuentran conectadas a una fuente de potencial eléctrico o cargadas de electricidad en tal forma que tienen un potencial diferente al de tierra.

PERSONA AUTORIZADA. Es aquella persona idónea que cuenta con facultades especiales para intervenir en la operación y mantenimiento de una determinada instalación eléctrica.

PERSONA IDÓNEA. La familiarizada con la construcción y el funcionamiento de los aparatos e instalaciones eléctricas y con los peligros que entrañan.

PORTA LÁMPARAS. Es el accesorio que soporta directamente a una lámpara y que, al mismo tiempo, constituye el elemento de conexión a los conductores que la alimentan.

PUESTA A TIERRA (O CONEXIÓN A TIERRA). Acción y efecto de conectar a tierra efectivamente a ciertos elementos de un equipo o de un circuito, en la forma y por los métodos establecidos en esta norma.

SALIDA. En una instalación de utilización, caja de conexiones de la cual se toma la alimentación para una o varias cargas eléctricas determinadas, tales como las de luminario, motores, contactos, etc.

SERVICIO TIPO DE TRABAJO (DE UNA MÁQUINA O APARATO). Se refiere a los regímenes de carga a los cuales está sometida una máquina o aparato con su duración respectiva y su orden de sucesión en el tiempo.

SISTEMA DE TIERRA. Conjunto de conductores, electrodos accesorio, etc. que, interconectados eficazmente entre sí, tienen por objeto conectar a tierra las cubiertas y otras partes metálicas de los equipos eléctricos, así como aquellos elementos de los circuitos que lo requieran.

SOBRECARGA. Condición de operación de un equipo en la que se demanda una potencia en exceso de la nominal, o de un conductor por el cual circula una corriente en exceso de su valor permisible, cuando dicha condición persiste durante suficiente tiempo para causar daños o sobrecalentamientos perjudiciales una sobrecarga no incluye condiciones de cortocircuito o fallas a tierra.

SOBRECORRIENTE (APLICADO A UN EQUIPO O A UN CONDUCTOR). Cualquier valor de corriente que exceda a la corriente nominal de un equipo o a la corriente permisible en un conductor, según el caso puede resultar de una sobrecarga de un cortocircuito o de una falla a tierra.

SUBESTACIÓN DE USUARIO. La subestación que es propiedad de un usuario del servicio eléctrico y cuya función en el caso general es modificar la tensión de alimentación del servicio en la forma en que se requiere para la distribución interior o para la utilización de la energía.

TABLERO DE PARED. Un gabinete metálico que incluye principalmente barras, interruptores y otros dispositivos de protección contra sobrecorriente. Empleado para la distribución de circuitos con cargas relativamente pequeñas de alumbrado, fuerza, calefacción, etc. y diseñando para sobreponerse o embutirse en paredes o estructuras y con acceso únicamente por el frente.

TABLERO DE PISO. Gabinete metálico con una estructura que lo soporta colocada sobre el piso y el cual puede estar formado por una o varias secciones ensambladas incluye generalmente barras, interruptores y otros dispositivos de protección, así como aparatos de medición y control este tablero generalmente tiene acceso por el frente y por atrás.

TENSIÓN NOMINAL (DE UN CIRCUITO O SISTEMA). Valor que se asigna a un circuito o a un sistema para designar convenientemente su clase de tensión; tensión real a la cual opera un circuito puede variar, con respecto al valor nominal, dentro de ciertos límites que corresponden a la operación satisfactoria del equipo.

USUARIO. Cualquier persona, física o moral, a quien el organismo suministrador proporciona servicio eléctrico (se le llama también "consumidor"). Cuando se especifica que un equipo está "a la vista de " otro, significa que ese equipo está ubicado a una distancia no mayor de 15 metros y visible desde el otro.

SERVICIO CONTINUO. Tipo de servicio que exige el funcionamiento del motor con una carga substancialmente constante por un tiempo largo indefinido.

SERVICIO DE CORTO TIEMPO. Tipo de servicio que exige el funcionamiento de una carga substancialmente constante por un tiempo corto definido.

SERVICIO INTERMITENTE. Tipo de servicio que exige el funcionamiento de una periodos alternados: 1) con carga y sin carga 2) con carga y desconectado, o 3) con carga, sin carga y desconectado.

SERVICIO VARIABLE. Tipo de servicio que se caracteriza porque tanto la carga como los intervalos de su duración pueden estar sujetos a variaciones considerables.

INTENSIFICACIÓN DE MOTORES:

MOTORES DE USO NORMAL. Los motores deben estar provistos de placa de datos con la información siguiente como mínimo:

- a) Marca o nombre del fabricante
- b) Tensión nominal en volts y corriente a plena carga en amperes.
- c) Frecuencia y números de fases, en motores de corriente alterna, así como el tipo de conexión.
- d) Velocidad a plena carga.
- e) Elevación nominal de temperatura (en °c) o clase de aislamiento y temperatura ambiente de referencia.
- f) Régimen de trabajo (referido al tiempo durante el cual el motor puede funcionar a plena carga sin alcanzar su límite de temperatura). Este régimen puede ser de 5, 15, 30, o 60 minutos "continuo".
- g) Potencial nominal (En C.P. o en KW) para motores de 1/8 de C.P. y mayores.
Excepción. En motores de soldadoras de arco, la capacidad nominal debe indicarse en amperes y puede omitirse su valor en caballos de potencia .
- h) Tensión y corriente a plena carga, secundarias, si se trata de un motor de inducción con rotor devanado.
- i) Tensión y corriente del campo en el caso de motores síncronos.
- j) Tipo del devanado (paralelo, compuesto o serie) en motores de corriente directa .

Un motor de varias velocidades debe tener marcadas la corriente y la potencia para cada velocidad, excepto en el caso de motores de polos sombreados o con capacitor dividido fijo que requieren la indicación de la corriente y la potencia sola para la máxima velocidad. un motor que lleve incorporado un protector térmico debe tener indicación en este sentido.

USO DE LETRAS DE CLAVE: Se recomienda que en motores de corriente alterna de 1/2 C.P. o mayores se usen letras de clave que indiquen la potencia que toman los motores con el rotor bloqueado.

IDENTIFICACIÓN DE CONTROLADORES: Los controladores deben tener indicados la marca o el nombre del fabricante, la tensión y la corriente o la capacidad en caballos de potencia, así como otros datos que sean necesarios para indicar que motores son adecuados.

Una combinación de controlador-interruptor que incluya un interruptor automático del tipo de disparo instantáneos debe tener indicación clara de los ajustes, en amperes que tenga el elemento ajustable de disparo.

Cuando un controlador este construido como parte integrante de un motor o de un grupo motor-generador, el controlador no necesita estar marcado separadamente, siempre que los datos necesarios aparezcan en la placa del motor.

NOTA 1. Los motores de velocidades múltiples deben marcarse con la letra de clave que indique los KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado para la velocidad mas alta, excepto los motores de potencia constante, los cuales deben marcarse con la letra de clave que de el mayor número de KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado.

NOTA 2. Los motores de una sola velocidad que arranquen en estrella y trabajen en marcha normal en delta, deben identificarse con la letra de clave correspondiente a los KVA por caballo de potencia con rotor de bloqueado en la conexión estrella.

NOTA 3. Los motores de dos tensiones, deben que tengan distintos KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado en las dos tensiones, deben identificarse con la letra de clave para la tensión que de el mayor número de KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado.

NOTA 4. Los motores con alimentación para 50 y 60 hertz deben identificarse con la letra de clave que designe los KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado a 60 hertz.

NOTA 5. Los motores que arranquen con una parte del devanado, deben marcarse con la letra de clave que designe los KVA por caballo de potencia con rotor bloqueado correspondientes a todo el devanado del motor.

IDENTIFICACIÓN DE TERMINALES.

Las terminales de los motores y controladores deben identificarse, en alguna forma adecuada, cuando esto sea necesario para indicar las conexiones correctas.

ESPACIO PARA ALUMBRADO EN CUBIERTAS.

Las cubiertas de los controladores y dispositivos de desconexión de motores no deben utilizarse como cajas de conexiones, como ductos auxiliares para

conexiones o como canalizaciones para conductores que alimenten a otros aparatos, a menos que dichas cubiertas estén diseñadas de manera que provean espacio adecuado para este propósito.

PROTECCIÓN CONTRA LÍQUIDOS:

Cuando se instalen motores debajo de equipo u otros lugares donde pueda caer o salpicar aceite, agua u otro líquido perjudicial, deben colocarse resguardos o cubiertas adecuadas para proteger las partes vivas expuestas de los motores y el aislamiento de sus conexiones, a menos que dichos motores estén diseñados para las condiciones existentes.

UBICACIÓN DE LOS MOTORES.

Los motores deben ubicarse de manera que tengan una ventilación adecuada y que el mantenimiento, tal como la lubricación de chumaceras y el cambio de escobillas, pueda hacerse fácilmente.

Los motores abiertos que tengan conmutador o anillos colectores deben estar ubicados o protegidos de manera que las chispas no puedan alcanzar a los materiales combustibles adyacentes. Esto no prohíbe la instalación de dichos motores sobre pisos o soportes de madera que ofrezcan suficiente seguridad contra el riesgo de incendio por el chispeo.

SOBRECALENTAMIENTO POR ACUMULACIÓN DE POLVO.

En lugares donde el polvo pueda depositarse sobre el motor o dentro del mismo, en cantidades que perturben seriamente su ventilación o enfriamiento y puedan originar temperaturas peligrosas, deben emplearse motores cerrados del tipo adecuado para que no haya sobrecalentamiento en las condiciones existentes.

En condiciones especialmente severas puede requerirse el uso de motores cerrados y ventilados mediante tuberías, o ubicar los motores en locales separados que sean herméticos al polvo y estén debidamente ventilados por una fuente de aire limpio.

CONDUCTORES PARA CIRCUITOS DE MOTORES

CONDUCTORES QUE ALIMENTEN UN SOLO MOTOR.

Los conductores de un circuito derivado que alimente un solo motor deben tener una capacidad de conducción de corriente no menor que el 125 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

En el caso de un motor de velocidades múltiples, la selección de los conductores ubicados en el lado de la placa de datos del motor, la selección de los conductores que se encuentran entre el controlador y el motor debe hacerse en base a la corriente nominal que corresponda a la velocidad de que se trate en cada caso.

Excepción . Los conductores para un motor que se preste un servicio del tipo de corto tiempo, intermitente, periodo o variable, deben calcularse en base a los porcentajes mínimos de corriente a plena carga establecidos en la tabla.

SECUNDARIO DE MOTOR CON ROTOR DEVANADO.

A) En un motor de corriente alterna con rotor devanado que sea de servicio continuo, los conductores que conecten al secundario del motor con su controlador deben tener una capacidad de conducción de corriente no menor que el 125 por ciento de la corriente a plena carga del secundario del motor.

B) Para un motor que no sea de servicio continuo, dichos conductores deben tener una capacidad de conducción de corriente no menor que la indicada en la tabla 403 14 en base a la corriente a plena carga del secundario del motor.

CONDUCTORES QUE ALIMENTAN A VARIOS MOTORES:

Como mínimo, los conductores que alimenta a dos o más motores deben tener una capacidad igual a suma del valor nominal de la corriente a plena carga de todos los motores, más el 25 por ciento de a corriente del motor mas grande del grupo.

Cuando uno o más motores del grupo se utilicen con servicio de corto tiempo, intermitente, periódico o variable, la capacidad de los conductores puede calcularse como sigue:

A) Se determina la capacidad de conducción de corriente requerida para cada motor utilizado en tipo de servicio no continuo.

FACTORES PARA SELECCIONAR LOS CONDUCTORES PARA MOTORES QUE NO SEAN DE SERVICIO CONTINUO.

Cualquier aplicación de un motor se considera como de servicio continuo, a menos que la naturaleza de la máquina o aparato accionado sea tal que el motor no opere continuamente con carga bajo cualquier condición de uso.

B) Se determina la capacidad de conducción de corriente requerida para cada motor de servicio continuo, basándose en el 100 por ciento del valor normal de la corriente a plena carga del motor .

C) Se multiplica por 1.25 el valor de la mayor capacidad de corriente determinado según los incisos a) o b) Al valor resultante se le suma el resto de los valores de capacidad de corriente obtenidos según los mismos incisos a) y b), y se selecciona el conductor adecuado para esta capacidad de corriente total.

EXCEPCIÓN 1. En arreglos donde exista un bloqueo que impida el arranque y marcha simultáneos de un segundo motor o grupo de motores, el calibre del conductor queda determinado por el motor de mayor potencia o grupo de motores de mayor potencia que debe trabajar en cierto momento.

EXCEPCIÓN 2. Cuando el calentamiento en los conductores se vea reducido debido al tipo de servicio que prestan los motores o debido a que no todos los motores operen al mismo tiempo, puede aplicarse un factor de demanda para seleccionar el calibre de los conductores alimentadores, en lugar de aplicar el procedimiento indicado en este artículo, siempre que la capacidad de corriente de los mismos conductores sea suficiente para la demanda máxima que se tendrá en ellos.

CONDUCTORES QUE ALIMENTEN CARGAS COMBINADAS.

Los conductores que alimenten motores en combinación con cargas de alumbrado y aparatos deben tener una capacidad de corriente suficiente para la carga de los motores, más la carga de alumbrado y aparatos.

DERIVACIÓN DESDE UN ALIMENTADOR.

Las derivaciones que se hagan desde un alimentador para abastecer motores deben tener una capacidad de corriente no menor que la requerida por la carga por alimentar, terminar en un solo dispositivo de sobrecorriente y además cumplir alguno de los requisitos siguientes:

- a) No ser mayor de 3 metros de longitud.
- b) Tener una capacidad de corriente de por lo menos un tercio de la capacidad de corriente del alimentador cuando sea mayor de 3 metros pero no mayor de 10 metros de longitud.
- c) Tener la misma capacidad de corriente que el alimentador cuando sea mayor de 10 metros longitud.

CONDUCTORES PARA CAPACITORES COMBINADOS CON MOTORES.

La capacidad de corriente de los conductores que conecten un capacitor a las terminales de un motor o a los conductores del circuito derivado del motor, no debe ser menor que la tercera parte de la que tienen los conductores del mismo circuito

derivado del motor y, en ningún caso, menor del 135 por ciento de la corriente nominal del capacitor.

PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA EN EL MOTOR

Los requisitos que se refieren a los dispositivos de sobrecorriente destinados a proteger a los motores, a los aparatos de control de los motores y a los conductores de los circuitos derivados que los abastezcan, contra el calentamiento excesivo debido a sobrecargas en los mismos motores o fallas de arranque.

Una sobrecarga en un aparato eléctrico es una sobrecorriente de operación que, cuando dura un tiempo suficientemente prolongado, puede dañar o sobrecalentar peligrosamente el aparato. Esto no incluye cortocircuitos ni fallas a tierra, para cuya protección se aplican los requisitos de la subsección D de esta sección.

Puede omitirse la protección contra sobrecarga en aquellos casos en que la instalación de la misma implique peligros mayores que el riesgo de daño al propio aparato, como es el caso de bombas contra incendio.

MOTORES DE SERVICIO CONTINUO.

De más de un caballo de potencia cada motor de servicio continuo con capacidad mayor de un caballo de potencia debe protegerse contra la sobrecarga por alguno de los medios siguientes:

a) Un dispositivo de sobrecorriente separado que actúe por efecto de la corriente del motor la capacidad o el ajuste de este dispositivo no debe ser mayor del 125 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

En caso de que el dispositivo de sobrecorriente seleccionado de acuerdo con el criterio anterior, resulte insuficiente para el arranque del motor o no corresponda a un tamaño normalizado, puede utilizarse el tamaño inmediato superior, siempre que no sea mayor del 140 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

En el caso de un motor de varias velocidades, cada conexión del devanado debe considerarse separadamente.

b) Un protector térmico integrado al motor, aprobado para usarse con éste, que lo proteja contra sobrecalentamientos peligrosos ocasionados por sobrecargas.

c) De un caballo de potencia o menos, arrancados manualmente. Cada motor de servicio continuo de un caballo de potencia o menos, que se arranque manualmente y esté a la vista desde el punto donde se efectúa su arranque, puede considerarse protegido contra sobrecarga por el dispositivo de protección contra cortocircuitos o

fallas a tierra del circuito derivado. No debe ser mayor que la especificada en los artículos 403.35 y 403.36.

Un motor que no este a la vista desde el punto donde se efectúa su arranque debe protegerse en la forma indicada en el inciso a) de este mismo artículo en caso de que la impedancia de los devanados sea suficiente para prevenir un sobrecalentamiento debido a fallas en el arranque, el motor puede considerarse protegido como se indica en el párrafo anterior.

d) De un caballo de potencia o menos, arrancado automáticamente. Cada motor de servicio continuo de un caballo de potencia o menos, que se arranque automáticamente, debe protegerse contra sobrecarga en la misma forma que los motores de más de un caballo de potencia a que se refiere el inciso a) de este mismo artículo.

En caso de que la impedancia de los devanados del motor sea suficiente para prevenir un sobrecalentamiento debido a fallas en el arranque, el motor puede considerarse protegido por el dispositivo de protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado, como se indica en el inciso b) de este mismo artículo para un motor arrancado manualmente.

e) Secundarios de motores con rotor devanado los circuitos secundario de motores de corriente alterna con rotor devanado, incluyendo conductores, controladores, resistencias, etc. pueden considerarse protegidos por el dispositivo de sobrecarga del circuito primario del motor.

MOTORES DE SERVICIO NO CONTÍNUO.

Un motor que preste un tipo de servicio de corto tiempo, intermitente, periódico o variable puede considerarse protegido contra sobrecarga por el dispositivo de protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado siempre que este dispositivo tenga una capacidad o ajuste no mayor del especificado en el artículo capacidad.

Cualquier aplicación de un motor se considera como de servicio continuo, a menos que la naturaleza de la máquina o aparato accionado sea tal que el motor no opere continuamente con carga bajo cualquier condición de uso.

PUESTA EN DERIVACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE SOBRECARGA DURANTE EL ARRANQUE .

En el caso de un motor arrancado manualmente (incluyendo el arranque mediante un arrancador magnético con botón pulsador), la protección contra sobrecarga del motor puede ponerse en derivación o excluirse del circuito durante el período de arranque, siempre que el dispositivo que la ponga en derivación la

excluya no pueda dejarse en la posición de arranque y además que los fusibles o el interruptor automático de acción retardada del circuito derivado del motor tenga una capacidad o ajuste que no exceda del 400 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

La protección contra sobrecarga de un motor no debe ponerse en derivación o excluirse durante el periodo de arranque si el motor es arrancado automáticamente.

FUSIBLES CONDUCTORES EN LOS QUE SE INTERCALEN.

Cuando se usen fusibles para la protección contra sobrecarga de un motor, debe intercalarse un fusible en cada conductor activo.

DISPOSITIVOS QUE NO SEAN FUSIBLES.

Conductores en los que se intercalan cuando se usen dispositivos que no sean fusibles para protección contra sobrecarga de un motor, tales como bobinas de disparo, relevadores o dispositivos de tipo térmico. el número mínimo de unidades y su colocación deben estar de acuerdo con la tabla 2.

NUMERO DE CONDUCTORES DESCONECTADOS POR LOS DISPOSITIVOS DE SOBRECARGA.

Los dispositivos de sobrecarga de un motor, que no sean fusibles o protectores térmicos deben desconectarse simultáneamente un número suficiente de conductores activos para interrumpir el flujo de corriente al motor.

RELEVADORES Y OTROS DISPOSITIVOS DE SOBRECARGA NO ADECUADOS PARA CORTOCIRCUITO.

Los relevadores de sobrecarga y otros dispositivos de tipo térmico, para la protección de motores contra sobrecarga que no son capaces de abrir corriente de cortocircuito, deben protegerse por medio de fusibles, o interruptores automáticos cuya capacidad o ajuste este de acuerdo con el artículo 403.35 o bien con la capacidad que corresponda si dichos dispositivos de sobrecarga están aprobados para operación en grupo y tienen indicada la capacidad máxima del fusible o interruptor automático del tipo de tiempo inverso que debe protegerlos.

MOTORES CONECTADORES A CIRCUITOS DERIVADOS DE USO GENERAL.

Para la protección contra sobrecarga de motores conectados a circuitos derivados de uso general (o sea. que alimentan también lámparas y contactos).

a) De un caballo de potencia o menos, pueden conectarse a circuitos derivados de uso general uno o mas motores sin protección individual contra sobrecarga, si se cumple con las limitaciones especificadas.

b) De más de un caballo de potencia, los motores con capacidades nominales mayores inciso a) pueden conectarse a circuitos derivados de uso general solo cuando estén provistos de la protección individual contra sobrecarga que se especifica.

c) Conexión a través de clavija y contacto cuando se requiera la protección contra sobrecarga individual, de acuerdo con el inciso b) anterior, para un motor o aparato accionado por motor que se alimente a través de clavija y contacto, dicha protección debe ser de parte integral del motor o aparato.

d) Acción retardada el dispositivo de sobrecorriente que proteja a un circuito derivado, al cual se conecte un motor o aparato accionado por motor, debe ser de acción lo suficientemente retardada para permitir que el motor arranque y acelere con carga.

PROTECCIÓN DE CIRCUITOS DERIVADOS PARA MOTORES, CONTRA CORTOCIRCUITOS O FALLAS A TIERRA.

GENERAL.

Los requisitos que se aplican a los dispositivos de sobrecorriente destinados a proteger a los conductores de circuitos derivados para motores, a los aparatos de control de los motores y a los propios motores contra sobrecorrientes debidas a cortocircuitos o a tierras.

CAPACIDAD O AJUSTE DEL DISPOSITIVO PARA UN SOLO MOTOR.

El dispositivo de protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado para un solo motor, debe ser capaz de soportar la corriente de arranque, pero su capacidad o ajuste no debe exceder de los siguientes valores:

a) En el caso de fusibles sin retardo de tiempo o de interrupciones automáticos del tipo de tiempo inverso, su capacidad o ajuste no debe ser mayor del 400 por ciento de la corriente a plena carga siguientes valores:

b) En el caso de fusibles con retardo de tiempo de doble elemento, su capacidad no debe ser mayor de 225 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

c) En el caso de interruptores automáticos del tipo de disparo instantáneo sin retraso de tiempo su ajuste no debe ser mayor del 1300 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

Sólo puede usarse una unidad de disparo instantáneo cuando sea ajustable u cuando se use en una combinación aprobada de arrancador e interruptor que tenga protección contra sobrecarga y contra cortocircuito intercalada en cada conductor activo.

d) Para un motor con corriente a plena carga de 8 amperes o menos, el circuito derivado puede considerarse protegido por un dispositivo de sobrecorriente de 20 amperes o menos .

VARIOS MOTORES Y OTRAS CARGAS EN CIRCUITO DERIVADO.

Dos o más motores y otras cargas pueden conectarse en el mismo circuito derivado y quedar protegido contra cortocircuitos o fallas a tierra por el mismo dispositivo de sobrecorriente, si se cumplen las condiciones de cualquiera de los incisos a), b) o c) siguientes:

a) HASTA UN CABALLO DE POTENCIA: Dos o más motores cuya potencia individual no exceda de un caballo de potencia pueden conectarse a un circuito derivado protegido a no más de 20 amperes, siempre que cumplan las condiciones indicadas a continuación.

1) Que el valor nominal de la corriente a plena carga de cada motor no exceda de 6 amperes, y.

2) Que la protección individual contra sobrecarga de los motores:

b) PROTECCIÓN DEL CIRCUITO BASADA EN EL MOTOR DE MENOR POTENCIA: Si el dispositivo de protección del circuito derivado no es mayor de lo permitido para el motor de menor potencia, pueden conectarse a dicho circuito derivado dos o más motores, o varios motores y otras cargas, siempre que cada motor tenga su propia protección contra sobrecarga y siempre que se determine que dicho dispositivo protector del circuito derivado no abrirá en las condiciones de trabajo normales mas severas que puedan ocurrir.

c) OTROS CASOS DE VARIOS MOTORES Y CARGAS: Pueden conectarse a un circuito derivado dos o más motores de cualquier potencia nominal o motores y otras cargas, teniendo cada motor dispositivos individuales de protección contra sobrecarga, siempre que se cumplan todas las condiciones siguientes:

1) El circuito derivado debe estar protegido por fusibles o por un interruptor automático del tipo de tiempo inverso. la capacidad o ajuste de estos dispositivos no

deben exceder de lo especificado para el motor mas grande conectado al circuito derivado, mas las corrientes a plena carga de los demás motores así como las corrientes de otras.

2) El dispositivo de protección contra sobrecarga de cada motor debe estar aprobado para instalación en grupo con una capacidad máxima especificada de fusibles o interruptor automático.

3) El controlador de cada motor debe estar aprobado para instalación en grupo con una capacidad máxima especificada de fusibles o interruptor automático.

Para los arreglos antes descritos, los conductores de cualquier derivación que abastezca a un solo motor no necesitan tener protección individual, siempre que se cumpla con cualquiera de los requisitos siguientes:

1) Que la corriente permisible en los conductores de la derivación no sea menor que la de los conductores del circuito derivado, o

2) Que la longitud de los conductores de la derivación no exceda de 10 metros y la corriente permisible en los mismos no sea menor que la requerida para el motor ni menor que un tercio de la corriente permisible en los conductores del circuito derivado.

PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO Y CONTRA SOBRECARGA EN UN SÓLO DISPOSITIVO.

La protección contra cortocircuito o fallas a tierra del circuito derivado de un motor y la protección contra sobrecarga del mismo motor pueden combinarse en un sólo dispositivo de sobrecorriente, siempre que la capacidad o ajuste de este dispositivo proporcione contra sobrecarga específica.

DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO . CONDUCTORES EN LOS QUE SE INTERCALAN.

Deben conectarse en serie un dispositivo de protección contra cortocircuito o fallas a tierra en cada conductor activo.

TAMAÑO DE PORTAFUSIBLES Y CAPACIDAD DE INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS.

a) Cuando se usen fusibles para la protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado de un motor, el portafusibles para cada uno de ellos no debe ser de menor tamaño que el requerido para acomodar el fusible de que se trate.

b) Un interruptor automático usado para la protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado de un motor, debe tener una capacidad de corriente.

PROTECCIÓN DE CIRCUITOS ALIMENTADORES QUE ABASTECEN MOTORES, CONTRA CORTOCIRCUITOS O FALLAS A TIERRA .

GENERAL.

Los requisitos que se aplican a los dispositivos de sobrecorriente destinados a proteger a los conductores de circuitos alimentadores que abastecen motores, contra sobrecorriente debidas a cortocircuitos o a tierras.

CAPACIDAD O AJUSTE PARA CARGA DE MOTORES.

a) El dispositivo de sobrecorriente de un circuito alimentador que abastezca a varios circuitos derivados, debe tener una capacidad o ajuste que no exceda de la capacidad o ajuste del dispositivo de protección contra cortocircuito o fallas a tierra del circuito derivado correspondiente al motor de mayor potencia, más la suma de las corriente a plena carga de los motores de los demás circuitos derivados.

Cuando en un grupo de motores haya dos o más de la misma potencia que sean los mas grandes en el grupo, debe considerarse a uno sólo de ellos como el mayor para los cálculos anteriores.

Si la capacidad obtenida de acuerdo con los cálculos anteriores no corresponde a un dispositivo de sobrecorriente de capacidad normalizada, puede usarse el dispositivo de capacidad inmediata superior.

b) Cuando se instalen alimentadores que abastecen motores, previendo futuras adiciones de carga o cambios su protección contra sobrecorriente puede estar basada en la capacidad de corriente de los conductores de dichos alimentadores.

CAPACIDAD O AJUSTE PARA CARGAS DE MOTORES, ALUMBRADO Y APARATOS.

Si un alimentador abastece cargas de motores y a demás cargas, de alumbrado y/o aparatos, el dispositivo de protección contra sobrecorriente del alimentador debe tener una capacidad o ajuste que sea suficiente para suministrar la carga de alumbrado y/o aparatos, determinada la capacidad que corresponde a los motores según se trate de un sólo motor o de varios motores.

CIRCUITOS DE CONTROL DE MOTORES

GENERAL.

Los requisitos que se aplican a las condiciones particulares de los circuitos de control de motores y modifican a las disposiciones generales para la instalación de los mismos motores. Se entiende por circuito de control de un aparato o sistema, aquel que transmite las señales eléctricas que gobiernan el funcionamiento del controlador, pero que no conduce la corriente del circuito principal.

Excepción 1. Los conductores de circuito de control que se alojen dentro de la cubierta del equipo de control pueden considerarse protegidos por el dispositivo de protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado, siempre que la capacidad o ajuste de este dispositivo no sea mayor del 400 por ciento de la corriente permisible en los mismos conductores.

Excepción 2. Los conductores de control que se extiendan fuera de la cubierta del equipo de control pueden considerarse protegidos por el dispositivo de protección contra cortocircuitos o fallas a tierra del circuito derivado siempre que la capacidad o ajuste de este dispositivo no sea mayor del 300 por ciento de la corriente permisible en los mismos conductores.

Excepción 3. Cuando el circuito de control sea a través de un transformador, la protección de sobrecorriente debe estar de acuerdo con el inciso b) de este artículo.

Excepción 4. En el caso de motores de bombas contra incendio y casos similares en los que la apertura del circuito de control implica algún riesgo, los conductores de éste pueden considerarse protegidos por el dispositivo de protección contra cortocircuitos o fallas del circuito derivado.

b) Circuito de control con transformador cuando el circuito de control de motores sea a través de un transformador, se debe proveer un dispositivo de protección contra sobrecorriente en el circuito secundario este dispositivo debe tener una capacidad o ajuste que no exceda del 200 por ciento de la corriente permisible en los conductores del propio circuito de control.

Excepción 1. Puede omitirse la protección de sobrecorriente del circuito de control en el lado secundario del transformador, cuando la misma se logre satisfactoriamente en el lado primario.

Excepción 2. Cuando la protección de sobrecorriente pueda proporcionarse por otros medio aprobados.

Excepción 3. En el caso que señala la excepción 4 del inciso anterior.

Protección contra daño mecánico. Donde el daño mecánico a un circuito de control constituya un peligro los conductores de dicho circuito que están fuera del dispositivo de control deben alojarse dentro de una canalización, o bien protegerse contra daño mecánico en otra forma adecuada.

Quando un conductor del circuito de control esté puesto a tierra, el circuito debe disponerse de manera que una tierra accidental en el dispositivo de control remoto no origine el arranque del motor.

MEDIO DE DESCONEXIÓN.

Los circuitos de control deben disponerse en tal forma que se desconecten de toda fuente de abastecimiento cuando el medio de desconexión, este en posición de abierto, excepto cuando se use un interruptor separado para el circuito de control cuando se utilicen dos dispositivos de desconexión separados, uno para el motor y su controlador y el otro para el circuito de control, instalarse cerca uno del otro. Si se usa un transformador u otro dispositivo para obtener una tensión reducida para los circuitos de control, el transformador o dispositivo debe conectarse del lado de la carga de los medios de desconexión.

CONTROLADORES DE MOTORES

GENERAL.

- a) *Definición:* Para efectos de esta sección, el termino controlador incluye a cualquier interruptor o dispositivo que se use normalmente para arrancar y parar un motor.
- b) Motor fijo de 1/8 de C.P. o menos, para un motor fijo de 1/8 de C.P. o menos, que normalmente se deje en marcha y este construido de manera que no pueda ser dañado por sobrecargas o fallas en el arranque, tal como el motor de un reloj o similar puede servir como controlador el dispositivo de sobrecorriente del circuito derivado.
- c) Motor portátil de 1/3 de C.P. o menos, para un motor portátil de 1/3 de C.P. o menos, el controlador puede ser una clavija y contacto.

DISEÑO : Cada controlador debe ser capaz de arrancar y parar al motor que controlar y, en el caso de un motor de corriente alterna, debe poder interrumpir la corriente a rotor bloqueado.

CAPACIDAD: Los controladores de motores construidos especialmente para tal fin arrancadores deben tener una capacidad en KW o en C.P. no menor que la potencia nominal del motor que controlen.

CONDUCTORES QUE DEBE DESCONECTAR EL CONTROLADOR.

El controlador no necesita desconectar a todos los conductores conectados al motor, excepto en el caso que sirva también como medio de desconexión.

DESCONEXIÓN DEL CONDUCTOR PUESTO A TIERRA.

Se puede desconectar a un conductor puesto a tierra, siempre que el controlador este diseñado de manera que el polo del conductor puesto a tierra no pueda abrirse sin que se desconecten simultáneamente todos los conductores del circuito.

MOTORES QUE NO ESTÉN A LA VISTA DESDE EL CONTROLADOR.

Quando un motor y la máquina que accione no estén a la vista desde controlador, la instalación, para efectos de mantenimiento, debe cumplir con alguna de las condiciones siguientes:

- a) El medio de desconexión debe ser capaz de asegurarse en la posición de abierto.
- b) Un interruptor de operación manual que desconecte al motor de su fuente de alimentación debe instalarse de manera que esté a la vista desde el propio motor.

NUMERO DE MOTORES SERVIDOS POR CADA CONTROLADOR.

Cada motor debe estar provisto de un controlador individual.

EXCEPCIÓN: Un grupo de motores puede estar provisto de un solo controlador, con capacidad no menor que la suma de las potencias de todos los motores del grupo, en cualquiera de las condiciones siguientes:

- 1) Cuando un número de motores accionen diferentes partes de una misma máquina o aparatos, tal como una máquina para trabajar metales o madera, una grúa o aparato similar.
- 2) Cuando un grupo de motores esté protegido por un solo dispositivo de sobrecorriente.
- 3) Cuando un grupo de motores esté instalado en el mismo local y estén todos a la vista desde el controlador.

MOTORES DE VELOCIDAD AJUSTABLE:

Los motores de velocidad ajustables, controlados mediante un regulador de campo, deben estar equipados y conectados de manera que no puedan arrancar con el campo debilitado, a menos que el motor este diseñado para tal arranque.

LIMITACIÓN DE VELOCIDAD.

Las máquinas de los tipos siguientes deben estar provistas de dispositivos limitadores de velocidad, a menos que las características inherentes de las mismas, del sistema o de la carga, sean tales que limiten con seguridad la velocidad, o que las máquinas estén siempre bajo el cuidado de personal idóneo.

- a) Motores de corriente directa excitados separadamente.
- b) Motores de corriente directa con excitación en serie.
- c) Grupo motor, generador y convertidores que puedan ser impulsados a velocidad excesiva del lado de la corriente directa, como al ocurrir una disminución de la carga.

COMBINACIÓN DE INTERRUPTOR Y FUSIBLES COMO CONTROLADOR.

La capacidad de una combinación de interruptor y fusibles que se use como controlador, debe ser tal que el portafusibles admita el tamaño del fusible adecuado para la protección contra sobrecarga del motor.

REDUCCIÓN DE LA CORRIENTE DE ARRANQUE.

a) Servicio suministrados en baja tensión. Un motor con capacidad mayor de 10 C.P. debe estar provisto de un controlador que reduzca su corriente de arranque, tal como un controlador a tensión reducida o un controlador conectado al secundario del motor cuando este sea del tipo de rotor devanado.

EXCEPCIÓN 1. Los motores de mas de 10 C.P. que arranquen en vacío o con carga muy ligera, que sean del tipo de baja corriente de arranque, pueden arrancarse a tensión completa.

EXCEPCIÓN 2. En casos especiales, previo acuerdo entre el usuario y el suministrador, motores de mas de 10 C.P. pueden estar provistos de controladores a tensión completa.

b) Servicios suministrados en alta tensión en sistemas suministrados a través de subestaciones propiedad de los usuario, siendo éstas de capacidad suficiente y no habiendo objeción por parte del suministrador, puede prescindirse del uso de controladores a tensión reducida en motores de cualquier capacidad.

En caso de desacuerdo entre el usuario y el suministrador la instalación de los motores debe sujetarse a lo que sobre el particular resuelva la Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal.

MEDIOS DE DESCONEXIÓN.

GENERAL.

Esta subestación se refiere a los medios de desconexión que permiten desconectar manualmente a los motores y controladores del circuito alimentador.

TIPO.

El medio de desconexión debe ser un interruptor que sea capaz de abrirse la máxima corriente de sobrecarga del motor.

Esta condición se llena con un interruptor automático o un interruptor de tipo aprobado para usarse con motores el cual es designado normalmente por la potencia del motor en que puede usarse.

EXCEPCIÓN 1. Para motores fijos de 1/8 de C.P. o menos el dispositivo de sobrecorriente del circuito derivado puede servir como el medio de desconexión.

EXCEPCIÓN 2. Para motores portátiles, una clavija y contacto pueden ser el medio de desconexión.

EXCEPCIÓN 3. Para un motor fijo no mayor de 2 C.P. y de 300 volts, o menos el medio de desconexión puede ser un interruptor de cuchilla de uso general que tenga una capacidad en amperes de por lo menos el doble de la corriente a plena carga del motor.

EXCEPCIÓN 4. Para motores fijos de mayor potencia operados solo por personas idóneas, el medio de desconexión puede ser un desconector (o un interruptor de uso general,) siempre que en el se indique claramente no se abra con carga.

CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE.

El medio de desconexión debe tener capacidad para conducir continuamente por lo menos 115 por ciento de la corriente a plena carga del motor.

CONDUCTOR PUESTO A TIERRA.

Un polo del medio de desconexión puede desconectar a un conductor puesto a tierra, siempre que el dispositivo usado este diseñado de manera que el polo de

dicho conductor no pueda abrirse sin que se desconecten simultáneamente todos los conductos del circuito.

INDICACIÓN DE POSICIÓN.

El medio de desconexión debe indicar claramente si esta en la posición de abierto o cerrado.

DEBE DESCONECTAR TANTO AL MOTOR COMO AL CONTROLADOR.

El medio de desconexión debe desconectar tanto al motor como al controlador de todos los conductores activos de abastecimiento.

El medio de desconexión puede estar fijado en la misma cubierta que el controlador.

INTERRUPTOR COMO CONTROLADOR Y MEDIO DE DESCONEXIÓN.

Un interruptor que cumpla con lo indicado 403.58 puede servir como controlador y como medio de desconexión a la vez, siempre que desconecte a todos los conductores activos que alimentan al motor y este protegido con un dispositivo de sobrecorriente (el cual puede ser el juego de fusibles del circuito derivado). Que interrumpa a todos los conductores activos que van al propio interruptor, y siempre que sea alguno de los tipos siguientes:

- a) Un interruptor en aire accionado manualmente.
- b) Un interruptor automático del tiempo inverso accionado manualmente.
- c) Un interruptor en aceite para no más de 600 volts y 100 amperes, o de mayor capacidad si esta bajo vigilancia experta.

Tales interruptores automáticos y en aceite pueden ser accionados, además de manualmente, por algún otro medio auxiliar.

UBICACIÓN DEL MEDIO DE DESCONEXIÓN:

- a) El medio de desconexión debe estar a la vista desde la ubicación del controlador o bien poderse asegurarse en la posición de abierto.
- b) El medio de desconexión debe colocarse donde sea fácilmente accesible.

MOTORES SERVIDOS POR UN SOLO MEDIO DE DESCONEXIÓN.

Cada motor debe proveerse de un medio de desconexión individual.

EXCEPCIÓN: Un solo medio de desconexión puede servir para un grupo de motores si se cumple con cualquiera de las condiciones siguientes:

- 1) Cuando un número de motores accionen diferentes partes de una misma máquina o aparato, tal como una máquina para trabajar metales o madera, una grúa o aparato similar.
- 2) Cuando un grupo de motores este protegido con un solo dispositivo de sobrecorriente.
- 3) Cuando un grupo de motores este instalado en el mismo local y estén todos a la vista desde ubicación del medio de desconexión.

REQUISITOS PARA TENSIONES MAYORES DE 1000 VOLTS.

GENERAL.

Los requisitos de esta subsección complementan o modifican a los demás requisitos de esta sección considerando el riesgo adicional que representa el uso de una tensión mayor.

PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE

a) En general, el circuito de alta tensión de cada motor debe incluir una protección coordinada para interrumpir automáticamente las sobrecorriente producidas por sobrecarga del motor y por fallas en el mismo motor, en los conductores del circuito o en los aparatos de control.

EXCEPCIÓN : Cuando un motor es vital para la operación de una planta al grado de que debiera operar hasta su falla si es necesario, a fin de prevenir un mayor riesgo para las personas, el dispositivo detector de sobrecarga puede conectarse a una alarma (u otro medio de señalización adecuado) en lugar de que interrumpa el circuito del motor.

b) PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA.

1) Cada motor debe protegerse contra calentamiento peligroso debido a sobrecargas o fallas de arranque del motor, por medio de un protector térmico integrado al mismo motor o un dispositivo externo de sobrecorriente, o con ambos medios.

- 2) Los circuitos secundarios de motores de corriente alterna con rotor devanado, incluyendo conductores, controladores y resistencias, pueden considerarse protegidos por los medio de protección contra sobrecarga del motor.
- 3) La operación del dispositivo que interrumpa por sobrecarga debe desconectar simultáneamente todos los conductores activos.
- 4) El dispositivo detector de sobrecarga no debe restaurarse automáticamente después de operar , a menos que su restauración no cause automáticamente el re arranque del motor o bien que, aunque esto ocurra, no haya peligro para las personas originado por el re arranque automático del motor bien que, aunque esto ocurra, no haya peligro para las personas originado por el re arranque automático del motor o de la máquina que tenga acoplada.

c) PROTECCIÓN CONTRA CORRIENTES DE FALLA.

- 1) La protección contra corrientes de falla debe proveerse en el circuito de cada motor por alguno de los medios siguientes:

Un interruptor automático de tipo y capacidad adecuada, arreglado de manera que se le pueda dar mantenimiento sin peligro, este interruptor automático debe desconectar simultáneamente todos conductores activos, para detectar la corriente de falla pueden usarse elementos detectores integrados en el propio interruptor automático o elementos externos al mismo

Fusibles de tipo y capacidad adecuados, intercalados en cada conductor activo, estos fusibles deben contar con un medio de desconexión o ser del tipo que pueda servir como el mismo medio de desconexión, los fusibles deben estar arreglados de manera que no se les pueda dar mantenimiento estando energizados.

- 2) El dispositivo que se use para interrumpir la corriente de falla no debe restaurar el circuito automáticamente.

EXCEPCIÓN : Cuando el circuito este expuesto a fallas transitorias y cuando la restauración automática del mismo no representa peligro para las personas.

- 3) La protección contra sobrecarga y la protección contra fallas pueden proveerse con el mismo dispositivo.

CAPACIDAD DE CORRIENTE DEL CONTROLADOR Y DEL MEDIO DE DESCONEXIÓN.

El controlador y el medio de desconexión del circuito del motor deben tener capacidad para conducir continuamente, por lo menos, la corriente a la que este ajustados los dispositivos de protección contra sobrecarga.

TABLA 1

Letra de clave	KVA por C.P. con rotor bloqueado	Letra de clave	KVA por C.P. con rotor bloqueado
A	0 - 3.14	L	9.0 - 9.99
B	3.15 - 3.54	M	10.0 - 11.19
C	3.55 - 3.99	N	11.2 - 12.49
D	4.0 - 4.49	P	12.5 - 13.99
E	4.5 - 4.99	R	14.0 - 15.99
F	5.0 - 5.59	S	16.0 - 17.99
G	5.6 - 6.29	T	18.0 - 19.99
H	6.3 - 7.09	U	20.0 - 22.39
J	7.1 - 7.99	V	22.4 - y más
K	8.0 - 8.99		

TABLA 2

Tipo de servicio que requiere la carga				
De corto tiempo	5 Minutos.	15 Minutos.	30 y 60 Minutos.	Continuo.
Accionamiento de válvulas. Elevación ó descenso de rodillos	110	120	150	
Intermitente				
Ascensores y montacargas, máquinas herramientas, bombas, puentes levadizos o giratorios, plataformas giratorias (para soldadoras de arco).	85	85	90	140
Rodillos, máquinas para manipulación de minerales. Variable	85	90	95	140
	110	120	150	200

TABLA 3

Los valores dados en esta tabla son para motores funcionando a su velocidad normal.

C.P.	Tensión nominal de armadura		
	120 V	240 V.	500 V
1/4	3.1	1.6	13.6
1/3	4.1	2.0	18.0
1/2	5.4	2.7	27.0
3/4	7.6	3.8	34.0
1	9.5	4.7	43.0
1 1/2	13.2	6.6	51.0
2	17.0	8.5	67.0
3	25.0	12.2	83.0
5	40.0	20.0	99.0
7 1/2	58.0	29.0	123.0
10	76.0	38.0	164.0
15		55.0	205.0
20		72.0	246.0
25		89.0	330.0
30		106.0	
40		140.0	
50		173.0	
60		206.0	
75		255.0	
100		341.0	
125		425.0	
150		506.0	
200		675.0	

TABLA 4

CORRIENTE A PLENA CARGA EN AMPERES, DE MOTORES MONOFÁSICOS DE CORRIENTE ALTERNA.

Los siguientes valores de corriente a plena carga son para motores que funcionen a velocidades normales y con características de par también normales. Los motores de velocidades especialmente baja o de alto par motor pueden tener corriente a plena carga mayores, y los de velocidades múltiples tendrán una corriente a plena carga que varía con la velocidad, en estos casos debe usarse la corriente a plena carga indicada en la placa de datos.

C.P.	127V.	220V.
1/6	4.0	2.3
1/4	5.3	3.0
1/3	6.5	3.8
1/2	8.9	5.1
3/4	11.5	7.2
1	14.0	8.4
1 1/2	18.0	10.0
2	22.0	13.0
3	31.0	18.0
5	51.0	29.0
7 1/2	72.0	42.0
10	91.0	52.0

TABLA 5
CORRIENTE A PLENA CARGA DE MOTORES TRIFÁSICOS DE CORRIENTE
ALTERNA.

C.P.	Motor de inducción de jaula de ardilla			Motor síncrono, con factor de potencia		
	Ardilla y rotor devanado. (Amperes)			Unitario.(Amperes)		
	220V	440V	2400V	440V	440V	2400V
1/2	2.1	1.0				
3/4	2.9	1.5				
1	3.8	1.9				
1 1/2	5.4	2.7				
2	7.1	3.6				
3	10.0	5.0				
5	15.9	7.9				
7 1/2	23.0	11.0				
10	29.0	15.0				
15	44.0	22.0				
20	56.0	28.0				
25	71.0	36.0		54	27	
30	84.0	42.0		65	33	
40	109.0	54.0		86	43	
50	136.0	68.0		108	54	
60	161.0	80.0	15	128	64	11
75	201.0	100.0	19	161	81	14
100	259.0	130.0	25	211	106	19
125	326.0	163.0	30	264	132	24
150	376.0	188.0	35	-	158	29
200	502.0	251.0	47	-	210	38

Estos valores de corriente a plena carga (tabla 5) son para motores que funcionen a velocidades normales para transmisión por banda y con características de par también normales los motores de velocidad especialmente baja o de alto par pueden tener corrientes a plena carga mayores, y los de velocidades múltiples tendrán una corriente a plena carga que varía con la velocidades estos casos debe usarse la corriente a plena carga indicada en la placa de datos.

TABLA 6

CLASE DE MOTOR.	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	NÚMERO Y UBICACIÓN DE UNIDADES DE SOBRECARGA QUE NO SEAN FUSIBLES
C.A. monofásico o de C.D.	2 Hilos no puesta a tierra , C.A. monofásico o C.D.	Una en cualquiera de los conductores.
C.A. monofásico o de C.D.	2 Hilos , C.A. monofásica o C.D. uno de los hilos puesta a tierra.	Una en el conductor no puesto a tierra.
C.A. Monofásico o de C.D., C.A. Trifásico.	3 hilos , C.A monofásica o C.D. neutro a tierra C.D., neutro a tierra. cualquier trifásico.	Una en cada conductor no puesto a tierra. 2 en dos conductores cualesquiera excepto el neutro.

MEDIO DE DESCONEXIÓN.

El medio de desconexión debe poderse mantener asegurado en la posición de abierto.

CONEXIÓN A TIERRA.

GENERAL.

Los requisitos de esta subsección establecen la conexión a tierra de las estructuras y cubiertas metálicas de motores y controladores, para impedir que exista un potencial superior al de tierra en caso de un contacto accidental entre las partes vivas y dichas estructuras o cubiertas.

En ciertos casos especiales, un aislamiento eléctrico adicional en los motores, su colocación en sitios inaccesibles, o la instalación de resguardos, pueden

constituir alternativas adecuadas como medio de protección, en lugar de la conexión a tierra.

MOTORES FIJOS.

Las carcasas de motores fijos deben conectarse a tierra cuando exista cualquiera de las condiciones siguientes:

- Si los motores están ubicados en lugares mojados, fácilmente accesibles y no están resguardados.
- Si los motores están localizados en lugares peligrosos véase las secciones 501 a 504.
- Si los motores funciona con cualquier terminal a más de 150 volts a tierra.

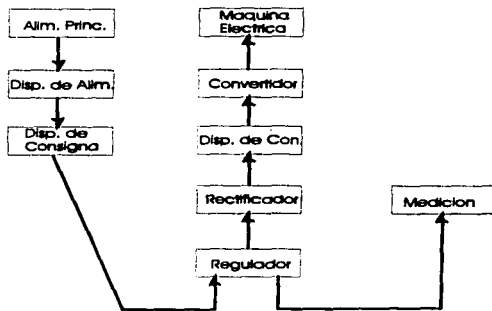
MOTORES PORTÁTILES.

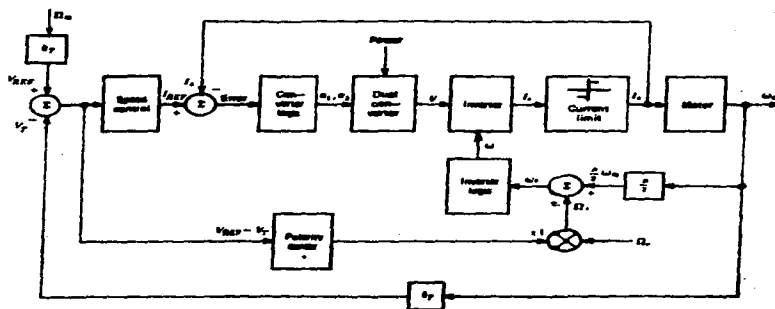
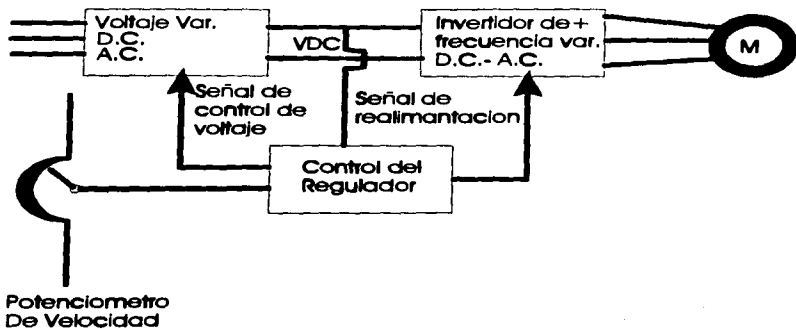
Las carcasas de motores portátiles que funcionen a más de 150 volts. a tierra, deben estar resguardadas o conectadas a tierra.

MÉTODO DE CONEXIÓN A TIERRA.

Donde se requiera la conexión a tierra.

DIAGRAMAS A BLOQUES DE LOS EQUIPOS DE REGULACION Y CONTROL





CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFÍA

CONCLUSIONES.

Un factor importante de decisión del especialista en Ingeniería Eléctrica en la tarea del control de motores eléctricos, es la selección, aplicación y ejecución con la debida protección a equipo y personal. Se estima que en el mercado mundial es de vital importancia económica comprar un motor eléctrico, al utilizarlo como vínculo de manejo en la energía eléctrica. El promedio es de decenas de miles de dólares invertidos. De aquí que la importancia del óptimo funcionamiento de las máquinas y mecanismos, en base al accionamiento adecuado por el buen manejo de los equipos mecánicos, eléctricos, electrónicos, etc. Se calcula que del 70 al 80% de la energía eléctrica consumida por el conjunto de todas las industrias se transforma a energía mecánica mediante los motores eléctricos, cuyo rendimiento gira alrededor del 80% en aplicaciones industriales, siempre y cuando el motor cumpla con características de condiciones de servicio y exigencias de carga. Este factor del que hablé al inicio, permite al Ingeniero integrarse correctamente a las áreas de planeación, mantenimiento, y diseño. Espero que esta obra le sirva de apoyo al Ingeniero que desee incorporarse a éstas áreas.

La modernidad de los aparatos de control consiste en adecuar a las industrias a fin de optimizar su costo de producción y obtener mayores ganancias y mejores rendimientos. Puedo concluir finalmente que el aspecto más importantes de esta obra es el conocimiento de la mayoría de las áreas para el control de motores, por ejemplo:

- El funcionamiento del motor.
- La conexión para corriente alterna o directa.
- La medición de voltaje y corriente.
- El manejo del par del motor.
- Control de frecuencia eléctrica.

Resulta óptimo saber del proceso bien fundamentado y más adecuado dentro de la aplicación del control de motores eléctricos, cabe destacar de las necesidades de automatizar los sistemas de control como son: entrada de energía, parte de mando, control de la energía y salida de la energía para esto es importante estar a la vanguardia de los dispositivos electrónicos para entrar a la alta tecnología y adentro saber que continúa para llevar a cabo innovaciones antiguamente el arranque de los motores eléctricos era común utilizar contactos electromecánicos y protectores contra la sobrecarga lo que provocaba arcos y chispas con ello el desgaste y también pérdidas de tiempo dentro de las conexiones tan aglomeradas ahora para limitar corriente y permitir conmutaciones adecuadas

utilizaremos el principio de control de corriente mediante ; rectificador , circuito auxiliar , filtro , inversor y el motor para controlar el sistema de transporte. Para alambrear circuitos y montajes de los mismos a prueba de vibraciones ya que nuestra meta es lograr la velocidad adecuada con el suministro necesario de potencia eléctrica. En el análisis dinámico las perturbaciones de voltaje se consideran como entradas de señal y existen sistemas como son las combinaciones de convertidores electrónicos que provocan la amplitud en estas señales y respuesta del motor que su aplicación sea de acorde a las necesidades de uso. La tecnología actual requiere que ciertas magnitudes en la generación de la energía eléctrica y control de la misma era que su conversión a energía mecánica sea ajustable. Para mantener la frecuencia se debe mantener el voltaje constante y el empleo de 2 a 3 tiristores indica regulación de velocidad y la suavidad del par en cargas pesadas. Se puede encontrar sistemas óptimos en el arrastre de cargas pesadas como es el caso de un elevador en ascenso y descenso , las locomotoras , el subway , y los montacargas eléctricos ; que combinan el control electromecánico con el electrónico mediante el manejo de la tensión en el inducido regenera energía y es mayor su tensión que en la línea mientras que los relevadores levantan la corriente del rotor. Si la velocidad sincrónica del motor sincrónico e inducción es directamente proporcional a la frecuencia aplicada y una forma de conseguir la velocidad de estos motores es a través de la alimentación de frecuencia variable ; esta propiedad hace a los sistemas de accionamiento particularmente útiles en el caso de potencias grandes compensando la potencia reactiva necesaria para la conmutación del inverso y con una reactancia es un adecuado control para el manejo de motores eléctricos , siendo éste un dispositivo de control capaz de generar potencia con frecuencia ajustable , mediante :

- Un rectificador con tiristores.
- Una reactancia.
- Un circuito inversor capaz de proveer cargas con factor de potencia inductivo.

Este control es considerado como opción para el óptimo control y mando preciso de los motores eléctricos y es común encontrarlo en la industria cómo el clásico variador de frecuencia. Para formar un sistema de ondas de tensión trifásica con el inversor se conectan 6 o más tiristores en puente excitados con señales generadas externamente y en una secuencia preestablecida para cubrir los propósitos generales de torsión y rotación variables manejando de 150 a 500 Hp. La forma de onda es rectangular y escalonada en el sistema trifásico de C.A., del puente , aumentado o disminuyendo la variación de la excitación se puede alterar la frecuencia del sistema trifásico e incluso aumentarla por encima del valor de la red. Una vez que la conversión en C.C., desacopla la salida de la entrada otra alternativa será utilizar un cicloconvertidor de C.A. Otro nivel de aplicación que se tiene como móvil eléctrico es el uso del control de motores con embragues y frenos electromagnéticos aplicando convertidores electrónicos como finalidad de Ingeniería

de transporte eléctrico. Existen infinidad de variadores de velocidad y los niveles de aplicación en motores eléctricos van de baja a media potencia controlados con convertidores electrónicos no es muy común encontrar motores que manejen potencias inmensas del orden de 200 Kw. Porque se utilizan distintos materiales para la capacidad interruptiva como interruptores termomagnéticos y de hexafluoruro de aceite y de cuchillas. El papel tan importante que los tiristores o diodos es permitir buen rizo en los voltajes rms. Y un factor de potencia favorable en la línea por lo tanto menor potencia reactiva consumida. Si utilizamos menor número de tiristores disminuye la tensión rectificadora, los factores de potencia cambian aún menor valor; no se dan en pequeños valores de tensión. Se tiene el inconveniente que al tomar de la red trifásica de corriente un alto contenido de armónicos (funciones transitorias), en montajes de gran potencia, siendo solución la inclusión de un transformador reductor lo mencionemos nuevamente sin tomar demasiada potencia reactiva de la red se puede utilizar control de voltaje trifásico con SCR's. que accione un motor de C.C., le regule la velocidad y rectifique su señal que a su vez es defasada 180 grados eléctricos con 100% y 120% de control en un solo sentido y conmutando 25% al 100% de control se ha logrado con los sistemas mencionados la limitación cíclica, de corriente, tensión y el abastecimiento perfecto de potencia; con estos variadores de velocidad aplicados, ya que como respuesta a las señales la utilización de los circuitos lógicos en el mando de los sistemas, estos variadores electrónicos de velocidad permiten casi el manejo perfecto de guías de transportes para el relleno de golosinas en una producción de casi 4 millones por día.

Espero que esta tesis sea de provecho para alguien.

BIBLIOGRAFÍA

Curso abierto: Facultad de Ingeniería. UNAM.
División de Educación Continúa.
"MOTORES ELÉCTRICOS PARA LA INDUSTRIA".
Fascículos: Motores de Inducción, Motores de CD, Control de Velocidad.

Curso Fundamental del conocimiento del Simatic. (SIEMEN'S).
"MANDO Y ACCIONAMIENTO". Apartados: 1, 4, 5, 7.

"SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS".
José Luis P. C. Díaz. Marcombo.

"FUNDAMENTOS DE ELÉCTRONICA INDUSTRIAL".
Noel M. Norris. Marcombo.

Material de Apoyo Didáctico para la Telemecánica.
"CONTROLADORES LÓGICOS".

"CURSO FUNDAMENTAL DEL CONOCIMIENTO DEL CONTROLADOR TEXAS
INSTRUMENTS".

"APUNTES DE CONVERSIÓN II".
IPN. ESIME Zacatenco.

"ELECTRICIDAD INDUSTRIAL APLICADA".
André A. Simón. Paraninfo.

"MÁQUINAS ELÉCTRICAS".
Gilberto Enríquez Harper. Limusa.

"MÁQUINAS ELÉCTRICAS".
Stephen J. Chapman. McGraw Hill.

"MÁQUINAS ELÉCTRICAS".
Wilcox.

"CATÁLOGO DE CONTROL ELÉCTRICO".
General Eléctric.

"CATÁLOGO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN".
Siemen's.

"CATÁLOGO DE MOTORES DE INDUCCIÓN".
Siemen's.

"POWER SEMICONDUCTOR DRIVES".
Dewan. E.U. 1982.

"POWER SEMICONDUCTOR ELECTRONICS".

Jhon Taylor. E.U. 1990.

"CIENTIFIC'S ELECTRÓNIC'S FRANCE".
Fascículo Noviembre 1996.

"CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS".
McIntyre.

"CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS".
Kosow.

"TRANSFORMADORES".
Kosow.

"EQUIPO ELÉCTRICO".
Fascículos Técnicos.

"CONTROL DE MOTORES INDUSTRIALES".
Wildi de Vito.

"ELECTRÓNICA DE POTENCIA".
"CONTROL DE MOTORES DE C.A. ".
"CONTROL DE MOTORES DE C.D".
Gustavo Gilli.