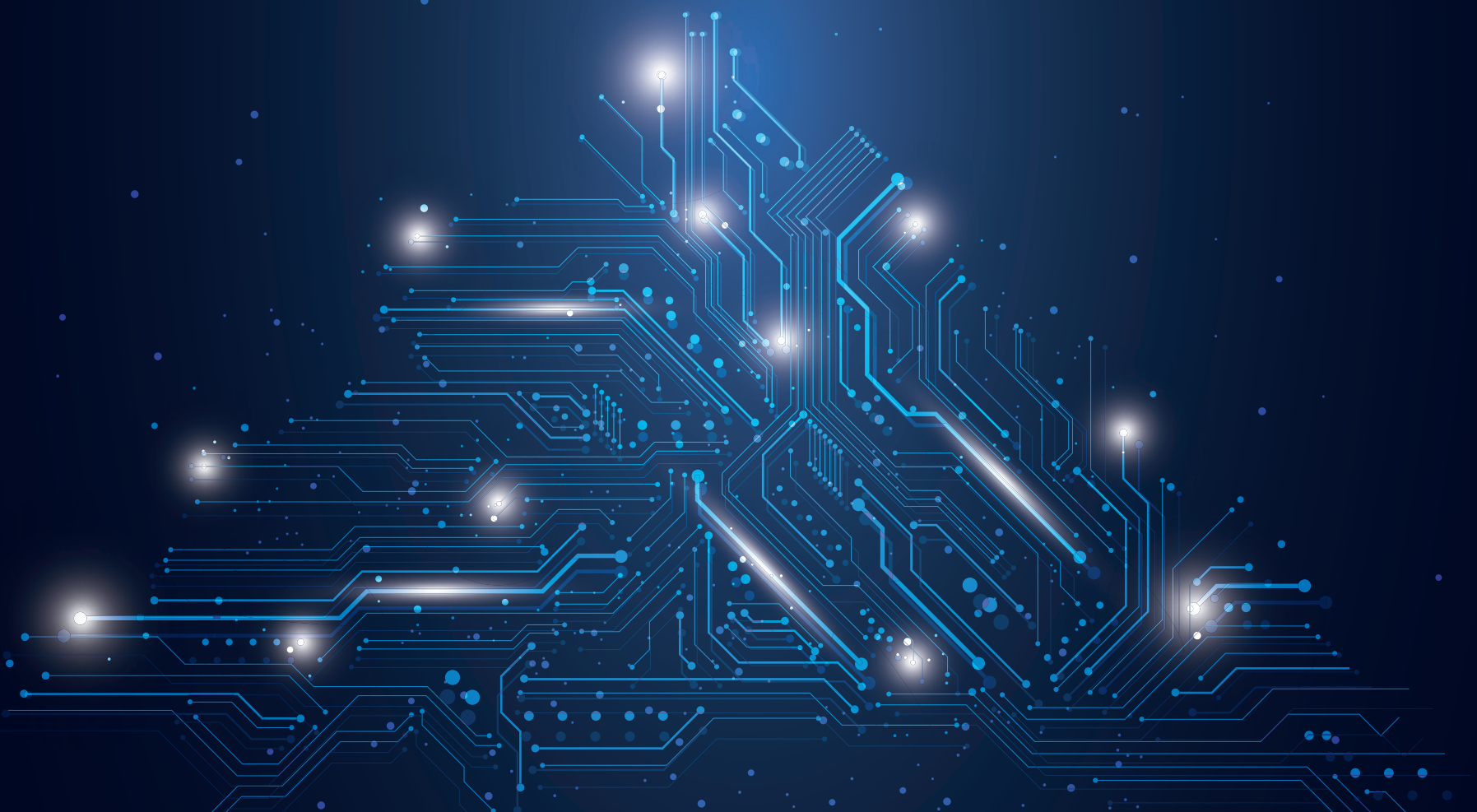




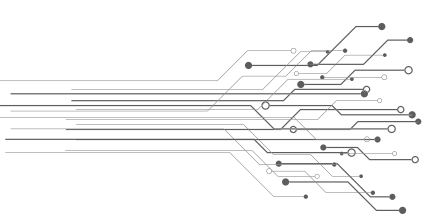
UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI

ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

APLICADA



ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA APLICADA



AUTORES

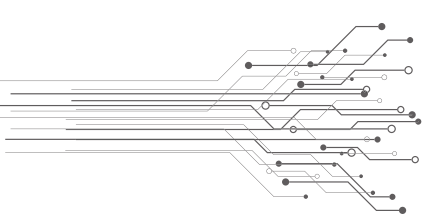
MSc. Edwin Homero Moreano Martínez

MSc. Cristian Fabián Gallardo Molina

MSc. Luis Rolando Cruz Panchi

MSc. Franklin Hernán Vásquez Teneda





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Aval:

La presente obra ha sido evaluada por pares externos a doble ciego, cumpliendo la normativa nacional e institucional para las obras de relevancia.

Edición:

PRIMERA

Tiraje:

LIBRO DIGITAL

Edición Gráfica:

JENNY SEGOVIA

jenny.segovia@utc.edu.ec

SEBASTIÁN ANDRADE

Impresión:

LIBRO DIGITAL

ISBN(D):

978-9978-395-79-0

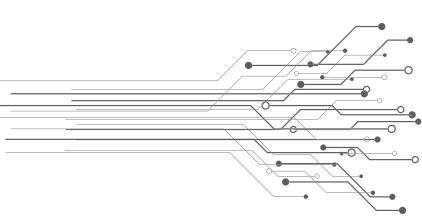
ISBN(I):

Publicación:

EDITORIAL UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Latacunga, 2022-20-04

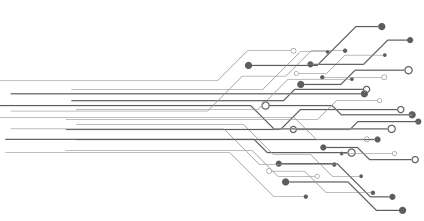




Dedicatoria

Los autores dedican la presente obra a:

- A LOS JOVENES por ser nuestra fuente de inspiración y fortaleza cada día.
- A nuestros familiares por estar siempre presente apoyándonos en todo momento, por el amor que nos han dado, su dedicación y comprensión en todo instante.
- A nuestros amigos por su apoyo incondicional en todo momento durante el desarrollo de nuestras vidas profesionales y personales.
- A la institución que han posibilitado la redacción y publicación de esta obra: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- A todas las personas que brindaron una idea o sugerencia y estuvieron pendiente de nuestro trabajo.

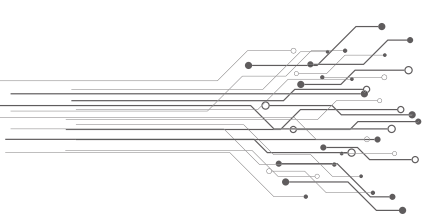


Agradecimiento

Los autores quieren agradecer a:

A la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI por permitir plasmar los conocimientos adquiridos en la publicación de este ejemplar.

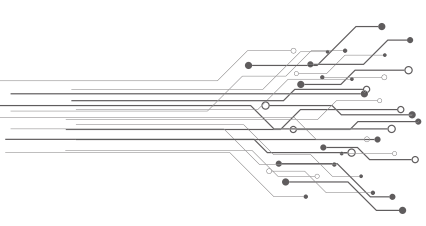
A nuestros familiares, amigos, conocidos y todas esas personas que aportaron su grano de arena en los momentos más difíciles.



Autores

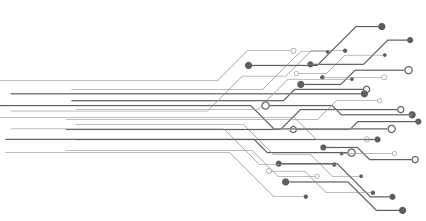
Edwin Homero Moreano Martínez, Ingeniero Electrónico e Instrumentación, por la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe – Latacunga. Magister en Gestión de Energías, por la Universidad Técnica de Cotopaxi, catedrático de la misma desde octubre del 2006 en el área de Electrónica y Automatización hasta la actualidad. Entre 2013 y 2015 se ha desempeñado como Coordinador del Proyecto de Investigación “Aplicación de Energías Alternativas en la Provincia de Cotopaxi”. Director de Tesis de Pregrado en la Carrera de Electromecánica, y de Posgrados en la Maestría de Gestión de Energías. Ha participado en ponencias sobre Eficiencia Energética y Riesgos Eléctricos en numerosos Congresos Nacionales e Internacionales en Ecuador. Autor de los libros “Conceptos Básicos de Estadísticas para ingenieros y Técnicas de Medición” y del Artículo “Aplicación de Energías Alternativas en la Provincia de Cotopaxi”.

Cristian Fabián Gallardo Molina, Ingeniero Electromecánico, por la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe – Latacunga. Magister en Gestión de Energías, por la Universidad Técnica de Cotopaxi, catedrático de la misma desde marzo del 2012 en el área de Energías Renovables y Eficiencia Energética hasta la actualidad. Entre 2013 y 2015 a formado parte del Proyecto de Investigación “Aplicación de Energías Alternativas en la Provincia de Cotopaxi”. Director de Tesis de Pregrado en la Carrera de Ing. Electromecánica, y de Posgrados en la Maestría de Gestión de Energías. Ha participado en ponencias sobre Eficiencia Energética en numerosos Congresos Nacionales e Internacionales en Ecuador. Autor de la publicación: “Aplicación de Energías Alternativas en la Provincia de Cotopaxi” Director de la Carrera de Electromecánica



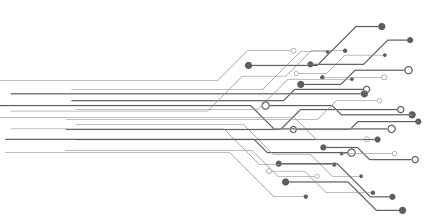
Luis Rolando Cruz Panchi, Ingeniero Electromecánico de profesión, posee un Diplomado Superior en Redes Digitales Industriales, por la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe – Latacunga. Magíster en Gestión de Energías, por la Universidad Técnica de Cotopaxi. Posee experiencia en el sector productivo industrial, desempeñándose en el área de mantenimiento; en el 2008 se integra al sector energético petrolero, desempeñando funciones en las áreas de: montaje de centrales, técnico de mantenimiento, operación de plantas de cogeneración, superintendente de campo. En el 2013 se integra al sector público a cargo de la fiscalización de proyectos de inclusión social, actualmente se desempeña como docente en la Universidad Técnica de Cotopaxi en la línea de investigación de Energías Alternativas y Eficiencia Energética.

Franklin Hernán Vásquez Teneda (1969-10). Graduado en la Universidad Politécnica Salesiana 2000; recibió el grado de Magister en Investigación y Docencia Universitaria en la Universidad Nacional de Loja 2008. Magister en Eficiencia Energética en la Universidad Técnica de Cotopaxi - Latacunga 2016, profesor en la Universidad Técnica de Cotopaxi. Investigaciones relacionadas con el uso de Energías Renovables en Procesos Industriales. Cursando estudios doctorales en Dirección de Proyectos en la Universidad Benito Juárez, México - Puebla 2022.



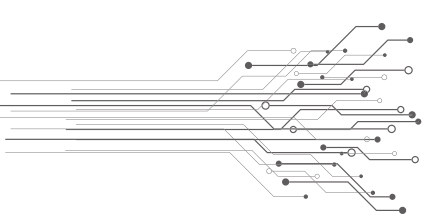
PRÓLOGO

Hoy en día la energía eléctrica en el mundo se considera como un bien básico sin el cual las sociedades actuales no podrían desarrollar ningunas de las actividades de la evolución e industrialización. Desde la transformación de las energías existentes en el planeta como es la hidroeléctrica hasta llegar a los consumidores finales como, ciudades, fábricas y hogares hay un gran número de equipos que utilizan la energía eléctrica para entrar en funcionamiento que son objeto de la ingeniería eléctrica. La omnipresencia de las primeras leyes de la electricidad en nuestra sociedad tecnológica industrial ha dado lugar al escaso conocimiento y poca difusión que se tiene de la aplicación de las mismas en la actualidad. Por ello, el objetivo de este libro es presentar y explicar los principales temas relativos a la tecnología que subyace tras la generación, el transporte, la distribución y la utilización de la energía eléctrica, incluyendo conceptos relacionados con el diseño y la operación de las máquinas eléctricas y la electrónica. Bajo el título Ingeniería Eléctrica se pueden encontrar muchos libros que dan contenido a la idea expuesta en el párrafo anterior desde puntos de vista muy distintos. Otros libros son excelentes monografías sobre algunos de los diferentes temas que entran dentro de esa tecnología. Frente a todos ellos, la principal virtud de este libro es la de ser uno de los pocos en ofrecer una visión general, a la vez, rigurosa de los fundamentos y de los aspectos más importantes de las máquinas eléctricas y la electrónica, desde la generación hasta la distribución y el consumo final. En él se explica qué es un máquina eléctrica, los parámetros de operación y el comportamiento de las mismas en las industrias, fábricas y hogares en general; se presentan las herramientas básicas de análisis y operación de las máquinas eléctricas y la electrónica; se describen los principales modelos matemáticos para poder interpretar el comportamiento bajo condiciones de operación, que están enfocadas a dar a conocer al lector cuales son las principales leyes y conceptos que involucran a las máquinas

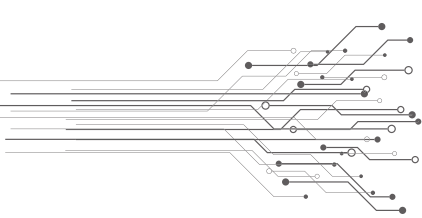


eléctricas y la electrónica en el desarrollo y teoría de las mismas, equipos y aparatos que se encuentran en ellos, haciendo referencia constante a las normas que son de su aplicación. En los actuales planes de estudios de la titulación de Ingeniero Electromecánico hay una asignatura que, precisamente, también tiene ese nombre, Máquinas Eléctricas, y que por su carácter troncal es común a todos los ingenieros eléctricos, industriales, sea cual sea su área de especialización. Además, la realidad profesional de las demás ramas de la Ingeniería hace que también, con mayor o menor profundidad, en todas ellas se aborden contenidos relacionados con la Ingeniería Eléctrica. Igualmente, la constante actualización de las normas, leyes y aspectos técnicos relativos al Sector Eléctrico obliga a los profesionales que trabajan en él a mantenerse al día en estos temas. Este libro está dirigido a todos ellos, estudiantes y profesionales, interesados en el conocimiento, el estudio y el desarrollo profesional de la Ingeniería Eléctrica y Electromecánica en él se combinan los aspectos prácticos de estas ingenierías, basados en el uso de tablas y gráficos, con un análisis riguroso de los circuitos eléctricos propios de la misma, más habitual del análisis de los sistemas eléctricos de potencia. En cualquier caso, para el estudio de este libro es aconsejable tener unos conocimientos previos de carácter básico de Teoría de Circuitos y de Máquinas Eléctricas, equivalentes a los correspondientes a una asignatura universitaria.

El contenido del libro es unitario, aunque en él se pueden distinguir tres partes o bloques temáticos que corresponden al sistema eléctrico, su representación y análisis, a los aparatos y equipos que en él se encuentran, y a las instalaciones de baja tensión, analizadas desde el punto de vista de la seguridad. Su contenido se ha dividido en trece capítulos. El contenido del libro es completo y autosuficiente, y en él se incluyen numerosas referencias a otros libros y normas con objeto de citar las fuentes de la información usada. También se incluyen referencias no citadas con objeto de que el lector interesado pueda ampliar sus conocimientos en los temas desarrollados. A lo largo del libro se incluyen ejemplos, de mayor o menor extensión, que ayudan a comprender los conceptos individuales expuestos o la relación entre ellos.

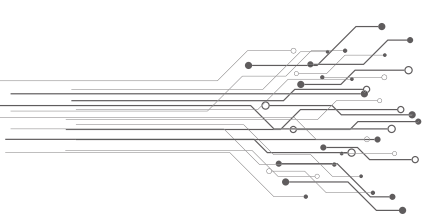


ÍNDICE

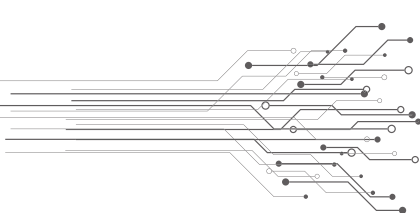


ÍNDICE GENERAL

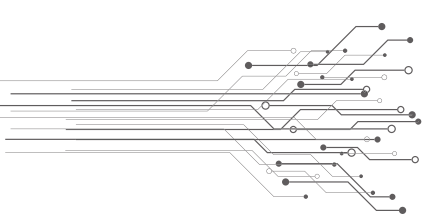
<u>CAPÍTULO 1. CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA.....</u>	20
1.1 Importancia de la Energía Eléctrica	21
1.2 Rememoración sobre circuitos de C.D.....	23
1.2.1 Ley de Ohm para una parte de circuito	23
1.2.2 Leyes de Kirchhoff.....	24
1.2.3 Conexión de resistencias	24
Conversión De Configuración Delta A Estrella.....	26
Conversión De Configuración Estrella A Delta.....	26
1.3 Importancia de la Corriente alterna	30
1.4 Representación fasorial de las magnitudes eléctricas en la C.A.....	36
1.5 Circuitos de C.A monofásicos	37
1.6 Circuitos trifásicos.....	39
1.6.1 Circuito en estrella	40
1.6.2 Conexión Δ	40
1.6.3 Potencia: Relaciones de potencia en un sistema trifásico balanceado	41
<u>CAPÍTULO II. CARGA ELÉCTRICA Y FACTOR DE POTENCIA.....</u>	45
2.1 Elementos componentes (reafirmación)	46
2.2 Instrumentos de medición eléctricos	46
2.3 Formas de conexión de algunos instrumentos.....	48
2.4 Curva cronológica de carga diaria	52
2.5 Consecuencias de un bajo factor de potencia	53
<u>CAPÍTULO III. MÁQUINAS ELÉCTRICAS</u>	57
3.1 Definición de transformador: Principio de funcionamiento	58
3.2 Transformador real con carga. Diseño del circuito equivalente	61
3.3 El circuito equivalente del transformador real con carga.....	62
3.3.1 Prueba de circuito abierto	63
3.3.2 Prueba de Cortocircuito. Determinación de las pérdidas de cobre.....	66
3.4 Eficiencia en los transformadores.....	67
3.5 Regulación en los transformadores	69
<u>CAPÍTULO IV. ENERGÍA ELÉCTRICA.....</u>	70
4.1 Máquinas Eléctricas Rotatorias	72
4.2 Clasificación de las máquinas eléctricas.....	75
4.2.1 Las máquinas Eléctricas Estáticas.....	76
4.2.2 Máquinas Eléctricas Rotatorias.....	76



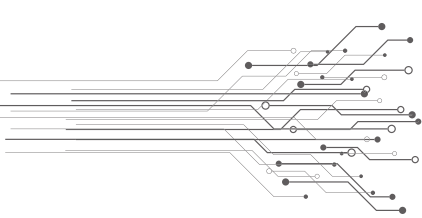
4.2.3 Las máquinas Eléctricas Especiales	77
4.3 Principio de funcionamiento, Máquinas asincrónicas en régimen motor.....	79
4.4 Máquinas Asincrónicas. Características constructivas	79
4.5 Velocidad sincrónica.....	80
4.6 Concepto de deslizamiento.....	81
<u>CAPÍTULO V. MOTORES ELÉCTRICOS MONOFÁSICOS Y MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA.....</u>	85
5.1 Motores monofásicos. Principios generales	86
5.2 Características de los motores serie- universal.....	94
5.3 Reconexión de máquinas asincrónicas trifásicas para el trabajo como máquinas monofásicas.....	95
5.4 Motores de Corriente Directa	95
5.4.1 Principio de Funcionamiento	98
5.4.2 Características Mecánicas y aplicaciones de los motores de corriente directa	99
5.4.3 Motor Serie	102
<u>CAPÍTULO VI. ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO.....</u>	105
6.1 Accionamiento Eléctrico. Generalidades.....	106
6.2 Clasificación de los accionamientos. Componentes.....	107
6.3 Interacción motor carga.....	108
6.4 Ecuación dinámica del accionamiento eléctrico.....	112
6.5 Transmisiones Mecánicas.....	113
<u>CAPÍTULO VII. REGÍMENES TRANSITORIOS EN LOS MOTORES DE CD</u>	115
7.1 Regímenes Transitorios del accionamiento eléctrico	116
7.2 Indicadores del Control de Velocidad.....	116
7.2.1 Control de Velocidad en Motores Serie de CD	116
7.2.2 Control de velocidad del motor serie	117
7.3 Arranque: Métodos de arranque del motor shunt	119
7.4 Frenado de los motores.....	120
<u>CAPÍTULO VIII. ESTADOS TRANSITORIOS EN EL MOTOR ASINCRÓNICO.....</u>	126
8.1 Control de velocidad en motores asincrónicos.....	127
8.2 Arranque del motor jaula de ardilla	130
8.3 Arranque del motor asincrónico de rotor bobinado.....	133
8.4 Frenaje del motor asincrónico	134



<u>CAPÍTULO IX. SELECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS</u>	137
<u>9.1 Factores Fundamentales a tener en cuenta para realizar una correcta selección de los motores eléctricos. Análisis de esos factores</u>	138
<u>9.1.1 Regímenes de trabajo de los mecanismos</u>	139
<u>9.2 Carga variable: valores oscilantes</u>	143
<u>9.3 Algoritmo para la selección de motores en RIP</u>	148
<u>CAPÍTULO X. DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES</u>	150
<u>10.1 Características físicas de los Semiconductores</u>	151
<u>10.2 Semiconductor Intrínsecos.</u>	153
<u>10.3 Semiconductor Extrínsecos</u>	153
<u>10.2.1 Materiales Semiconductores Tipo N</u>	154
<u>10.2.2 Materiales Semiconductores Tipo P</u>	154
<u>10.3 Flujo de electrones versus flujo de huecos</u>	155
<u>10.4 Aplicaciones de la unión de materiales tipo P y N.</u>	156
<u>10.4 .1 Diodo Semiconductor</u>	156
<u>10.4.2 Diodo Zener.....</u>	168
<u>10.4.3 Diodo Led (diodo emisor de luz).....</u>	169
<u>10.4.4 Transistores.....</u>	169
<u>10.4.5 Tiristores.....</u>	182
<u>CAPÍTULO XI. FUENTES DE ALIMENTACIÓN</u>	191
<u>11.1 Diagrama en bloques de una fuente de alimentación discreta.....</u>	192
<u>11.2 Función de cada BLOQUE.....</u>	192
<u>11.3 Elemento novedoso el filtro. Configuraciones más utilizadas</u>	193
<u>11.4 Fuentes Reguladas Conmutadas</u>	201
<u>11.5 Ventajas de las Fuentes Conmutadas</u>	202
<u>CAPÍTULO XII. SISTEMAS DIGITALES</u>	205
<u>12.1 Sistemas numéricos</u>	207
<u>12.2 Conversiones entre Sistemas Numéricos.....</u>	209
<u>12.2.1 Números octales y hexadecimales</u>	212
<u>12.3 Sistemas numéricos</u>	212
<u>12.3.1 Sistemas Numéricos Posicionales</u>	212
<u>12.3.2 Sustracción con complemento (r-1)</u>	217
<u>12.3.2 Representación de Números Negativos</u>	218
<u>12.4 Suma y Resta en Complemento a Dos</u>	221
<u>12.4.1 Se le agrega el BIT de signo 10101 (-5)</u>	223
<u>12.5 Compuertas lógicas</u>	224

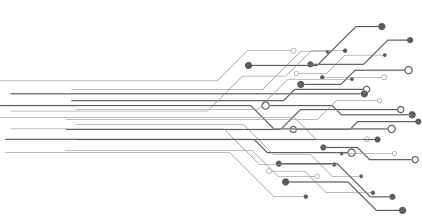


<u>12.6 Circuito Básico Flip-Flop</u>	<u>231</u>
<u>12.7 Terminología de Memoria</u>	<u>234</u>
<u>12.8 Operación general de la memoria.....</u>	<u>236</u>
<u>12.9 Expansión del tamaño de la palabra y de la capacidad</u>	<u>237</u>
 <u>CAPÍTULO XIII. SISTEMAS PROGRAMABLES</u>	<u>238</u>
<u>13.1 Estructura básica funcional de una microcomputadora.....</u>	<u>239</u>
<u>13.2 Existen tres buses diferentes que son</u>	<u>241</u>
<u>13.3 Clasificación de los lenguajes.....</u>	<u>244</u>
<u>13.3.1 Lenguajes de alto nivel no conversacionales o algorítmicos</u>	<u>246</u>



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Circuito eléctrico.....	24
Figura 2 Resistencias en serie.....	25
Figura 3 Resistencias en paralelo.....	25
Figura 4 Configuración a) Estrella, b) Triángulo.....	26
Figura 5 Puente de Whesthone.....	27
Figura 6 Inducción electromagnética: a) Espira paralela a las líneas de fuerza, b) giro de espira.....	31
Figura 7 Corriente alterna.....	32
Figura 8 a) circuito RLC, b) diagrama fasorial de impedancias.....	33
Figura 9 Fasores con notación compleja.....	36
Figura 10 Voltaje de la bobina.....	38
Figura 11 Circuito estrella con impedancias.....	40
Figura 12 Circuito triangulo con impedancias.....	40
Figura 13 Triángulo de potencias.....	43
Figura 14 Triángulo de potencias a partir del triángulo de impedancias.....	43
Figura 15 Diagrama de voltajes.....	44
Figura 16 Conexión de instrumentos de medida.....	49
Figura 17 Transformador.....	58
Figura 18 Transformador con carga.....	61
Figura 19 Circuito eléctrico representativo.....	62
Figura 20 Circuito equivalente del transformador real con carga.....	62
Figura 21 Conexión de los instrumentos de medida.....	64
Figura 22 Circuito equivalente.....	65
Figura 23 Prueba de cortocircuito.....	66
Figura 24 Circuito equivalentes de cortocircuito.....	66
Figura 25 Regulación de transformador.....	69
Figura 28 Corrientes Paralelas.....	71
Figura 29 Dipolo en un campo magnético.....	72
Figura 30 Clasificación de las Máquinas Eléctricas.....	75
Figura 31 Clasificación de las Máquinas Eléctricas Rotatorias.....	76
Figura 32 Clasificación de las Máquinas Eléctricas Asíncronas.....	77
Figura 33 Clasificación de las Máquinas Eléctricas Especiales.....	77
Figura 34 Campo magnético.....	78
Figura 35 Característica Mecánica del Motor Asíncronico.....	82
Figura 36 Puntos clave de la Característica.....	82
Figura 38 Esquema básico de un motor monofásico.....	86
Figura 39 Característica mecánica del motor de inducción monofásico.....	87
Figura 40 Rotación del campo en un motor monofásico, debido al devanado auxiliar de arranque.....	88
Figura 41 Motor monofásico de fase dividida.....	89
Figura 42 Motor monofásico de fase dividida y arranque con capacitor.....	90
Figura 43 Esquema circuital de un motor con arranque de capacitor permanente.....	91
Figura 44 Motor monofásico con arranque por capacitor y capacitor permanente.....	92



<u>Figura 45 Inversión de la rotación o el sentido de rotación en los motores serie -universal.</u>	93
<u>Figura 46 Circuito que muestra la inversión de la rotación en un motor monofásico.</u>	95
<u>Figura 47 Reconexión de los devanados de un motor trifásico y su conversión en uno monofásico.</u>	95
<u>Figura 48 Diferentes tipos de motores de Corriente Directa.</u>	98
<u>Figura 49 Características Mecánicas y aplicaciones de los motores de corriente directa.</u>	100
<u>Figura 50 Característica Mecánica del Motor Shunt.</u>	101
<u>Figura 51 Motor Serie</u>	102
<u>Figura 52 Característica Mecánica del motor serie.</u>	103
<u>Figura 54 Proceso de conversión</u>	106
<u>Figura 55 Mapa conceptual de Accionamiento Eléctrico.</u>	107
<u>Figura 56 Características de algunos tipos de carga</u>	109
<u>Figura 57 Características conjuntas motor carga</u>	110
<u>Figura 58 Característica mecánica del transportador con carga.</u>	111
<u>Figura 59 Motor carga</u>	112
<u>Figura 60 Transmisión mecánica</u>	114
<u>Figura 61 Resistencias conectadas en serie en un motor shunt</u>	117
<u>Figura 62 Frenado dinámico de un motor</u>	121
<u>Figura 63 Características natural y de frenado dinámico de un motor shunt.</u>	122
<u>Figura 64 Características de velocidad y corriente</u>	123
<u>Figura 65 Transición del régimen motor al régimen en contra corriente.</u>	124
<u>Figura 66 Arranque del motor jaula de ardilla</u>	131
<u>Figura 67 Reactor en serie con el estator</u>	132
<u>Figura 68 Arranque en estrella y paso a delta</u>	133
<u>Figura 69 Puesta en marcha</u>	133
<u>Figura 70 Ilustramos las características mecánicas en la rotación de dicho motor</u>	135
<u>Figura 71 Frenado regenerativa de un motor asincrónico</u>	136
<u>Figura 72 Mecanismos con regímenes permanentes de trabajo.</u>	139
<u>Figura 73 Mecanismos con temporal permanentes de trabajo</u>	140
<u>Figura 74 Mecanismos con régimen intermitente periódico.</u>	141
<u>Figura 75 Mecanismos carga variable</u>	143
<u>Figura 76 Material de valencia 4</u>	152
<u>Figura 77 Material intrínseco</u>	153
<u>Figura 78 Materiales Semiconductores Tipo N</u>	154
<u>Figura 79 Materiales Semiconductores Tipo P</u>	155
<u>Figura 80 Flujo de electrones vs flujo de huecos.</u>	156
<u>Figura 81 a) Unión de material tipo P y N, b) simbología.</u>	157
<u>Figura 82 Polarización directa</u>	159
<u>Figura 83 Polarización directa</u>	159
<u>Figura 84 Polarización indirecta</u>	161
<u>Figura 85 Simbología diodo Zener</u>	168
<u>Figura 86 Curva del zener</u>	169
<u>Figura 87 Simbología diodo Led</u>	169

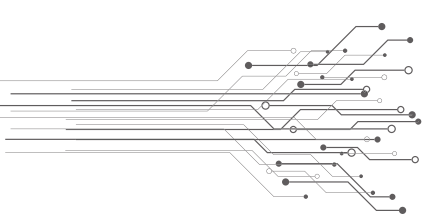
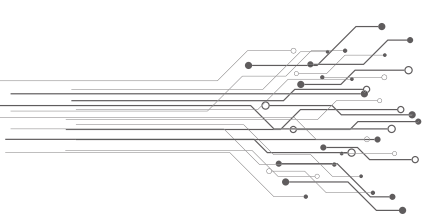


Figura 88 Simbología.....	170
Figura 89 Estructura.....	170
Figura 90 Estructura Real.	171
Figura 91 Efecto transistor.	173
Figura 92 Polarización	173
Figura 93 Corrientes de un transistor.....	174
Figura 94 Red de terminales	178
Figura 95 Regiones de Funcionamiento.	179
Figura 96 A) Símbolo, B) Estructura y C) Esquema equivalente.	183
Figura 97 Característica estática del tiristor.....	184
Figura 98 Circuito de protección contra transitorios de a) corriente, b) voltaje	186
Figura 99 Diagrama de bloques	192
Figura 100 Filtro Capacitivo.....	193
Figura 101 Filtro inductivo.	193
Figura 102 Filtro LC.	194
Figura 103 Filtro π	195
Figura 104 Filtro T.	195
Figura 105 Regulador de voltaje.....	196
Figura 106 Estabilizador seguidor de emisor.....	196
Figura 107 Estabilizador con seguidor de emisor y detector de error	197
Figura 108 Configuración eléctrica.....	199
Figura 109 Valor estabilizado del regulador.	200
Figura 110 Operacional trabaja como seguidor de voltaje, simplemente.	200
Figura 111 Circuito con zener.	200
Figura 112 Esquema el transistor T1.	201
Figura 113 a)Esquema de conmutación b) forma de onda.....	201
Figura 114 Regulador serie conmutado.	203
Figura 115 Reguladores inversores (fly back).	203
Figura 116 Sistemas digitales	206
Figura 117 a) Compuertas básicas NOT, b) OR de dos entradas, c) AND de dos salidas.	225
Figura 118 Compuertas derivadas de las básicas, a) buffer, b) NOR de dos entradas, c) NAND de dos entradas, d) XOR de dos entradas y e) XNOR de dos entradas	227
Figura 119 Estructura básica de un computador.....	240



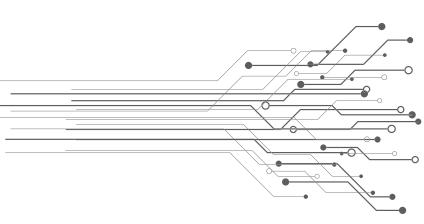
ÍNDICE DE TABLAS

[Tabla 1 Medición Eléctricos](#)..... 47

[Tabla 2 Prueba de circuito abierto](#) 64

[Tabla 3 Curvas Características](#) 179

[Tabla 4 Tabla de Verdad](#) 226



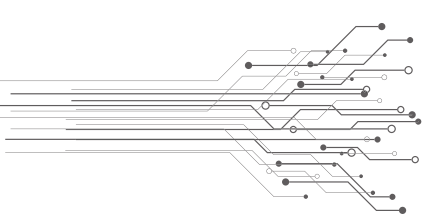
CAPÍTULO I

CIRCUITOS

ELÉCTRICOS

DE CORRIENTE

ALTERNA



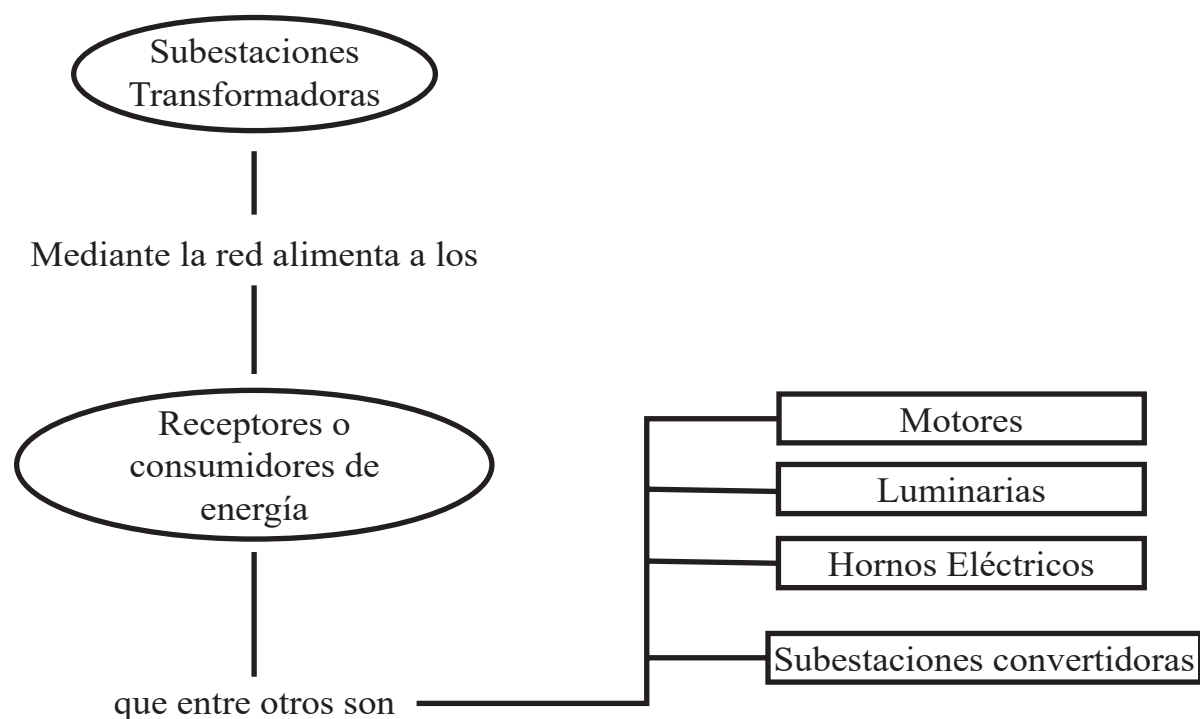
1.1 Importancia de la Energía Eléctrica

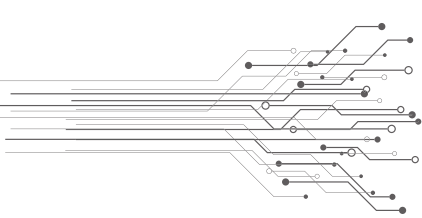
La energía eléctrica, es la energía más limpia y eficiente en su transmisión y consumo dado entre otras causas por la posibilidad de transmisión a grandes distancias con pequeñas pérdidas. Un paso importante en el avance tecnológico fue la invención de las máquinas eléctricas como componente fundamental de los sistemas eléctricos.

¿Qué es un sistema eléctrico, cuáles son sus componentes? Es el sistema diseñado para hacer llegar la energía eléctrica desde las fuentes generadoras hasta los receptores, tal como se muestra en el organigrama que sigue:



Un sistema eléctrico industrial se puede definir de acuerdo al mapa conceptual que sigue:





Los componentes importantes de un sistema eléctrico industrial son las máquinas eléctricas; ¿qué es una máquina eléctrica? Es un convertidor electromecánico de energía, en dos variantes.



Para que el generador sea accionado mecánicamente y se obtenga de él energía electromagnética se requiere una conversión primaria de energía que por lo general tiene efectos contaminantes; pues la forma más extendida es la quema de combustibles fósiles lo que conlleva al lanzamiento a la atmósfera de gases de efecto invernadero, sustancias líquidas o sólidas que van a parar al suelo a las aguas fluviales y mares y afectación del balance térmico de radiación por la contaminación térmica.

Energía primaria

Quema de petróleo

Contaminación Térmica. Gases contaminantes: NO_2 , CO_2 , compuestos de plomo, SO_2 . Al océano se vierten al año 2 millones de toneladas.

Quema de carbón

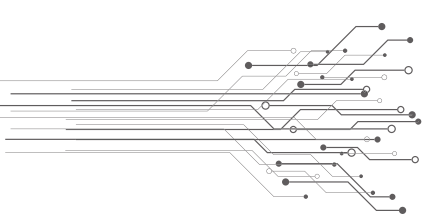
Residuos sólidos, humos excesivos, SO_2 . y carbono. Contaminación térmica.

Nuclear (fisión de uranio)

Desechos sólidos radiactivos
Desechos radiactivos
Contaminación térmica.

Gas natural

CO_2 contaminante



También se usan como fuentes primarias de energía renovable.

Desarrollada	La hidráulica.
En desarrollo	Eólica Solar Biomasa Geotérmica Energía del movimiento marea
No desarrollada	Gradiente térmico

1.2 Rememoración sobre circuitos de C.D

1.2.1 Ley de Ohm para una parte de circuito

$$V = I * R$$

V: tensión

I: Intensidad de corriente o corriente

R: Resistencia

Ley de Joule. Potencia disipada en un resistor de resistencia R_1 . aplicando la figura 1.

$$P = I^2 * R_1$$

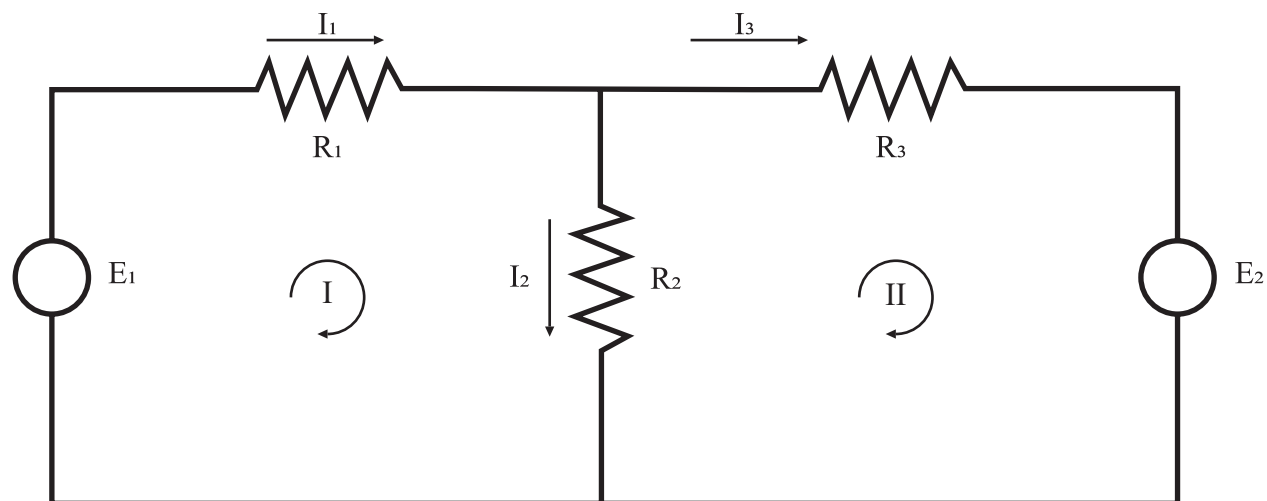
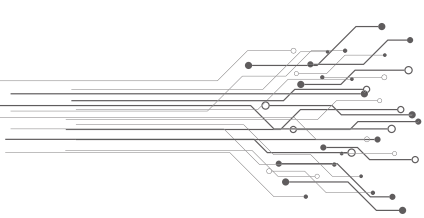


Figura 1. Circuito eléctrico.

1.2.2 Leyes de Kirchhoff

Ley de los nodos de las corrientes

Corrientes que entran en un nodo = corrientes que salen del mismo nodo

$$I_1 = I_2 + I_3$$

Ley de las mallas o ley de las tensiones.

Subidas de tensiones = Caídas de tensiones

$$E_1 - I_1 R_1 - I_2 R_2 = 0$$

Malla I

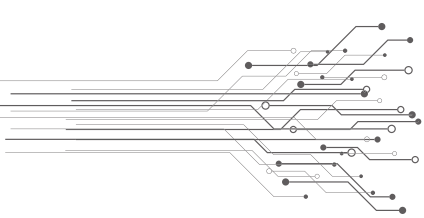
$$-E_3 R_3 + E_2 + I_2 R_2 = 0$$

Malla II

1.2.3 Conexión de resistencias

Resistencias conectadas en serie

Se conectan secuencialmente. La terminal de salida de un dispositivo



se conecta a la terminal de entrada del dispositivo siguiente como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Resistencias en serie.

En este caso la corriente que fluye por los resistores es la misma en todos. Entonces

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Resistencias conectadas en paralelo.

Es una conexión donde, los bornes o terminales de entrada de todos los dispositivos conectados coinciden entre sí, lo mismo que sus terminales de salida figura 3.

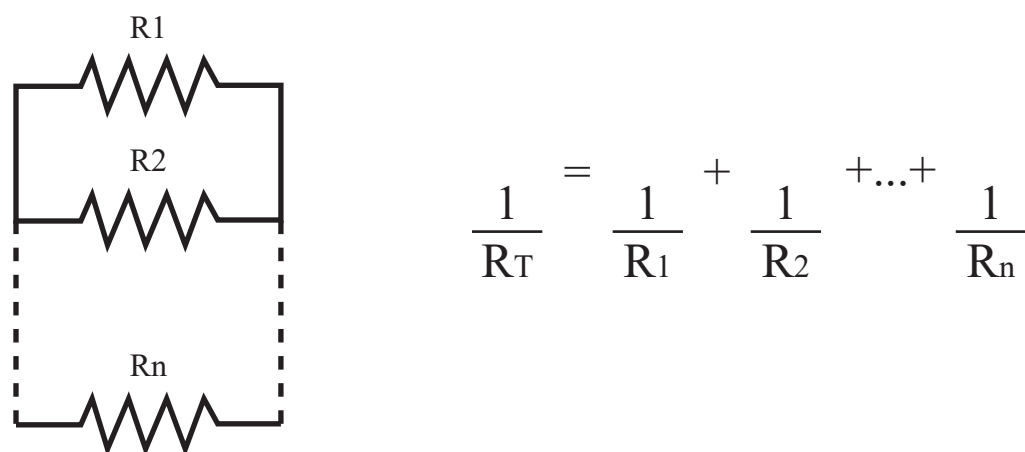
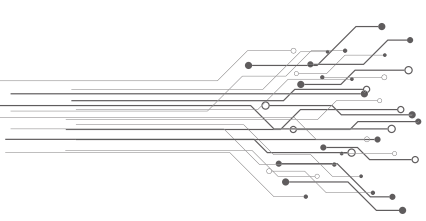


Figura 3. Resistencias en paralelo

Conversión delta a estrella y estrella a delta:

Con el propósito de poder simplificar el análisis de un circuito a veces es conveniente poder mostrar todo o una parte del mismo de una manera diferente, pero sin que el funcionamiento general de éste cambie.

Algunos circuitos tienen un grupo de resistores que están ordenados



formando como un triángulo (**circuito en configuración triángulo**) y otros como una estrella (**circuito en configuración estrella**). Como se muestra en la figura 4.

Hay una manera sencilla de convertir estos **resistores** de un formato a otro y viceversa.

No es sólo asunto de cambiar la posición de los resistores si no de obtener los nuevos valores que estos tendrán.

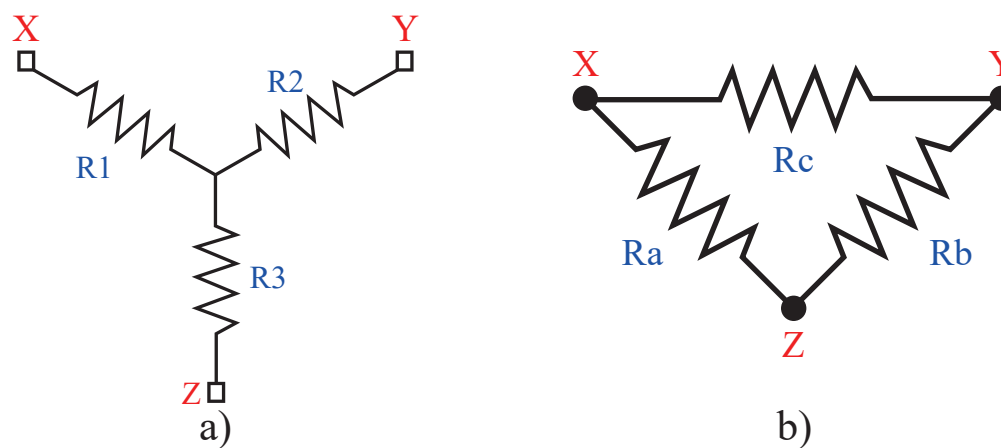


Figura 4 Configuración a) Estrella, b) Triángulo

Conversión de configuración delta a estrella.

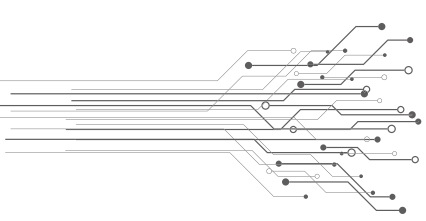
$$R_1 = \frac{(R_a * R_c)}{(R_a + R_b + R_c)}$$

$$R_2 = \frac{(R_b * R_c)}{(R_a + R_b + R_c)}$$

$$R_3 = \frac{(R_a * R_b)}{(R_a + R_b + R_c)}$$

Conversión de configuración estrella a delta.

$$R_1 = \frac{(R_1 * R_2) + (R_1 * R_3) + (R_2 * R_3)}{R_2}$$



$$R_2 = \frac{(R_1 \cdot R_2) + (R_1 \cdot R_3) + (R_2 + R_3)}{R_1}$$

$$R_3 = \frac{(R_1 \cdot R_2) + (R_1 \cdot R_3) + (R_2 + R_3)}{R_3}$$

En la figura 5 está representado un circuito clásico usado en la teoría y práctica de las mediciones en la ingeniería, denominado Puente de Wheatstone. Los valores de los parámetros circuitales son; $E = 12 \text{ V}$; $R_1 = 8 \text{ } \Omega$; $R_2 = 10 \text{ } \Omega$; $R_3 = 4 \text{ } \Omega$; $R_4 = 6 \text{ } \Omega$; $R_5 = 5 \text{ } \Omega$. Determine:

- a) La resistencia total del circuito (fórmulas $\Delta - Y$)
- b) La corriente total del circuito
- c) La corriente en cada rama del circuito. Usar Kirchhoff. ¿Por qué?

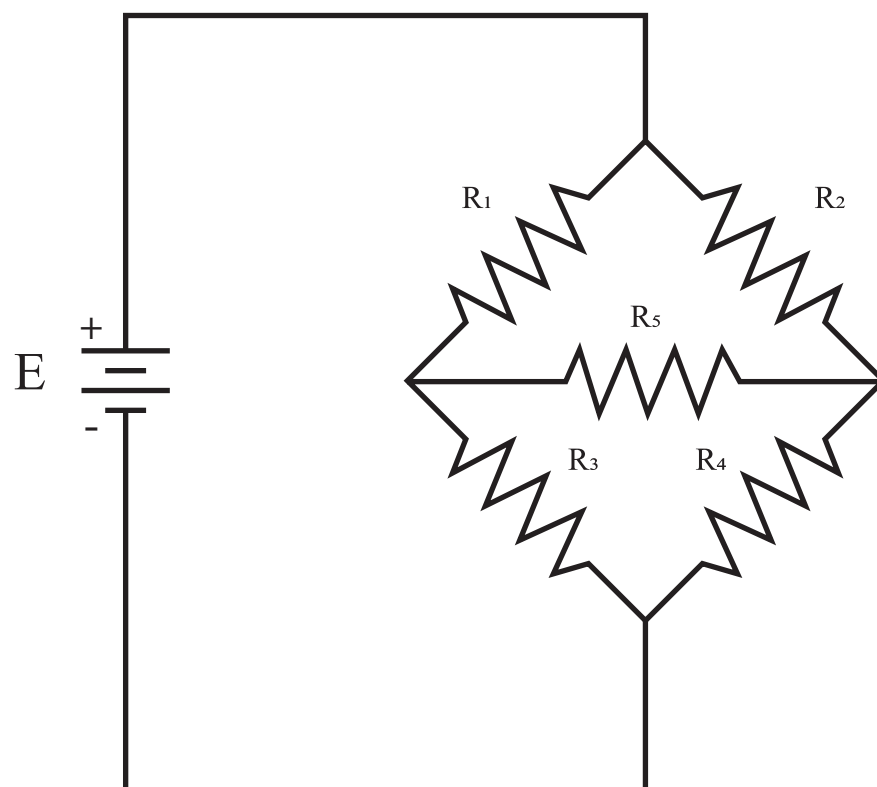
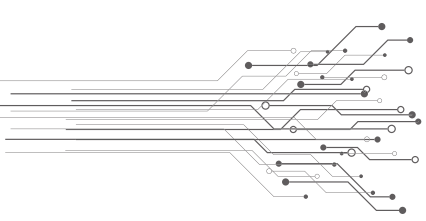


Figura 5. Puente de Wheatstone



Solución:

Inciso a: Una de las mallas conectadas en Δ es convertida estrella:

$$R_a = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2 + R_5}$$

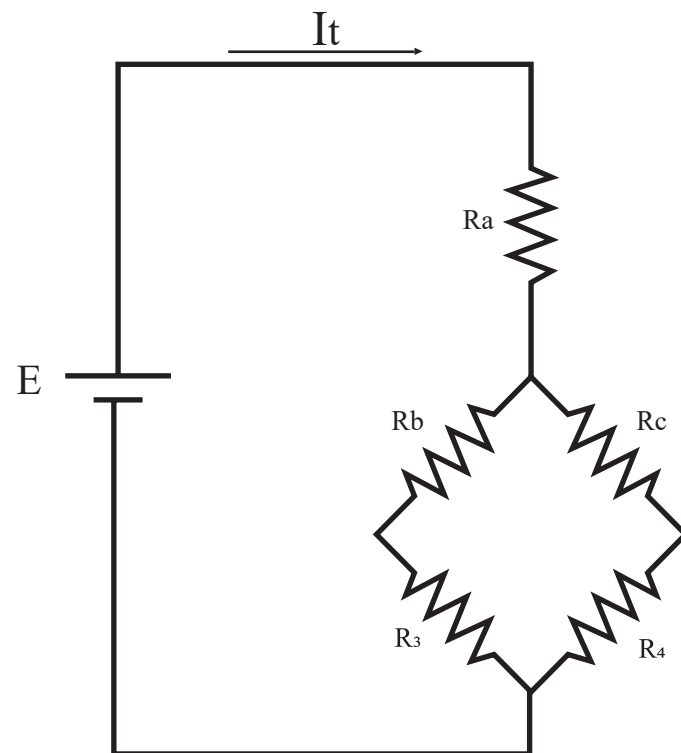
$$R_a = \frac{8 * 10 \cdot \Omega}{8 \cdot \Omega + 10 \cdot \Omega + 5 \cdot \Omega} = 3,5 \Omega$$

$$R_b = \frac{R_2 * R_5}{R_1 + R_2 + R_5}$$

$$R_b = \frac{10 * 5 \cdot \Omega^2}{23 \cdot \Omega} = 2,2 \cdot \Omega$$

$$R_c = \frac{R_1 * R_5}{R_1 + R_2 + R_5}$$

$$R_c = \frac{8 \cdot \Omega * 5 \cdot \Omega}{23 \cdot \Omega} = 1,7 \cdot \Omega$$



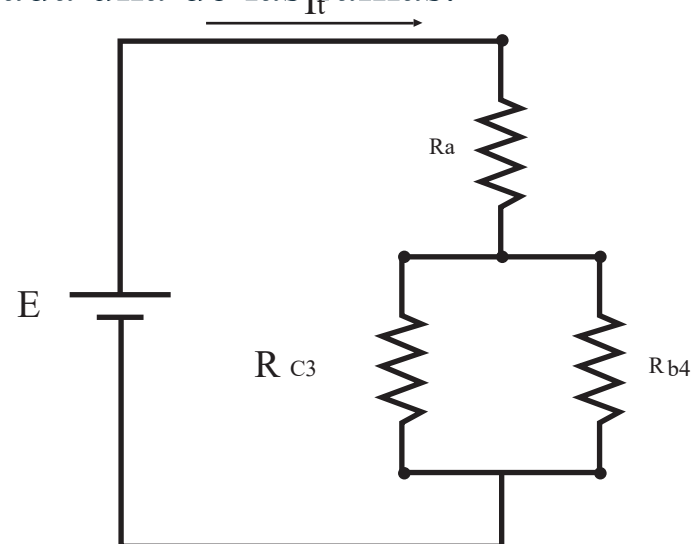
Luego se calcula la resistencia en cada una de las ramas:

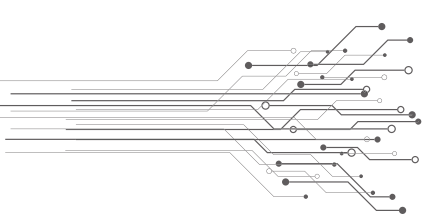
$$R_{C3} = R_C + R_3$$

$$R_{C3} = 5,7 \Omega$$

$$R_{b4} = R_b + R_4$$

$$R_{b4} = 7,2 \Omega$$





La resistencia equivalente del sistema R_{c3} y R_{b4} será:

$$\frac{1}{R_{c3b4}} = \frac{1}{R_{c3}} + \frac{1}{R_{b4}} = \frac{1}{5,7\Omega} + \frac{1}{7,2\Omega} = \frac{7,2\Omega + 5,7\Omega}{5,7 * 7,2\Omega^2}$$

$$R_{c3b4} = \frac{14,4}{12,9}\Omega = 3,2.$$

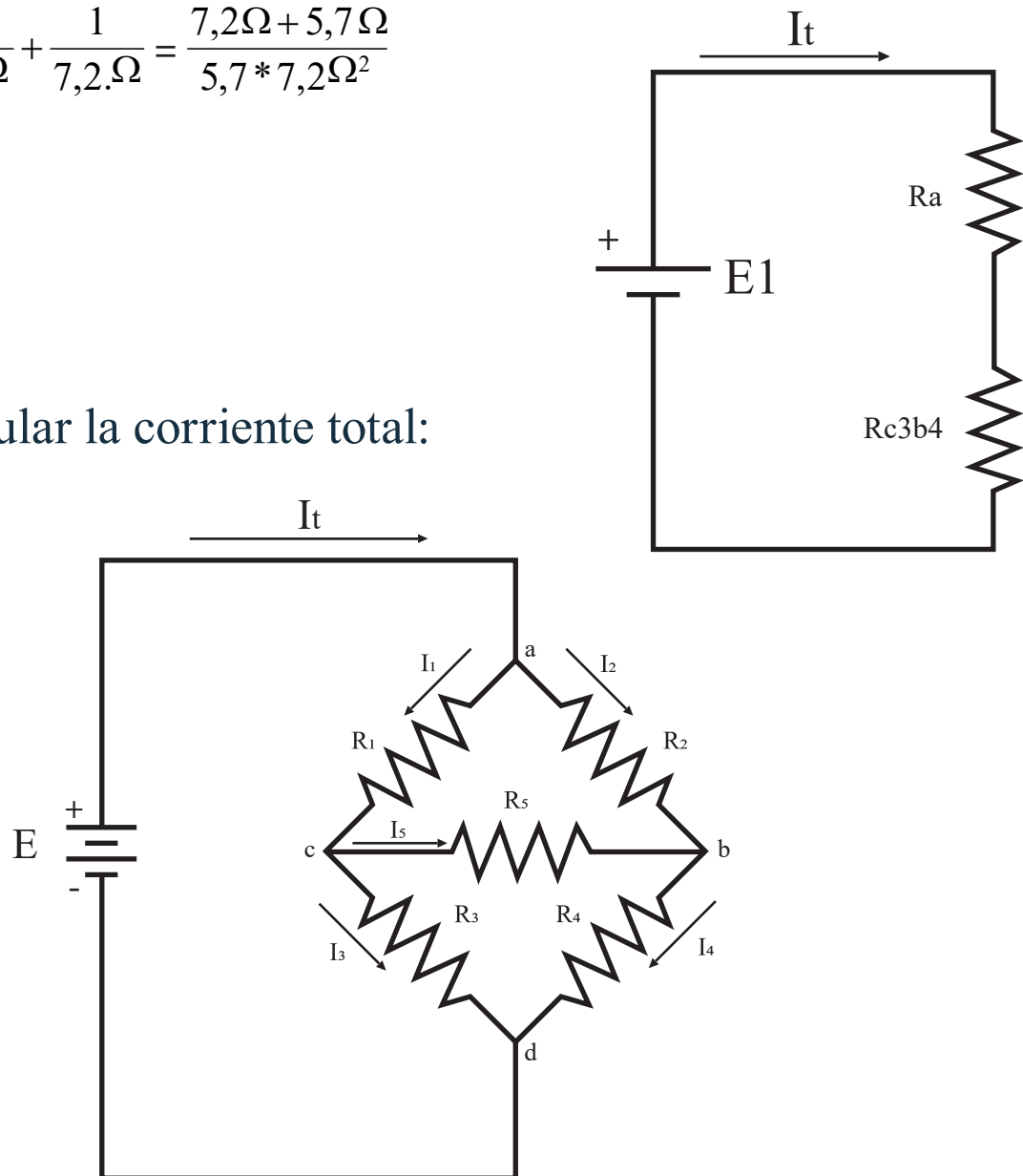
$$R_{Teq} = R_a + R_{c3b4}$$

$$R_{Teq} = 3,5\Omega + 3,2\Omega$$

$$R_{Teq} = 6,7\Omega$$

El inciso b: es calcular la corriente total:

$$I_t = \frac{E}{R_{Teq}} = \frac{12.V}{6,7\Omega} = 1,8.A$$



Para solucionar el inciso c se aplican las leyes de Kirchhoff

Ley de los nodos: Aparecen en el sistema circuital $J = 4$ nodos (a, b, c y d). Entonces se plantea que hay $J - 1$, ecuaciones para los nodos.

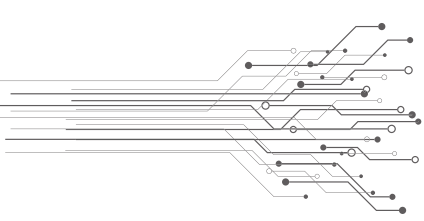
$$I_t - I_1 - I_2 = 0 \quad (1)$$

$$I_1 - I_3 - I_5 = 0 \quad (2)$$

$$I_2 - I_4 + I_5 = 0 \quad (3)$$

Ecuaciones para las mallas:

Hay $B = 6$ ramas; por lo que deberán plantearse $N = B - (J - 1)$ ecuaciones de mallas, pues habrán N mallas independientes:



$8 I_1 - 10 I_2 + 5 I_5 = 0$ (4); para la malla abc
 $-10 I_2 - 6 I_4 = -12 \text{ V}$ (5); para la malla eabd
 $4 I_3 - 6 I_4 - 5 I_5 = 0$ (6); para la malla cbd

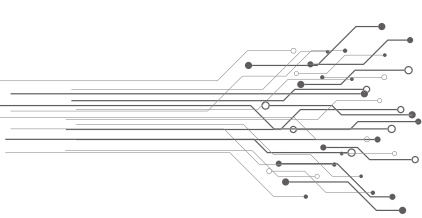
Tarea: Resolver el sistema de ecuaciones:

- Mediante tanteo.
- Mediante determinantes
- Mediante el álgebra matricial

1.3 Importancia de la corriente alterna

En el tema anterior se indicó que la generación y distribución de la energía eléctrica se realiza fundamentalmente en forma de C.A, por las ventajas que presenta ésta, respecto a la C.D, entre las cuales se tiene:

1. La posibilidad de utilizar transformadores para variar los valores de voltajes, lo que propicia un transporte más económico de la energía generada; asumiendo la potencia como constante; si se aumenta el voltaje, disminuye la intensidad I , por lo tanto, disminuye las pérdidas $I^2 R$ y se necesita menor sección transversal de los conductores, lo que disminuye la cantidad de material a utilizar en los conductores, así como su peso.
2. Los generadores sincrónicos de C.A son constructivamente más sencillos, baratos y eficientes que los de C.D, tanto en capacidad como en gastos de materiales, para una misma potencia de generación.
3. Los motores de C.A (asíncronos) tienen un sin número de ventajas respecto a los de C.D, siendo mucho más simples y de menor tamaño para igual potencia.



4. La utilización de otras fuentes de energía, como la hidráulica, eólica y celdas solares; el uso de recursos minerales como el carbón, petróleo, entre otras, resultan económicas cuando estas energías pueden ser convertidas en eléctricas, transportadas a grandes distancias y luego vueltas a convertir en caloríficas, mecánicas, etc.

Generación de voltajes alternos: Generalidades.

Circuitos de corriente alterna

En corriente directa, el sentido unidireccional del movimiento de los portadores de carga da la polaridad fija. Los valores característicos de corriente y voltaje no varían en el tiempo.

En el experimento de Faraday se tiene una espira rectangular y un campo magnético uniforme de inducción que rota con una velocidad ω como se muestra en la figura 6.

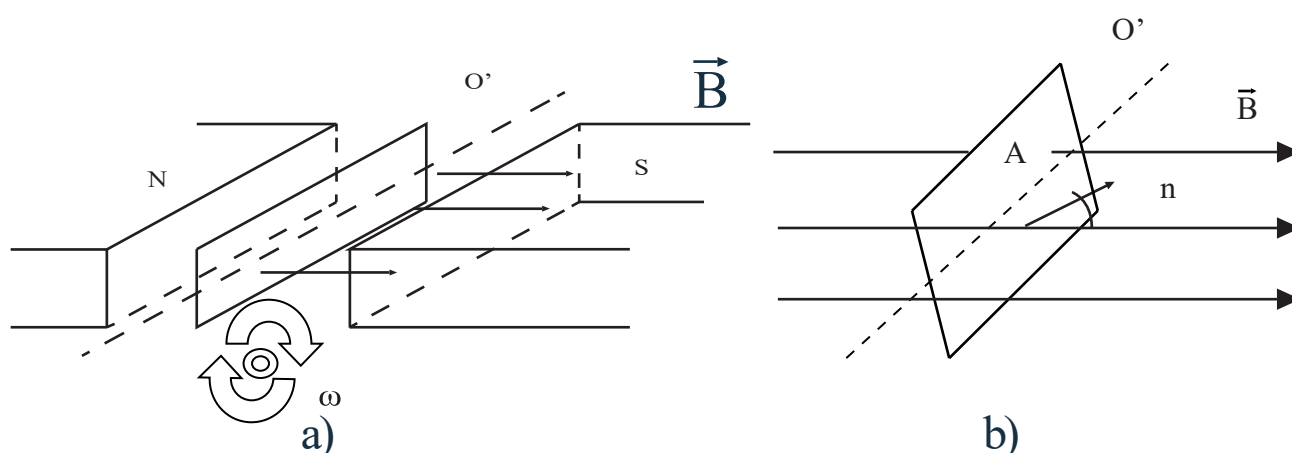
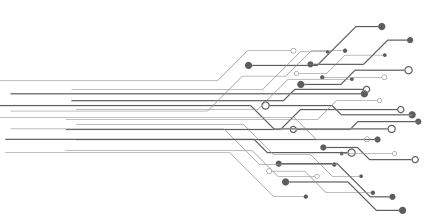


Figura 6. Inducción electromagnética: a) Espira paralela a las líneas de fuerza, b) giro de espira.

El valor instantáneo del flujo de inducción magnética será:



$$\phi = \phi_{MÁX} \cos \omega.t$$

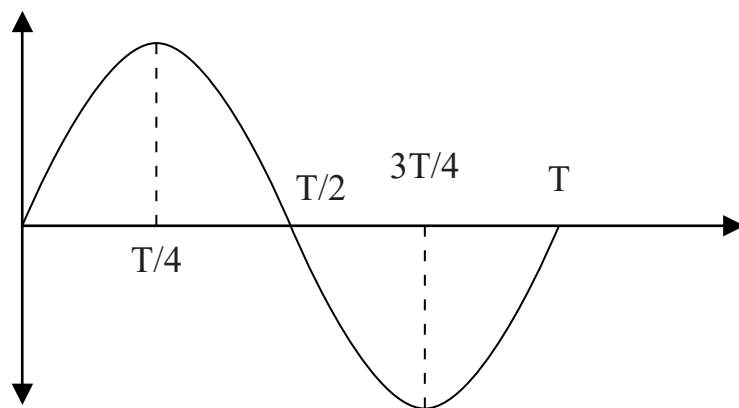
En $t = 0$: La espira es perpendicular a las líneas de inducción y el flujo es máximo y el voltaje máximo.

$$V = V_{máx} = \omega BA.$$

Luego

$$V = V_{máx} \sin \omega t$$

Es evidente que el voltaje varía en el tiempo, pudiendo alcanzar valores positivos y negativos como se muestra en la figura 7, una señal senoidal o sinusoidal, tensión $v(t)$, o corriente $i(t)$, se puede expresar matemáticamente según sus parámetros característicos como una función del tiempo



$$V = V_{max} \cdot \sin(\omega t + \Phi)$$

T: periodo

V_{max} : Amplitud

Ciclo: Onda completa

ω : Velocidad Angular

$$\omega = 2\pi/T; \omega = 2\pi f$$

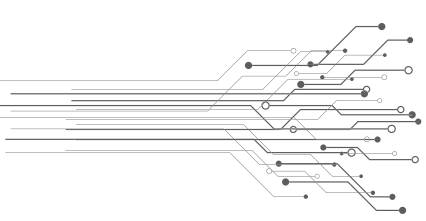
f : frecuencia cíclica

Figura 7. Corriente alterna

La medida de la oposición de un circuito al paso de la corriente alterna se denomina impedancia que es básicamente la resistencia equivalente del circuito RLC dependiente de la frecuencia. Esta tiene tres componentes básicos:

$$\text{Resistencia}(R) = \Omega$$

$$\text{Reactancia inductiva } (X_L) = \Omega, X_L = \omega L = 2 \pi f L$$



Reactancia capacitiva (X_C) = Ω , $X_C = 1/\omega C = 1/2\pi fC$

Ahora bien

En un circuito puramente resistivo la corriente está en fase con el voltaje:

$$I = I_{\text{máx}} \text{ sen } \omega t$$

$$V = V_{\text{máx.}} \text{ Sen } \omega t$$

En un circuito puramente inductivo el voltaje adelanta 90° a la corriente:

$$V = V_{\text{máx.}} \text{ Sen } (\omega t + 90^\circ)$$

En un circuito puramente capacitivo el voltaje se retrasa 90° respecto a la corriente.

$$V = V_{\text{máx.}} \text{ Sen } (\omega t - 90^\circ)$$

En general para un circuito resistivo inductivo capacitivo como se muestra en la figura 8.

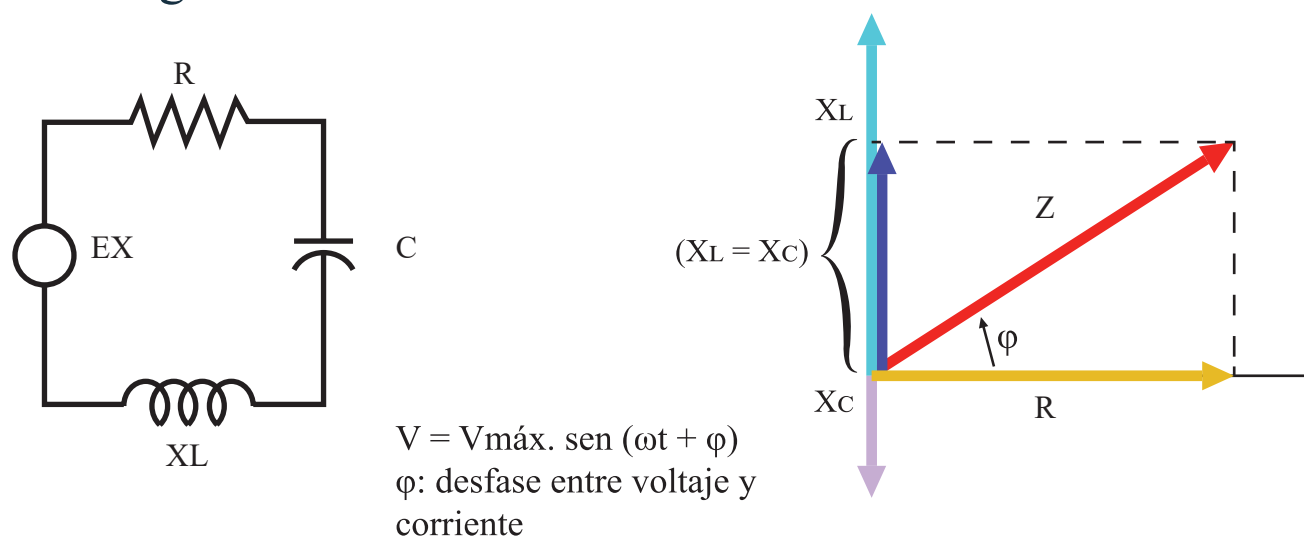
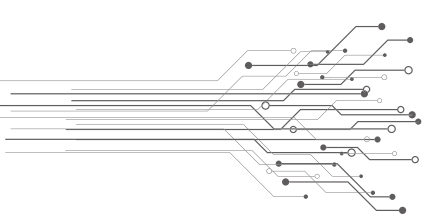


Figura 8. a) circuito RLC, b) diagrama fasorial de impedancias

$$Z = \frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\phi = \arctang \frac{X_L - X_C}{R}$$



Note que Z experimenta su mínimo valor de (R) cuando $\phi = 0$. Bajo estas condiciones el circuito presenta su máxima corriente.

Para obtener una fuerza electromotriz (f.e.m) en los alternadores, indistintamente se puede lograr mediante el movimiento de un conductor respecto a un campo fijo o de un campo variable respecto a un conductor fijo.

Luego; si la f.e.m E , varía sinusoidalmente, también variarán de esta manera la intensidad I y el voltaje V . Los valores instantáneos se designan con letras minúsculas (e , v , i) y los valores máximos con mayúsculas ($E_{\text{máx}}$, $V_{\text{máx}}$, $I_{\text{máx}}$).

$$e = E_{\text{máx}} \text{ sen } \omega t$$

$$v = V_{\text{máx}} \text{ sen } \omega t$$

$$i = I_{\text{máx}} \text{ sen } \omega t$$

La onda de voltaje, corriente o f.e.m tiene los siguientes parámetros característicos.

Amplitud: Valor máximo de la magnitud que oscila.

Ciclo: Serie de valores que experimenta la onda a partir del cual comienzan a repetirse.

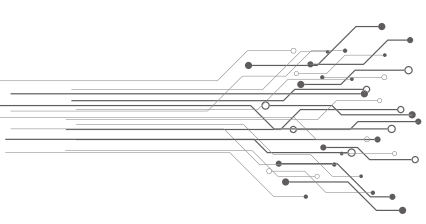
Período: Tiempo de duración de un ciclo.

Frecuencia: Cantidad de ciclos en un segundo.

$$T = \frac{1}{f} = (\text{s})$$

$$f = \frac{1}{T} = (\text{Hz})$$

ϕ : fase inicial, ángulo de posición en $t = 0$



Entonces:

$$i(t) = I_{\text{máx}} \sin(\omega t + 0)$$

Dónde:

$$\omega = 2\pi f \text{ [rad/s]}$$

$$f = 1 / T \text{ [ciclo/s] (Hz)}$$

Por razones prácticas se utilizan los valores efectivos o eficaces de la onda.

Para una función sinusoidal de corriente y voltaje se definen los valores eficaces, así

$$I = \frac{I_{\text{MÁX}}}{\sqrt{2}}$$

$$V = \frac{V_{\text{MÁX}}}{\sqrt{2}}$$

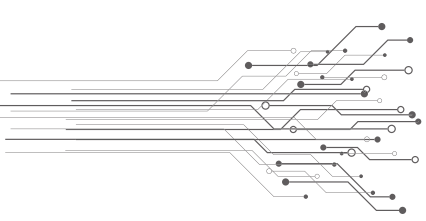
El valor eficaz es un equivalente al valor de corriente directa que circula por una misma resistencia, en un mismo intervalo de tiempo, para provocar la misma acción térmica que la corriente alterna.

Impedancia: Ley de Ohm

Impedancia: es la medida de la oposición al paso de la C.A partiendo de la figura 8 se tiene:

$$Z = \text{Impedancia}$$

$$Z = V/I$$

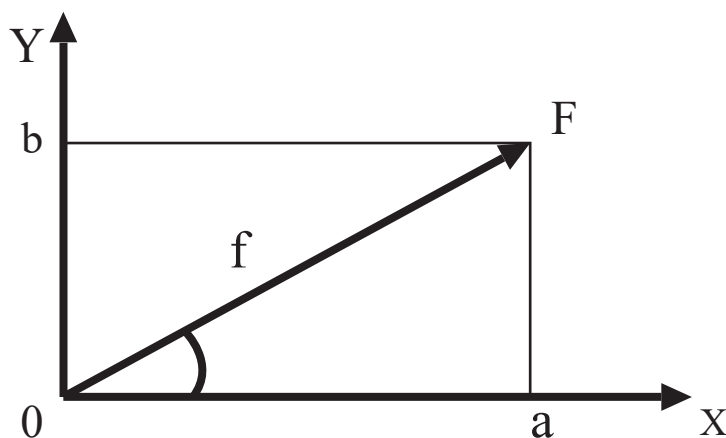


1.4 Representación fasorial de las magnitudes eléctricas en la C.A

Cualquier magnitud que varía sinusoidalmente con el tiempo, puede representarse como un vector rotatorio, o fasor. El módulo del vector y su ángulo respecto a una dirección predeterminada definirán la magnitud eléctrica en cuestión o bien podrá ser definida por los componentes del fasor.

Los fasores se representan con notación compleja.

En la figura 9, representa la notación compleja.



$|F|$: módulo del fasor

Hay dos componentes, una real y otra imaginaria. La imaginaria se encuentra en el eje Y

Figura 9. Fasores con notación compleja

$$a = f \cos \varphi$$

$$b = f \sin \varphi$$

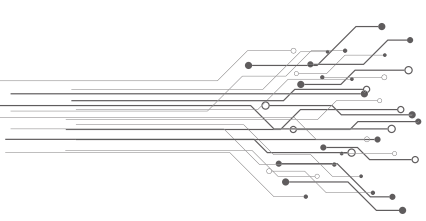
b se encuentra en el eje imaginario que se representa con la letra j

$$f = f \cos \varphi + j f \sin \varphi$$

$$f = f (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

En forma polar, sólo se tiene en cuenta el módulo del vector y el ángulo formado con una dirección predeterminada.

Así:



$$f = f \angle \phi$$

$$\phi = \tan^{-1} (b/a)$$

Ejemplo: Dados los fasores:

$$F_1 = 3 + j4 = 5 \angle 53^\circ$$

$$F_2 = 6 - j8 = 10 \angle -53^\circ$$

a) Hallar su suma y resta. Para la suma y la resta se usa la notación compleja.

$$F_1 + F_2 = 9 + j12 = 15 \angle 53^\circ$$

$$F_2 - F_1 = 3 - j4 = 5 \angle -53^\circ$$

b) Para la multiplicación y la división se usa la notación polar.

$$F_1 * F_2 = 5 \angle 53^\circ * 10 \angle -53^\circ = 50 \angle 0^\circ$$

$$F_1/F_2 = 5 \angle 53^\circ / 10 \angle -53^\circ = 0,5 \angle 106^\circ$$

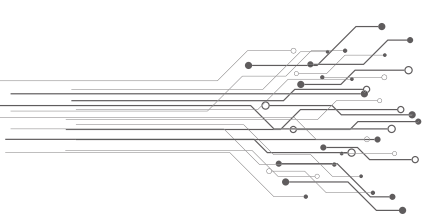
1.5 Circuitos de C.A monofásicos

Circuitos de C.A puramente resistivos tenemos:

$$V_r = I_r * R;$$

$$I_r = \frac{V_r}{R} = \frac{V_m \cdot \sin(\omega t)}{R} = I_m \cdot \sin(\omega t); A$$

Dónde $I_m = \frac{V_m}{R}$



Evidentemente los voltajes y las corrientes están en fases.

Circuitos de C.A puramente inductivos

$$V_L = \frac{dL}{dt} ; V \text{ figura 10.}$$

Donde:

L= bobina con la unidad en Henrios (H) o milihenrios (mH)

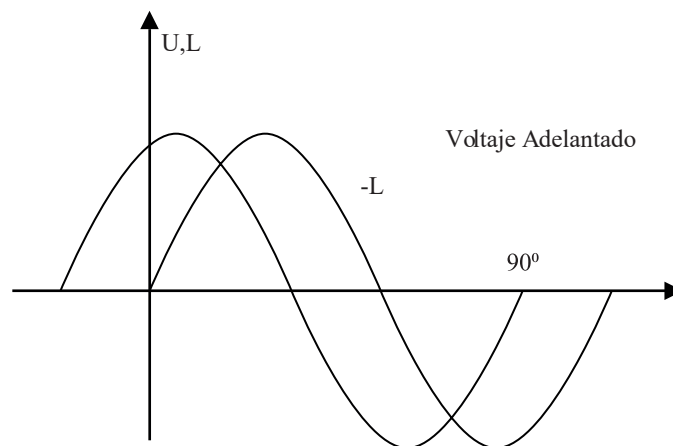


Figura 10 Voltaje de la bobina

Sí $I = I_m \sin \omega t$ (A)

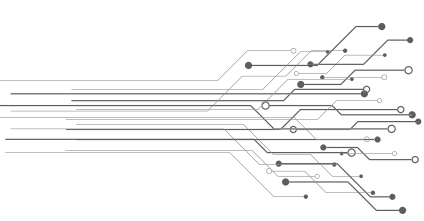
$$V_L = \omega L * I_m * \cos \omega t = \omega L * I_m * \sin (\omega t + 90^\circ) \text{ (V)}$$

$V_c: V_m \sin (\omega t + 90)$; el voltaje se adelanta 90° respecto a la corriente.

Circuitos de C.A puramente capacitivos.

$$V_c = \frac{1}{C} \int I dt ; \text{ si } I = I_m \sin(\omega t)$$

Tenemos:



$$V_c = \frac{1}{C} \int I_m \sin \omega t dt$$

$$V_c = \frac{I_m}{\omega \cdot C} \int \sin \omega t d\omega t = \frac{I_m}{\omega \cdot C} (-\cos \omega t) + \text{Const.}$$

Pero;

$$\frac{1}{\omega \cdot C} = X_c$$

$$V_c = I_m X_c \sin(\omega t - 90^\circ) + \text{Const.} \quad \text{para } t = 0; \text{ const} = 0$$

$$V_{CM} = I_M \frac{1}{\omega \cdot C}$$

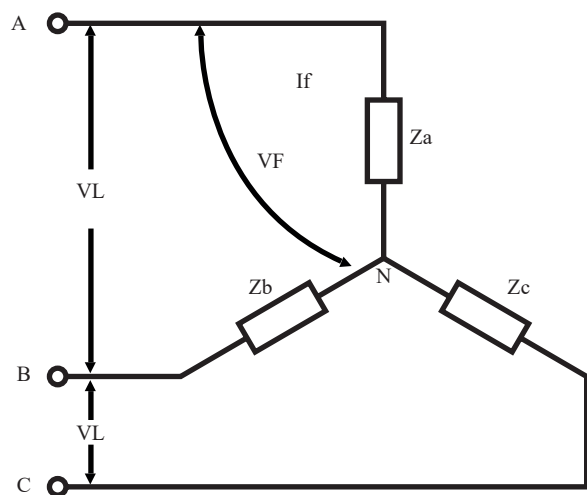
$$V_c = V_M \sin(\omega t - 90^\circ)$$

1.6 Circuitos trifásicos

Un paso importante en el desarrollo de la electricidad fue la invención del motor y el generador trifásico, que ocurrió en EE.UU. en el año 1888 y fue inventado por Tesla. Desde entonces los circuitos trifásicos tienen una gran importancia por su aplicabilidad. Un ejemplo clásico de un circuito trifásico es el devanado de un motor de igual tipo. Los circuitos trifásicos tienen las formas delta (Δ), estrella (Y), o combinaciones de éstas ($\Delta\Delta$, YY , $Y\Delta$).

Una aplicación de la teoría de la corriente alterna a las máquinas eléctricas, lo constituyen las conexiones **estrella y delta**. Estos son ejemplos de circuitos trifásicos. Nosotros trabajaremos con circuitos trifásicos **balanceados**; o sea cada una de las tres fases con igual impedancia (balanceados por impedancia)

1.6.1 Circuito en estrella



VL: Voltaje de línea
 Vf: Voltaje de línea a neutro o voltaje de fase.

IL: Corriente en la línea.
 If: Corriente en la fase.
 IL: corriente en la línea.

$$\hat{I}_L = \overline{I_f}$$

$$V_L = \sqrt{3} V_f \angle 30^\circ$$

Figura 11 Circuito estrella con impedancias

1.6.2 Conexión Δ

VL: Voltaje de línea
 Vf: Voltaje de línea a neutro o voltaje de fase.
 IL: Corriente en la línea.
 If: Corriente en la fase
 IL: Corriente en la línea.

$$I = \sqrt{3} I_f \angle 30^\circ \text{ A.}$$

$$V_L = V_f$$

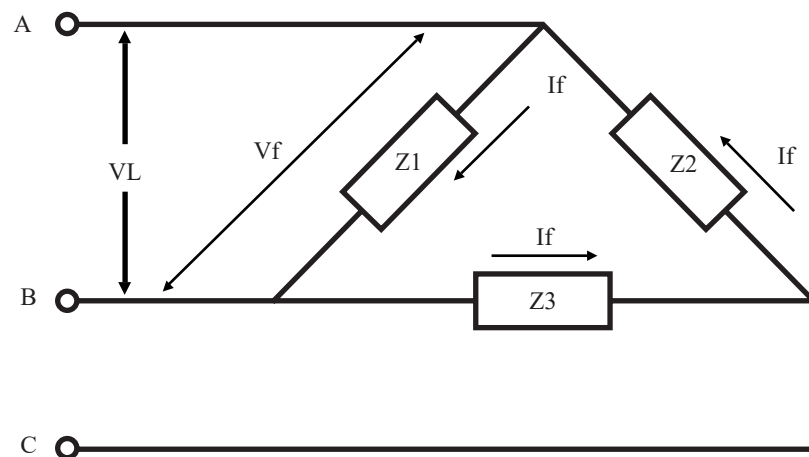
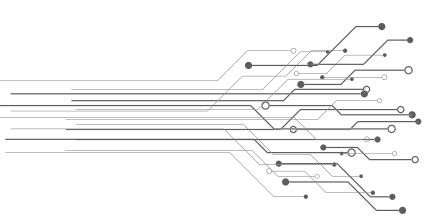


Figura 12 Circuito triángulo con impedancias

Sistemas eléctricos balanceados: Siempre en nuestra asignatura trabajaremos con sistemas eléctricos balanceados. Un circuito trifásico estará balanceado por voltajes si los tres ramales tienen igual magnitud de tensión y están desfasados 120° .



Cargas eléctricas balanceadas: Impedancias iguales por fases con módulo y ángulo también iguales. Circuito equivalente por fase: Métodos de obtención de parámetros. Aplicación de las leyes de Ohm y de Kirchhoff.

1.6.3 Potencia: Relaciones de potencia en un sistema trifásico balanceado

En la conexión en estrella, **la potencia activa** total del sistema expresada en Watt (W) (generación o recepción) será

$$P = 3V_f I_f \cos \phi$$

Pero como:

$$V_f = \frac{V_l}{\sqrt{3}}, \quad I_f = I_l$$

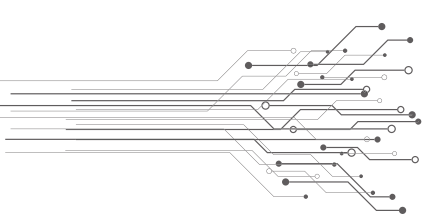
Tenemos

$$P = \sqrt{3} V_l I_l \cos \phi$$

Análogamente, **la potencia reactiva**.

$$Q = 3V_f I_f \sin \phi$$

Con las mismas relaciones entre tensiones e intensidades compuestas y simples, nos quedará:



$$Q = \sqrt{3}V_l I_l \sin\phi$$

En la conexión en triángulo, **la potencia activa** total del sistema (generación o recepción) será:

$$P = 3V_f I_f \cos\phi$$

Pero como:

$$I_f = \frac{I_l}{\sqrt{3}}, \quad V_f = V_l$$

Tenemos:

$$P = \sqrt{3}V_l I_l \cos\phi$$

Análogamente, **la potencia reactiva**.

$$Q = 3V_f I_f \sin\phi$$

Con las mismas relaciones entre tensiones e intensidades compuestas y simples, nos quedará:

$$Q = \sqrt{3}V_l I_l \sin\phi$$

La potencia reactiva es expresada en VAR y kVAR

En sistemas trifásicos podemos observar la relación entre los diferentes tipos de potencia mediante el triángulo de potencias, similar al de los circuitos monofásicos y representa en la figura 13.

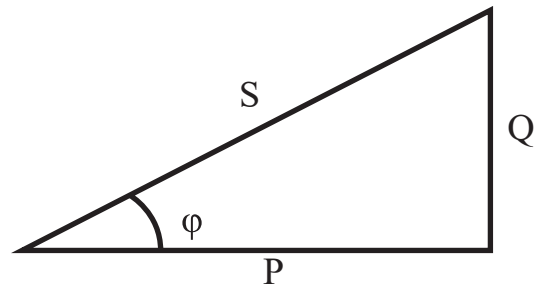
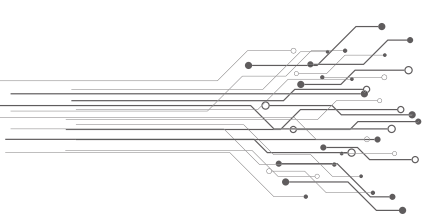


Figura 13. Triángulo de potencias

De la figura 13 se define la potencia aparente, al ser el sistema equilibrado:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3V_F I_F = \sqrt{3}V_l I_l$$

Las unidades en que es expresado la potencia aparente o suministro eléctrico son:

VA y KVA

Además del triángulo de potencias de la figura 13, se deduce que el factor de potencia (fp), que en circuitos equilibrados es igual a $\cos \phi$, se puede calcular de la siguiente manera.

$$fdp = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \cos \phi$$

Potencia compleja

La potencia de un circuito también se puede calcular y expresar en forma compleja. En la figura 14 se ha multiplicado por I^2 al triángulo de impedancias con notación compleja:

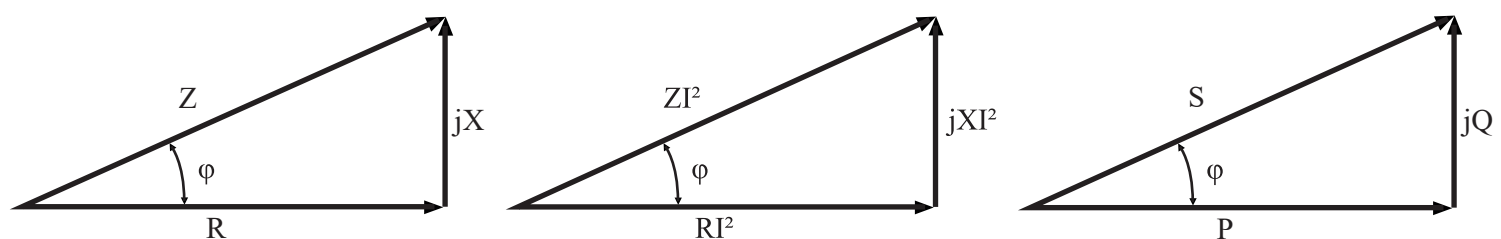
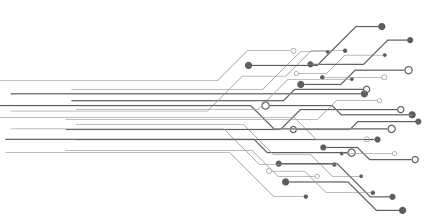


Figura 14 Triángulo de potencias a partir del triángulo de impedancias



El triángulo de potencias nos indica que la potencia aparente compleja se expresa de la siguiente manera:

Triángulo de Impedancia

$$Z = R + j(X_L - X_C); \Omega$$

$$V_t = I(R + j(X_L - X_C))$$

Luego el fasor $\check{Z}$ se expresará así:

$$\check{Z} = R + j(X_L - X_C): \text{ en notación fasorial}$$

$$\hat{Z} = Z \angle \varphi ; \text{ en notación polar}$$

En la figura 15 se representa el diagrama de voltajes.

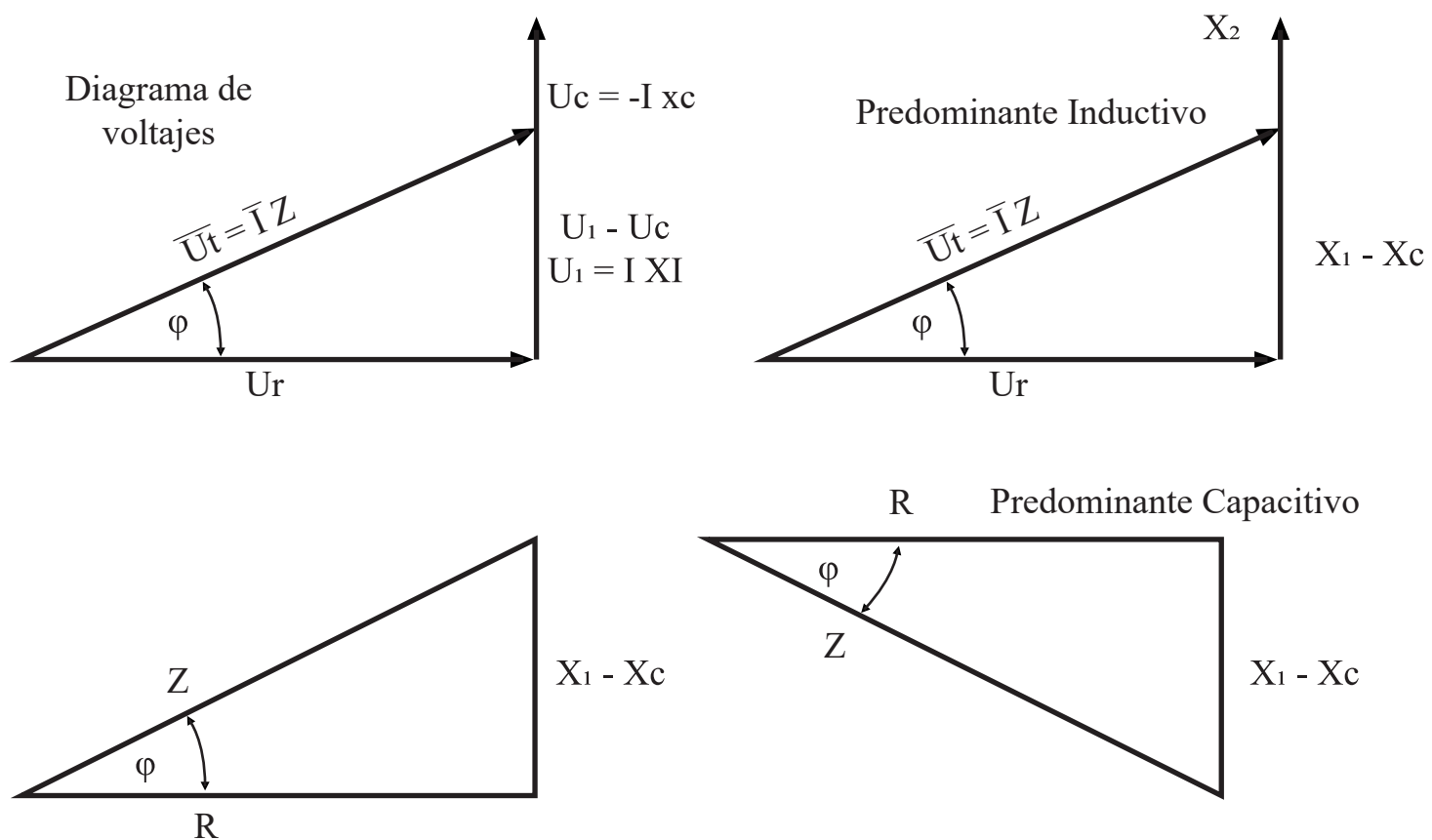
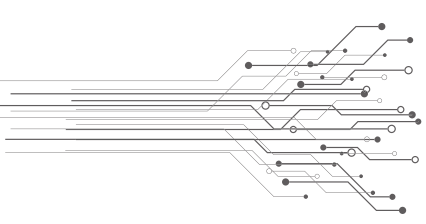
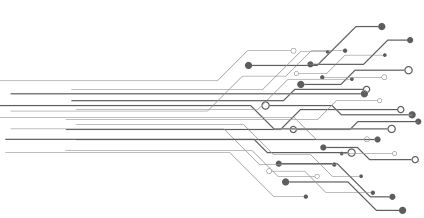


Figura 15 Diagrama de voltajes



CAPÍTULO II CARACTERIZACIÓN DEL CIRCUITO ELÉCTRICO



El sistema eléctrico como proveedor de la energía fundamental de los procesos productivos y los servicios.

2.1 Elementos componentes

Con el objetivo de utilizar eficiente y racionalmente la energía eléctrica, es necesaria una infraestructura que asegure dicho servicio. Por ejemplo, en ciertas instalaciones no puede faltar el servicio eléctrico porque traería problemas a la vida de los operarios y daños a la economía.

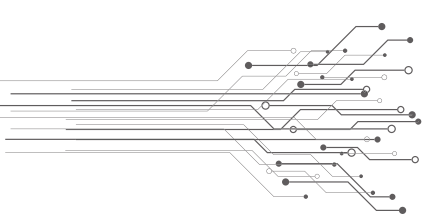
La infraestructura creada con elementos eléctricos como transformadores, conductores, motores, luminarias, etc. destinada a abastecer de energía a una empresa o taller industrial se le denomina Sistema Eléctrico Industrial. Por supuesto, se habla de un sistema ubicado en el interior de una instalación que puede ser de producción o servicios.

Estos sistemas están diseñados para satisfacer los requerimientos técnicos de los diferentes consumidores.

2.2 Instrumentos de medición eléctricos

Los estudiantes de las ciencias de la ingeniería necesitan estar familiarizados con las mediciones eléctricas y tener conocimiento de cómo se miden las diversas magnitudes electromagnéticas: intensidad de corriente eléctrica directa o alterna, voltaje directo o alterno, resistencia, inductancia, capacitancia, potencia activa, factor de potencia, flujo magnético, etc.

Las mediciones con muchos instrumentos de medición eléctricos de carácter analógicos se hacen a partir del efecto que produce la corriente eléctrica al pasar por bobinas situadas en campos magnéticos y ese efecto se considera proporcional a la magnitud que necesita medirse. En todo momento el efecto electromagnético necesita de una compensación o amortiguación que puede ser mecánica en los de aguja indicadora, tal como el muelle espiral de un reloj. La aguja por

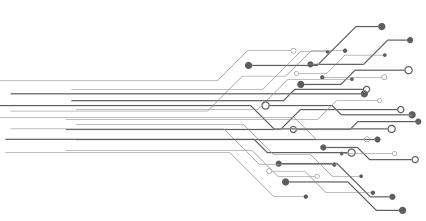


el mecanismo de amortiguamiento vuelve al cero una vez que cesa el efecto electromagnético.

Del texto “Electrotecnia Básica” de Esteban Amador (1986, p. 427) se toma la tabla 4 que relaciona magnitud a medir, instrumento, unidad en el Sistema Internacional de Unidades y símbolo del instrumento.

Tabla 1 Medición Eléctricos

Magnitud	Instrumento	Símbolo	Unidad en el SI
Corriente	Amperímetro		Ampere (A)
Voltaje	Voltímetro		Volts (V)
Potencia	Vatímetro		Watts (W)
Energía Eléctrica	Kilo – Vatímetro		Kilowatt – hora(KWh)
Factor de Potencia	Cofímetro		
Frecuencia	Frecuencímetro		Herz
Resistencia	Ohmímetro		Ohm (Ω)
Inductancia	Metro de Inductancia		Henry (H)
Capacitancia	Metro de Capacitancia		Farad (F)
Flujo Magnético	Flujómetro		Weber

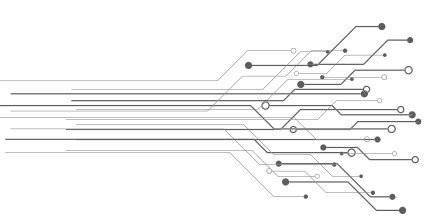


Los Instrumentos de medición analógicos todavía siguen empleándose a pesar de la irrupción en la tecnología de las mediciones de los electrónicos y los automáticos, que incluyen las PC. Los de naturaleza electromagnética para las mediciones directas se clasifican:

- Instrumentos de bobina móvil e imán permanente (D'Arsoval). Bobina por la que pasa corriente y que experimenta un momento torsor al estar situada en el campo magnético de imanes permanentes, que es amortiguado por un muelle en espiral. Su símbolo se denota por los fabricantes como se ilustra.
- Instrumentos de hierro móvil cuyo principio de funcionamiento se basa en la interacción que existe entre el campo magnético ligado a una bobina estacionaria y uno o varios núcleos de material ferromagnético con posibilidad de moverse.
- Instrumentos electrodinámicos. Funcionan debido al efecto mutuo producido entre dos conductores a través de los que circulan corrientes. Poseen una bobina fija que hace el mismo papel que el imán permanente en los dispositivos de medición tipo D'Arsoval y una bobina móvil.
- Instrumentos con rectificadores. Operan a partir del principio de D'Arsoval, pero sometida la corriente a un proceso de rectificado mediante puentes de diodos para onda completa a la entrada del instrumento y a partir de aquí todo se basa en el principio D'Arsoval como es el caso de los de bobina móvil e imán permanente.

2.3 Formas de conexión de algunos instrumentos

Examinemos en la figura 2.1 en un mismo esquema circuital las formas de conexión de tres instrumentos básicos en los estudios de circuitos eléctricos como lo son el Amperímetro, el Voltímetro y el Watímetro. Note que por el amperímetro debe de circular toda la corriente de ahí



su conexión en serie y su baja resistencia interna, por el voltímetro la menor corriente posible por lo que tiene una elevada resistencia interna. El Watímetro que mide potencia, la cual es el producto de intensidad por tensión tiene una conexión serie – paralelo como si fuera una combinación de Amperímetro – Voltímetro.

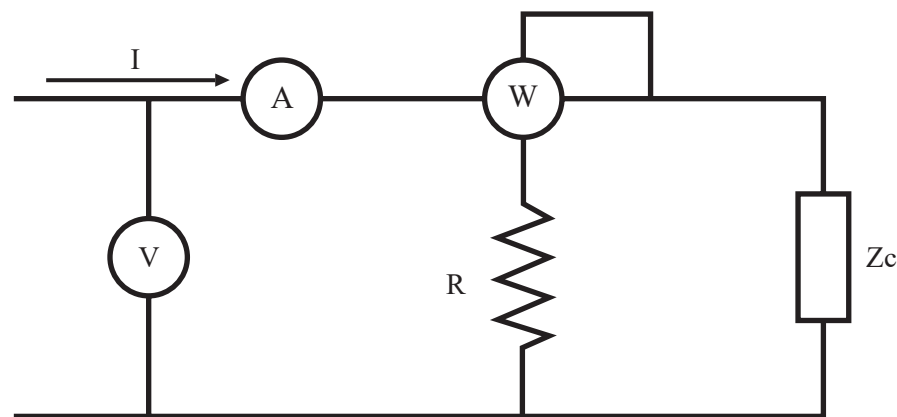


Figura 16. Conexión de instrumentos de medida.

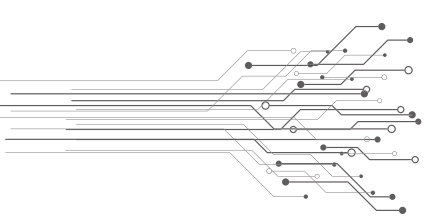
Receptores de Energía. Su clasificación.

Atendiendo al requerimiento de continuidad del servicio:

Esta clasificación tiene incidencia directa en el número de fuentes de alimentación independiente: para receptores 1ra categoría al menos son, 2da categoría, preferentemente una fuente.

Este requisito se expresa en la continuidad del servicio y se divide en tres categorías.

- a) Receptores de 1ra categoría: En los que la interrupción del servicio implica peligro para la vida o una afectación considerable del material, desorden del proceso tecnológico, redundante en grandes pérdidas económicas.
- b) Receptores de 2da categoría: La interrupción implica una apreciable reducción de la producción, inactividad del personal, las máquinas y el transporte.



- c) Receptores de 3ra categoría: No incluidos en los casos anteriores, instalaciones secundarias no determinantes en el proceso productivo.

Atendiendo al voltaje que utilizan:

- Consumidores de C.D (importancia)
- Consumidores de C.A (monofásicos y trifásicos) (importancia)

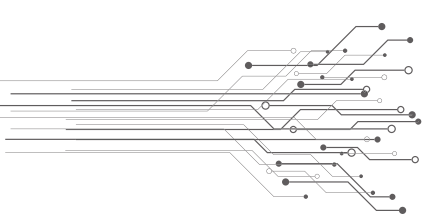
Según el régimen de operación:

- Operación continua:
- Poca duración:
- Intermitente:

Según la potencia que consumen:

- Equipos de fuerza: Cientos de kW y voltaje variable, una afectación en ellos es inadmisibles ya que llevan el peso fundamental de la producción, tienen una Ist. elevada y f.p 0.85
- Instalaciones de alumbrado.
- Instalaciones convertidoras
- Motores de producción
- Hornos eléctricos
 - De resistencia
 - De inducción
 - De arco eléctrico

Esta clasificación es útil pues permite dimensionar correctamente los Sistemas Eléctricos Industriales (S.E.I.) hacer correcciones del factor de potencia, cuáles equipos son las más importantes:



Según el voltaje y la frecuencia de trabajo.

1. Receptores trifásicos con tensión hasta 1000 V y frecuencia de 60 Hz.
2. Receptores trifásicos con tensión superiores 1000 V y frecuencia de 60 Hz.
3. Receptores monofásicos con tensión hasta 1000 V y frecuencia de 60 Hz.
4. Receptores con frecuencias diferentes de 60 Hz.
5. Receptores de CD.

Receptores típicos de energía.

- Equipos industriales accionados por motores eléctricos: compresores, ventiladores, bombas, elevadores, entre otros.
- Instalaciones de alumbrado.
- Instalaciones convertidoras de CA a CD y variadores de frecuencia.

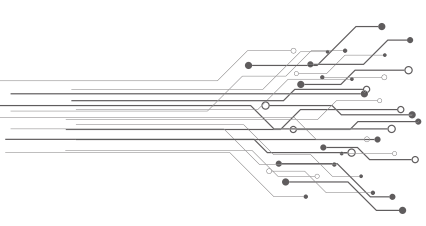
Calidad de la energía

Los parámetros de la energía que se les entrega a los consumidores son los siguientes:

- Caída del voltaje en los circuitos
- Variaciones del voltaje.
- Variación de la frecuencia.
- Distorsión de la onda de voltaje y corriente.

Además de lo anterior, el SEI debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Confiabilidad.
- Flexibilidad.
- Accesibilidad.



2.4 Factor de potencia. Mejora del factor de potencia

El factor de potencia es un importante indicador del ahorro energético y debe ser tenido en cuenta por el Ingeniero que funge como energético en una empresa y los demás profesionales que ocupan responsabilidades tecnológicas tanto en la industria como en los servicios.

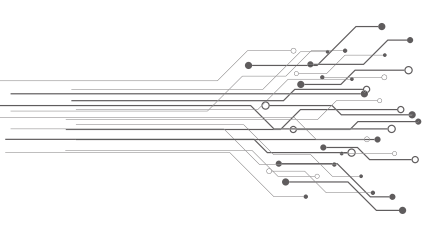
El factor de potencia por su relevancia económica, requiere de un seguimiento sistemático que garantice mantenerlo en valores superiores a 0.9, por que incide directamente en la disminución de los costos de producción. Significa rentabilidad y competitividad.

El factor de potencia puede ser obtenido mediante la lectura de un instrumento (cofímetro, $\cos\phi$) u otros instrumentos contadores por medición directa o indirecta.

fp: factor de potencia

Causas de un bajo factor de potencia:

1. Uso no racional de las capacidades de los consumidores de energía (reactiva). Ejemplo: motores y transformadores sobredimensionados.
2. Utilización de alumbrado con arrancadores inductivos.
3. Presencia inevitable de grandes consumidores de potencia reactiva, Q (grandes campos magnéticos).
4. Utilización de motores de bajo rendimiento.



5. Baja calidad en la reparación de los motores.
6. Uso de sistemas de soldadura (suelta de arco)

2.5 Consecuencias de un bajo factor de potencia

La transmisión de una considerable cantidad de potencia reactiva a través de los conductores resulta ser una desventaja por:

1. La transmisión de potencia reactiva provoca pérdidas adicionales de potencia activa en todos los elementos del sistema de suministro.
2. La transmisión de potencia reactiva provoca caídas de voltajes adicionales.
3. Mayores gastos por concepto de consumo de energía.

Métodos para mejorar el factor de potencia

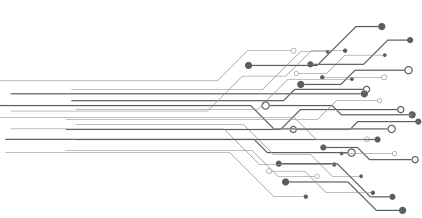
Existen dos métodos fundamentales que son:

- Uso racional de las capacidades de las máquinas eléctricas.
- Uso de elementos compensadores.

El primer método considera las medidas que implican menores inversiones económicas:

Medidas para elevar el fp sin el uso de elementos compensadores.

1. Ordenamiento del proceso tecnológico, para disminuir la subutilización de los equipos eléctricos.
2. Sustitución de motores subcargados por motores de menor potencia.



3. Reducción del voltaje de los motores que sistemáticamente trabajan con poca carga.
4. Limitación del trabajo de los motores en vacío.
5. Sustitución de motores asincrónicos por motores sincrónicos.
6. Elevación de la calidad de la reparación de los motores asincrónicos.
7. Sustitución de los transformadores subcargados.

El segundo método: Equipos compensadores

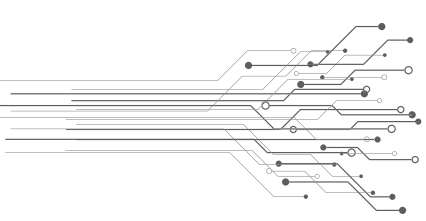
Motores Sincrónicos. Son motores sincrónicos aligerados en su construcción, sin carga en el eje que pueden trabajar tanto en régimen de generación de potencia reactiva (por medio de su sobreexcitación), como en régimen de consumo (subexcitación).

Ventajas:

1. Regulación suave y automática de la potencia reactiva (Q) generada.
2. Suficiente estabilidad térmica y dinámica de los devanados a corrientes de cortocircuito.
3. Posibilidad de reparación y mantenimiento.

Desventajas:

1. Relativamente altas pérdidas de potencia activa. (0,32 – 0,15 k W/ Kvar).
2. Excitación compleja y costosa.



3. Ruidosos en su operación.

Capacitores estáticos

Solo pueden trabajar como generadores de potencia reactiva. Se construyen en unidades 4 – 10 kVAR, con los que se forman bancos de capacitores en: Δ (Delta) - Y (estrella).

Ventajas:

1. Menores pérdidas activas. (0,0025 – 0,005 kW / kVAR).
2. Simplicidad de instalación y montaje. Pequeño peso, no requieren cimiento, etc. Para su instalación puede ser utilizado cualquier lugar seco.

Desventajas:

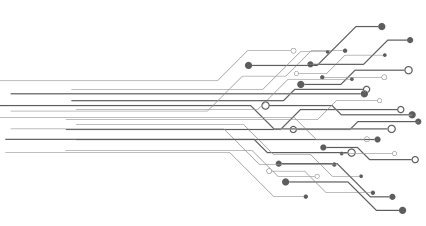
1. La potencia reactiva Q generada, depende del cuadrado del voltaje.
$$Q = U^2 \omega C$$
2. Sensible a sobrecorrientes y sobrevoltajes.

La compensación puede ser:

- Individual
- En grupo

Para aumentar el factor de potencia a 0.9.

La disminución de Q (ΔQ), es igual a la reactancia capacitiva que hay que colocar para compensar la carga inductiva hasta el logro de 0,9 para el factor de potencia.



$$Q_c = Q - Q_m$$

$$Q_c = 1,650 \text{ kVAR} - 0,817 \text{ kVAR} = 0,833 \text{ kVAR}$$

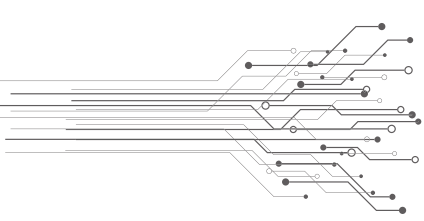
La reactancia capacitiva será:

$$X_c = V^2 / Q_c = 187.5^2 \text{ V} / 833 \text{ VAR} = 42,2 \Omega$$

$$C = 1 / (2 \pi f X_c) = 1 / (6,2832 * 60 * 42,2 \Omega)$$

$$C = 1 / 15909 = 6,3 * 10^{-5}$$

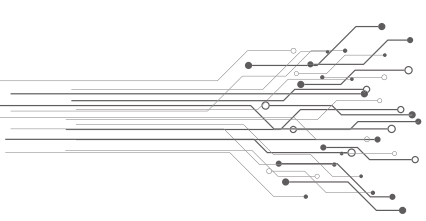
$$C = 63 \mu\text{F}$$



CAPÍTULO III

MÁQUINAS

ELÉCTRICAS



Las máquinas eléctricas se clasifican por la forma de trabajo en dos clases: estáticas y rotatorias. El primer caso corresponde a los transformadores y el segundo a los motores y los generadores. El principio físico fundamental en que basa su funcionamiento cualquier máquina eléctrica es la inducción electromagnética.

La ley que describe el fenómeno de la inducción electromagnética es la de Faraday

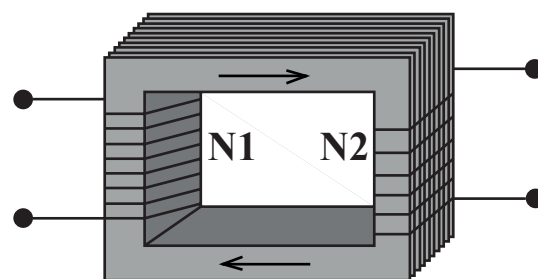
$$E = -N\left(\frac{d\phi}{dt}\right)$$

donde: N: Número de espiras

$\frac{d\phi}{dt}$: Rapidez de variación del flujo magnético

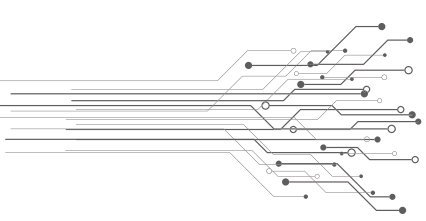
3.1 Definición de transformador: Principio de funcionamiento

Es denominado transformador al dispositivo electromecánico formado por dos enrollados de alambre insertados en un núcleo ferromagnético. El enrollado que está a la entrada es denominado primario y el de la salida secundaria. La característica cuantitativa fundamental de cada una de estas dos partes son el número de espiras y el voltaje entre sus terminales como se muestra en la figura 17.



Flujo Magnético

Figura 17 Transformador



Si denotamos con el subíndice (1) las magnitudes físicas propias del primario y con el (2) las del secundario; la relación entre el voltaje y el número de espiras para el transformador puede escribirse de la siguiente manera:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Donde:

V1: voltaje en el primario

V2: voltaje en el secundario

N1: Número de espiras del primario

N2: Número de espiras del secundario

Características Constructivas y elementos de diseño.

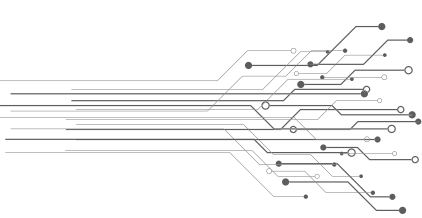
El transformador está compuesto de dos partes esenciales que son:

- El núcleo.
- Los enrollados.

El núcleo se construye de material ferromagnético; comúnmente acero con alguna aleación, estructurada en una sola pieza laminada que constituye un contorno cerrado para el flujo magnético. La estructura laminar del núcleo obedece a las pérdidas por histéresis y las corrientes parásitas y estas láminas superpuestas que conforman el núcleo son chapas de 0.1 a 1 mm. Hay varios tipos de núcleos, pero los más usados son los de anillos y los acorazados.

Los devanados generalmente son dos, denominados primario y secundario. Por el primario se alimenta y por el secundario es conectada la carga. El alambre que puede ser de cobre o aluminio es enrollado en vueltas circulares o rectangulares.

El voltaje inducido en un enrollado del transformador por ejemplo el primario cumplirá con la ley de Lenz.



$$E = -N\left(\frac{d\phi}{dt}\right) \text{ y al primario llega un voltaje dado por } V = V_{\text{máx}} * \text{sen } \omega t$$

Este voltaje generará un flujo que variará también según una ley sinusoidal.

$$\phi = \phi_{\text{máx}} * \text{sen } \omega t$$

Luego en el primario se genera una fuerza electromotriz (f.e.m) o voltaje dado por:

$$E_1 = -N_1\left(\frac{d\phi_{\text{máx}} * \text{sen } \omega t}{dt}\right) = -N_1\omega\phi_{\text{máx}} * \cos \omega t$$

Pero $N_1\omega\phi_{\text{máx}} = E_{\text{máx}}$

El voltaje efectivo será $E_1 = \frac{E_{\text{MAX}}}{\sqrt{2}}$

$$E_1 = \frac{N_1\omega\phi_{\text{máx}}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = 4,44 f N_1 \phi_{\text{máx}}; \text{ Voltios}$$

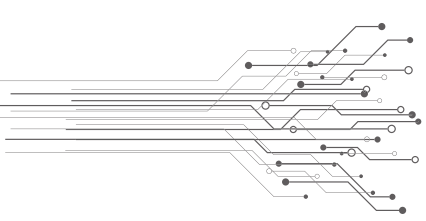
Para el secundario habrá el mismo flujo máximo $\Phi_{\text{máx.}}$, la misma frecuencia f y lo único que variará será el número de espiras N_2 .

$$E_2 = 4,44 f N_2 \phi_{\text{máx}} ; \text{ Voltios}$$

Dividiendo E_1 entre E_2 tenemos:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \text{ Relaciones de transformación}$$

Si $a > 1$: Se denomina transformador de reductor



Si $a < 1$: Se denomina transformador de elevador

Si no hay pérdidas de energía. $a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1}$

3.2 Transformador real con carga. Diseño del circuito equivalente

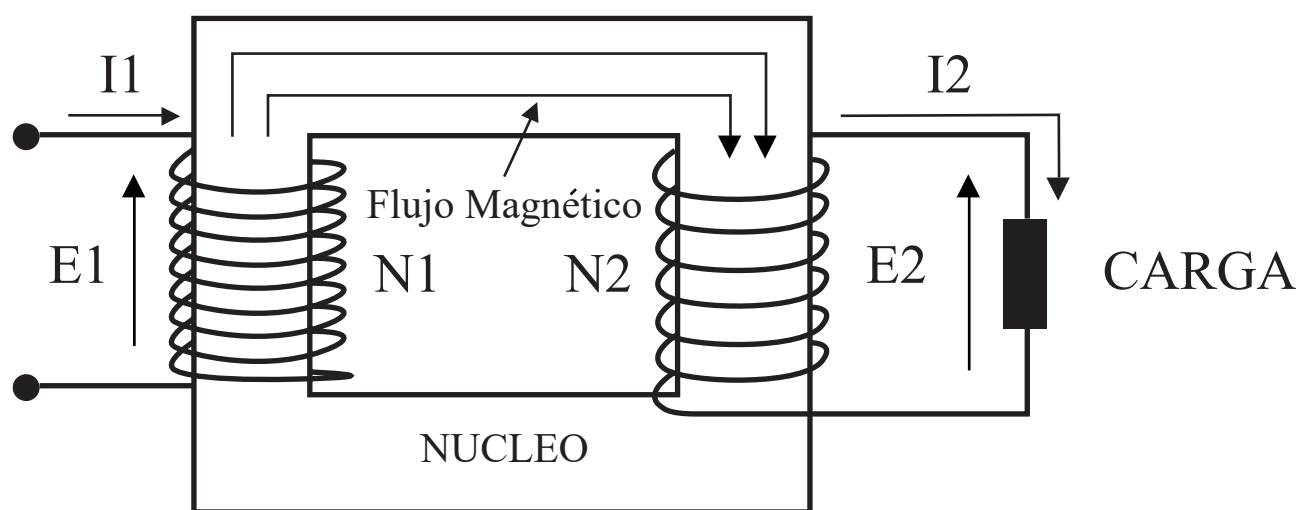
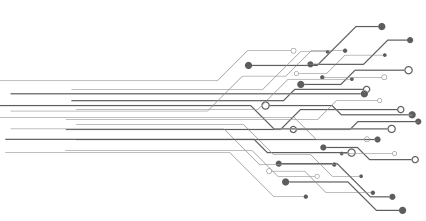


Figura 18 Transformador con carga

En la figura 18 se representa un transformador con carga, al que se le conecta una impedancia de carga $Z_C = R_C + j X_C$ en el secundario. La f.e.m inducida E_2 crea una corriente I_2 , que circula a través de Z_C .

El devanado primario posee una resistencia en su enrollado R_1 y una corriente I_1 , que genera un flujo que no llega al secundario, pues una pequeña parte se dispersa Φ_{d1} . En el secundario ocurre algo similar; el secundario posee una resistencia en su enrollado R_2 y parte del flujo que produce la corriente I_2 no enlaza con el primario, constituyendo el flujo disperso del secundario. El efecto de este flujo disperso en el secundario es una caída de voltaje.

La magnitud $\Phi_{\text{máx}}$, está determinada por la magnitud y la frecuencia



del voltaje aplicado, de modo que debe permanecer constante.

Circuito eléctrico representativo.

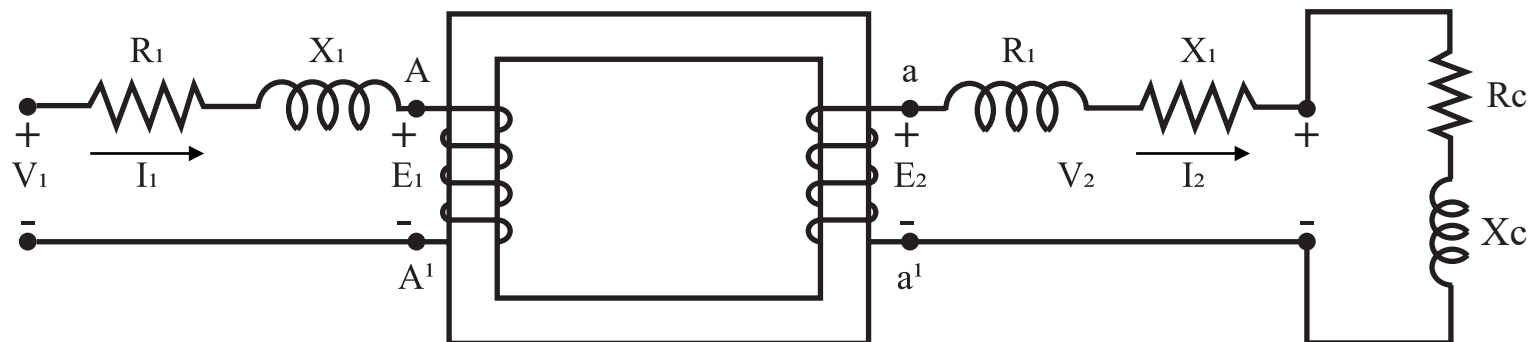


Figura 19 Circuito eléctrico representativo

Una característica física importante de un núcleo ferromagnético es su impedancia de magnetización Z_{mag} , que es la relación existente entre el voltaje E_1 y la corriente de excitación $I_{exc.}$, de valor elevado. La impedancia de magnetización Z_{mag} puede suponerse conformada por la resistencia de núcleo (R_N) en paralelo con la reactancia de magnetización X_{mag} .

3.3 El circuito equivalente del transformador real con carga

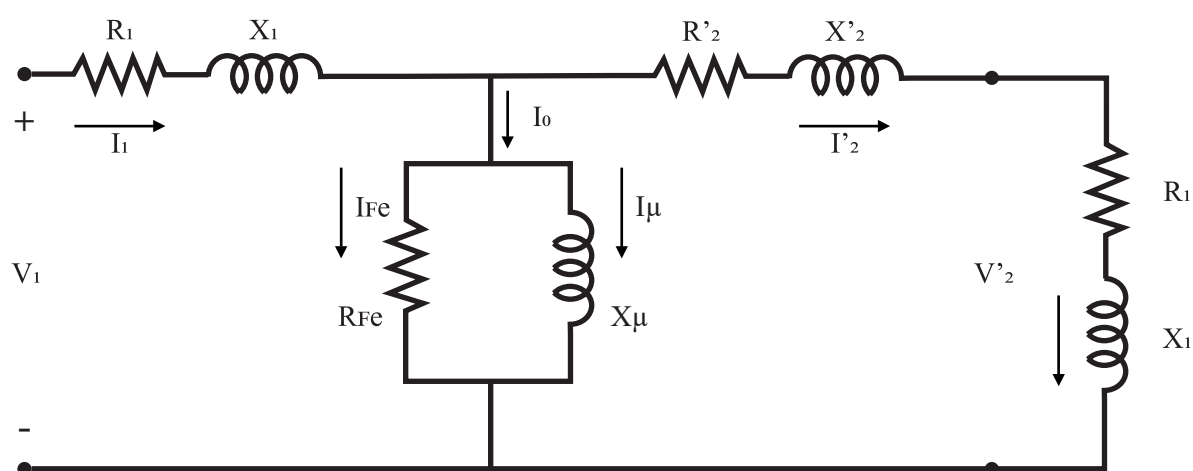
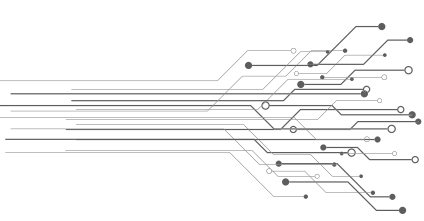


Figura 20 Circuito equivalente del transformador real con carga



Identificamos los parámetros característicos

R_1 : resistencia en el devanado primario

X_1 : reactancia en el devanado primario

R'_2 : resistencia en el devanado secundario

X'_2 : reactancia en el devanado secundario

R_{fe} : resistencia de núcleo

X_μ : reactancia de magnetización.

Para el transformador ideal:

- Permeabilidad magnética del material constante. El flujo es proporcional a la fuerza magnetomotriz.
- No existen pérdidas de potencia en el circuito magnético.
- Todo el flujo asociado a la corriente del primario enlaza con ambos devanados, como consecuencia del mismo se limita completamente al interior del núcleo magnético.
- El devanado primario no posee resistencia.
- Prueba de los transformadores.

3.3.1 Prueba de circuito abierto

Se realiza con el objetivo de determinar los valores de la resistencia y la reactancia de magnetización; así como las pérdidas de núcleo del transformador.

Las pérdidas de núcleo son constantes y en circuito abierto, las mismas son debidas a la histéresis magnética y las corrientes parásitas. La histéresis ocasiona pérdidas por magnetización remanente y calentamiento por la interacción de los dominios de las fronteras, las corrientes parásitas provocan pérdidas por calentamiento corrientes circulares de Foucault.

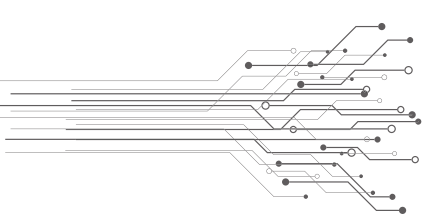


Tabla 2 Prueba de circuito abierto

Pérdidas de potencia en el núcleo	Pérdidas por histéresis	Magnetización remanente
		Interacción de la frontera de los dominios magnéticos (calentamiento)
	Pérdidas por corrientes parásitas	Corrientes Circulares de Foucalt (Calentamiento)

Para realizar esta prueba se miden las corrientes I_1 ; el voltaje V_1 y la potencia de entrada. Se utilizan respectivamente amperímetro, voltímetro y Watímetro como se muestra en la figura 21.

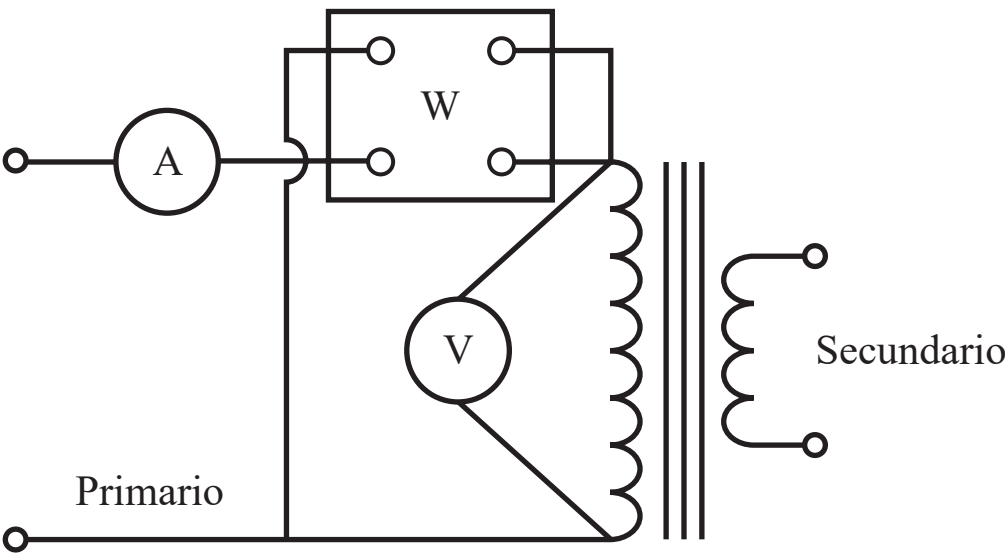
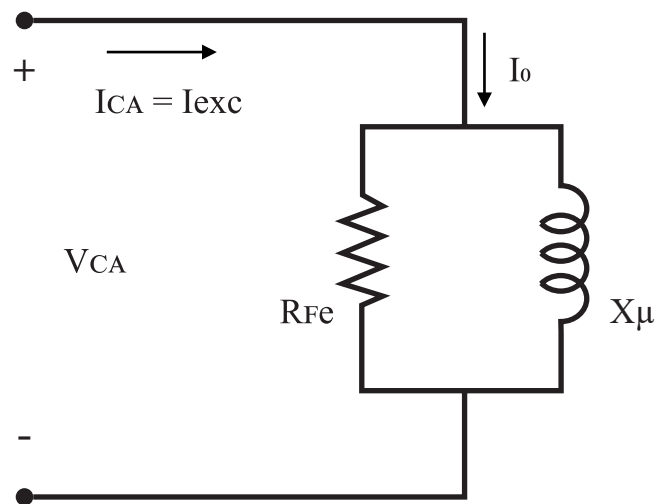
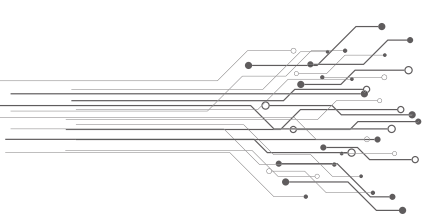


Figura 21 Conexión de los instrumentos de medida

Veamos en la figura 22 el circuito equivalente



Las pérdidas de potencia en el núcleo serán:

$$P_{Fe} = I_{Fe}^2 * R_{Fe} ; \text{ siendo:}$$

$$I_{Fe} = \frac{V_{CA}}{V_{CA}}$$

Figura 22. Circuito equivalente

Y es evidente que $P_{Fe} \sim P_{CA}$, que es la que registra el vatímetro

Con el voltímetro mido V_{CA} y calculo I_{Fe} , así:

$$I_{Fe} = \frac{P_{CA}}{V_{CA}}$$

La resistencia de núcleo la determino así:

$$R_{FE} = \frac{V_{CA}}{I_{FE}} ; \text{ O también; } R_{FE} = \frac{V_{CA}^2}{P_{CA}}$$

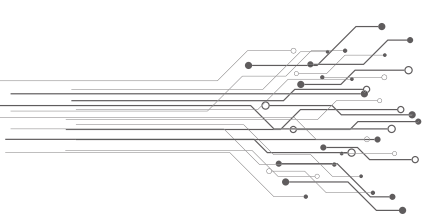
La reactancia de magnetización será:

$$X_{\mu} = \frac{U_{\mu}^2}{Q_{\mu}} ;$$

Q_{CA} : potencia reactiva de magnetización

Y Q_{CA} será;

$$Q_{CA} = \sqrt{S_{CA}^2 - P_{CA}^2} = \sqrt{I_{CA}^2 V_{CA}^2 - P_{CA}^2}$$



3.3.2 Prueba de cortocircuito. Determinación de las pérdidas de cobre

Esta prueba se realiza con el fin de determinar la resistencia y la reactancia de dispersión, así como las pérdidas de energía en los devanados (pérdidas de cobre) del transformador. Para ello se cortocircuitó uno de los devanados (el de bajo voltaje) y aplicando a otro un voltaje que a partir de cero volts pueda aumentarse paulatinamente hasta lograr que el amperímetro registre el valor de la corriente nominal como se muestra en la figura 23

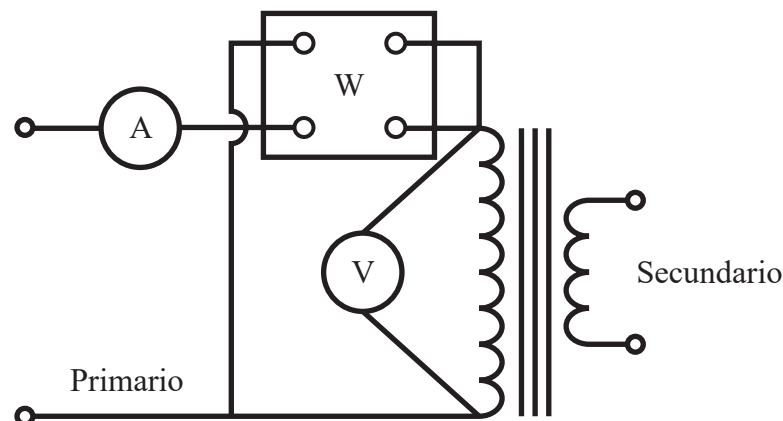


Figura 23. Prueba de cortocircuito

Circuito equivalente.

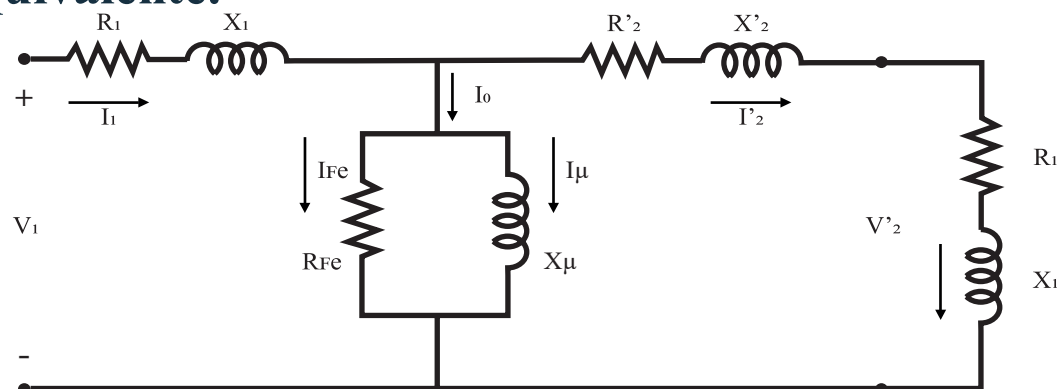
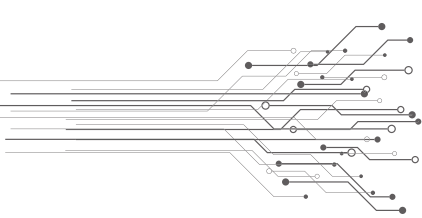


Figura 24. Circuito equivalente de cortocircuito

La potencia activa de cortocircuito (cc) la registrará el Watímetro y será:

$$P_{CC} = I_{1nom}^2 * R_{1nom} + I_{2nom}^2 * R'_{2nom}$$

$$P_{CC} = I_{1nom}^2 * (R_{1nom} + R'_{2nom})$$



I_{1nom} : Corriente que circula por el primario en cortocircuito, registrada por el amperímetro.

R_1 y R'_2 : Resistencia del devanado primario y secundario expresado en Ω (ohmios)

$$\text{Luego } R = R_1 + R'_2 = \frac{P_c}{I_{1nom}^2}$$

Z_t : Impedancia de la dispersión; $Z_t = \frac{V_{cc}}{I_{1nom}}$; V_{cc} : Se mide con el voltímetro.

X_t : reactancia de dispersión; $X_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2}$

Esta prueba se realiza por el lado de alto voltaje, puesto que se realiza por el lado de bajo voltaje, los valores a tomar serían incómodamente pequeños.

3.4 Eficiencia en los transformadores

La eficiencia energética del transformador como la de cualquier otro sistema eléctrico está dado por:

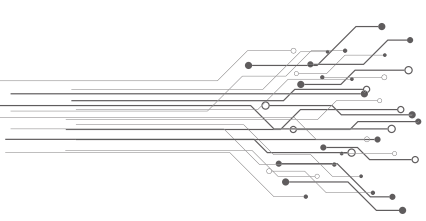
$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \times 100\%$$

P_{sal} : potencia de salida

P_{ent} : potencia de entrada

η : Eficiencia del sistema eléctrico

La potencia de entrada tiene dos componentes, la de salida y las pérdidas.



$$P_{ent} = P_{sal} + P_{pérd}$$

$$P_{sal} = V_2 * I_2 \cos \varphi$$

Las pérdidas sabemos que son las de cobre o sea las pérdidas por calentamiento de los devanados y las pérdidas de hierro de núcleo (parásitas)

$$P_{pérd} = P_{nu} + P_{cu}$$

Las pérdidas de cobre se determinan en corto circuito

$P_C = P_C$; Las pérdidas de potencia en CC son proporcionales a I_2^2 ;

$$P_{cu} \propto I_2^2$$

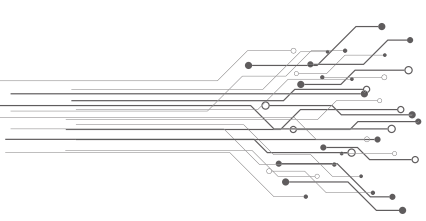
Pérdidas nominales serán: $P_{cu.nom} \propto I_{2nom}^2$ Si el factor es:

$$K_c = \frac{I_2}{I_{2nom}} ; \quad \text{Entonces:} \quad \frac{P_{CU}}{P_{cu.nom}} = \frac{I_2^2}{I_{2nom}^2} = K_C^2 \quad \text{y}$$

$$P_{cu} = K_c^2 * P_{cu.nom}$$

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{sal} + P_{nu} + P_{cu}} \times 100\%$$

$$; \quad \eta = \frac{V_2 I_2 \cos \varphi}{U_2 I_2 \cos \varphi + P_{nu} + K_c^2 P_{cunom}} \times 100\%$$



3.5 Regulación en los transformadores

Aplicando la figura 25 se obtiene la regulación mediante la siguiente expresión:

$$\Delta V = \frac{V_2 - V_2^*}{V_2^*} \times 100\%$$

Donde:

V_2 : Voltaje del secundario en vacío;

V_2^* : Voltaje del secundario con carga

Determinación Práctica de la regulación.

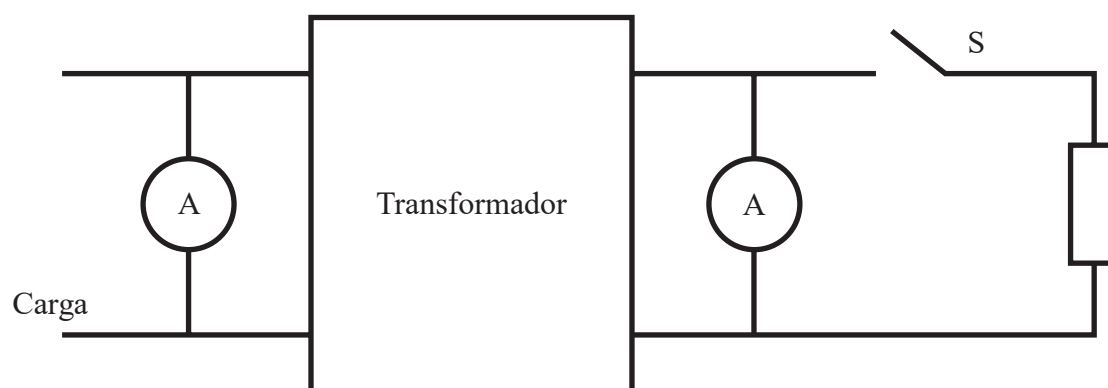


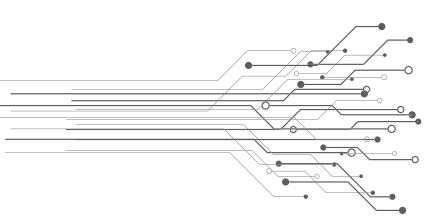
Figura 25. Regulación de transformador

V_1 : Voltaje de alimentación nominal

V_2 : Voltaje del secundario con S abierto

V_2^* : Voltaje del secundario con S cerrado

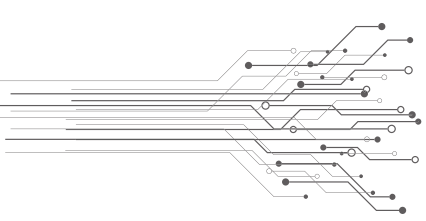
Lo ideal es que la regulación fuera cero



CAPÍTULO IV

ENERGÍA

ELÉCTRICA



Introducción

En los procesos de conversión de energía eléctrica en mecánica resulta necesario tener presente los siguientes hechos experimentales.

Un conductor con corriente en presencia de un campo magnético experimenta una fuerza de carácter lateral dada por:

$$\vec{F}_m = I \vec{L} \times \vec{B}$$

Dos conductores con corriente experimentan fuerzas atractivas o repulsivas en virtud del sentido de estas. Si las corrientes son paralelas la expresión que nos da esta fuerza de interacción magnética es según,

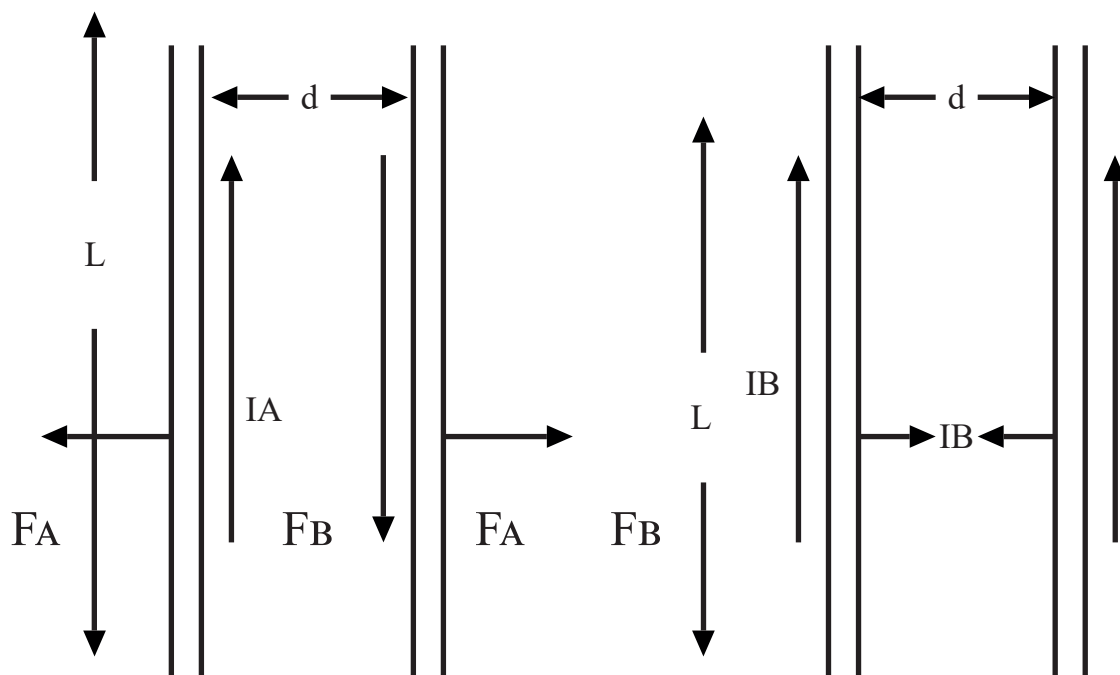
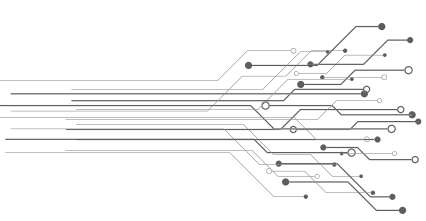


Figura 28 Corrientes Paralelas.

$$F_m = F_A = F_B = \frac{\mu_0 l I_A I_B}{2\pi.d}$$



Sobre un material ferromagnético o un dipolo magnético ubicado bajo la influencia de un campo magnético exterior, se produce una fuerza mecánica que tiende a alinearlo con la fuerza de mayor densidad de flujo.

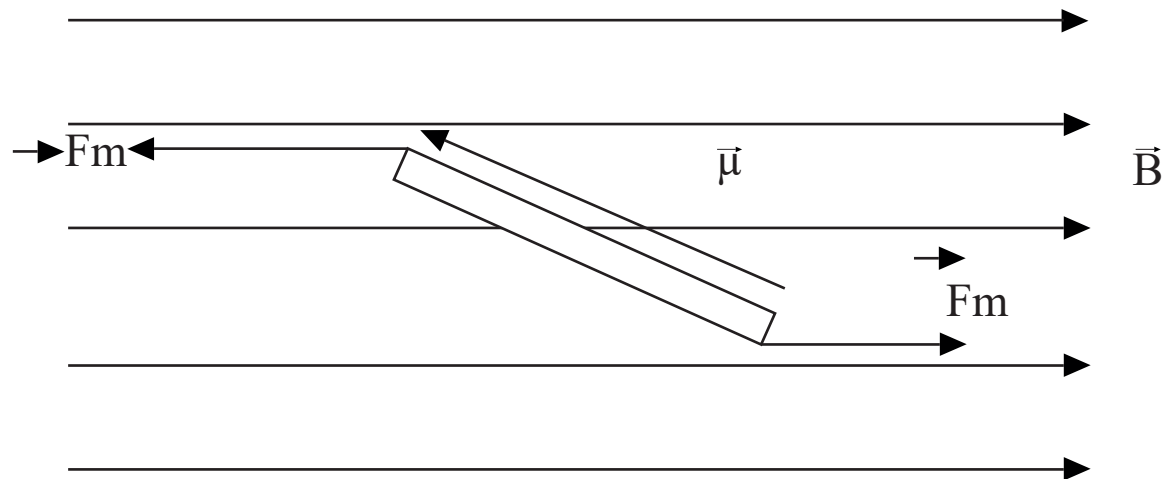


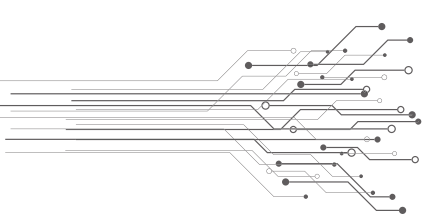
Figura 29 Dipolo en un campo magnético.

El torque o momento de fuerza magnética que experimenta el dipolo magnético, estará dado por:

Siendo $\vec{\mu}$ del momento magnético del dipolo y $\vec{B}$ la inducción magnética, mientras $\vec{\tau}$ es el torque o momento de fuerza que experimenta el dipolo. Las máquinas eléctricas rotatorias trabajan bajo los principios enunciados.

4.1 Máquinas eléctricas rotatorias

En la actualidad las máquinas eléctricas rotatorias es el elemento motriz más utilizado en la industria y los servicios alcanzando un gran desarrollo el accionamiento eléctrico; es decir el funcionamiento de máquinas herramientas y otros dispositivos mediante el trabajo de máquinas eléctricas rotatorias, cuyo principio de funcionamiento y características constructivas fueron expuesta hace más de un siglo por Dolivo - Dobnovalski (1889) con sus sistemas trifásicos. Durante el siglo XX, se mejoraron sobre todo las características de los materiales empleados en su construcción, así como se trabajó en la reducción de

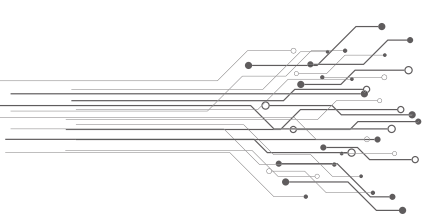


las dimensiones de éstas y la elevación de la eficiencia energética. Entre otras ventajas las máquinas eléctricas en su explotación no generan elementos contaminantes al medio ambiente como desechos sólidos, gases, humo, etc. Sus accionamientos dadas sus características resultan fáciles de controlar y automatizar.

Una máquina eléctrica rotatoria es un convertidor electromecánico de energía y juega un papel de enlace entre un sistema mecánico y un sistema eléctrico. Ella puede trabajar como motor y generador. El motor convierte en energía mecánica la energía eléctrica recibida y el generador transforma en energía eléctrica la energía mecánica que se le entrega: sin embargo, aunque hay reversibilidad en el proceso de conversión electromecánica de la energía, una pequeña fracción se pierde en forma de calor al pasar al medio ambiente, siendo irrecuperable. La existencia de conversión electromecánica se explica por la interacción dinámica de campos eléctricos y magnéticos ligados a corriente, cargas o imanes sostenidos sobre entes mecánicos que pueden rotar o interaccionar con sistemas rotatorios.

El proceso de conversión electromecánica de la energía no es estrictamente reversible, pues una pequeña parte de la energía no es recuperable al transferirse al medio ambiente contaminándolo térmicamente. Es decir, la energía electro - mecánica que se pierde, calienta la biosfera (aguas, atmósfera inferior y suelo) influyendo en el balance térmico terrestre. En el balance térmico terrestre entra la radiación térmica proveniente del sol y el calor endógeno generado en la tierra.

Ahora bien ¿cómo se enlazan los sistemas eléctricos y mecánicos? Esto se realiza a través de los campos eléctricos y magnéticos. Los campos eléctricos de las cargas en los conductores y los magnéticos generados por la inducción.



Fuerzas electromotrices inducidas y el par motor

Las fuerzas electromotrices inducidas (fem) se inducen de dos formas distintas:

- Mediante la rotación mecánica de conductores en presencia de un campo magnético estacionario.
- Mediante la rotación de un campo magnético con respecto a conductores estacionarios.

Y de acuerdo con esto

$$\varepsilon = BLV \text{ ; Voltios}$$

Por otro lado, una corriente que circula por un conductor si este está bajo la influencia de un campo magnético, provoca que sobre él actúe una fuerza.

$$F = ILB\sin\varphi$$

De acuerdo a la ley de conservación de la energía, la potencia electromagnética es igual a la potencia mecánica

$$P_e = P_m$$

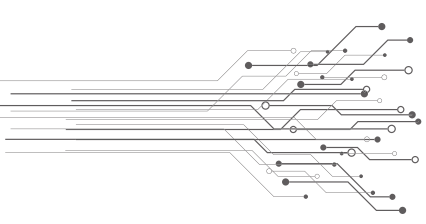
Pero la potencia eléctrica está dada por

$$P_e = \varepsilon I$$

La potencia mecánica en la forma más sencilla, es el producto de la fuerza magnética por la velocidad del conductor.

$$P_m = FV$$

$$FV = ILB * V$$



$$F = ILB$$

F : Fuerza magnética

$$\tau = F_m r$$

Torque magnético

$$\tau = BLIr$$

Que se expresa en Newton - metros (Nm)

4.2 Clasificación de las máquinas eléctricas

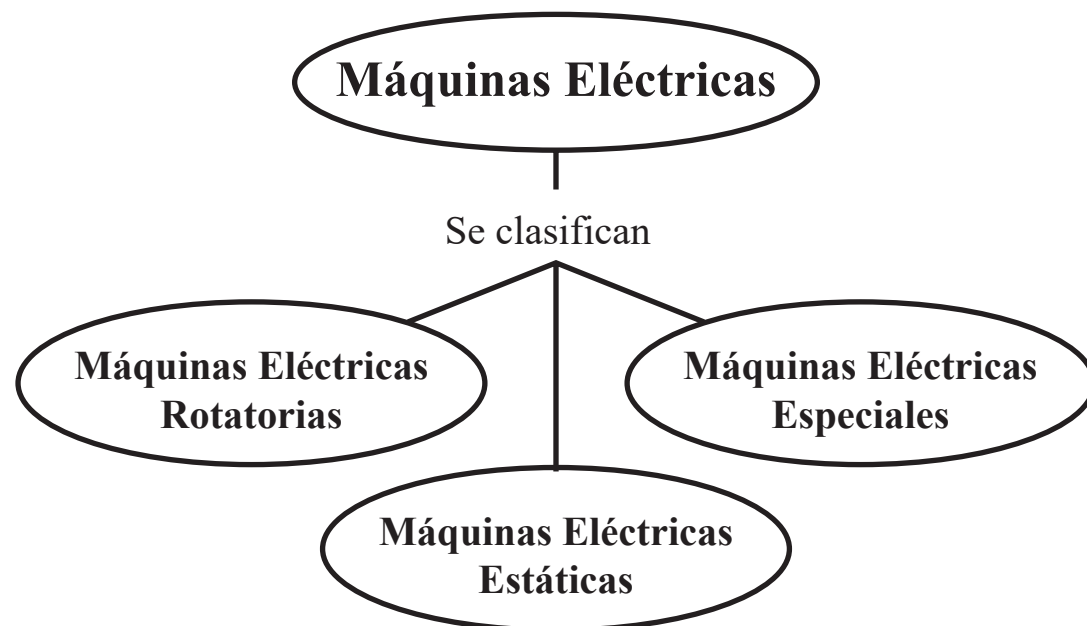
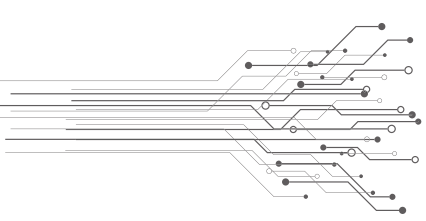


Figura 30 Clasificación de las Máquinas Eléctricas.



4.2.1 Las máquinas eléctricas rotatorias por el tipo de corriente

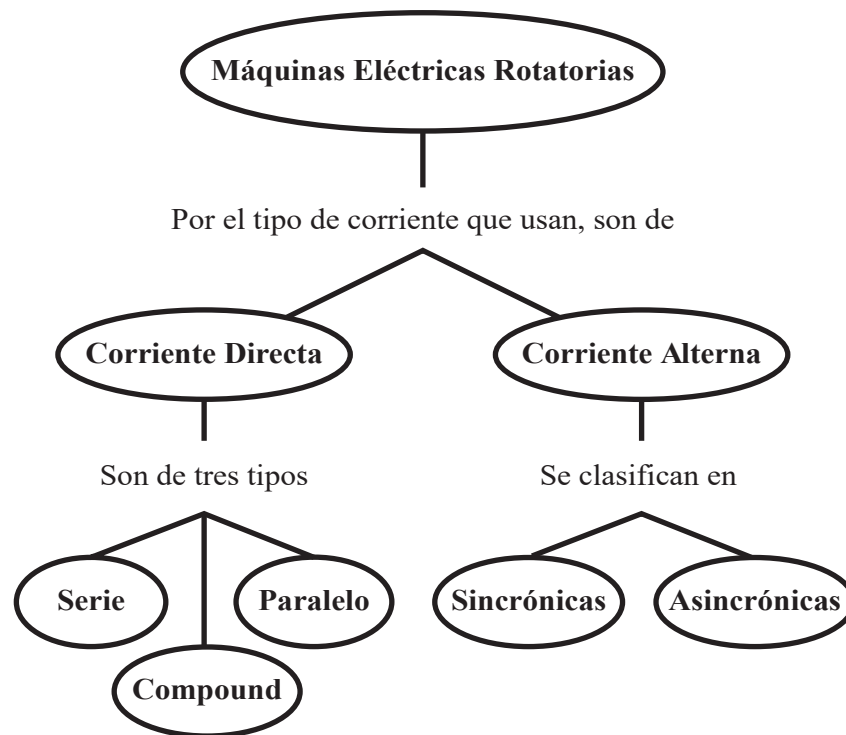
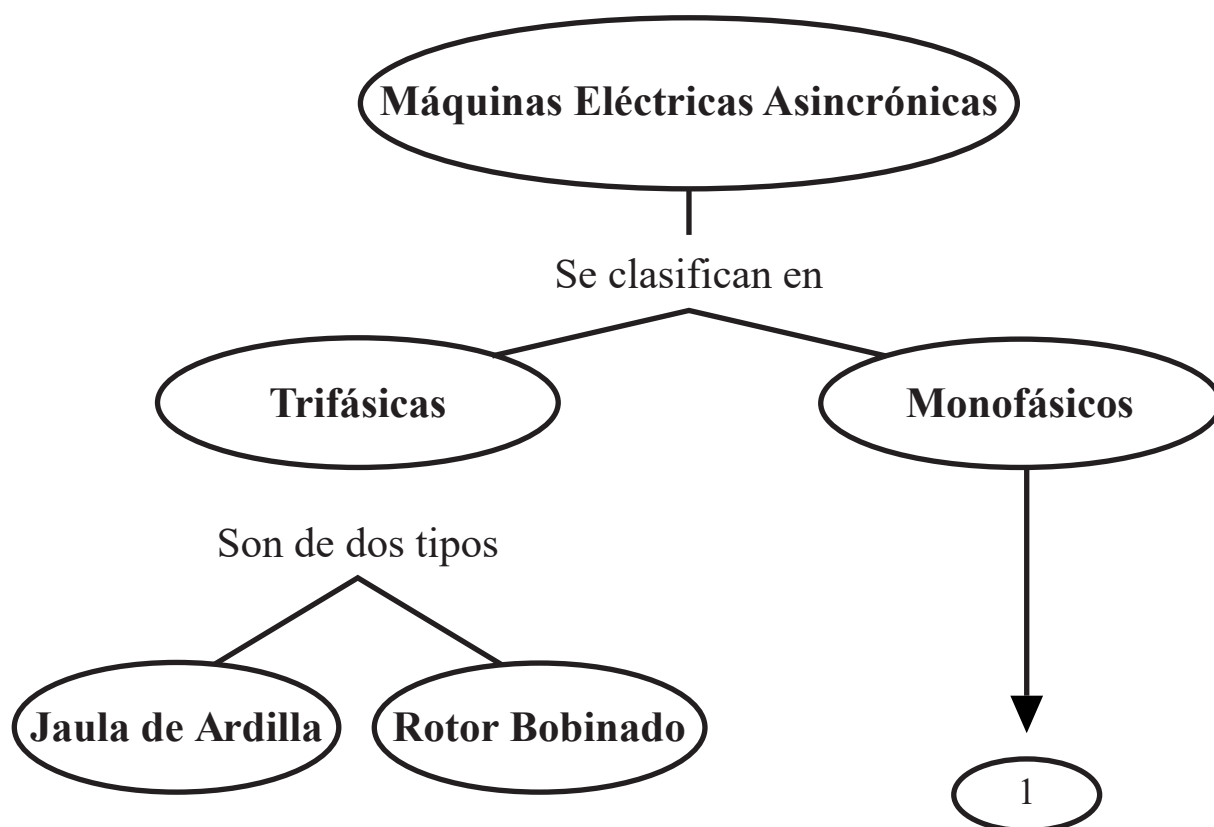


Figura 31 Clasificación de las Máquinas Eléctricas Rotatoria

4.2.2 Máquinas eléctricas asincrónicas



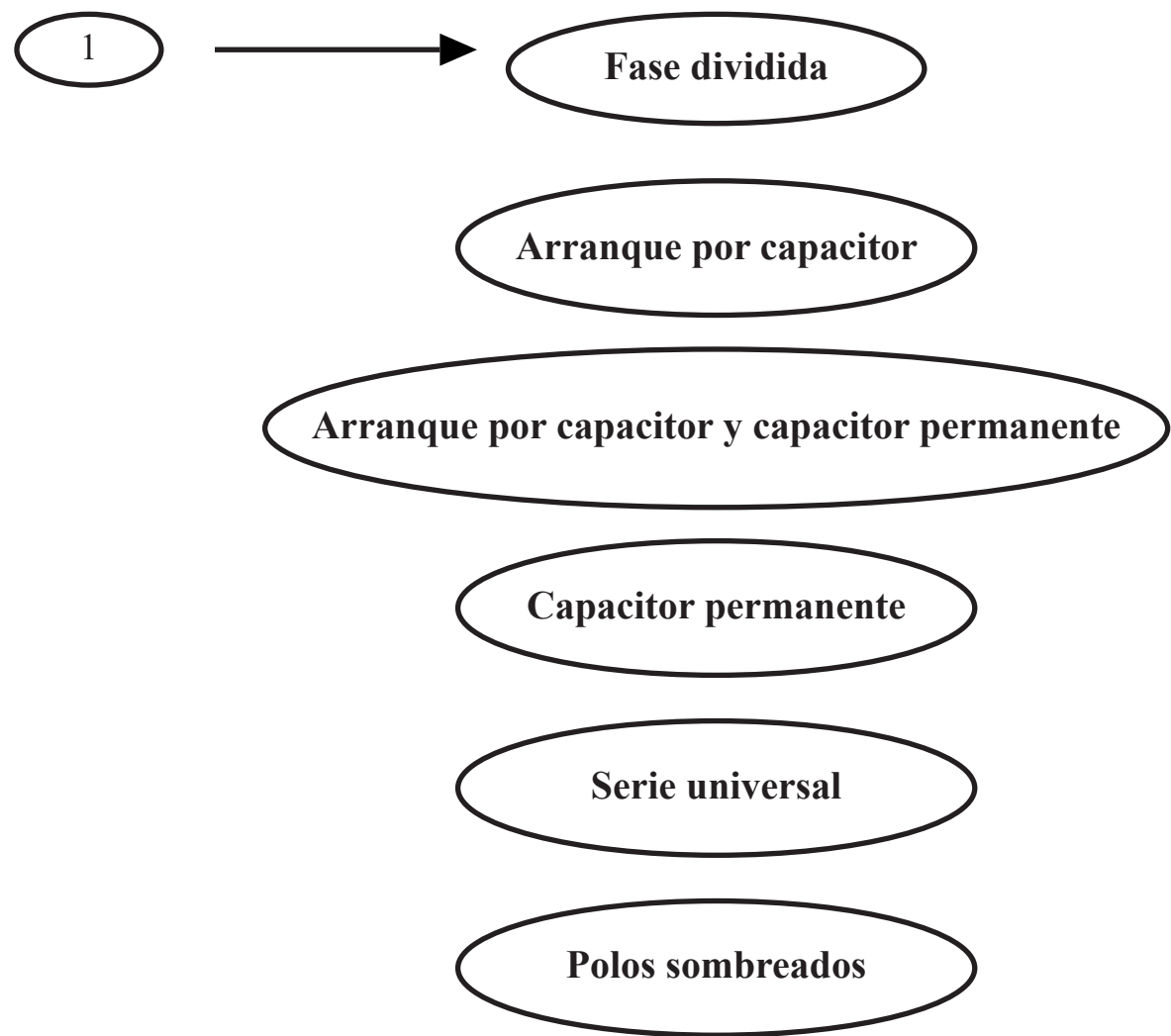
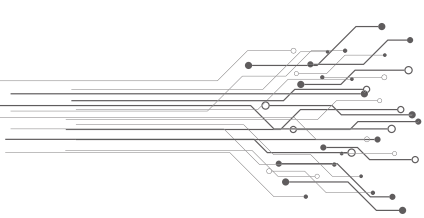


Figura 32 Clasificación de las máquinas eléctricas asincrónicas

4.2.3 Las máquinas eléctricas especiales

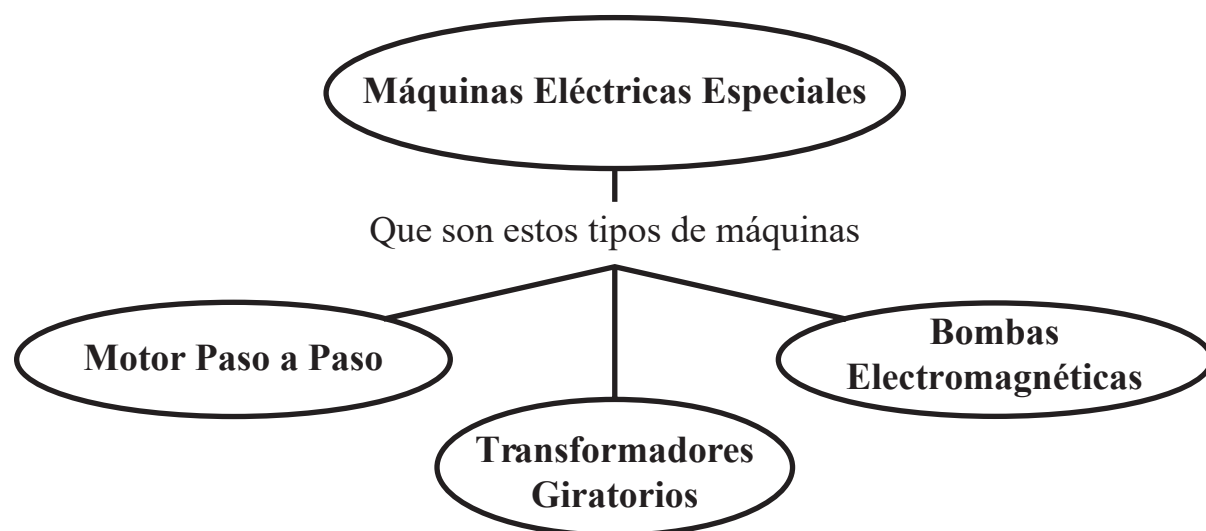
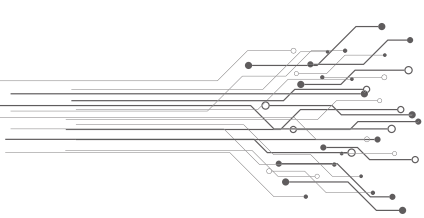


Figura 33 Clasificación de las máquinas eléctricas especiales



4.2.4 Principio de operación de las máquinas trifásicas

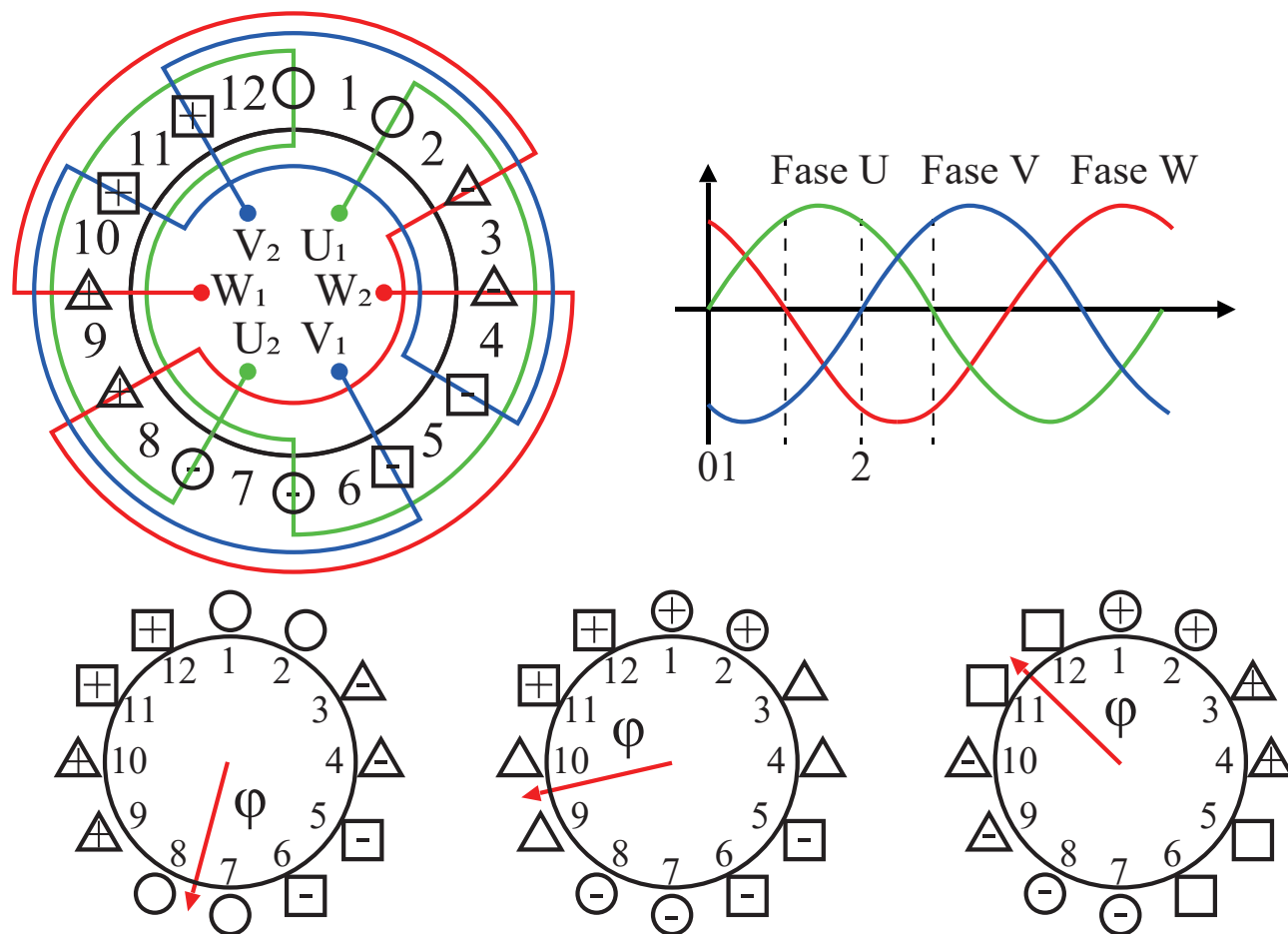
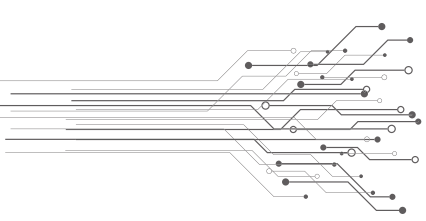


Figura 34 Campo magnético rotatorio en sentido contrario a las agujas del reloj y constante a la velocidad sincrónica

Un sistema de voltajes balanceado se le aplica al estator de la máquina y produce un flujo magnético giratorio que corta los conductores del rotor induciendo una fem en este, lo que hace que circule una corriente por el rotor; ésta la interactuar con el flujo del estator origina una fuerza que produce el movimiento rotatorio. No obstante, el rotor no podrá nunca alcanzar la velocidad sincrónica, puesto que esta condición es imprescindible para el funcionamiento del motor.

En la figura 34 se representa el momento magnético de cada bobinado. Los enrollados están distribuidos espacialmente a 120° . Al aplicar un voltaje trifásico a los devanados estáticos.

Al aplicar un voltaje trifásico a los devanados estáticos aparece un campo resultante de magnitud constante y que gira a una velocidad n_s



= 120 r/min, llamada velocidad sincrónica; cortando con sus líneas los conductores del rotor, provocando la aparición en este último de una fem inducida que da origen a la circulación de la corriente I_2 .

La interacción entre el campo magnético asociado a I_2 o corriente en el rotor y el campo giratorio del estator, produce un par que pone en movimiento al rotor.

La diferencia de velocidad relativa de rotación del rotor y el campo magnético del estator se denomina deslizamiento.

4.3 Máquinas asincrónicas. Características constructivas

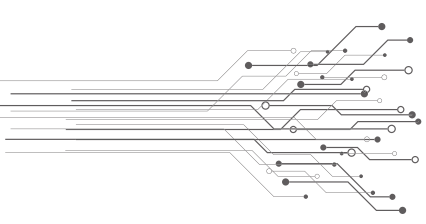
Dentro de las máquinas asincrónicas se estudian especialmente los motores y se hace especial énfasis en los trifásicos. En el estator de estos motores se encuentran tres devanados distribuidos y desplazados 120° entre sí, los cuales constituyen las fases, que pueden conectarse en estrella (Y) o delta (Δ) según se necesite.

El rotor se presenta en dos variantes; los llamados rotor bobinado y los de jaula de ardilla. Si el rotor consiste en barras macizas cortocircuitadas todas en sus extremos por anillos metálicos se denomina jaula de ardilla. Si por el contrario el rotor se encuentra bobinado y sus terminales se conectan a anillos deslizantes normales, sobre los cuales se asientan carbones o escobillas que enlazan con el circuito exterior, entonces se llaman rotor bobinado.

El bobinado de ambos tipos de motores en el estator, son idénticos.

4.4 Velocidad sincrónica

Es la velocidad a la cual rota el campo magnético, se calcula mediante la siguiente expresión.



$$n_s = 120 \frac{f}{p}$$

n_s : Velocidad sincrónica del motor (r/ min)

f : Frecuencia de la corriente

p : Número de polos (p es siempre par)

4.5 Concepto de deslizamiento

Se denomina deslizamiento (S) a la diferencia que existe entre la velocidad de rotación del campo magnético en el estator y la del rotor, expresada en por ciento como una fracción de la velocidad sincrónica.

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\%$$

n_s : Velocidad sincrónica

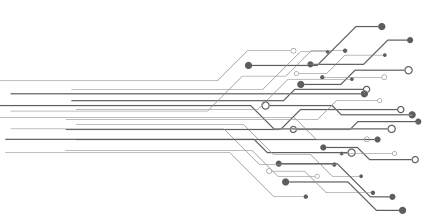
n_r : Velocidad del rotor

S : Deslizamiento

Esta expresión puede escribirse así también:

$$n_r = n_s (1 - s)$$

Determinación del momento que pone el motor en el árbol. Hallemos la expresión del momento de fuerza o torque que pone el motor en su árbol



o eje.

$$P = \tau \omega_r$$

Análogo a:

$$P = FV$$

τ : Torque o momento de fuerza (M), expresado en (Nm)

ω_r : Velocidad angular del rotor.

$$\omega_r = \frac{2\pi.n_r}{60} = \frac{\pi.n_r}{30} (\text{rad/s})$$

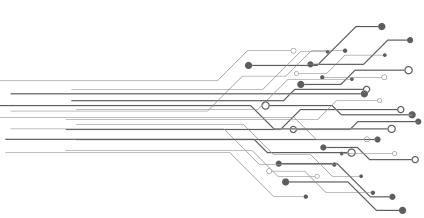
Puede probarse la validez de las siguientes relaciones

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \times 100\%$$

$$\omega_r = \omega_s (1 - s)$$

4.6 Característica mecánica y de corriente del motor asincrónico trifásico

En el instante de arranque, cuando el rotor se encuentra detenido ($\omega_r = 0$), se desarrolla un momento de arranque que denotamos (M) y la corriente tiene en ese momento un alto valor identificado por (I) en la característica mostrada. Como la velocidad del rotor, en el arranque es cero, el deslizamiento es igual a 1 ya que el campo del estator gira a velocidad sincrónica y son máximas tanto, la velocidad relativa



entre ambos, como las variaciones de flujo con respecto al tiempo que experimentan los conductores del rotor, por lo que la frecuencia de la fem en ellos inducida es igual al voltaje aplicado a los devanados del estator.

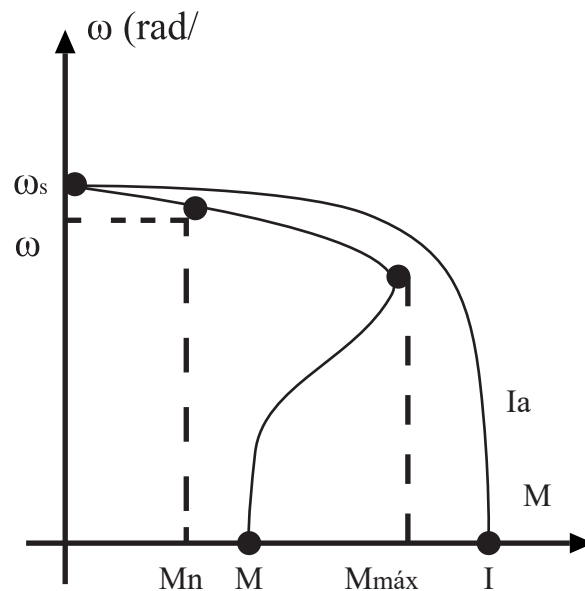


Figura 35 Característica Mecánica del Motor Asíncrono

En el rotor aparece una fem inducida que según la ley de Lenz se opone a la causa que la provoca que es el establecimiento del campo magnético rotatorio en el estator, por lo que aumenta el torque o momento de fuerza del motor hasta alcanzar un valor máximo ($M_{\text{máx.}}$), a partir del cual comienza a disminuir a medida que la velocidad del motor se acerca a la velocidad sincrónica. En el motor asíncrono siempre la velocidad el rotor será menor que la velocidad sincrónica ($\omega_r < \omega_s$) y el motor trabaja en la zona lineal de la característica.

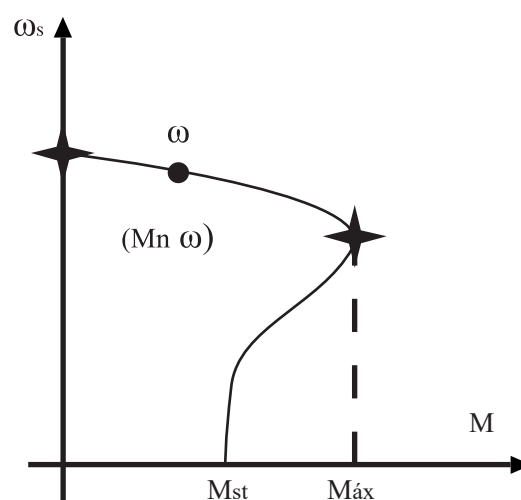
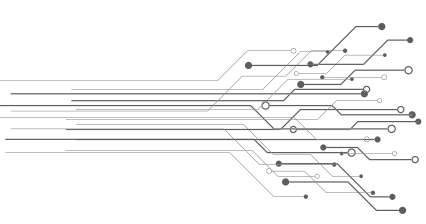


Figura 36 Puntos clave de la Característica.

En la zona lineal, es donde se verifica el estado nominal del motor,



caracterizado por sus parámetros nominales (ω_n , M_n).

Es considerada lineal aproximadamente el 85 % del tramo de la gráfica que está entre los puntos $(0, \omega_s)$ y $(M \text{ máx.}, \omega_m)$.

La pendiente del tramo recto es:

$$m = \frac{\omega_n - \omega_s}{M_n}$$

Para cualquier punto de la zona lineal se cumplirá, que:

$$\omega = \omega_s - mM$$

Siendo

$$m = \frac{1}{\beta}$$

donde:

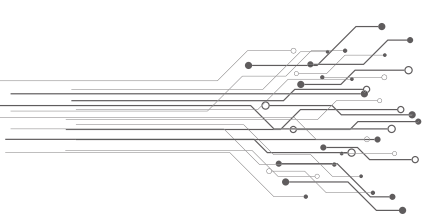
$$\beta = \frac{M}{\omega_s - \omega_n}$$

la rigidez de la característica mecánica.

La ecuación de la característica mecánica puede escribirse así:

$$\omega = \omega_s - \frac{1}{\beta}M$$

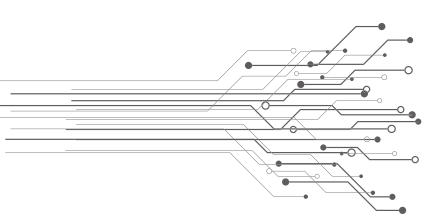
La corriente de arranque es alta, aunque limitada. La impedancia del rotor en reposo es lo suficientemente grande como para limitar la corriente



de arranque entre 5 – 7 veces la corriente nominal y el momento de arranque 1.5 veces el momento nominal.

El momento de arranque no es máximo por dos razones fundamentales:

- 1.- Algunos conductores del rotor producen un momento que se opone al arranque del motor.
- 2.- Los conductores del rotor que conducen grandes cantidades de corriente se encuentran ubicados en las zonas en los cuales los campos magnéticos son relativamente débiles.



CAPÍTULO V

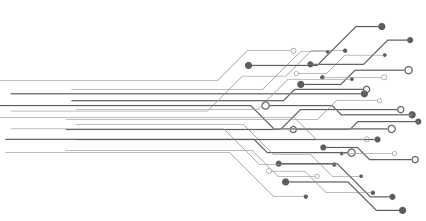
MOTORES

ELÉCTRICOS

MONOFÁSICOS Y

MOTORES DE

CORRIENTE DIRECTA



Introducción

Hoy estudiaremos los motores monofásicos y los de corriente directa, conocidos ya los trifásicos. Los motores trifásicos son ampliamente utilizados en la industria y los monofásicos y de corriente directa no, pero esto no les resta importancia en numerosos usos, principalmente en accionamientos de baja potencia, tal como en el empleo doméstico o los servicios en el caso de los primeros y accionamientos con elevados momentos los segundos. Los motores monofásicos son fabricados generalmente de poca capacidad, generalmente no sobrepasan el KW de potencia, tal como resulta en las aplicaciones en electrodomésticos. La mayoría de los motores monofásicos son fundamentalmente de inducción, diferenciándose por el modo de arranque.

5.1 Motores monofásicos, principios generales

Los motores monofásicos constan de tres partes básicas al igual que el trifásico y otros tipos de motores: estator, rotor y carcasa. El estator a diferencia de las máquinas trifásicas posee un devanado de una sola fase distribuida en toda la superficie. Los rotores de estos se construyen de jaula de ardilla.

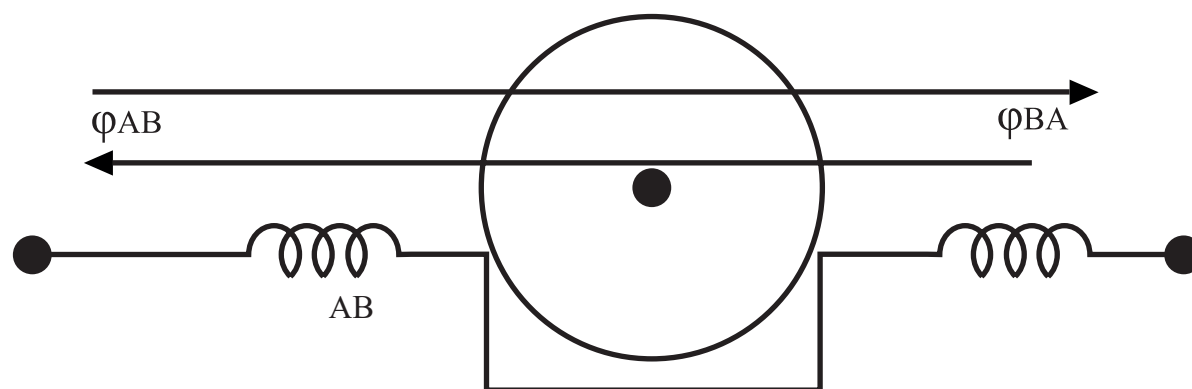
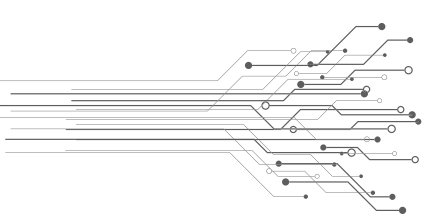


Figura 38 Esquema básico de un motor monofásico

Al aplicarle un voltaje al devanado del estator entre los puntos A y B,



circula una corriente alterna sinusoidal. Esta corriente genera un flujo que varía de forma sinusoidal en el tiempo y en fase con la corriente. Puede apreciarse que si inicialmente la corriente circula de A a B y después de B a A el flujo magnético Φ que concatena con el rotor haría lo mismo. A diferencia de las máquinas trifásicas, el campo magnético en las máquinas monofásicas no es rotatorio, sino que es pulsante, trayendo como consecuencia que el torque de arranque sea cero ($M_a = 0$) o sea, mantiene la posición de reposo. Sin embargo, si de alguna forma (mecánica o eléctrica) se rompe el equilibrio en cualquiera de los dos sentidos de rotación, el motor se comporta de forma similar a un asincrónico trifásico.

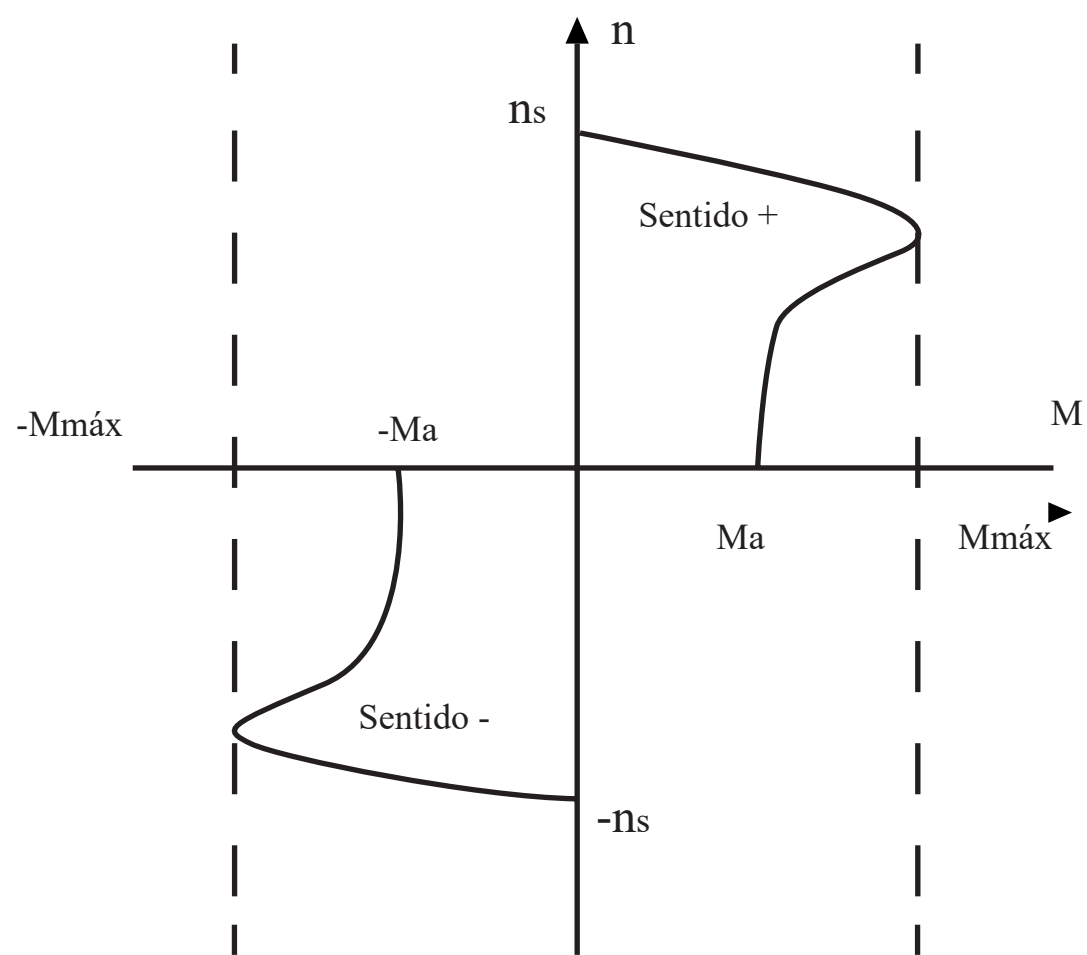
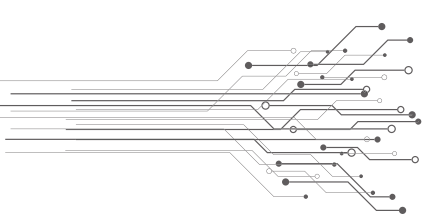


Figura 39 Característica mecánica del motor de inducción monofásico



En la figura 40 están representadas las características mecánicas (velocidad – momento) de un motor de inducción monofásico, tanto en el sentido positivo de la rotación como en el contrario. De lo anterior se desprende que los motores monofásicos deben de tener algún dispositivo que les permita desarrollar un momento de arranque ($M_a \neq 0$). Es decir, como el flujo es variable en el tiempo, pero estacionario en el espacio, es por ello que los motores monofásicos no tienen momento de arranque y hay que provocarlo. Para lograr este objetivo se introduce un devanado auxiliar o devanado de arranque. Es decir, los motores monofásicos tendrán además del devanado de marcha (DM) un devanado auxiliar o de arranque (DA). Veamos cómo con un devanado auxiliar se logra un campo rotatorio.

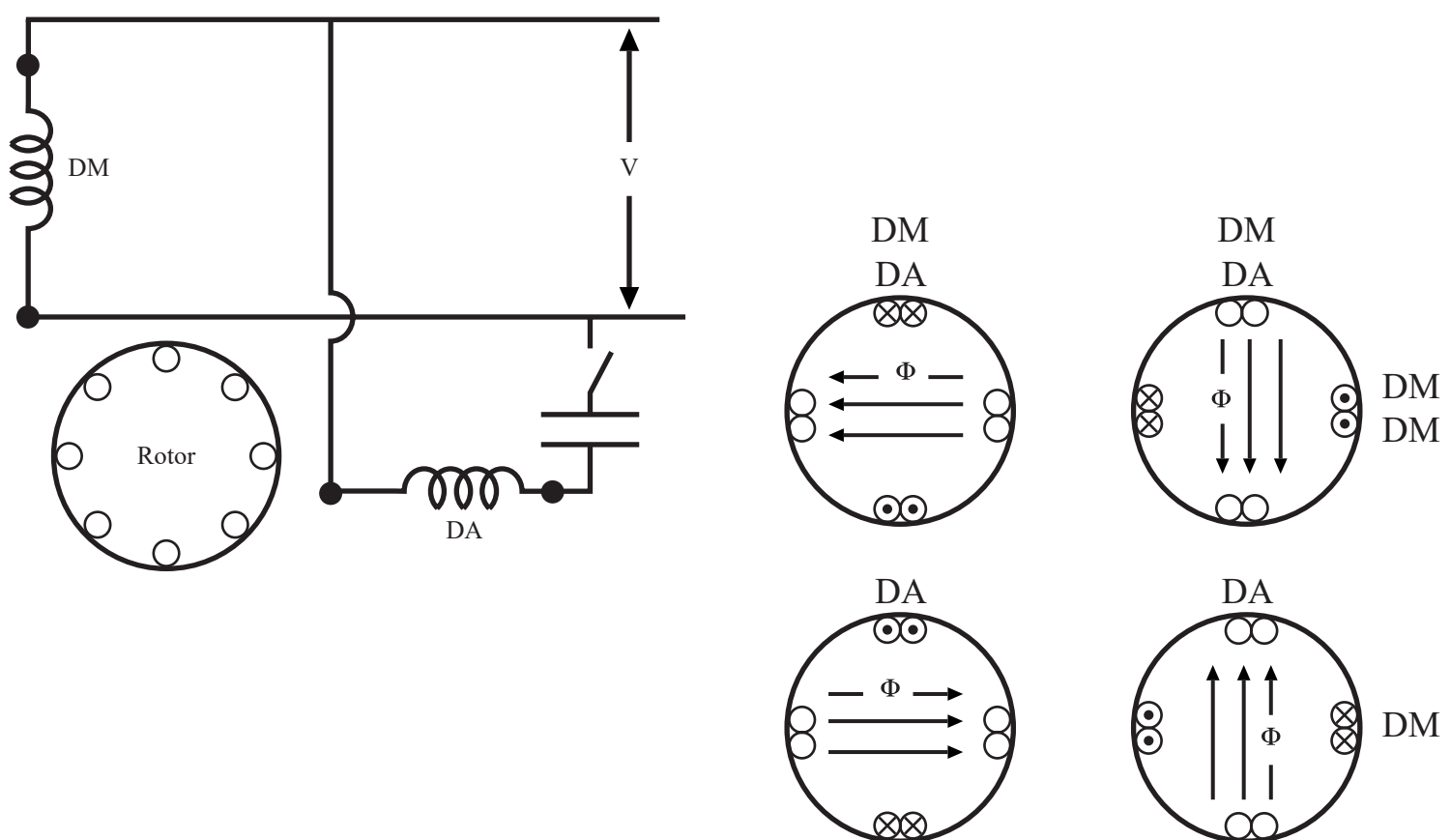
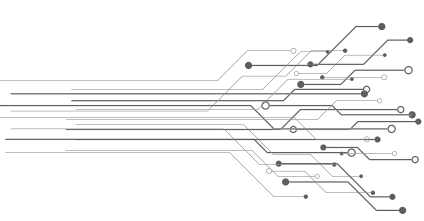


Figura 40 Rotación del campo en un motor monofásico, debido al devanado auxiliar de arranque



El flujo magnético va rotando con la corriente con la corriente al colocar un devanado de arranque, es decir va girando con la corriente a una velocidad denominada velocidad sincrónica. La forma o manera de lograr que el $M_a \neq 0$ les da el nombre a estos tipos de motores monofásicos.

1. Motor monofásico de fase dividida

Las corrientes que circulan a través de los devanados de marcha (DM) y el de arranque (DA) se encuentran desfasadas entre sí un ángulo de 90° , debido a que el devanado de arranque posee una mayor relación de resistencia a reactancia que el devanado de marcha. Además, ambos devanados se encuentran separados 90° en el espacio en el estator de la máquina.

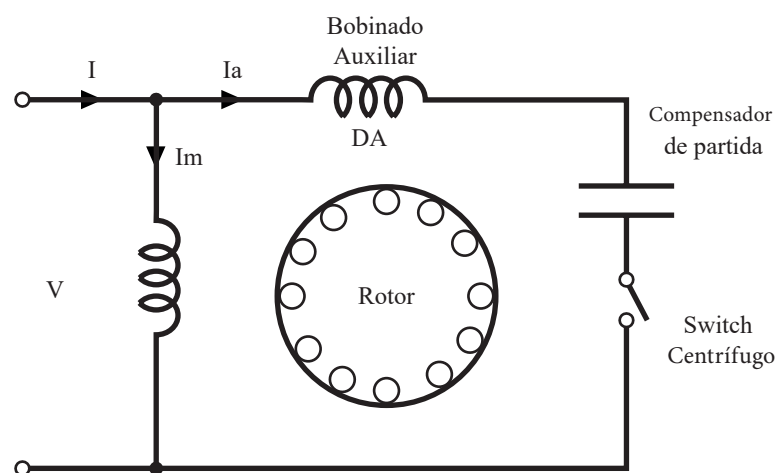
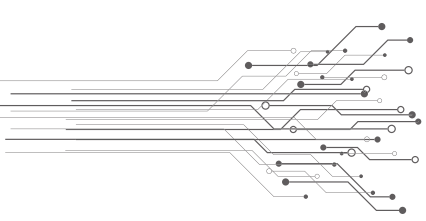


Figura 41 Motor monofásico de fase dividida

$$\frac{R_{DA}}{X_{DA}} > \frac{R_{DM}}{X_{DM}}$$

Una vez que el motor arranca un dispositivo centrífugo desconecta el enrollado de arranque. Este tipo de motores se utiliza para cargas de hasta 370 W, aquí $I_a \cong 10 I_n$ y tienen 2,4 y 6 polos. Es usado para cargas de baja inercia.



2. Motor con arranque por capacitor

Posee mejores características que el de fase dividida, a causa de la utilización de un capacitor C en serie con el devanado de arranque (D.A), lo que provoca que en él la corriente se adelante 90° en la fase y en el tiempo a la corriente por el devanado de marcha (DM). Esto trae como consecuencia una mejoría notable con relación al momento de arranque. Este motor tiene una corriente de arranque de 2 a 6 veces la corriente nominal ($I_a \cong 2 \text{ a } 6$)

Este motor sirve para cargas de alta inercia de hasta 2 kW de potencia. Por efecto centrífugo, cuando la velocidad alcanza el 75 % de la nominal se desconecta el devanado de arranque, del mismo modo que en el motor de fase dividida.

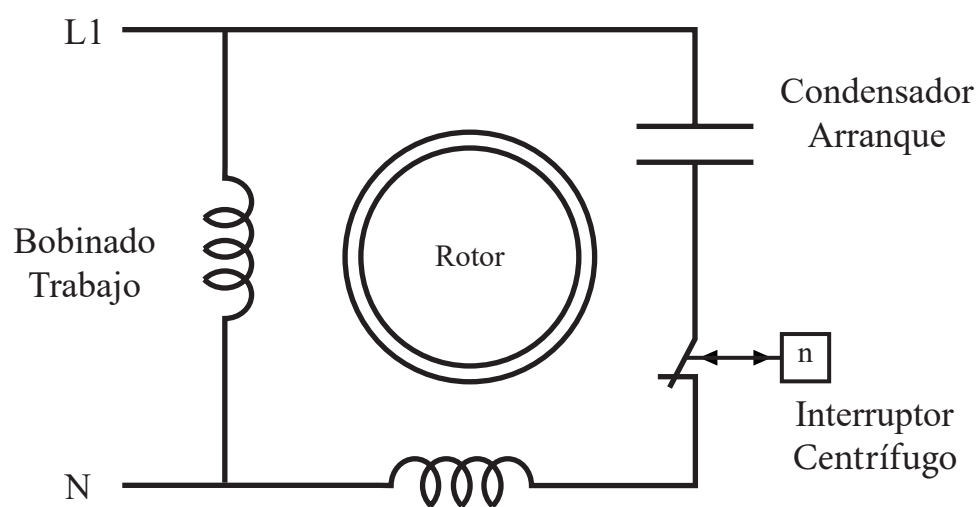


Figura 42 Motor monofásico de fase dividida y arranque con capacitor

3. Motor de arranque por capacitor permanente.

En este caso en serie con el devanado de arranque (DA), hay un capacitor que no se desconecta cuando arranca el motor. Aquí el capacitor hace una doble función; 1) Mejora el par de arranque y 2) Mejora las características de la máquina en operación normal. El desfase entre las corrientes I_1 e I_2 es muy próximo a 90°.

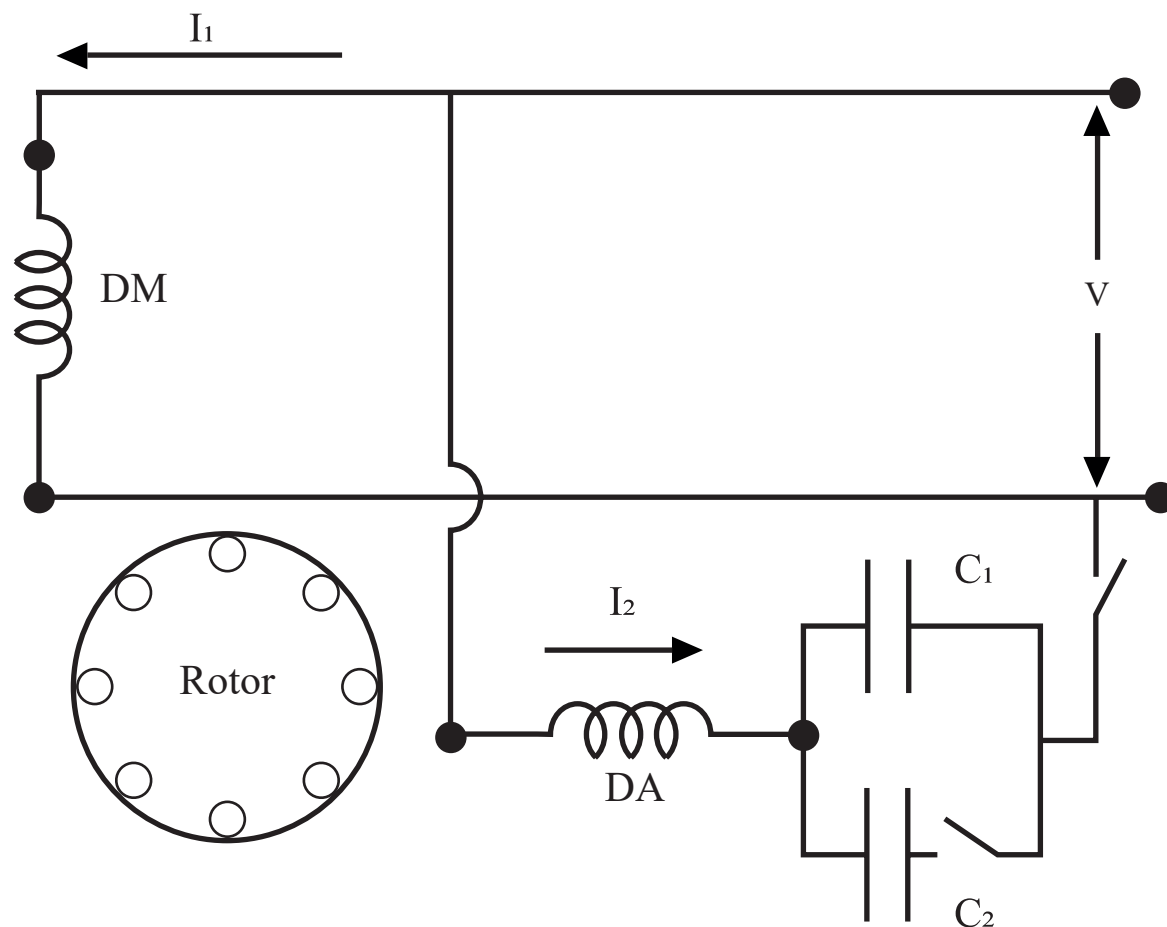
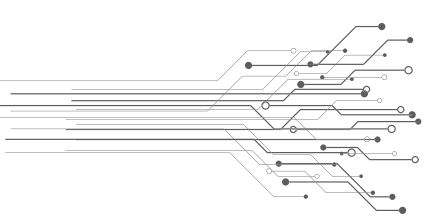


Figura 43 Esquema circuital de un motor con arranque de capacitor permanente

4. Motor con arranque por capacitor y capacitor permanente

Este motor supera en muchos aspectos al anterior y su factor de potencia es mejor durante la marcha. El capacitor C_1 es del tipo electrostático y queda conectado durante el arranque; El capacitor C_2 es de aceite y permanece conectado durante la marcha, mejorando el factor de potencia. Esta máquina se utiliza en cargas de hasta 350 W y de baja inercia y marcha. La corriente de arranque es igual a la de operación y se fabrican de 2, 4 y 6 polos.

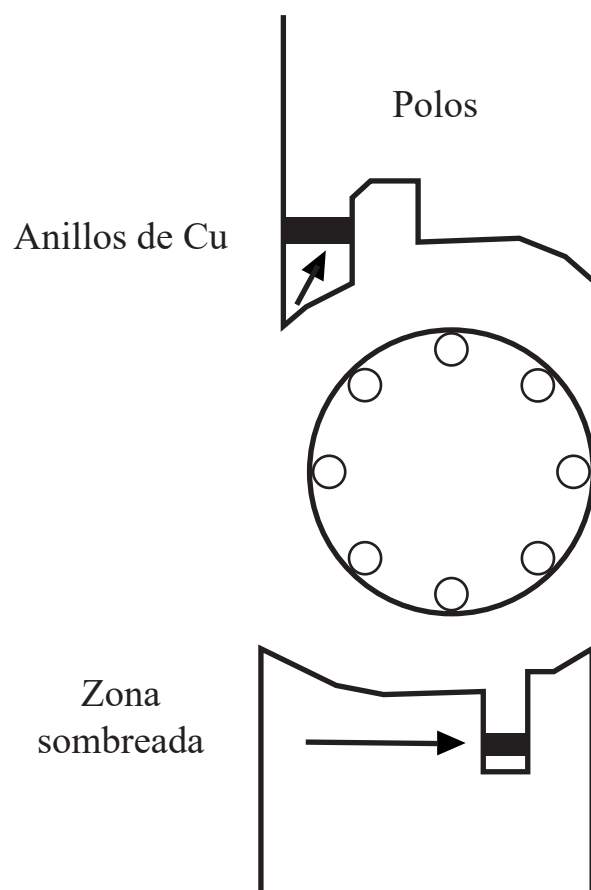
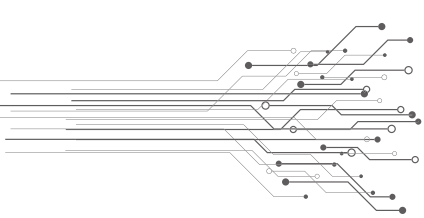
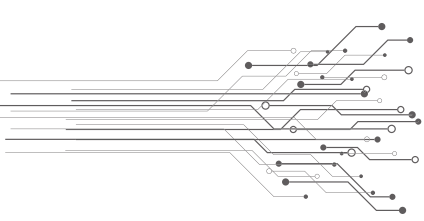


Figura 44 Motor monofásico con arranque por capacitor y capacitor permanente

5- Motor monofásico de polos sombreados

Este es un método económico de producir un campo magnético giratorio en un motor monofásico. Si se sitúa una sola vuelta de alambre de Cu en corto circuito alrededor de una sección de cada polo, la corriente inducida en cada anillo de Cu, produce un flujo opuesto al principal, el cual ocasiona un establecimiento más lento de la densidad de flujo en la zona “sombreada” del circuito magnético que en el resto del polo. Esto crea un efecto similar al de un campo rotatorio, puesto que el flujo en la sección no sombreada alcanza su valor máximo antes que el flujo en la parte sombreada, desarrollándose como consecuencia un momento



de arranque con una magnitud relativamente pequeña (40 al 60 %) del momento a plena carga.

Estos motores se usan para cargas de muy baja potencia; hasta 50 W; la corriente de arranque es de 1.5 veces la nominal y se fabrican de 2 y 4 polos. Resultan ideales para ventiladores.

6. Motores monofásicos de CA con colector (serie - universal)

El desarrollo de innumerables aplicaciones para uso en el hogar, oficinas, almacenes y fábricas, requieren de máquinas de potencias fraccionarias y demandan de un motor que pueda trabajar con corriente alterna y directa. Los llamados motores serie universal se ajustan a estos requerimientos, por su alto torque de arranque, que es de 3 a 4 veces el del torque a plena carga.

Estos motores se usan para cargas de muy baja potencia; hasta 50 W; la corriente de arranque es de 1.5 veces la nominal y se fabrican de 2 y 4 polos. Resultan ideales para ventiladores.

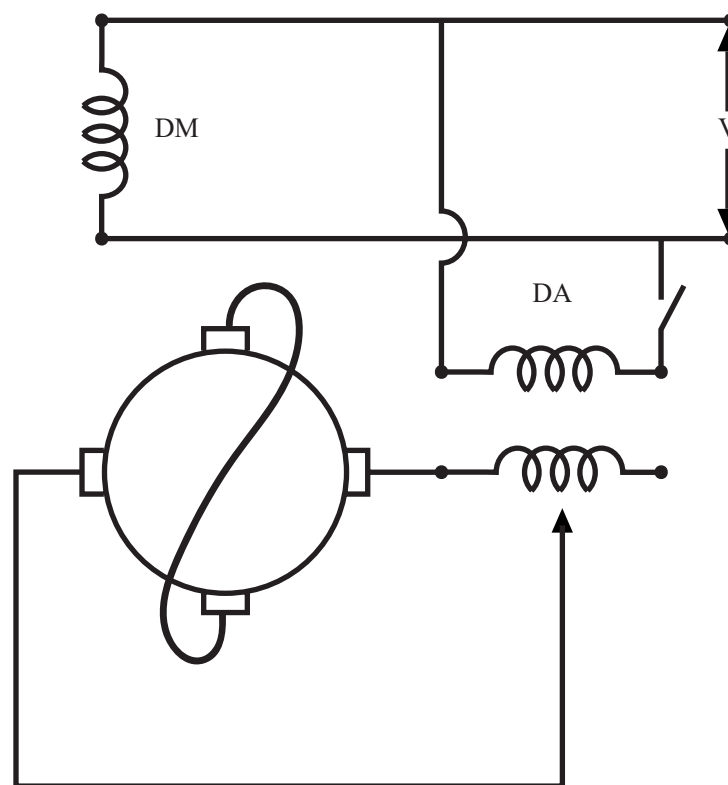
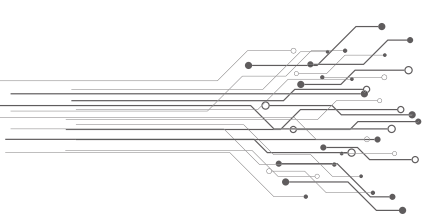


Figura 45 Inversión de la rotación o el sentido de rotación en los motores serie -universal



5.2 Características de los motores serie-universal

Los motores serie – universal se diseñan para un rango de voltaje de trabajo en el intervalo $32 V \leq U \leq 250 V$

Tienen un bajo factor de potencia

Tienen una relación $P_{\text{salida}}/\text{Peso}$, mayor que los demás.

En vacío su velocidad sube hasta 15000 – 20000 rev / min

Se diseñan para $f = 60 \text{ Hz}$, $P \leq 0.55 \text{ kW}$ y 7000 rev / min

1. Variación de la velocidad de los motores serie – universal

Estos motores se caracterizan por tener un campo magnético constante; su velocidad es aproximadamente constante, puesto que es proporcional al voltaje y al flujo. La regulación de la velocidad se logra variando el voltaje en el rotor, independientemente de que se mantenga fijo el voltaje a la entrada; para ello se utilizan diversos métodos tales como:

- Insertando resistencias en serie con el rotor.
- Con un auto transformador.
- Con sistemas de control.

2. Inversión de la rotación (sentido en los motores serie – universal)

La inversión se realiza cambiando la conexión de los devanados de arranque. El motor de polos sombreados no es reversible, pues la dirección de rotación ha sido fijada por el anillo de cobre. El motor asincrónico trifásico invierte el sentido de la rotación, invirtiendo dos de sus tres fases.

La idea esencial que se maneja para invertir la rotación en los motores monofásicos es cambiar la polaridad en el circuito de arranque.

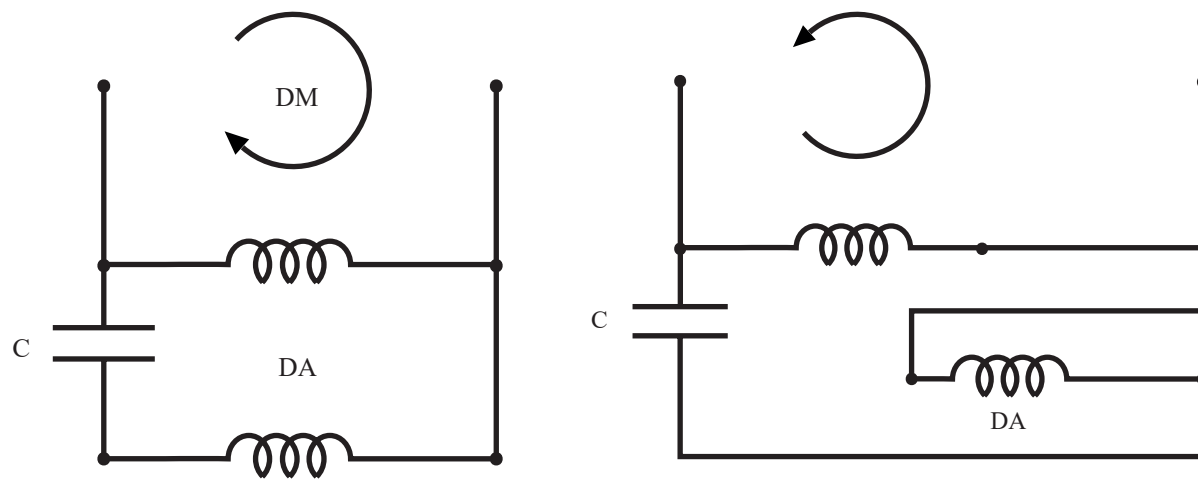
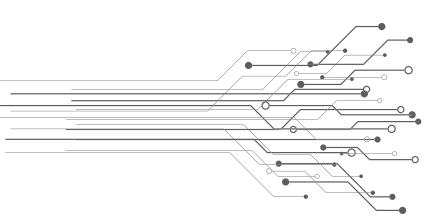


Figura 46 Circuito que muestra la inversión de la rotación en un motor monofásico.

5.3 Reconexión de máquinas asincrónicas trifásicas para el trabajo como máquinas monofásicas

Examinemos una conexión clásica en estrella, tal como se vería en los bornes. Afectaciones que experimenta el motor trifásico al convertirlo en uno monofásico. Consume el doble de corriente por fase. Empeora el factor de potencia. Hay que poner un capacitor de arranque. La capacidad o potencia disminuye.

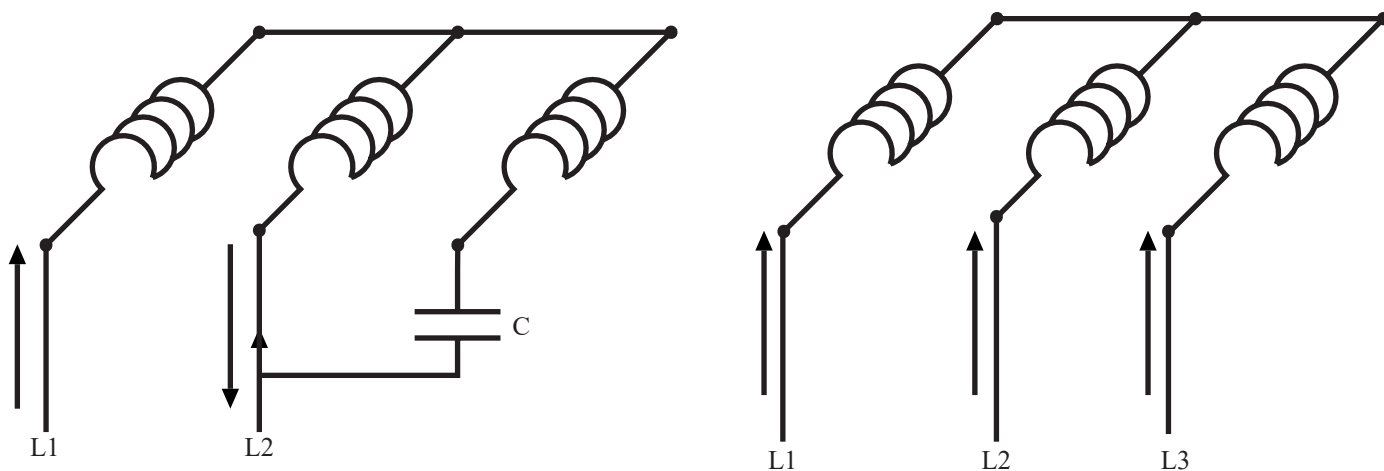
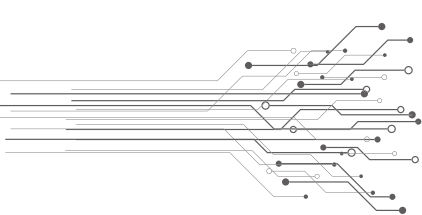


Figura 47 Reconexión de los devanados de un motor trifásico y su conversión en uno monofásico

5.4 Motores de Corriente Directa

Los Máquinas Eléctricos de Corriente Directa, no son precisamente los más utilizados, pero de acuerdo a sus características también tienen su



aplicación en la industria a pesar de ser las más caras y complejas, tanto en construcción como en explotación y mantenimiento.

De éstas, las más utilizadas son los motores que poseen excelentes características en la regulación de velocidad (motor paralelo) y la posibilidad de desarrollar grandes momentos a bajas velocidades (motor serie). Como toda máquina eléctrica rotatoria está constituida por dos partes fundamentales que son estator y rotor.

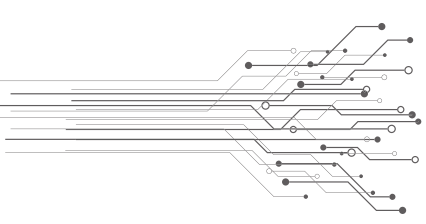
Estator: Parte fija, presenta un núcleo ferromagnético laminado en la mayoría de los casos, donde se encuentran los devanados concentrados que constituyen los campos de excitación.

Rotor: Presenta un núcleo ferromagnético laminado, con ranuras longitudinales, donde se devanan conductores distribuidos uniformemente, los cuales se conectan al colector o conmutador que no es más que un anillo segmentado. Cada segmento recibe el nombre de delga, las cuales se encuentran aisladas entre sí. Al colector se acoplan escobillas que tienen la función de conectar el rotor con el resto de la máquina. El conjunto se denomina armadura.

Fuerza Electromotriz Inducida en el devanado de la Armadura: Mediante la ley de Inducción de Faraday, puede calcularse la magnitud de la fem que se induce en el devanado de la armadura como consecuencia de su rotación en presencia del campo magnético producido por los polos principales. Sobre esta base y considerando un solo conductor, se tiene que:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} \text{ Las unidades son } \left[\frac{\text{Wb}}{\text{s}} \right]$$

Si dicho conductor gira a n revoluciones por minuto frente a los P polos de la máquina, la variación de flujo por unidad de tiempo es proporcional al número de polos P y a la velocidad $\frac{n}{60} \frac{\text{rev}}{\text{s}}$, o sea:



$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi \cdot p n}{60}$$

Φ : flujo magnético por polo, el cual se expresa en Weber

Luego, si se sustituye se obtiene la expresión de la fem que se genera:

$$E_j = \frac{\Phi \cdot p n}{60}$$

Para devanados constituidos por Z conductores, el número de conductores en serie entre las escobillas de diferente polaridad de la armadura es Z/a , siendo a el número de trayectorias en paralelo. Luego la fem generada en la armadura será:

$$E_g = \frac{Z}{a} E_j$$

$$E_g = \frac{Z}{a} \frac{P\Phi n}{60} \quad \frac{ZP}{a60} = k$$

$$E_g = k\Phi n$$

; E_g es expresado en Volts (V)

A continuación, mostramos los esquemas circuitales de las máquinas de Corriente Directa.

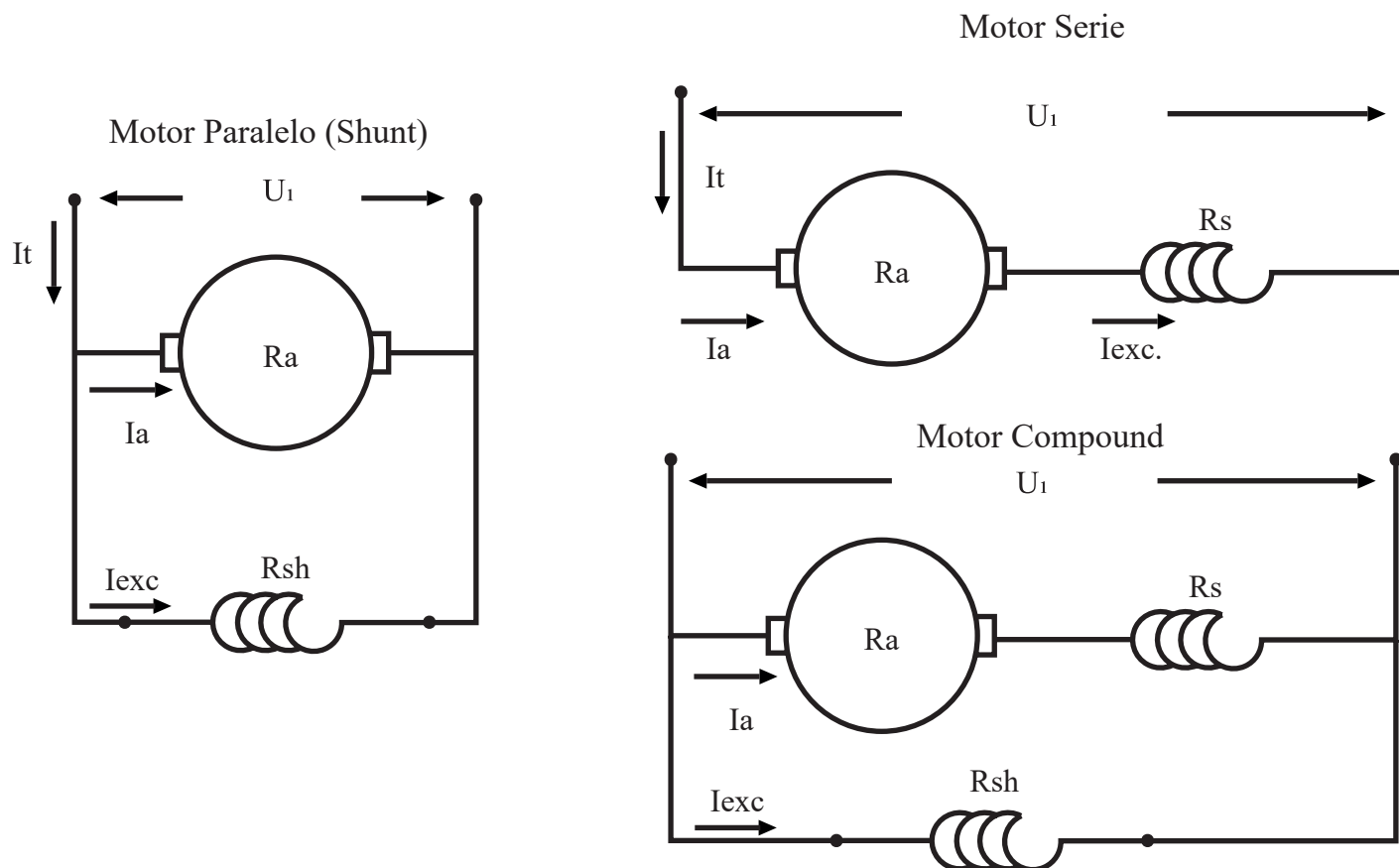
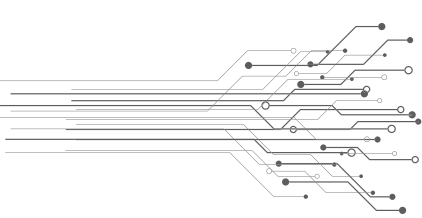
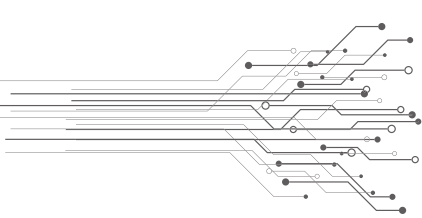


Figura 48 Diferentes tipos de motores de Corriente Directa

En la máquina “Shunt”, el devanado excitador está en paralelo y tiene muchas vueltas de alambre fino y la corriente de excitación es relativamente baja. En la máquina serie, tiene menos vueltas y los conductores son más gruesos ya que toda la corriente que pasa por la armadura de la máquina, atraviesa el devanado excitador. Note que en el motor Compound hay devanados excitadores tanto en serie como en paralelo.

5.4.1. Principio de funcionamiento

Las máquinas de CD al igual que las de CA son reversibles. Es decir, pueden trabajar tanto en régimen generador como motor. Como generador el devanado del estator o de excitación se excita con CD y se le aplica un torque mecánico en el árbol que lo haga girar y se obtiene una tensión directa en los bornes de salida, o sea por el inducido de la armadura. Como motor se le aplica un voltaje en los campos de excitación y del



rotor, produciéndose un par que pone en movimiento al rotor.

El colector en las Máquinas de CD tiene las funciones siguientes:

- Rectifica la CA, cuando trabaja como generador.
- Mantiene un par unidireccional
- Conexión con el circuito exterior

5.4.2. Características mecánicas y aplicaciones de los motores de corriente directa tipo shunt

Dado el esquema circuital de un motor de CD tipo shunt, pasemos a encontrar o calcular algunos importantes parámetros.

Para el generador:

$$U_t = E_g - I_a R_a$$

$$E_g = U_t + I_a \cdot R_a$$

Para el motor

$$U_t = E_g + I_a R_a$$

$$E_g = U_t - I_a R_a$$

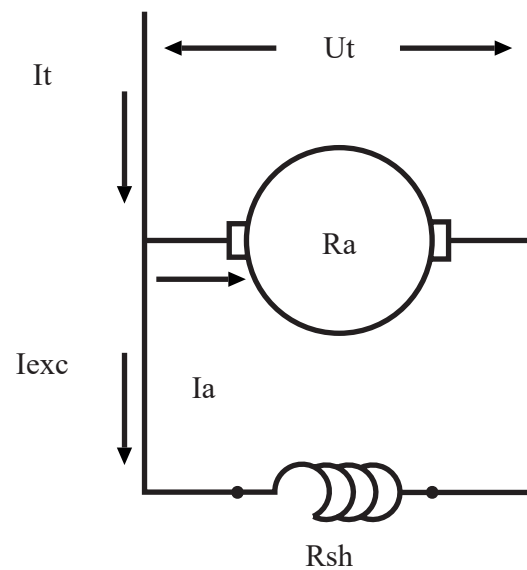
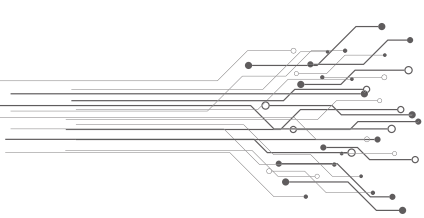


Figura 49 Características Mecánicas y aplicaciones de los motores de corriente directa

Según

$$E_g = k\Phi n = k\Phi\omega$$

Entonces la velocidad del motor Shunt será:

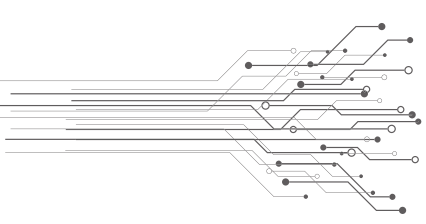
$$\omega = \frac{U_t - I_a R_a}{k\Phi}$$

Por otra parte, el momento que pone el motor en el árbol se obtiene dividiendo la potencia de salida entre la velocidad angular del rotor, así:

$$M_{sal} = \frac{P_{sal}}{\omega}$$

El momento electromagnético se obtiene dividiendo la potencia electromagnética entre la velocidad angular, de esta manera:

$$M_{em} = \frac{P_{em}}{\omega}$$



Si las pérdidas de energía son despreciables,

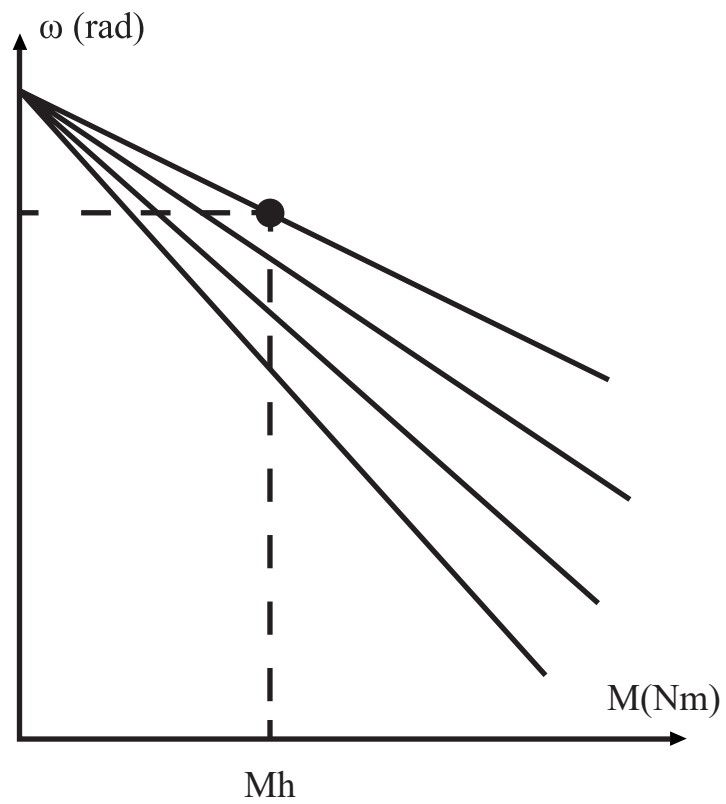


Figura 50 Característica Mecánica del Motor Shunt

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{em} = P_{sal} \\ M_{em} = M_{sal} \end{array} \right\}$$

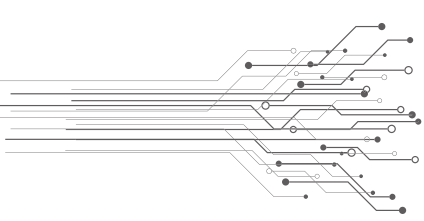
Tenemos que,

$$M_{sal} = E_g I_a = k\Phi\omega I_a$$

$$M_{em} = \frac{k\Phi\omega I_a}{\omega} = k\Phi I_a$$

Luego, también

$$M_{sal} = k\Phi\omega$$



Ventajas

- Excelentes propiedades en la regulación de la velocidad (exactitud).
- Velocidad casi constante para diferentes estados de carga.

Desventajas

- Relativamente costosos en su construcción, explotación y mantenimiento.
- Menos eficientes que los motores de CA.
- Bajo momento de arranque comparado con la serie.

Aplicaciones

Los motores Shunt son utilizados para accionar máquinas herramientas de alta precisión, tornos de laminado, maquinarias en la industria textil, etc.

5.4.3. Motor serie

Si aplicamos las leyes de Kirchoff al circuito de la figura que representa un motor serie, tendremos:

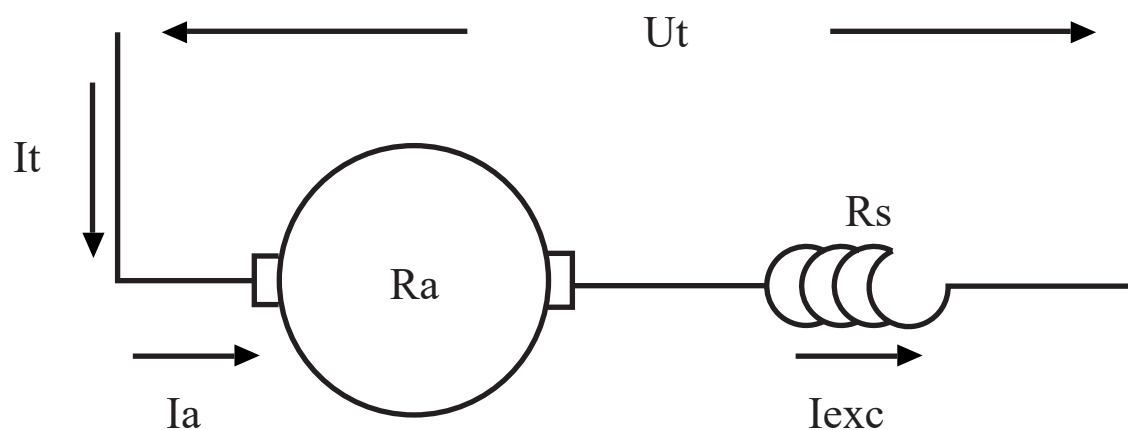
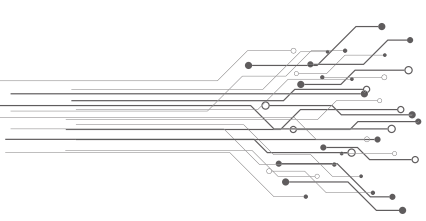


Figura 51 Motor serie



$$\begin{cases} U_t = E_g - I_a(R_a + R_s) \\ E_g = U_t - I_a(R_a + R_s) \end{cases}$$

Sustituyendo y despejando ω , obtenemos:

$$\omega = \frac{U_t - I_a(R_a + R_s)}{k\Phi}$$

Tenemos que

$$k\Phi = \frac{M_{sal}}{I_a}$$

$$\omega = \frac{I_a U_t - I_a^2 (R_a + R_s)}{M_{sal}} ;$$

$$\omega = \frac{P_{ent} - P_{dis}}{M_{sal}}$$

$$\omega = \frac{P_{sal}}{M_{sal}}$$

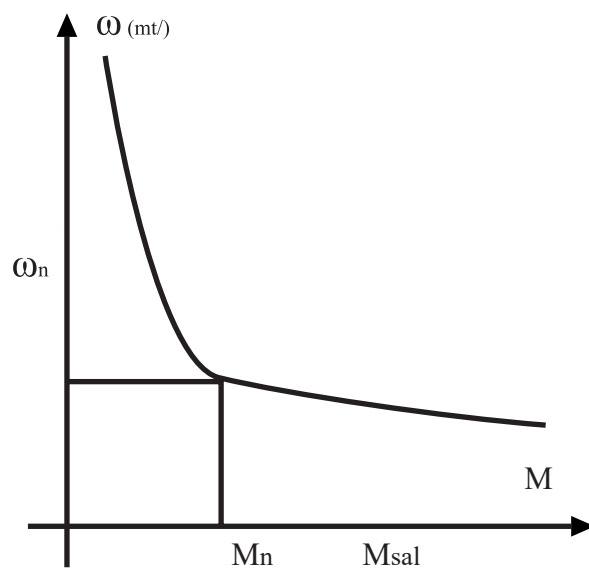
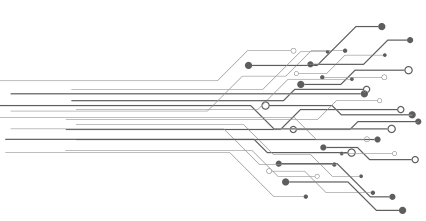


Figura 52 Característica Mecánica del motor serie



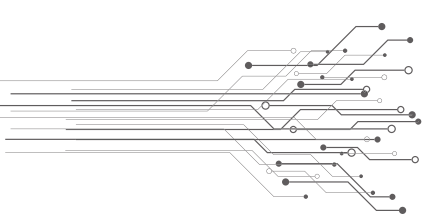
Evidentemente, la velocidad angular en función el momento ($\omega = f(M)$) es para el caso del motor serie una hipérbola, tal como se indica en la figura.

Aplicaciones. Son utilizados en tranvías, arranque de automóviles, grúas, etc.

A manera de conclusiones

Los motores monofásicos se clasifican de acuerdo al método de arranque que utilizan. A diferencia de los motores trifásicos, éstos necesitan un torque inicial que rompa la inercia y comiencen a rotar.

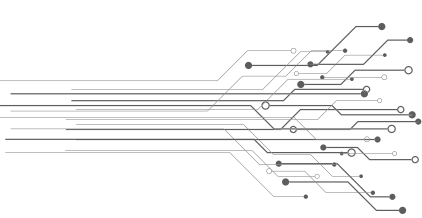
De entrada, se diferencian los devanados de marcha y arranque. Al devanado de arranque puede adicionársele capacitor, o bien además de arrancar con capacitor dejarle el capacitor una vez arrancado.



CAPÍTULO VI

ACCIONAMIENTO

ELÉCTRICO



6.1 Accionamiento eléctrico. Generalidades

El accionamiento eléctrico es una instalación compleja, destinada a la electrificación y automatización de los procesos de trabajo, es decir, encargada de la puesta en marcha, regulación de velocidad, frenado e inversión de dicha instalación. O bien es el conjunto de dispositivos diseñados para convertir energía eléctrica en mecánica y controlar eléctricamente este proceso de conversión (Ángel Costa).

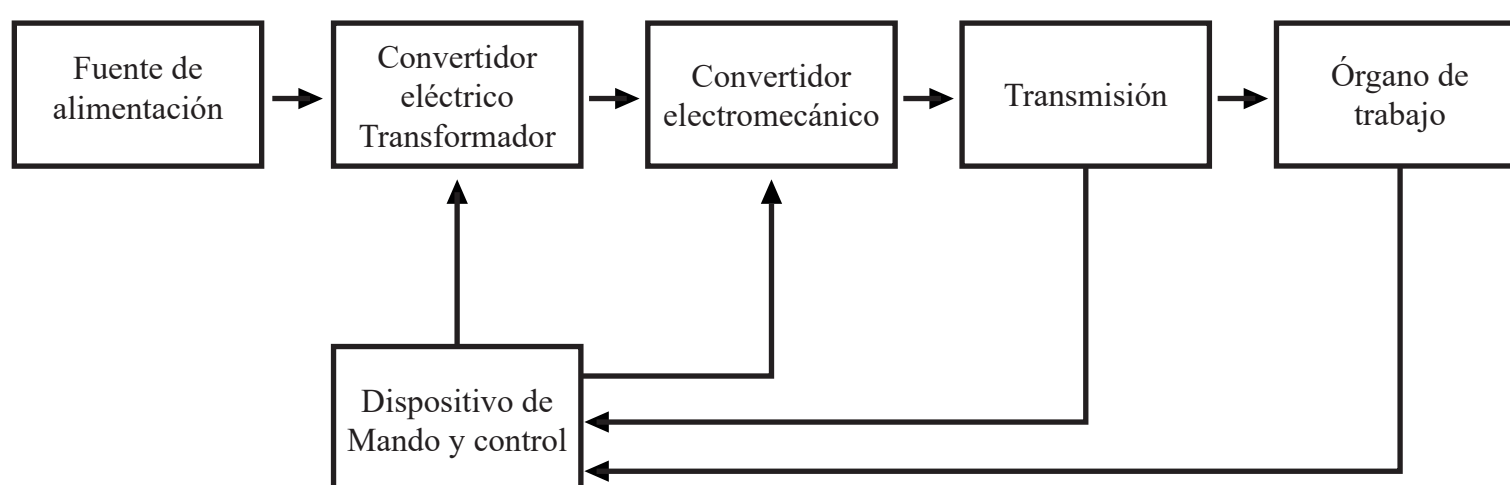


Figura 54 Proceso de conversión

El concepto de Accionamiento Eléctrico puede ser presentado mediante un mapa conceptual, de la forma siguiente:

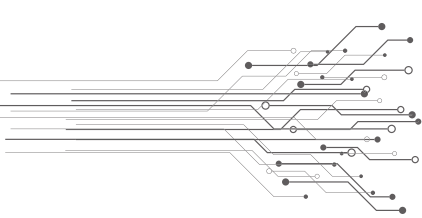


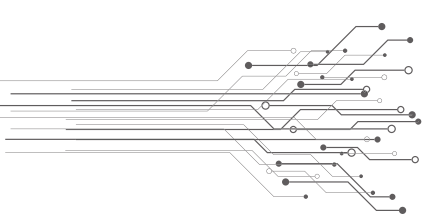
Figura 55 Mapa conceptual de Accionamiento Eléctrico

6.2 Clasificación de los accionamientos. Componentes

De acuerdo a la forma en que se estructura el accionamiento:

Accionamiento común: desde un solo motor eléctrico y valiéndose de una o varias transmisiones, el movimiento se trasmite a un grupo de máquinas operadoras.

Accionamiento simple: Cuando un solo motor pone en movimiento una máquina. Ejemplo taladrador normal.



Accionamiento múltiple: Es el caso de varios motores accionando una misma máquina. Ejemplo taladrador radial.

Por el tipo de corriente se clasifican en:

- Accionamiento de CD
- Accionamiento de CA

Componentes del accionamiento: El accionamiento eléctrico consta de dos partes fundamentales.

Circuito de fuerza: Incluye motor eléctrico y dispositivos para transmitir la energía mecánica al órgano de trabajo.

Circuito auxiliar: Es el circuito de control (de mando y protección).

6.3 Interacción motor carga

En un accionamiento para analizar el comportamiento de un motor eléctrico y el mecanismo de producción, hay que revelar la correspondencia entre las características del motor y el mecanismo en cuestión. El torque o momento que proporciona el motor a través del árbol es resistido por el momento resistente del mecanismo y el carácter de esta interacción se afecta por el comportamiento del accionamiento en conjunto durante los estados transitorios (arranque, frenado, variación de velocidad). Es evidente que se necesita conocer bien el carácter de la interacción motor-carga, para proyectar un accionamiento.

1. Características mecánicas de los mecanismos típicos de la producción y los servicios

En la gráfica se representan la forma de las características de algunos tipos de carga.

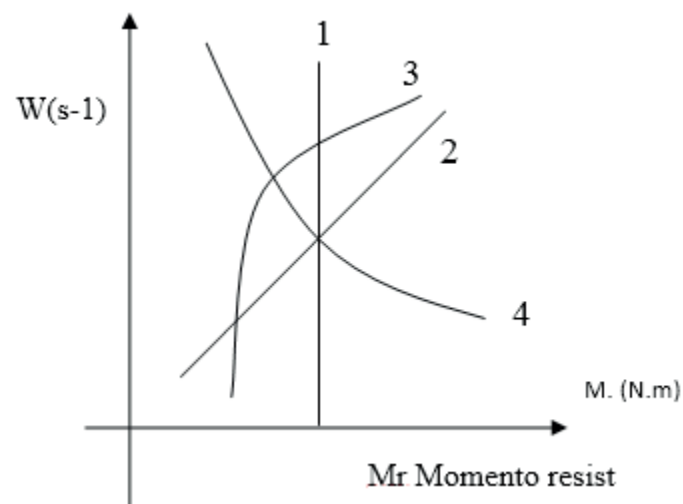
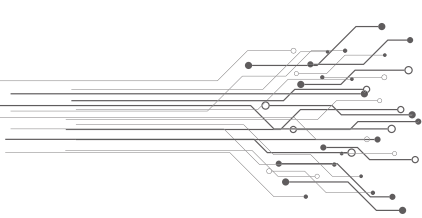


Figura 56 Características de algunos tipos de carga

1. Es una característica en la que el momento es independiente de la velocidad. El momento es constante, ejemplo de ello son la carga de grúas, elevadores y transportadores. Hagamos $X = 0$ y $M_f = 0$

$$\frac{M_r}{M_{rn}} = \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^0 \quad \text{y} \quad M_r = M_{rn}, \text{ o sea } M_r = \text{const.}$$

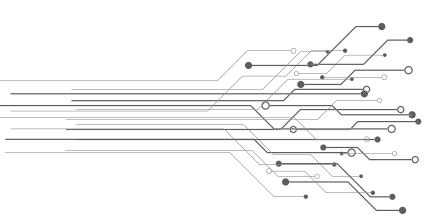
2. Gráfica lineal creciente. Aquí $X = 1$ considerando $M_f = 0$ y $M_r \propto \omega$

Ejemplo de este tipo de carga es el generador de CD, con excitación independiente y resistencia exterior constante.

Nota. Aquí:

$$\frac{M_r}{M_{rn}} = \frac{\omega}{\omega_n} \text{ pues } X=1 \text{ y } M_f = 0; \text{ luego } M_r = \left(\frac{M_{rn}}{\omega_n} \right) \omega$$

3. No lineal creciente: (característica, tipo ventiladores), Aquí $X = 2$



Es decir $M_r \propto \omega^2$. Una carga típica es la bomba centrífuga.

$$\frac{M_r}{M_{rn}} = \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \Rightarrow M_r = \left(\frac{M_{rn}}{\omega_n^2} \right) \omega^2$$

4. No lineal decreciente. El momento varío inversamente proporcional a la velocidad (potencia constante), Mandriladora, torno, laminadora.

$$\frac{M_r}{M_{rn}} = \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^{-1} = \frac{\omega_n}{\omega}; M_r = \left(\frac{M_{rn}}{\omega_n} \right) * \frac{1}{\omega}$$

2. Características conjuntas motor carga

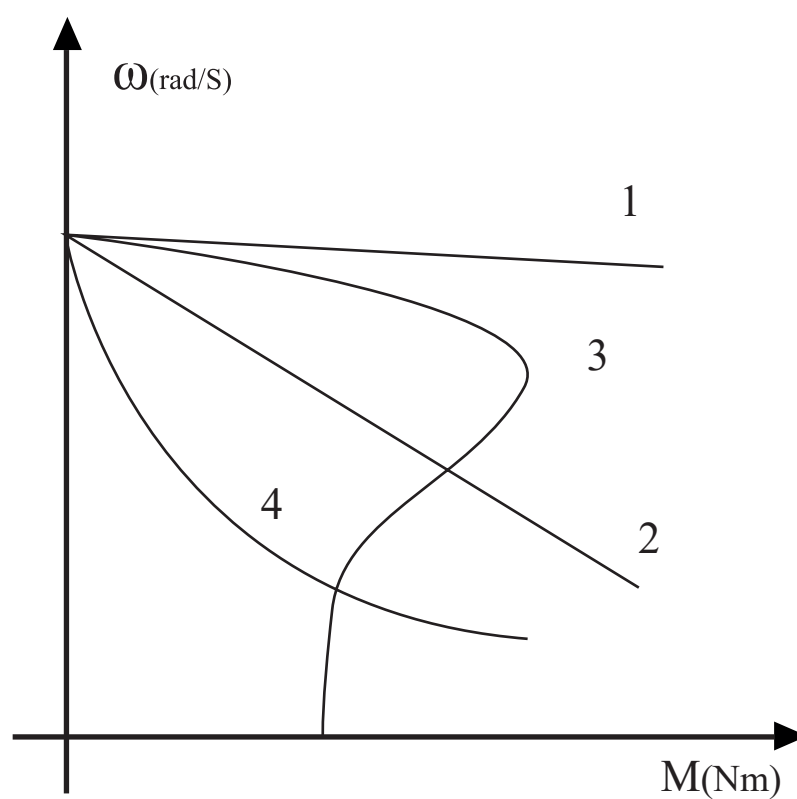
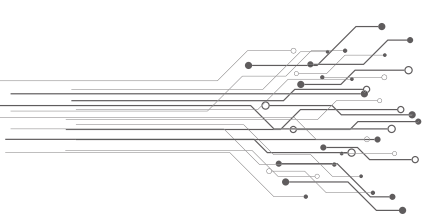


Figura 57 características conjuntas motor carga



Recordemos la forma de las características mecánicas de los motores.

1-Motor sincrónico

2-Motor shunt de CD

3-Motor asincrónico

4-Motor serie de CD

Ejemplo 1: Transportador accionado por un motor paralelo (Shunt) de CD. Característica mecánica del transportador en vacío. Característica mecánica del transportador con carga.

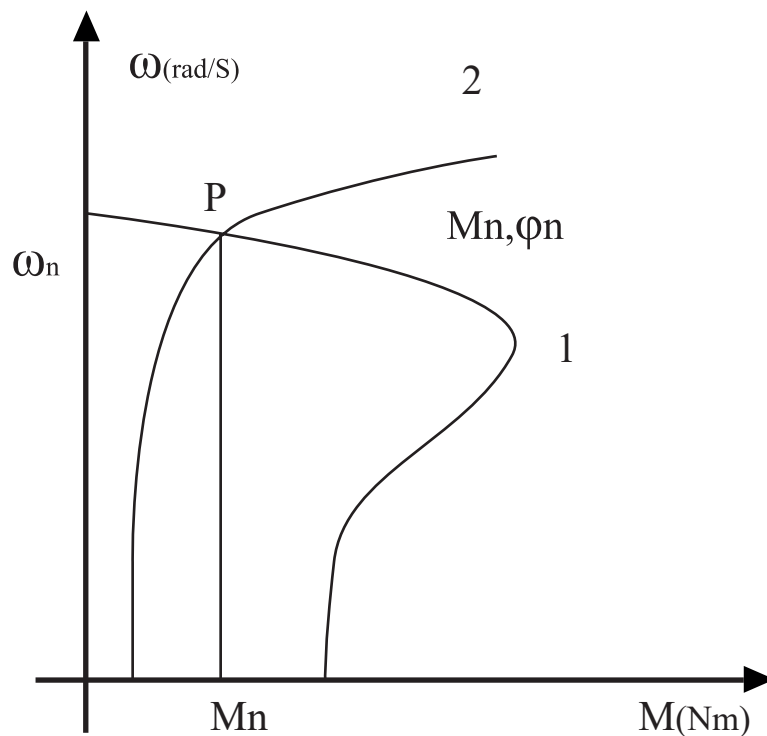
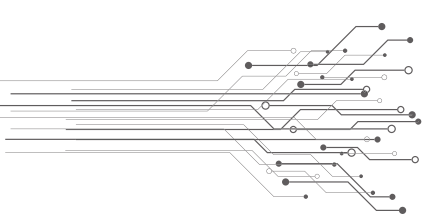


Figura 58 Característica mecánica del transportador con carga

Ejemplo 2. Carga tipo ventilador acoplada a un motor asincrónico jaula de ardilla.

Punto (1) y (2); coordenadas (M , ω), del accionamiento.

Motor Asincrónico de jaula ardilla.



Carga tipo ventilador (ventiladores, bombas, compresores).

P (M_r , ω): Valores del momento resistente y la velocidad angular (ω)

6.4 Ecuación dinámica del accionamiento eléctrico

Analicemos el comportamiento de un accionamiento con motor de CD. Al comenzar en el accionamiento; en el momento $M = M_1$, para una velocidad ω_1 , cuando aumenta la carga disminuye la velocidad, causando una disminución de la f.e.m en el inductivo.

$$E_g = k\Phi\omega$$

Como resultado el motor aumenta su corriente de armadura.

$$I_a = \frac{u_t - k\Phi n}{R_n}$$

El momento del motor crece hasta que aparece el equilibrio.

$M = M_2$, para ω_2 . Luego el motor proporciona el torque que se necesita para vencer el torque resistente de la carga.

En una interacción motor-carga tenemos presente las siguientes magnitudes como se muestra en la figura 59.

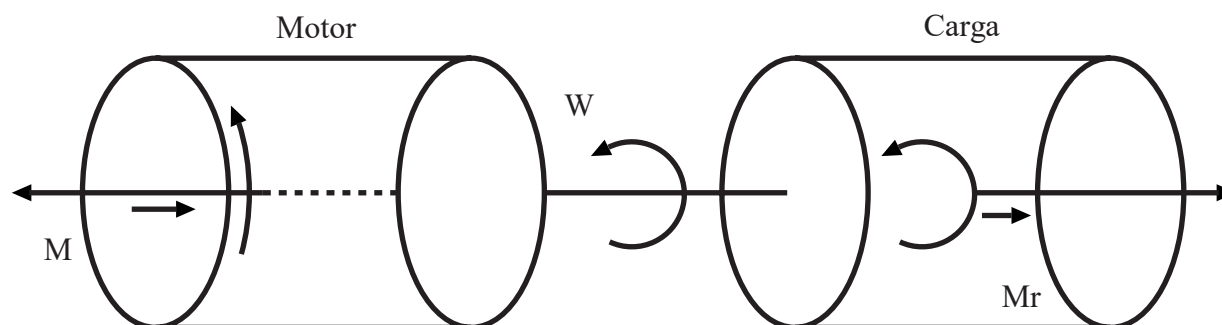
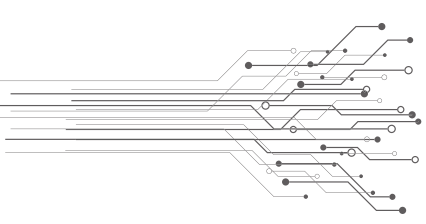


Figura 59. Motor carga



M: Momento desarrollado por el motor.

M_r : Momento resistente de la carga.

ω : Velocidad de la carga.

I: Momento de la inercia del sistema.

La ecuación fundamental que describe la rotación del sistema en la interacción motor-carga es:

$$M - M_r = I \frac{d\omega}{dt}$$

El análisis de esta ecuación nos da los posibles estados del movimiento del sistema.

$$M > M_r \Rightarrow I \frac{d\omega}{dt} > 0$$

El sistema se acelera

$$M < M_r \Rightarrow I \frac{d\omega}{dt} < 0$$

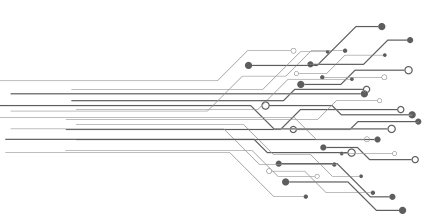
El sistema se desacelera

$$M = M_r \Rightarrow I \frac{d\omega}{dt} = 0$$

El sistema trabaja en régimen estable (velocidad constante).

El momento de la carga puede ser de dos tipos

- a) Activo. Es activo cuando actúa siempre en el mismo sentido
- b) Pasivo. Aquí el momento es siempre opuesto al sentido de la velocidad. Ejemplo, ventiladores, máquinas herramientas etc.



6.5 Transmisiones mecánicas

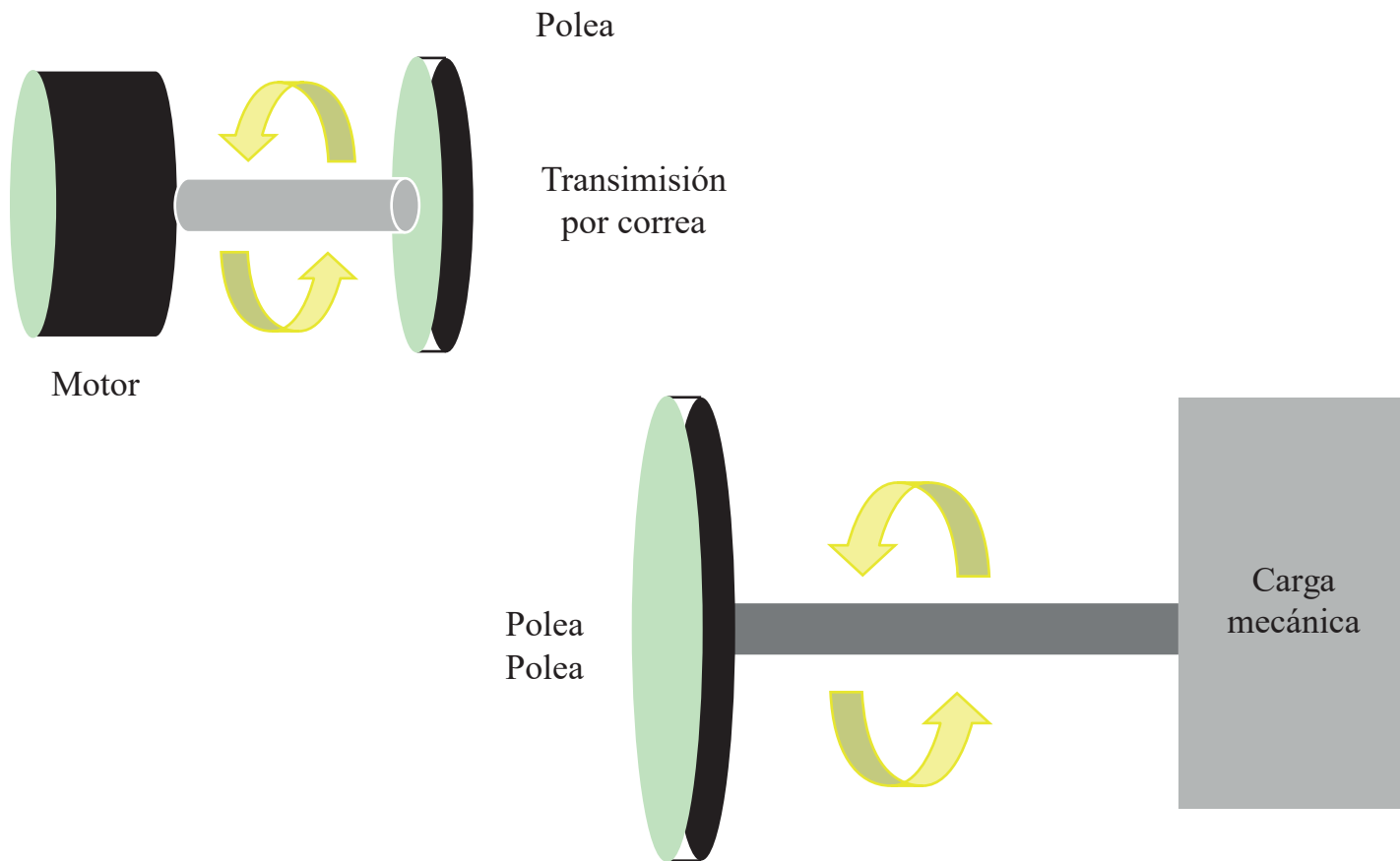


Figura 60. Transmisión mecánica

En el análisis que haremos, partiremos de la idea de que la potencia que pone el motor en el árbol es igual a la que toma la carga:

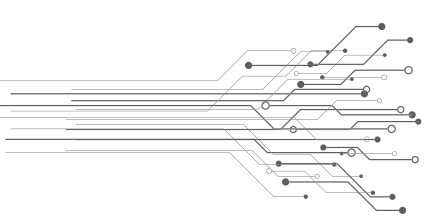
$$P_M = P_C$$

$$M_m \omega_m = M_c \omega_c$$

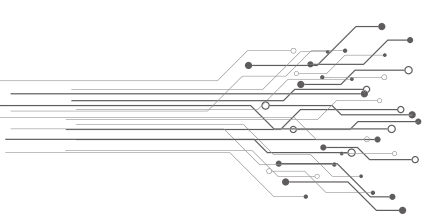
Hagamos $M_m = M'_c$, donde M'_c , es el momento de la carga referido al eje del motor

$$M'_c \omega_m = M_c \omega_c$$

Luego
$$M'_c = \frac{\omega_c}{\omega_m} M_c$$



CAPÍTULO VII REGÍMENES TRANSITORIOS EN LOS MOTORES DE CD



7.1 Regímenes Transitorios del accionamiento eléctrico

Puesta en marcha. “Arranque”. Es el proceso mediante el cual el motor vence el momento resistivo y el accionamiento se pone en marcha. Es el instante donde el motor demanda mayor consumo de potencia (grandes corrientes) de ahí la necesidad de buscar vías para limitar los picos de corriente y evitar que sobrepasen los límites establecidos.

Frenado: Es la acción dirigida a detener la rotación del motor, en un tiempo dado. Muchas veces un accionamiento tiene un momento de inercia relativamente grande y la marcha no se detiene al interrumpir el paso de la corriente por lo que se hace necesario elaborar un sistema de frenado que detenga el accionamiento.

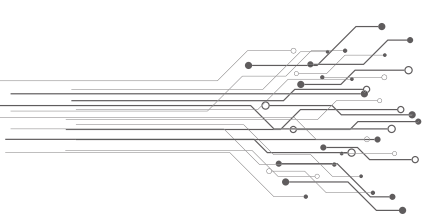
Inversión en la rotación: Diseño del accionamiento, mediante el uso de motores que tengan rotación en uno u otro sentido.

Regulación de velocidad: Es la variación intencional de la velocidad del motor, dado por necesidades de la producción, para garantizar determinada calidad del proceso o producto. La regulación de velocidad tiene indicadores que permiten evaluar cada método de regulación.

7.2 Indicadores del Control de Velocidad

7.2.1 Control de Velocidad en Motores Serie de CD

De la expresión de velocidad para el motor serie, se desprenden los siguientes métodos para el control de velocidad.



$$\omega = \frac{U_t - I_a(R_a + R_s + R_{ext})}{k\phi}$$

- Variando la resistencia externa en serie con la armadura
- Variando el flujo magnético Φ ; debilitando el campo
- Variando la tensión aplicada

7.2.2 Control de velocidad del motor serie

$$\omega = \frac{U_t - I_a(R_a + R_{sh} + R_{ext})}{k\phi}$$

Aquí:

$$\phi = f(I_a) \text{ pues } I_a = I_{ext}$$

Vemos que, si son idénticos al motor Shunt, pero como los devanados del campo y la armadura están en serie y circula por ellos la misma corriente las formas de control resultan algo diferentes.

Conectando resistencias en serie. Es el método más sencillo que provoca una disminución de la velocidad.

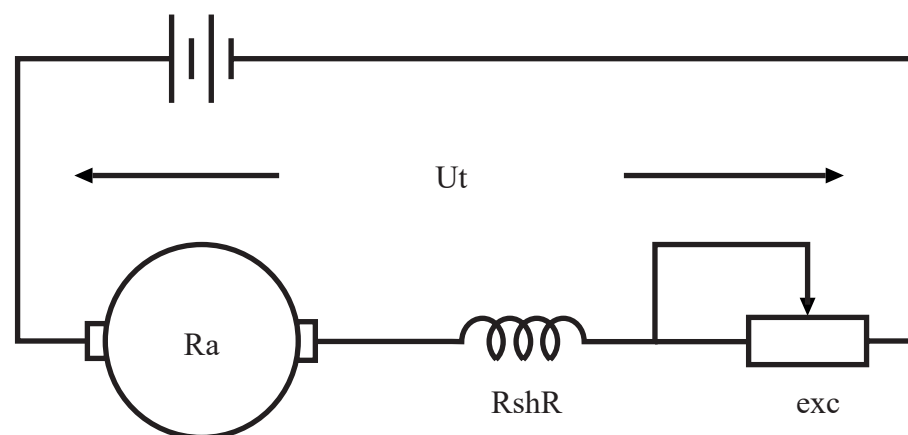
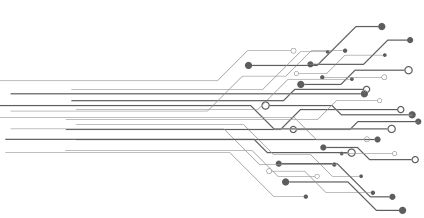


Figura 6l Resistencias conectadas en serie en un motor shunt



- Factibilidad económica: pobre por el alto consumo energía característico de este método.
- Tipo de carga admisible: Cargas de momento constante, que corresponde al trabajo del motor con valor invariable de la corriente del inducido igual a la nominal. Pese a las grandes pérdidas de energía este método encuentra aplicación en grúas y aparatos de tracción.

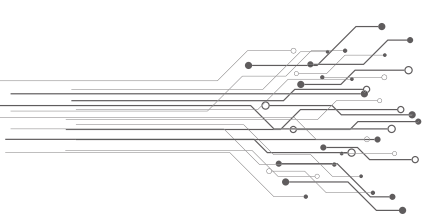
Debilitamiento del campo:

Este método consiste en la conexión de resistencias en paralelo con el devanado de excitación o con la armadura, para hacer que la corriente de excitación o de campo sea menor que la corriente de armadura, examinemos el primer caso o en el que la dirección de control es hacia arriba. En la fig. 61 mostramos el esquema de dicho control.

Los indicadores de control se comportan así:

- Estabilidad de la operación: Es buena, aunque disminuye ligeramente.
- Factibilidad económica: Buena, pues las pérdidas de energía en el reóstato son bajas.
- Cargas admisibles: Este control es aplicable a accionamientos eléctricos que necesitan aumento de velocidad con disminución de carga, tal es el caso de las cizallas sin volante de un blooming para el corte de metales.

A veces resulta necesario operar el motor con poca carga, y para evitar que la velocidad se eleve demasiado debe ser definida la velocidad de vacío y no tienda al infinito como el esquema convencional.



$$\omega = \frac{U_t - I_a(R_a + R_s)}{k\Phi}$$

$$\Phi \Rightarrow 0; \omega \Rightarrow \infty$$

$$I_a = 0$$

$$\omega = \omega_o = \frac{U_t}{k\Phi}$$

7.3 Arranque: Métodos de arranque del motor shunt

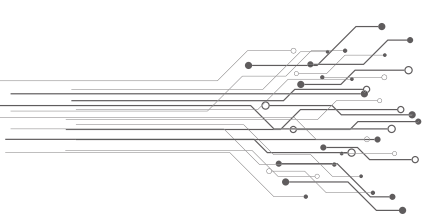
En general todos los métodos de arranque tienen un objetivo que es el reducir la corriente de arranque que alcanza altos valores en las puestas en marcha del motor.

Para el motor Shunt, la corriente de armadura estará dada por:

$$I_a = \frac{U - k\Phi\omega}{R_a + R_{ext}}$$

si no hay resistencia externa o bien $R_{ext} = 0$; en el momento del arranque cuando $\omega = 0$,

$$I_a = \frac{U}{R_a}$$



Tendríamos haciéndose I_a muy grande para el caso de los motores Shunt de CD deben de conectarse resistencias externas en cascada en serie con la armadura, para limitar a un valor permisible la corriente de armadura. Una vez que ha arrancado el motor las resistencias externas se van desconectando paso a paso, hasta alcanzar la velocidad y el momento que requiera la carga conectada.

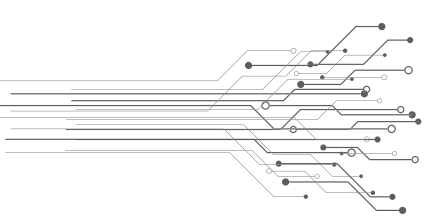
7.4 Frenado de los motores.

A veces resulta necesario disminuir el tiempo que emplea una máquina en detenerse o bien evitar que aumente indefinidamente la velocidad cuando existen cargas activas que tienden a aumentarla como por ejemplo en el descenso de un elevador o una grúa de carga. Para lograr lo anterior debe de generarse un momento electromagnético en la máquina eléctrica que se oponga a la rotación es decir que provoque la disminución de velocidad. Un accionamiento eléctrico trabajando en estas condiciones se dice que está en estado de frenaje:

Frenaje del motor Shunt de CD.

El frenaje de los motores de CD puede ser de 3 tipos; dinámico, regenerativo y por contracorriente.

Frenado dinámico: En el frenado dinámico la máquina trabaja como generador recibiendo energía por su eje y entregándola a una resistencia que identificaremos por R_{fr} fig. 62. El motor Shunt funcionará así: Con K_m cerrado, K_b y K_e abiertos el motor arranca pasando la corriente por la resistencia de arranque R_{ext} ; en condiciones nominales K_e se cierra, desconectándose o saliendo de funcionamiento R_{ext} y quedando el motor



directo a línea. Para el frenaje, se abre K_m y se cierra K_b trabajando la máquina como generador, circulando la corriente en el sentido que se muestra en la figura a través de la resistencia de frenaje.

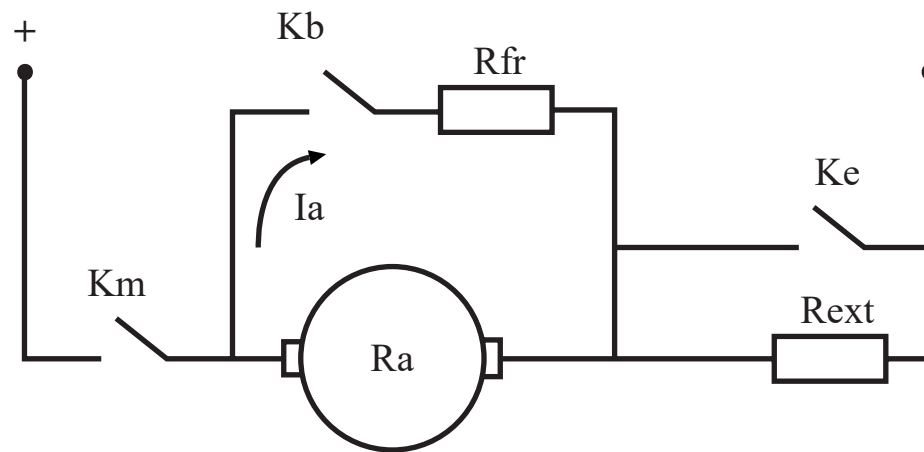


Figura 62 Frenado dinámico de un motor

La ecuación de la tensión del generador de CD es:

$$U_T = E_a + I_a(R_a + R_{fr})$$

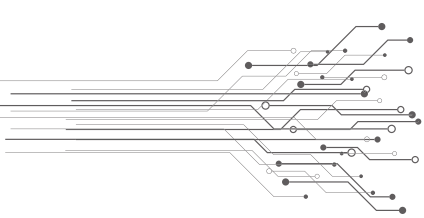
En régimen de frenaje; $U_T = 0$

$$E_a = K\phi\omega$$

$$M = K\phi I_a$$

Luego:

$$\omega = \frac{R_a + R_{fr}}{(K\phi)^2} M$$



En la figura 62 se muestran las características natural y de frenaje dinámico correspondientes a un generador.

Figura 63; Características natural y de frenaje dinámico de un motor shunt.

Selección de la resistencia de frenaje: Debe buscarse la forma de limitar la corriente máxima en el frenaje a un valor permisible (I_{per}) el cual es generalmente igual a dos veces la corriente nominal y que se conoce de la ecuación:

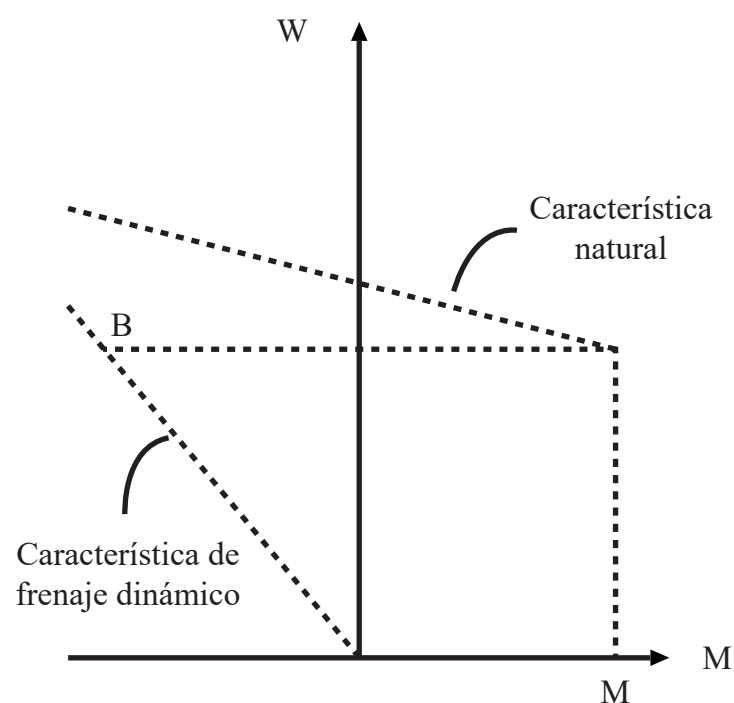


Figura 63 Características natural y de frenado dinámico de un motor shunt

$$I_{per} = \frac{K\phi\omega_{m\acute{a}x}}{R_a + R_{fr}}$$

de donde:

$$R_{fr} = \frac{K\phi\omega_{m\acute{a}x}}{I_{per}} - R_a$$

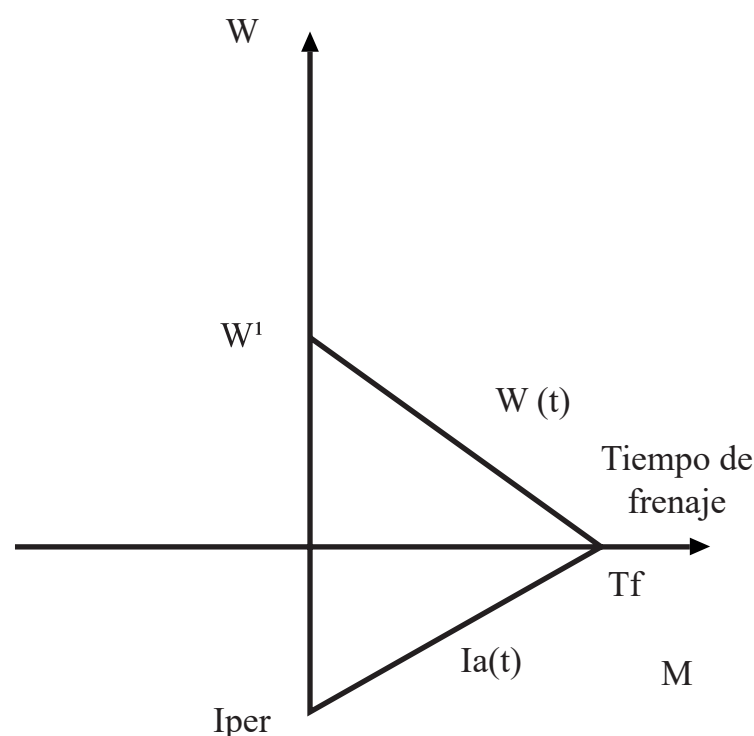
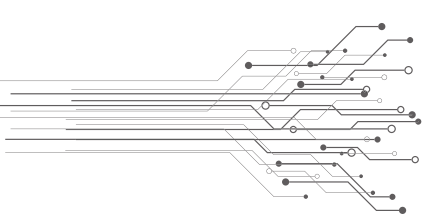


Figura 64 Características de velocidad y corriente

Es evidente que la velocidad disminuye desde el valor nominal hasta cero; mientras la corriente generada en el frenaje se anula a partir de un valor permisible (negativo). Esta corriente tiene un sentido opuesto a la del trabajo del motor. En la figura 63 se muestra gráficamente el comportamiento de la velocidad y la corriente.

El frenado es intenso según la característica de éste. Si no se desconecta el inducido del motor a una velocidad próxima a cero, el motor, desarrollando un momento en magnitud absoluta mayor que el par de resistencia se acelera en sentido contrario hasta la velocidad de régimen motor. El proceso de frenaje eléctrico por contracorriente con la aceleración ulterior se llama inversión.

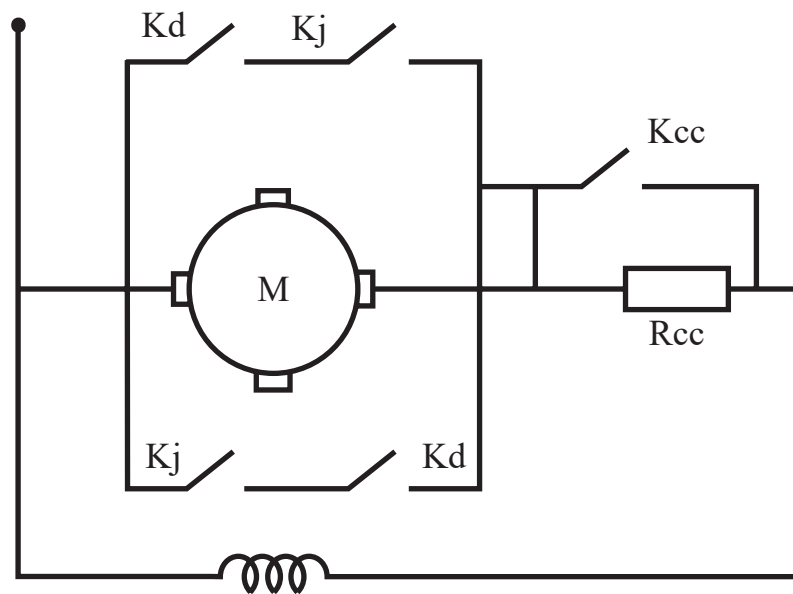
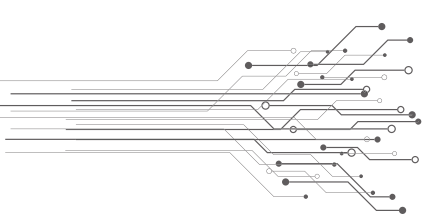
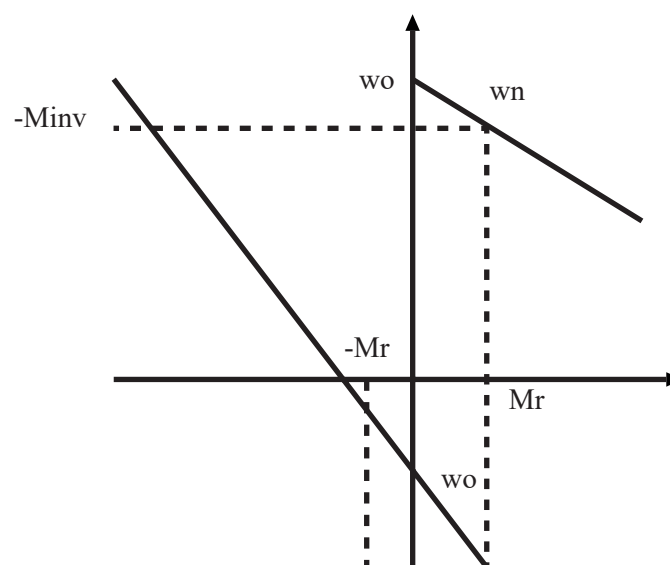
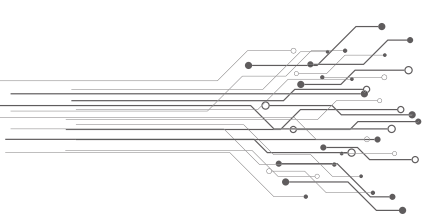


Figura 65 Transición del régimen motor al régimen en contra corriente

La gráfica nos dice que en el momento que comienza el frenado a la velocidad w_n y momento inverso M_{inv} . A la velocidad $w = 0$, hay todavía un momento negativo aplicado que hará que el accionamiento comience a rotar en sentido contrario si no se dispone de un mecanismo automático que desconecte el circuito a esta velocidad. El motor alcanzará valores de velocidad y momento en sentido contrarios de rotación parecidos a los que tenía inicialmente si no se desconecta el circuito, sirviendo este tipo de conexión para invertir la rotación de los motores.

El régimen de contracorrente se logra también cuando el accionamiento trabaja con una carga activa y esta “arrastra” al motor obligándolo a invertir el sentido de la velocidad;



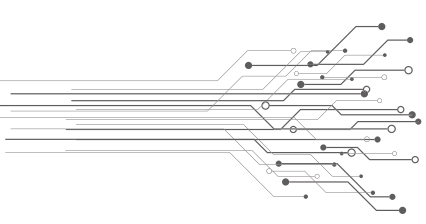


Frenaje regenerativo: Consiste en reducir la velocidad del motor aumentando el flujo magnético del campo excitador. Se denomina también frenado con recuperación a la red.

Sabemos que para el motor Shunt:

$$\omega = \frac{U - I_a(R_a + R_{ext})}{k\Phi}$$

Al aumentar Φ se deduce la velocidad. Supongamos que aumentamos el flujo magnético Φ de un valor Φ_1 , a otro valor Φ_2 , aumentando la corriente de excitación; la velocidad no variará rápidamente debido a la inercia del accionamiento y a medida que se intensifica el flujo magnético aumentará la *fem*. $E_g = k\Phi\omega$. Cuando la *fem* del motor E_g alcanza un valor mayor que la tensión aplicada, la corriente del inducido adquirirá un sentido negativo y la energía se recuperará a la red. Cuando se aplica el frenado, la magnitud del momento y de la corriente ($M = K\Phi I$) no alcanzan los valores M_1 e I_1 debido a la inercia mecánica y a la inercia electromagnética del circuito de excitación ya que el flujo magnético no alcanza instantáneamente su valor. En general los valores máximos del momento y la corriente en el frenado serán menores que M_1 e I_1 respectivamente. La gráfica para el comportamiento de la corriente será parecida a la de la velocidad, debido a la proporcionalidad existente entre estas dos magnitudes.



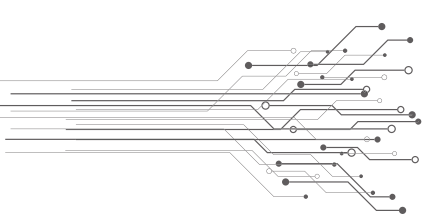
CAPÍTULO VIII

ESTADOS

TRANSITORIOS

EN EL MOTOR

ASINCRÓNICO



Introducción

Son los motores asincrónicos los más aplicados a la industria. Sus características tecnológicas, eficiencia y bajo costo inicial así lo determinan. La regulación de velocidad en estos se precisó notablemente en los últimos tiempos con el desarrollo de la electrónica que permitió métodos más precisos de control. El arranque y el frenado son también aspectos importantes a tener en cuenta en los motores y en particular en los asincrónicos.

8.1 Control de velocidad en motores asincrónicos

Para el motor asincrónico tenemos que la rigidez mecánica está dada por:

$$\beta = \frac{3(U_f)^2}{\omega_s^2 R_{2t}} ;$$

U_f Voltaje en la fase

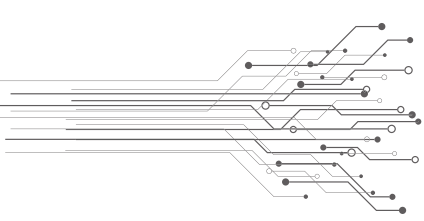
ω_s = Velocidad sincrónica

R_{2t} = Resistencia de dispersión del motor

Para la parte lineal de la característica

$$\omega = \omega_s - \frac{1}{\beta} M = \omega_s - \frac{\omega_s^2 R_{2t}}{3U_f} M$$

$$\omega = \omega_s (1 - S)$$



S = deslizamiento

Para regular la velocidad de los motores asincrónicos tenemos los siguientes métodos:

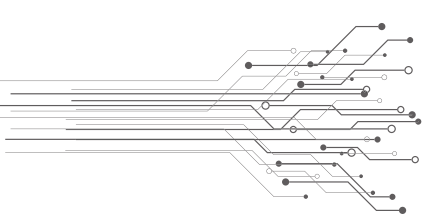
- Por variación de la tensión aplicada
- Por variación de la frecuencia
- Por cambio del número de polos
- Por inserción de resistencias en el rotor (en el rotor bobinado).
- Por la introducción de una fem adicional en el circuito del rotor (en el rotor bobinado).

Variando la tensión aplicada: Disminuir U_f equivale al aumentar R_{2t} : Esto provoca un corrimiento de la característica hacia la izquierda.

- El diapasón del control es reducido,
- La gradación no es buena.
- Necesita de inversiones para obtener voltajes variables.
- Estabilidad buena.
- Dirección de control por debajo de los nominales.
- La carga permisible son las de tipo ventiladores.

Variando la frecuencia:

- Tiene un amplio diapasón.
- Buena gradación de control.
- Económicamente es factible, aunque necesita de un convertidor de frecuencia.



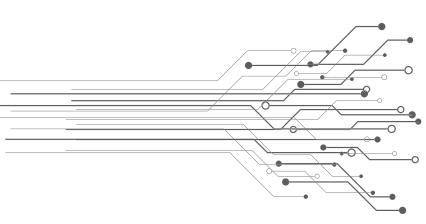
- La estabilidad de la operación buena.
- El control es en ambos sentidos.
- Es recomendable para cargas de momento constante.

Variando el número de polos.

- El diapasón de control es limitado, pues con un devanado se obtienen dos velocidades y con dos devanados, cuatro velocidades sincrónicas (1800; 1200; 900 y 600 rev/min).
- La gradación de control es mala pues los saltos entre los pocos valores de velocidad son muy bruscos.
- La factibilidad económica es aceptable pues, aunque los índices energéticos son inferiores a los del motor de propósito general este es muy sencillo.
- Con la estabilidad de la operación no hay dificultades
- La dirección del control puede ser por encima o por debajo del nivel base.
- Recomendable para Vargas de momento constante.

Regulación de velocidad mediante resistencia en serie con el rotor:

- Diapasón de control limitado.
- La gradación del control depende de cómo varía el voltaje.
- Factibilidad económica no es buena se necesita provocar caídas de tensión o una fuente de tensión variable.



- Estabilidad de la operación que pierde por disminución de la rigidez.
- La dirección de control está por debajo de la velocidad nominal.
- Esta regulación de velocidad se aplica fundamentalmente a cargas tipo ventilador.

8.2 Arranque del motor jaula de ardilla

1. Arranque directo a la línea, si está soporta las grandes corrientes.
2. Arranque a voltaje reducido, cuando la línea no lo soporta.

Existen a la vez varios métodos de arranque a voltaje reducido.

- a) Con reactor en serie con el estator
- b) Por Autotransformador
- c) Mediante resistencias en serie con el estator
- d) Arranque en estrella y paso a delta
- e) Arranque reostático solo para motores rotor bobinado

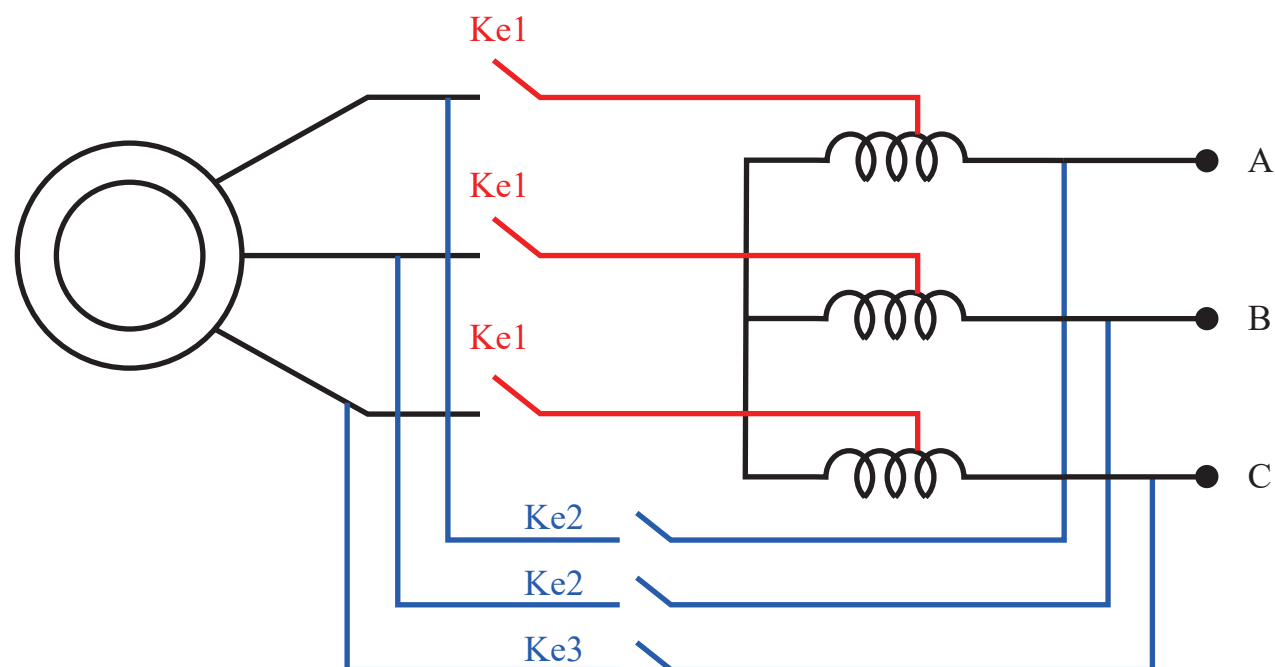
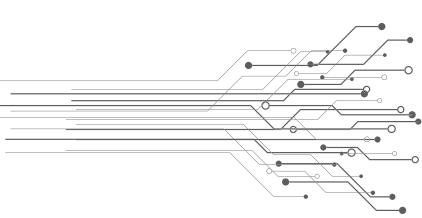


Figura 66 Arranque del motor jaula de ardilla

Veamos algunos de estos métodos

Reactor en serie con el estator

La reducción de la corriente en el arranque, se debe al consumo de las tres bobinas en serie con los devanados estatóricos. La inductancia de las bobinas están calculadas por diseño para que I_{st} que es la corriente de arranque tenga la magnitud requerida. Al cerrarse K_e del contactor se desconectan autotransformador: La tensión en el proceso de arranque disminuye, reduciéndose la corriente de arranque I_{st} con K_e , cerrado. Al completarse el proceso de arranque K_e , se cierra y se abre K_{e2} , poniéndose el motor directo a línea.

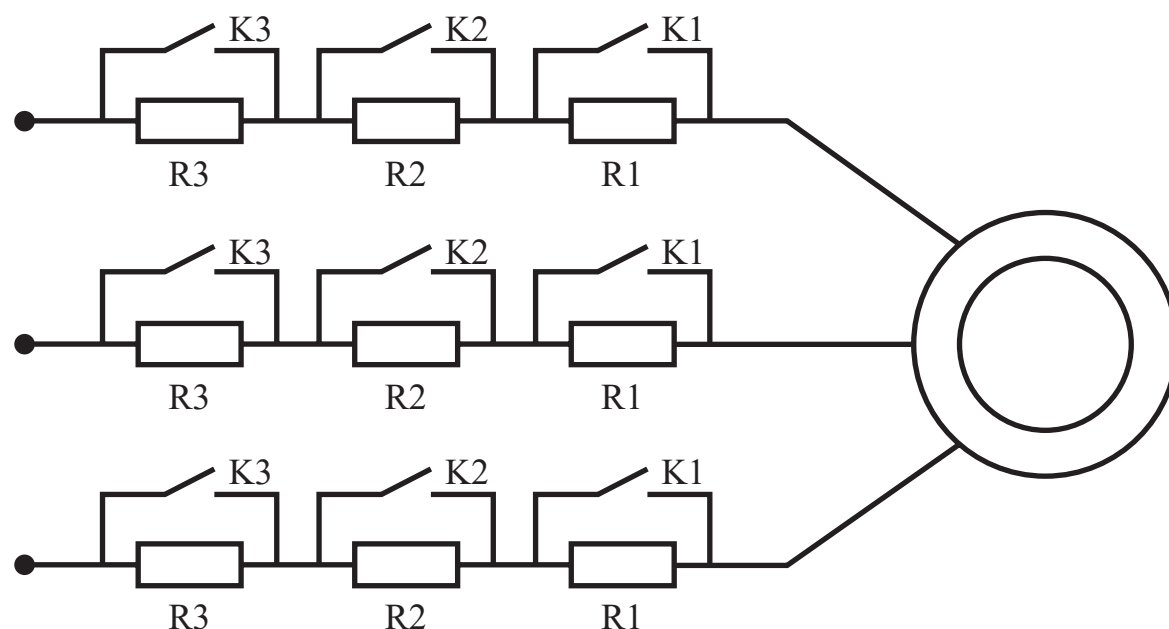
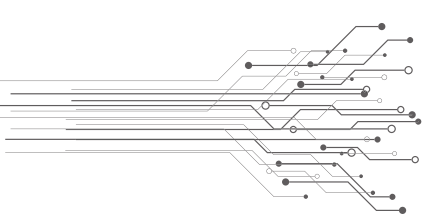


Figura 67 Reactor en serie con el estator

Por resistencia en serie con el estator

El voltaje en la entrada del estator experimenta una reducción en el arranque por las caídas que provocan las resistencias. Una vez que arranca el motor se desconectan por pasos de resistencias en el orden R_3 , R_2 y R_1 al conectarse los correspondientes contactores magnéticos K_3 , K_2 y K_1 .

Arranque en estrella y paso a delta

Al conectarse el interruptor trifásico K en motor arranca en estrella estando el contactor K_{e1} cerrado y K_{e2} abierto. Una vez que el motor ha alcanzado el 80% de la velocidad nominal puede abrirse el contacto normalmente cerrado K_{e1} y cerrarse el normalmente abierto K_{e2} . No resulta difícil percatarse que con esta última operación el motor comienza a trabajar en la conexión delta.

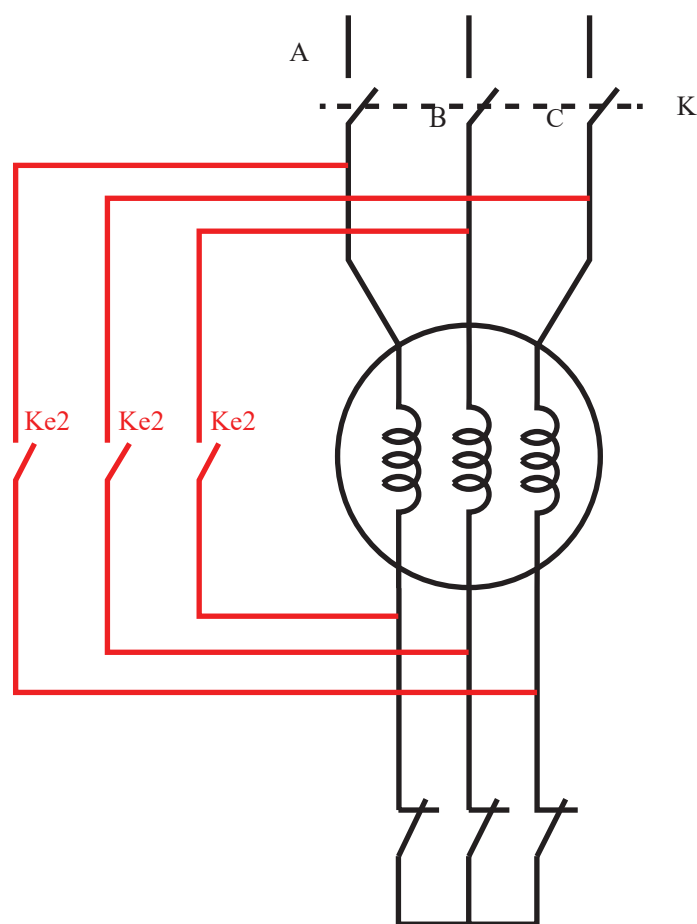
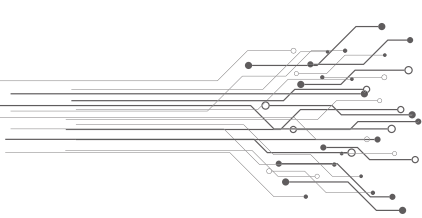


Figura 68 Arranque en estrella y paso a delta

8.3 Arranque del motor asincrónico de rotor bobinado

En el motor asincrónico de rotor bobinado es posible limitar la corriente de arranque sin afectar el momento de arranque. Para lograr esto se introducen en la puesta en marcha resistencias en serie en el circuito retórico, tal como se indica en la figura 69.

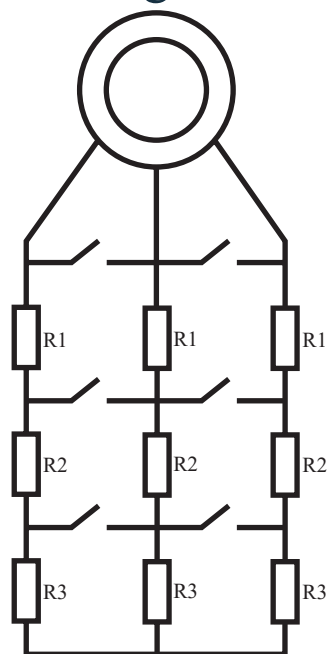
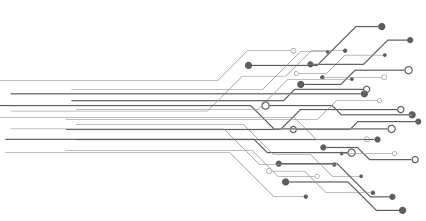


Figura 69 Puesta en marcha



Es de señalar que el proceso de arranque es parecido al motor Shunt, cuanto a que los pasos de en resistencia son calculados a partir de los valores seleccionados de momento máximo $M_{\text{máx}}$ y de conmutación M_{cu} . Para simplificar los cálculos supondremos que la diferencia velocidad momento es lineal y que puede ser descrita mediante la fórmula:

$$\omega = \omega_s - \frac{1}{\beta} M \quad \beta = \frac{3(U_f)^2}{\omega_s^2 R'_{2t}} \quad \frac{\omega}{\omega_s} = 1 - \frac{\omega_s R'_{2t}}{3U_f^2} M$$

$$\frac{\omega}{\omega_s} = 1 - S \quad \omega = \frac{\omega_s R'_{2t}}{3U_f^2} M$$

$$S = K_s' * Mn = R_{2t}^*$$

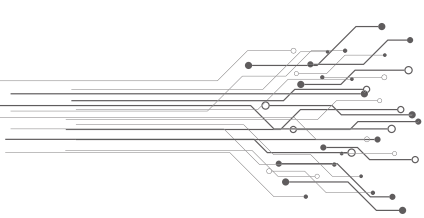
y se supone el momento nominal luego puede concluirse que el deslizamiento del motor a plena carga es directamente proporcional a la resistencia total del circuito del rotor y que por unidad se hacen iguales. El coeficiente $K * S$, está dado por:

$$k_s' = \frac{\omega_s R'_{2t}}{3U_f^2}$$

8.4 Frenaje del motor asincrónico

Los mismos métodos que conocimos para el frenaje de los motores Shunt de CD se aplican a los motores asincrónicos, tanto a la jaula de ardilla como al rotor bobinado; estos son: dinámico, contracorriente y regenerativo.

Frenaje por contracorriente: En la figura 70 se muestra el esquema de



conexiones del motor asincrónico de rotor bobinado que permite la inversión de la rotación o el frenaje por contracorriente. Resulta evidente que al invertirse los contactos K_1 y K_2 , se invierten dos conductores del devanado estatórico, o sea, se conmutan dos fases del estator, invirtiéndose el sentido de rotación. En el uno y otro sentido, para diversos valores de resistencia.

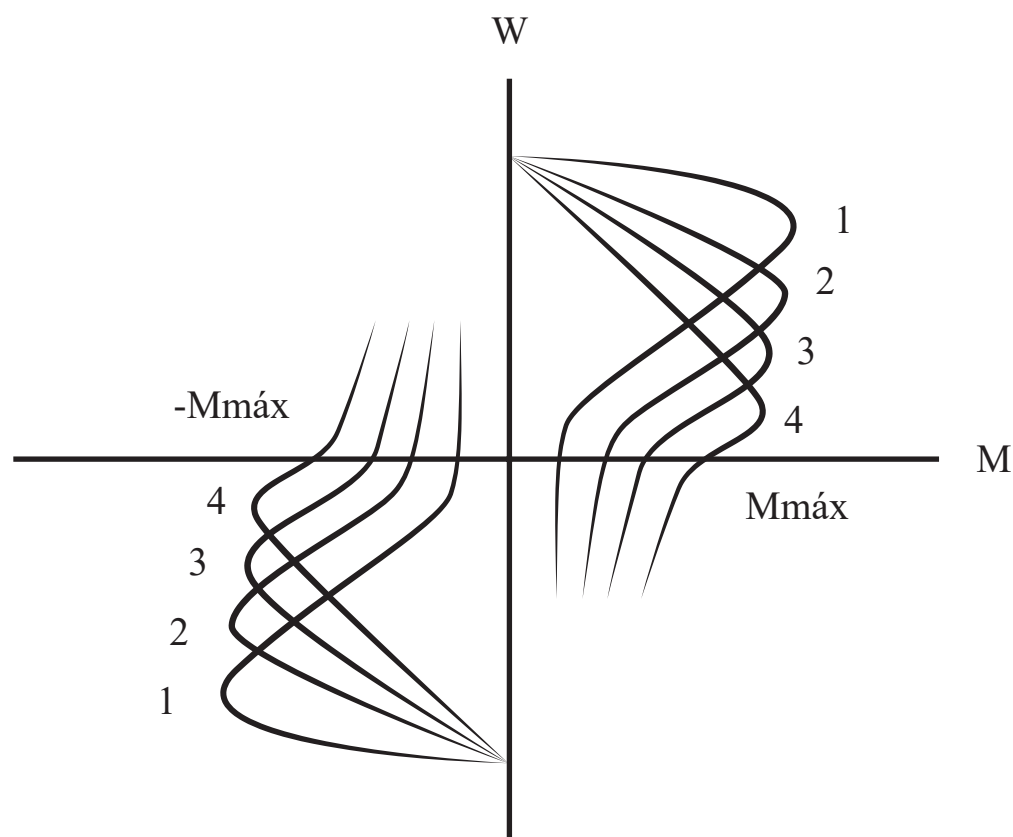
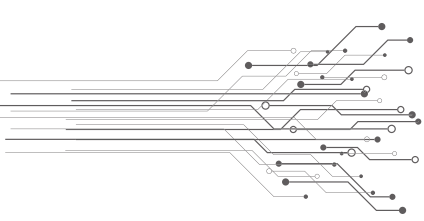


Figura 70 Ilustramos las características mecánicas en la rotación de dicho motor

En la figura 70 indica las características mecánicas de la rotación de este motor en el sentido directo como inverso.

Frenaje dinámico: Un caso típico de frenaje dinámico en el motor asincrónico es una vez desconectado el motor que estaba en marcha hacerle llegar CD al devanado estatórico. La corriente directa creará un flujo magnético estacionario en el entrehierro de la máquina que al ser cortado por los devanados del motor da lugar a la circulación de corrientes en ellos y a la aparición de un momento de frenaje ya que la máquina trabaja en estas condiciones como si fuera un generador sincrónico. La resistencia de frenado R_{fr} regula la intensidad de la corriente directa



magnitud que determina el valor del momento de frenaje. La figura (71); muestra para el frenaje dinámico las características mecánicas. La natural (1), la natural para el frenado sin resistencias conectados en el rotor (1'); la determinada con un solo paso de resistencia (2'), dos pasos (3') y con tres pasos de resistencia (4').

Frenaje regenerativo del motor asincrónico: Es posible si la velocidad de rotación del motor resulta mayor que la sincrónica. Este procedimiento puede utilizarse para controlar motores de dos o más velocidades, al conmutar de un número menor de polos a uno mayor los devanados estáticos.

Es de señalar que para el motor asincrónico de jaula de ardilla son utilizables los métodos dinámicos y de contracorriente. El de contracorriente de una manera limitada y el dinámico de muy amplio uso, aunque no es tan efectivo, debido a que los altos momentos de frenaje se obtienen cuando la velocidad es baja.

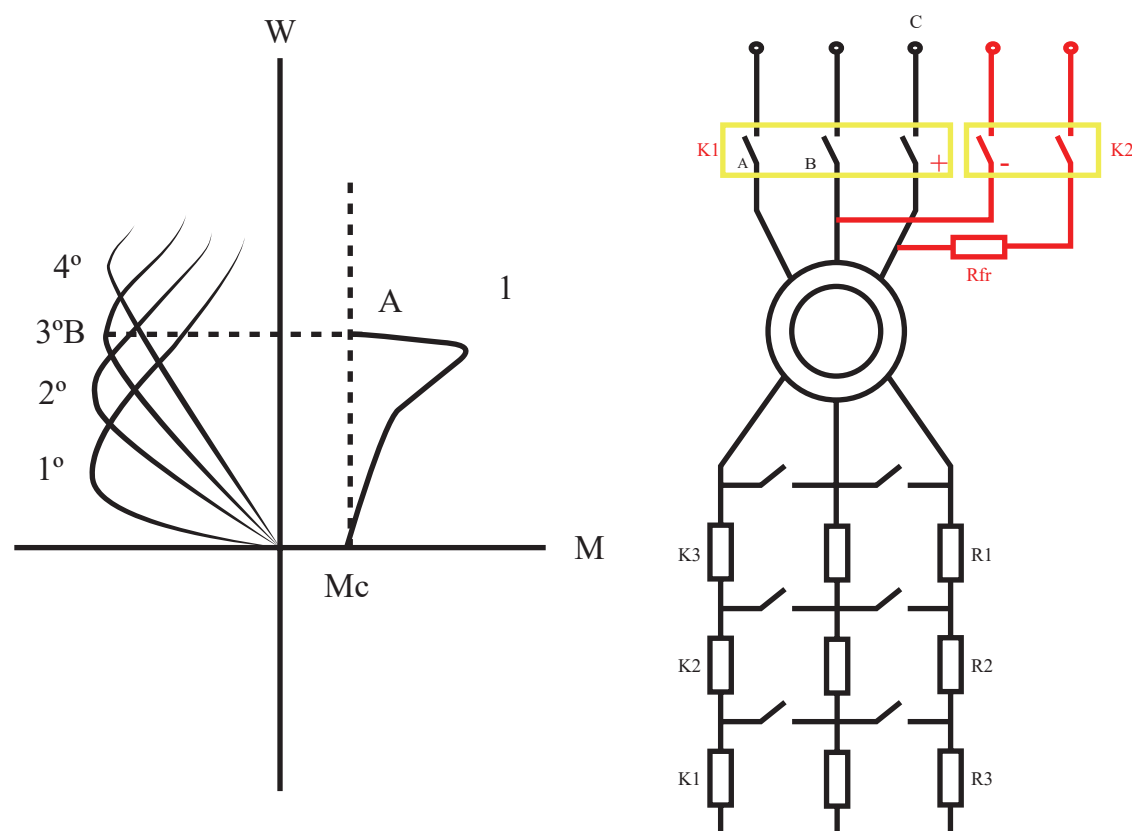
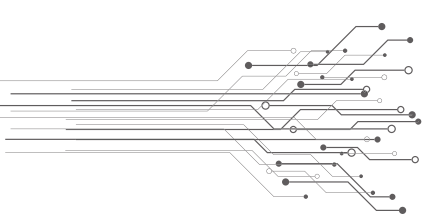
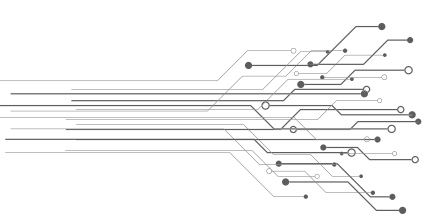


Figura 71. Frenado regenerativa de un motor asincrónico



CAPÍTULO IX SELECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS



Introducción

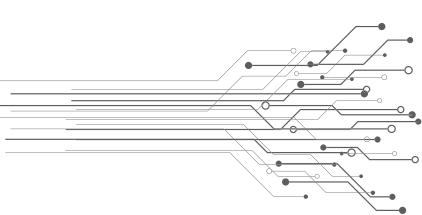
Los motores eléctricos son máquinas que mueven o accionan más del 90% de los mecanismos industriales y de los servicios, además de su utilización en sistemas de control automático. De ahí la importancia que tiene el conocimiento de las características esenciales de los motores eléctricos, cuyo conocimiento por el personal técnico ingenieril contribuye a una correcta selección de los mismos para cumplir sus funciones dentro del proceso productivo y de los servicios.

Por ejemplo: Necesitamos un motor trifásico para un accionamiento dado; si seleccionamos el motor para accionar un mecanismo que demanda más potencia que su potencia nominal, trabajaría con corriente por encima de la nominal durante un tiempo prolongado, provocando un sobrecalentamiento de los devanados, perjudicial para el aislamiento de éstos. Además, analizando sus características mecánicas sabemos que un aumento de carga, implica un aumento de su velocidad, influyendo así en la eficiencia del accionamiento e incluso en la calidad del producto.

Si por el contrario el motor seleccionado tiene potencia muy superior a la demandada por el mecanismo, no provocaría calentamientos excesivos, pero sí empeoraría considerablemente el factor de potencia, con sus consecuencias ¿sabe usted cuáles son? Empeoramiento de la eficiencia del accionamiento y aumentando el valor de las inversiones iniciales capitales.

9.1 Factores Fundamentales a tener en cuenta para realizar una correcta selección de los motores eléctricos. Análisis de esos factores

No. 1: a) Tipo de mecanismo a accionar



9.1.1 Regímenes de trabajo de los mecanismos

Para el trabajo de los accionamientos. Los motores deben de haber sido seleccionados correctamente, garantizando que trabajen la mayor cantidad de tiempo posible a plena carga I_c . La circulación de corriente provoca el calentamiento del motor, fenómeno significativo en el funcionamiento de estos. El calentamiento no es uniforme durante todo el tiempo de operación, ni todos los motores trabajan en el mismo régimen y resulta necesario diferenciar los regímenes de trabajo.

Régimen permanente.

Régimen de trabajo permanente o servicio continuo (S-1): cuando el motor trabaja más del 60% del tiempo total del turno o periodo de trabajo. La temperatura, partiendo de valores similares al valor que tiene el medio ambiente, se eleva hasta alcanzar un valor estable. Ejemplos de mecanismos con regímenes permanentes de trabajo, pueden ser ventiladores, bombas, compresores, etc.

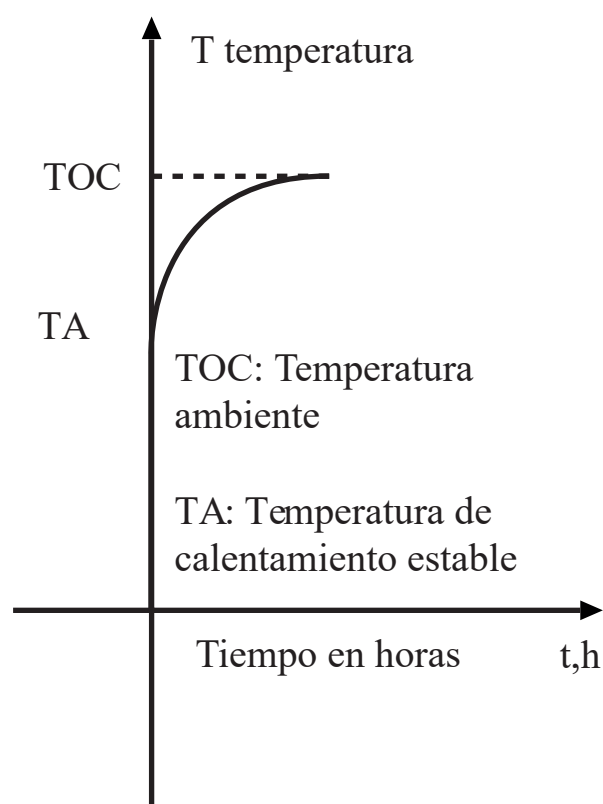
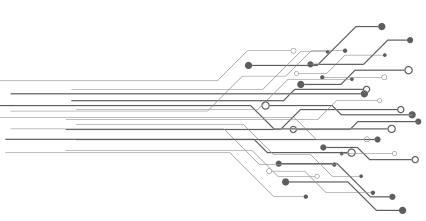


Figura 72 Mecanismos con regímenes permanentes de trabajo



Régimen temporal.

Régimen de trabajo o servicio de corta duración S_2 . La característica aquí es que la máquina trabaja menos de un 15 % del tiempo total.

El comportamiento de la temperatura es como sigue: partiendo del valor T_A , temperatura del medio ambiente crece hasta un valor T_{OC} de calentamiento sin estabilizarse y luego decrece hasta T_A . El tiempo de pausa es considerablemente mayor que el tiempo de trabajo.

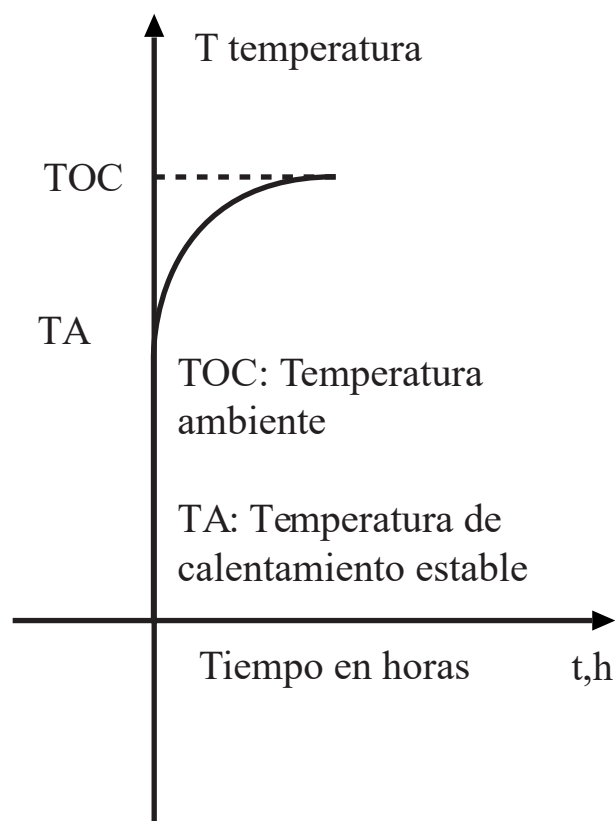


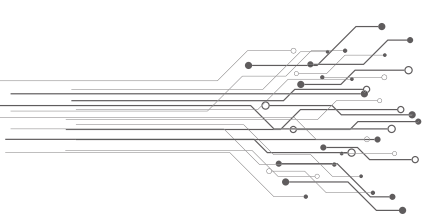
Figura 73 Mecanismos con temperaturas permanentes de trabajo

Régimen Intermitente.

El régimen intermitente lo tenemos en dos variantes:

a) Régimen intermitente periódico: (RIP) S_3 , S_4 y S_5 .

Este régimen consiste en una serie continua de ciclos iguales, compuestos por periodos de carga constante S_3 , e incluyendo tiempo de arranque (S_4)



y el frenado (S_5). En este caso se desconecta el motor.

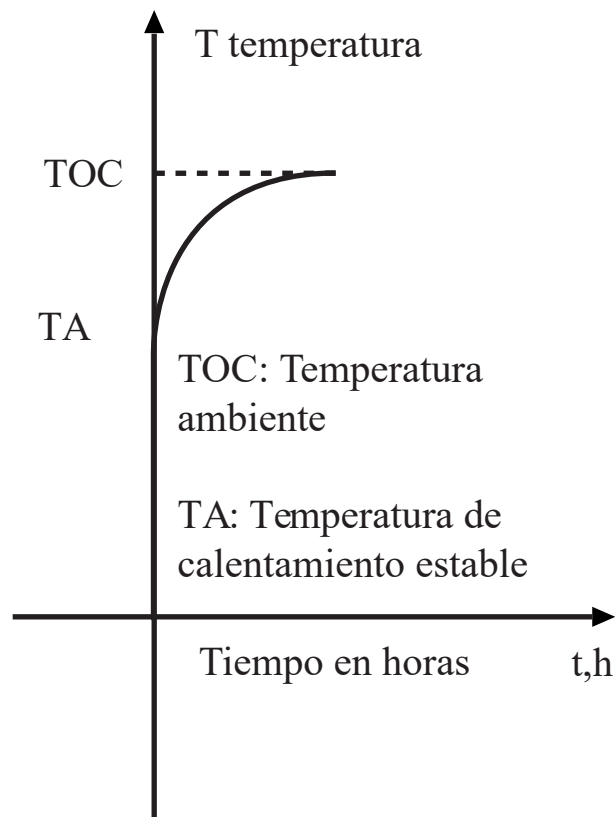


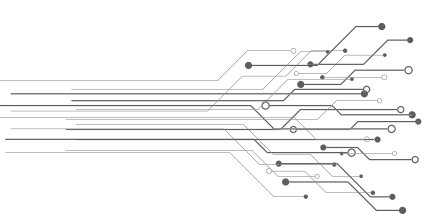
Figura 74 Mecanismos con régimen intermitente periódico

b) Régimen intermitente periódico (RIP): (ininterrumpido, S_6 , S_7 y S_8). Este régimen consiste en una sucesión de tiempos de trabajo y pausas (desconectando el motor eléctrico). En el régimen intermitente periódico son frecuentes los arranques y los frenados. No se alcanza una temperatura estable. La temperatura oscila entre un valor permisible y la temperatura ambiente.

El tiempo de servicio de los motores de RIP esta normado así: 15%, 25%, 40%, 60% del tiempo de trabajo.

Entonces utilizando el concepto de tiempo normado, tendríamos:

- Régimen temporal menos del 15% del tiempo de trabajo.
- Régimen continuo más del 60% del tiempo de trabajo.
- Régimen intermitente periódico: 15%, 25%, 40%, 60% del



tiempo de trabajo.

Para caracterizar el servicio de los motores se introduce un coeficiente ξ denominado factor de servicio y definido así:

$$\xi = \frac{T_{trab.}}{\rho T_{trab} + T_{pausa}} \times 100\%$$

$T_{trab.}$; tiempo de trabajo

T_{pausa} ; tiempo de pausa

ρ coeficiente que caracteriza el tipo de ventilación, para el caso de ventilación forzada

$$\rho = 1$$

ξ es el factor de servicio

Para régimen continuo

$T_{pausa} = 0$; si $\rho = 1$ y $\xi = 100\%$, con tiempo de trabajo 1.5 veces mayor que el tiempo de pausa ya se obtiene un 60% de factor de servicio.

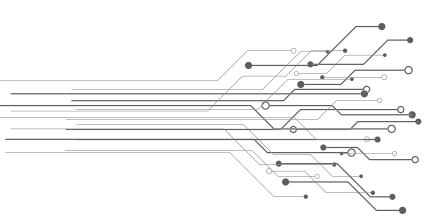
Para régimen temporal:

$T_{pausa} > T_{trab}$; $\rho = 1$ y $\xi < 15\%$ ó 15%

Para RIP; $15\% \leq \xi \leq 60\%$; 15%; 25 %; 40 % y 60 %

No.2: b) Tipo de carga a accionar.

Carga constante: Cuando sus variaciones son muy pequeñas, despreciables. Ej: bomba de agua.



9.2 Carga variable: valores oscilantes

Ej. Máquina, herramientas. La potencia del corte varía según el tipo de operación, profundidad del corte, etc.

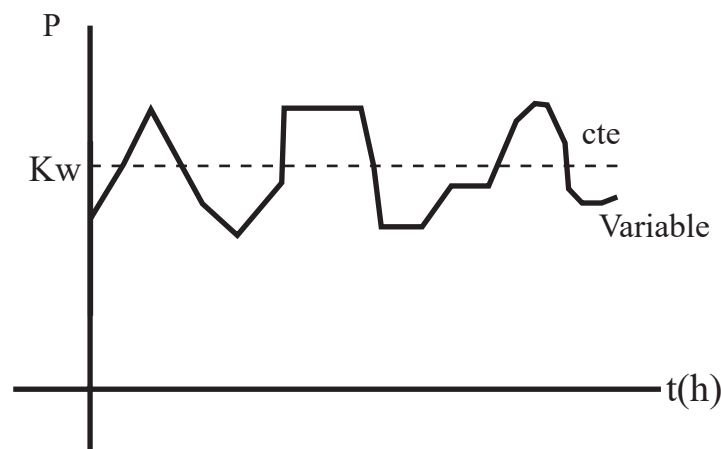


Figura 75 Mecanismos carga variable

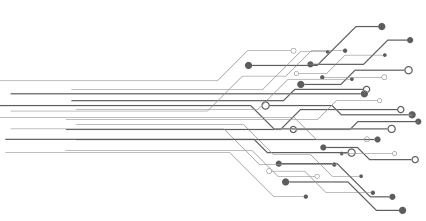
No. 3 Arranque, regulación de velocidad y frenado.

Debemos tener en cuenta la frecuencia con que debe de efectuarse, la magnitud del momento a desarrollar, así como el tiempo de duración para tenerlos en cuenta como en el calentamiento de la máquina. De igual forma ocurre con el frenado.

También se hace necesario conocer si el accionamiento incluye la regulación de velocidad y de esta, cuál es la gama o diapasón, precisión etc., y si es a $M = \text{cte.}$ o a $P = \text{cte.}$

No.4: Potencia demandada y condiciones de sobrecarga.

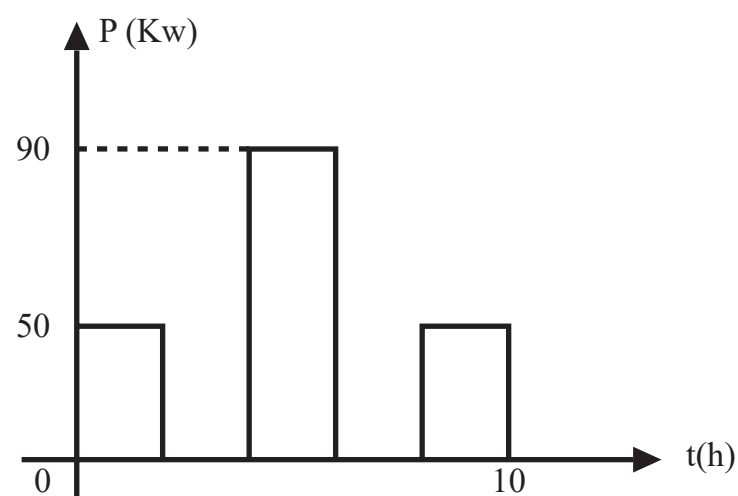
El motor necesita determinada potencia para realizar adecuadamente el trabajo para el cual fue elegido. Esta potencia debe ser tal que realice su trabajo sin que exista sobrecalentamiento en el proceso de conversión de la energía eléctrica en energía mecánica lo que influye directamente en el aislamiento del motor. Cuando la carga es variable, durante un período de tiempo relativamente corto, la potencia de carga es superior a la potencia nominal del motor, lo que provoca que trabaje con sobre corriente, implicando un sobrecalentamiento que no debe de exceder el



máximo posible de temperatura permisible.

La representación gráfica del comportamiento de la corriente, el momento o la potencia en función del tiempo se denomina gráfico de carga. Del gráfico de carga puede determinarse la potencia equivalente que es la potencia considerada constante que hace el mismo efecto que una potencia variable en un mismo Intervalo de tiempo.

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$



$P_1 = 50 \text{ kW}; t_1 = 4\text{h}$

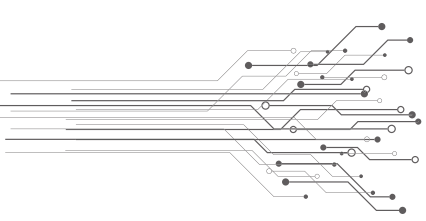
$P_2 = 96 \text{ kW}; t_2 = 1\text{h}$

$P_3 = 50 \text{ kW}; t_3 = 1\text{h}$

El cálculo de la potencia equivalente nos daría:

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{50^2 * 4 + 96^2 * 1 + 50^2 * 1}{4 + 1 + 1}}$$

$$P_{eq} = 60 \text{ KW}$$



Y el factor de servicio;

$$\xi = \frac{T_{trab}}{\rho.T_{trab} + T_{pausa}} * 100\% = \frac{6}{6 + 4} * 100\% = 60\%$$
$$\xi = 60\%$$

Los motores tienen determinada capacidad de sobrecargas temporales que se expresan en la relación $M_{\max} / M_{nom}$ que se reporta en los datos de catálogo. Durante la selección debe tenerse presente este parámetro.

Los motores eléctricos de CD, limitan su capacidad el doble de su momento nominal $M_{\max}/M_n = 2$ (para valores mayores empeoran las condiciones de conmutación, deteriorando las escobillas y el colector).

En los motores asincrónicos trifásicos este valor puede llegar hasta 4 veces el valor nominal $M_{\max}/ M_n = 4$ en dependencia de las características mecánicas del motor en cuestión.

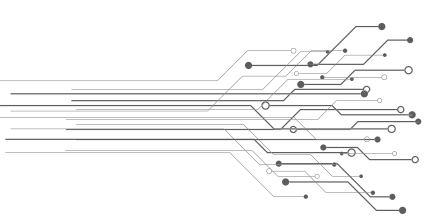
Siempre es necesario comprobar el motor a la sobrecarga.

No.5: Condiciones Ambientales

Bajo qué condiciones trabajará el motor:

- Bajo techo o a la intemperie
- Temperatura ambiente
- Humedad relativa
- Existencia de polvos, sustancias corrosivas, derrame de líquidos, explosiones, etc.

Por esta razón se fabrican motores con diferentes grados de protección contra sólidos y líquidos, diferentes clases de aislamiento. Un motor



abierto disipa con mayor facilidad el calor que uno cerrado. Ej. Motor de equipos de carpintería. (Polvo). Motor para bombas de agua (bajo techo o intemperie). Posibilidad de derrame de agua.

No. 6: Característica del sistema eléctrico que se va a instalar:

- Valor de la tensión y frecuencia de suministro.
- Capacidad (en VA) real de alimentación $S=kVA$.
- Posibilidad de instalación de transformadores.

El tipo y valores nominales del motor se seleccionan de acuerdo al sistema eléctrico disponible, y con el sistema de protección con que se cuenta.

No.7: Lugar de ubicación y forma de transmisión del momento.

Esta información nos permite escoger según catálogo la forma física en que se va a instalar.

La forma de transmisión puede ser poleas y correas, cadenas (si es móvil o no).

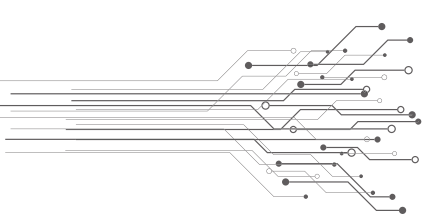
No. 8: Indicadores económicos.

Al seleccionar el motor eléctrico teniendo en cuenta todo lo anterior debe incurrirse en las menores inversiones capitales y gastos anuales de explotación.

Es decir, debe de existir un análisis técnico económico (exhaustivo) que justifique la selección efectuada.

Teniendo todo lo anterior debe de garantizarse:

- I - Que el motor seleccionado trabaje dentro de los límites de sobrecalentamiento.
- II - Que el motor seleccionado trabaje dentro de los límites de



sobrecarga.

III - Que el motor seleccionado tenga un **par de arranque** tal que garantice la puesta en marcha del **accionamiento** en el tiempo requerido, con el menor consumo de energía posible (la menor corriente de arranque posible).

Para garantizar una correcta selección (proponemos) deben seguirse los siguientes pasos:

Selección de motores para régimen permanente.

Primer paso. Prueba de sobrecalentamiento. Es determinada la potencia equivalente del diagrama de carga y se tiene en cuenta la condición.

$$P_{nm} \geq P_{eq}$$

Segundo paso. Prueba de sobrecarga. Es probada la condición, momento máximo del motor mayor o igual que el momento máximo de la carga.

$$M_{m\acute{a}xm} \geq M_{m\acute{a}xc}$$

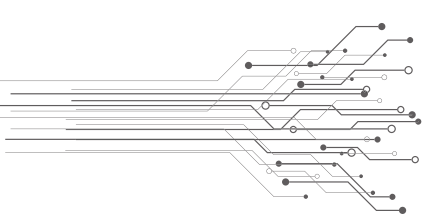
Tercer paso. Prueba de arranque.

- a) Es probada la condición, momento de arranque del motor mayor o igual que el momento de arranque de la carga

$$M_{stm} \geq M_{stc}$$

- b) Es probada la condición, de que el suministro eléctrico de la red es mayor o igual que el suministro que demanda el motor en el arranque.

$$S_{red} \geq S_m$$



Cuarto paso. Es realizado un análisis económico y medioambiental de la variante de selección más económica y mejor sustentable desde el punto de vista ecológico. Debe de realizarse un análisis de los costos de inversión y los gastos de explotación.

9.3 Algoritmo para la selección de motores en RIP

1. Determinar del diagrama de carga la potencia equivalente (si es carga variable)

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

2. Determinar del diagrama de carga el factor de servicio (ξ).

$$\xi = \frac{t_{trab}}{P_{trab} + t_{pausa}}$$

3. Modificar de ser necesario la potencia equivalente.

$$P'_{eq} = P_{eq} \sqrt{\frac{\xi}{\xi_0}}$$

ξ : Factor de servicio de carga

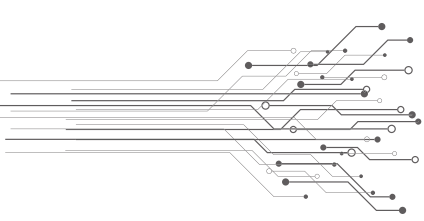
ξ_0 : Factor de servicio normado (15 %, 25 %, 40 % y 60 %)

4. Preselección del motor en cuanto a:

$$P_n \geq P_{eq}; U_m = U_{red}; N_m = N_{red}; \xi_m = \xi_0$$

5. Comprobar el motor a la sobrecarga. Es probada la condición, momento máximo del motor mayor o igual que el momento máximo de la carga.

$$M_{\max.M} \geq M_{\max.C}$$



6. Comprobar el motor al arranque

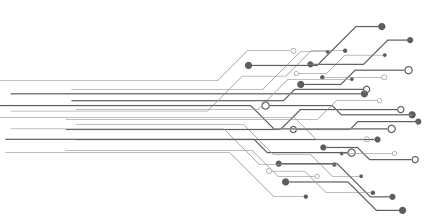
- a) Es probada la condición, momento de arranque del motor mayor o igual que el momento de arranque de la carga

$$M_{stm} \geq M_{stc}$$

- b) Es probada la condición, de que el suministro eléctrico de la red es mayor o igual que el suministro que demanda el motor en el arranque.

$$S_{red} \geq S_m$$

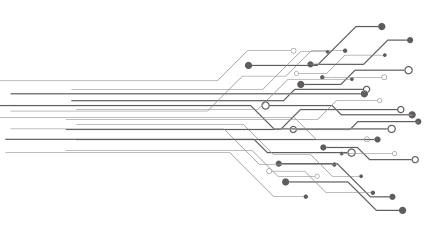
- 7. Valoración económica de variantes. Debe de ser técnico-económicamente ventajosa la selección. Valorar Inversión capital y gastos anuales de explotación.



CAPÍTULO X

DISPOSITIVOS

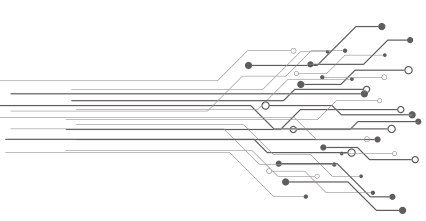
SEMICONDUCTORES



La Electrónica es un conocimiento teórico y práctico de la estructura de la Materia, desde el descubrimiento del electrón por Sir Thompson, hasta los modernos circuitos electrónicos que se construyen en la actualidad se han sucedido una serie de acontecimientos científicos que han dado al traste con el gran desarrollo de esta moderna ciencia y que hoy en día ocupa todas las esferas de la vida social. El descubrimiento de la Electrónica se asocia a la invención de la primera válvula de vacío por el científico Norte americano Tomas Edison ,luego fueron apareciendo el tríodo, tetrodo, pentodo, etc. como la primera generación de los dispositivos electrónicos, Luego fueron surgiendo materiales semiconductores con mayores cualidades que el de las válvulas y fueron sustituyéndose todos los anteriores por similares semiconductores ,pero no fue hasta 1948 que surgió el transistor dispositivo semiconductor que revolucionó la Electrónica, luego surgieron los circuitos integrados que fueron miniaturizando los circuitos de los equipos electrónicos y por consiguiente estos fueron siendo cada vez más pequeños porque se fueron perfeccionando las técnicas de integración y cada vez se podían integrar mayor cantidad de componentes ,llegando a la cifra de 10 a la 11 componentes por pastilla ,luego en la década del 70 surgió el primer Microprocesador de 4 BIT, luego fueron apareciendo los de 8,16 32 ,64 y más recientemente los de 128 BIT, luego veremos qué significado tiene el BIT.

10.1 Características físicas de los Semiconductores

Los semiconductores son materiales que se pueden comportar como conductores o como aislantes de acuerdo a diversos factores tales como: campo eléctrico, campo magnético, radiación, presión o temperatura. Existen dos tipos, los semiconductores intrínsecos y los extrínsecos Los materiales semiconductores son aquellos que se encuentran en el grupo 4 de la Tabla periódica de elementos Químicos de Mendeleiv y cuya Valencia es 4 porque se encuentran 4 electrones en su último



nivel de energía como se muestra en la figura 76 los elementos que se comportan como semiconductores son los siguientes: cadmio (Cd), aluminio (Al), galio (Ga), boro (B), indio (In), silicio (Si), carbono (C), germanio (Ge), fósforo (P), arsénico (As), antimonio (Sb), selenio (Se), telurio (Te), azufre (S), dentro de estos los más frecuentemente utilizados son el germanio (Ge) y silicio (Si) y, menos , el azufre. Los cristales puros de estos elementos se consideran semiconductores intrínsecos y en ellos se genera una corriente eléctrica doble cuando se someten a un diferencial eléctrico. Dentro de las características más relevantes está que estos materiales son un aislante perfecto en el cero absoluto y son conductores a temperatura ambiente.

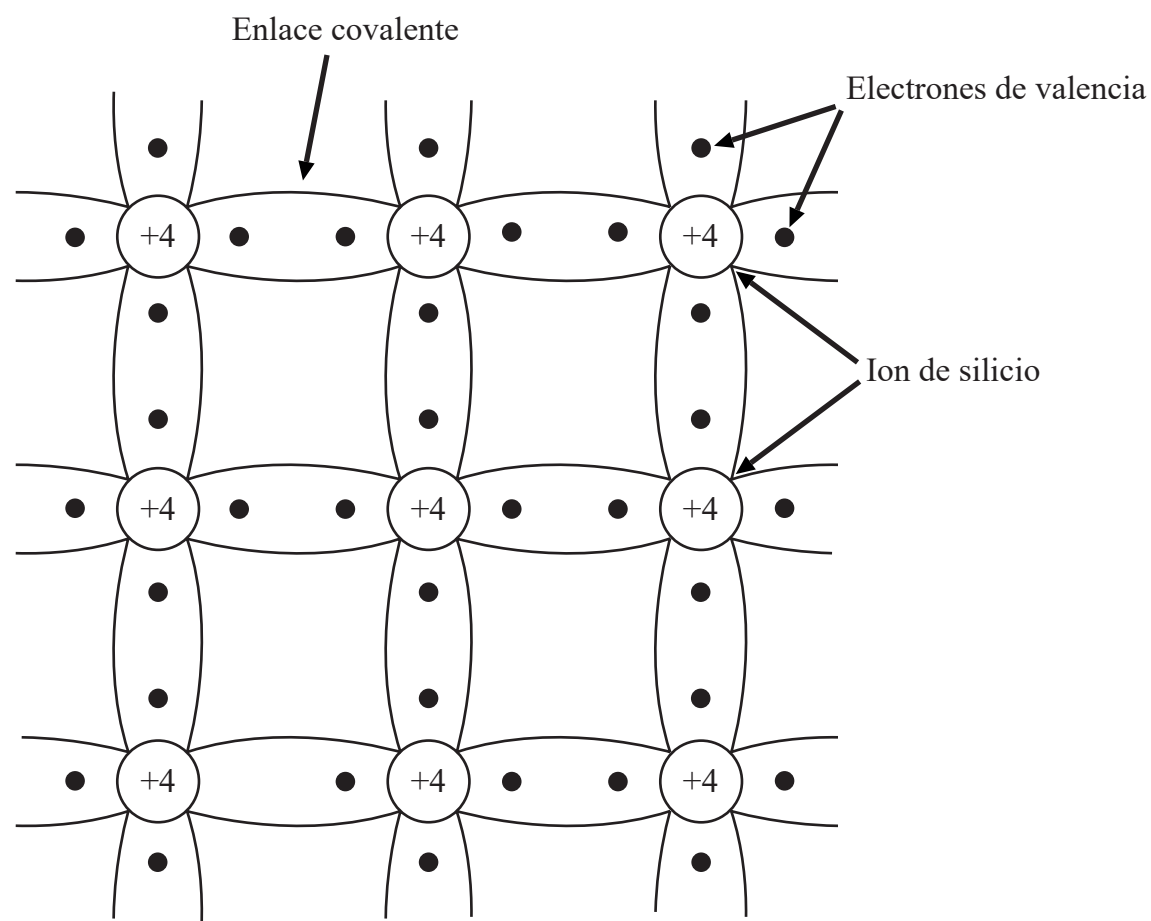
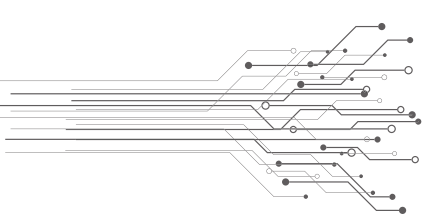


Figura 76 Material de valencia 4

A temperatura ambiente algunos de los enlaces covalentes se rompen debido al suministro de energía térmica al cristal, lo que posibilita la



conducción. En este caso, un electrón que normalmente forma parte de un enlace covalente se ha representado fuera del enlace y por tanto libre para circular al azar por el cristal. La energía E , necesaria para romper el enlace covalente es de llevar a él silicio a temperatura ambiente. La ausencia del electrón en el enlace covalente está representada por un pequeño círculo y tal enlace covalente incompleto se denomina hueco.

10.2 Semiconductor Intrínsecos

Es un semiconductor en estado puro. A temperatura ambiente se comporta como un aislante porque solo unos pocos electrones libres y huecos debidos a la energía térmica. En este tipo de semiconductor también existe flujo de electrones y huecos, aunque la corriente total resultante sea cero como se muestra en la figura 77.

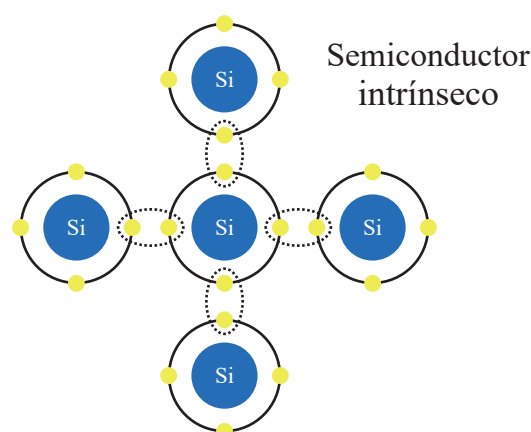
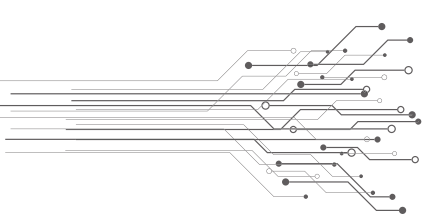


Figura 77 Material intrínseco

10.3 Semiconductor Extrínsecos

Los semiconductores extrínsecos se obtienen a partir de los intrínsecos mediante un proceso conocido como dopaje y que consiste en la introducción de impurezas (dopantes) de forma controlada en los semiconductores intrínsecos; es decir para aumentar el número de portadores el procedimiento corriente es el de introducir en un semiconductor intrínseco una pequeña cantidad de impurezas cuidadosamente controlada. La adición de impurezas, frecuentemente átomos trivalentes o pentavalentes.



Cada tipo de impureza forma un semiconductor con una clase de donadores predominante; en función del dopante utilizado se puede obtener semiconductores tipo P o semiconductores tipo N.

10.2.1 Materiales Semiconductores Tipo N

Al añadir impurezas del grupo 5 de la tabla periódica, (Antimonio,) al germanio o al Silicio se forman 4 enlaces covalentes y sobra un electrón que pasa inmediatamente a la banda de conducción y cada átomo de impureza aporta un electrón a la estructura cristalina de estos elementos y existen electrones en exceso que son los portadores mayoritarios de carga y los minoritarios serían los huecos, formándose un Material llamado Tipo N, figura 78.

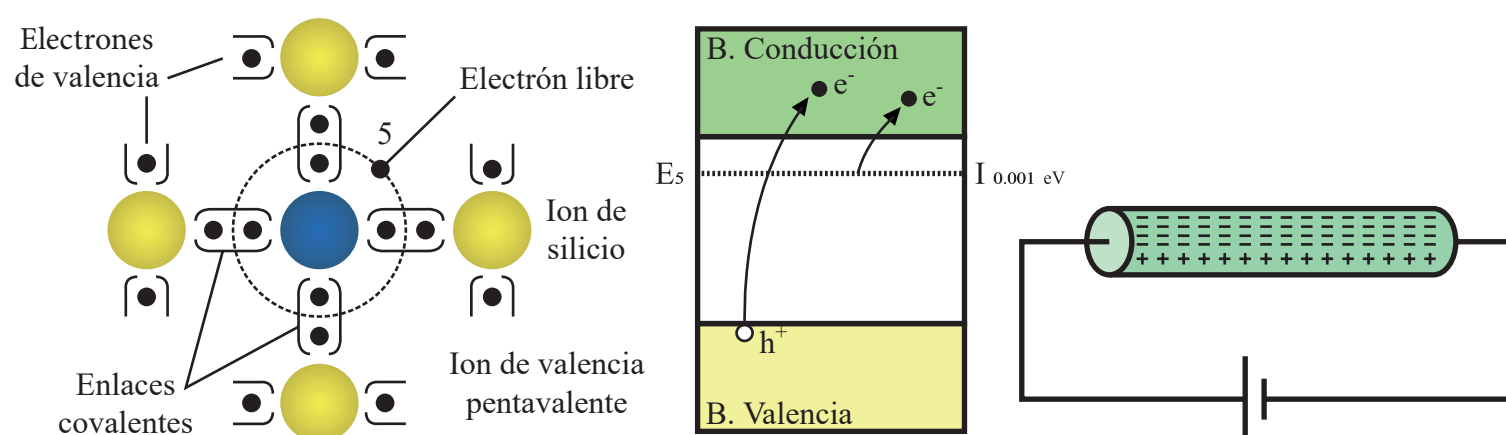
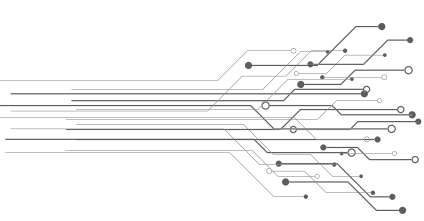


Figura 78 Materiales Semiconductores Tipo N

10.2.2 Materiales Semiconductores Tipo P

Al añadir impurezas del grupo 3 de la tabla periódica, (arsénico,) al germanio o al Silicio se forman 3 enlaces covalentes y sobra un hueco, que pasa inmediatamente a la banda de conducción y cada átomo de impureza aporta un hueco a la estructura cristalina de estos elementos y existen huecos en exceso que son los portadores mayoritarios de carga y



los minoritarios serían los electrones, formándose un Material llamado Tipo P.

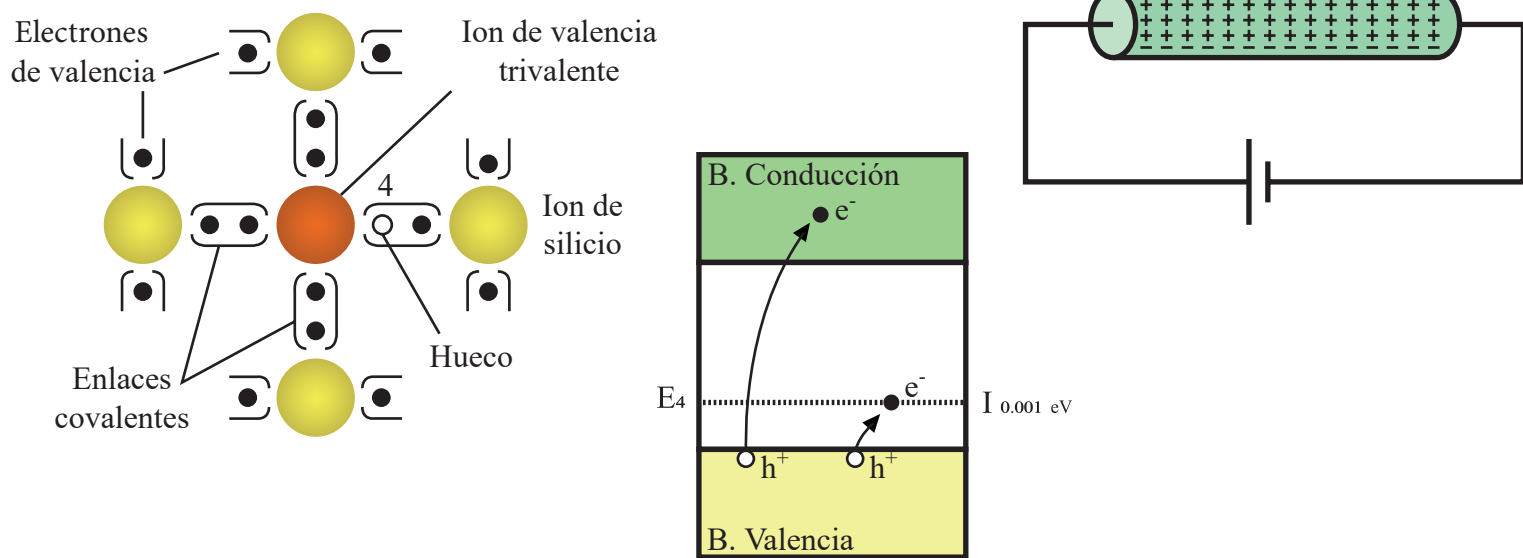


Figura 79 Materiales Semiconductores Tipo P

De todo ello sacamos la conclusión de que las impurezas en un semiconductor intrínseco no sólo aumentan la conductividad, sino que sirve también para producir un conductor en el que los portadores de carga sean predominantemente huecos o electrones. En un semiconductor de tipo N los electrones se le denominan portadores mayoritarios. En un material de tipo P, los huecos son los portadores mayoritarios y los electrones los minoritarios.

10.3 Flujo de electrones versus flujo de huecos

Si un electrón de valencia adquiere suficiente energía cinética para romper su enlace covalente y llena el vacío creado por un hueco, entonces, un hueco se creará en el enlace covalente que liberó al electrón> por lo tanto, existirá una transferencia de huecos hacia la izquierda y de electrones hacia la derecha como se muestra en la figura 80.

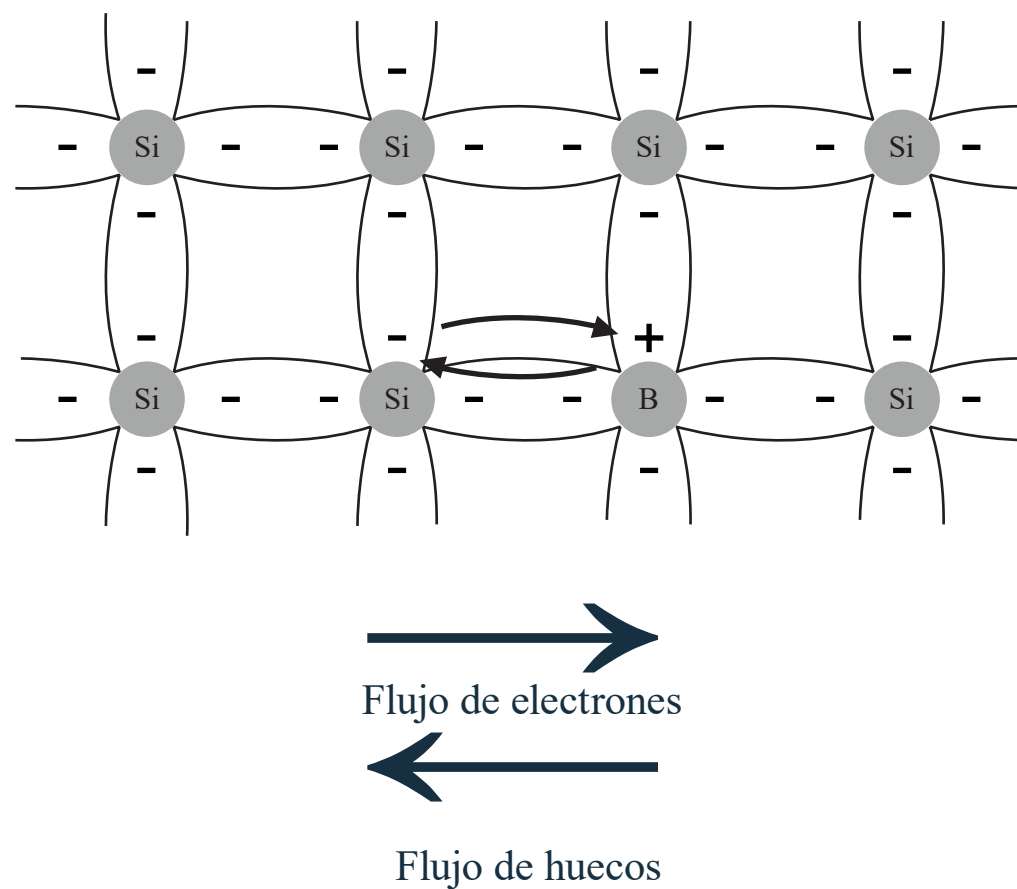
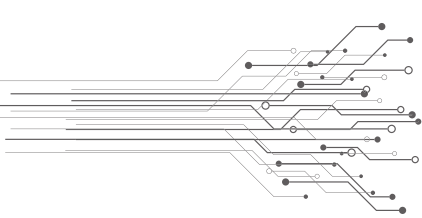


Figura 80 Flujo de electrones vs flujo de huecos

10.4 Aplicaciones de la unión de materiales tipo P y N

10.4 .1 Diodo Semiconductor

El diodo semiconductor se forma al unir los materiales tipo P y N como se muestra en la figura 80. En el momento en que los dos materiales se unan los electrones y los huecos en la región de unión se combinarán, y como consecuencia se originará una carencia de portadores en la región cercana a la unión, esta unión de iones positivos y negativos descubiertos se denomina región de agotamiento debido a la disminución de portadores en ella. Con características de funcionamiento similares a un interruptor sencillo y su simbología se muestra en la figura 81.

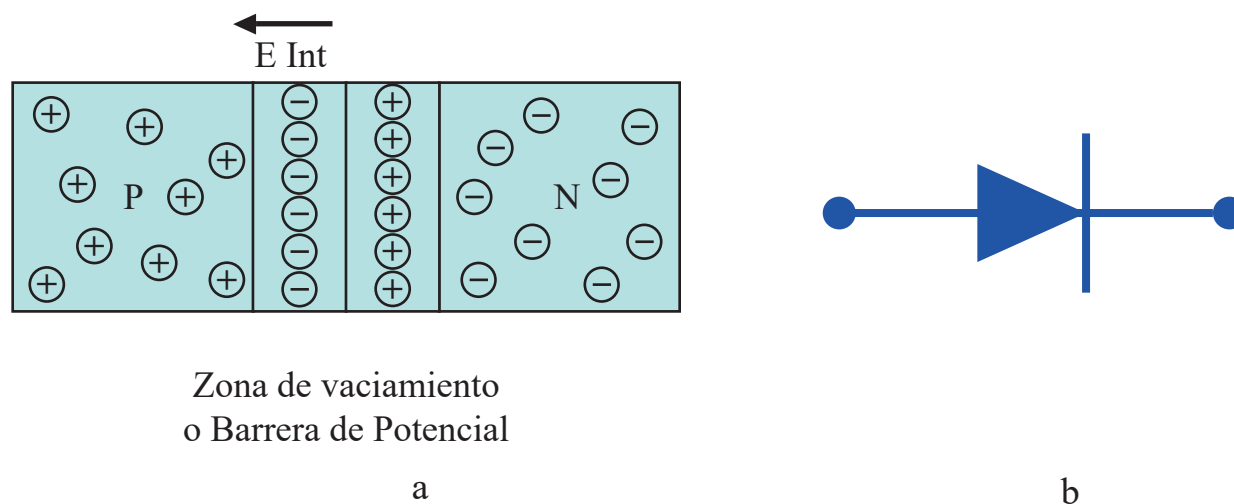
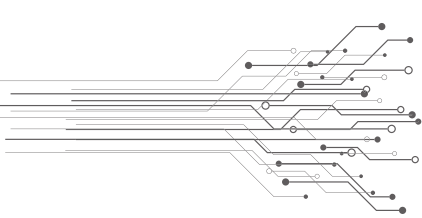


Figura 81 a) Unión de material tipo P y N, b) simbología

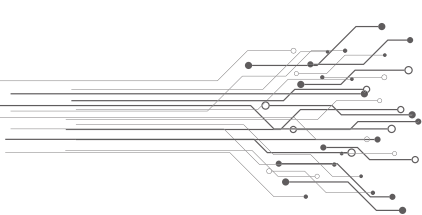
Debido a que el diodo es un dispositivo de dos terminales (ánodo cátodo), la aplicación de un voltaje a través de sus terminales ofrece tres posibilidades: sin polarización ($V_d = 0V$), polarización directa ($V_d > 0V$), y polarización inversa ($V_d < 0V$). Cada posibilidad es una condición que implica una respuesta.

Sin polarización.

Bajo esta condición, cualquier hueco (portador minoritario) en el material tipo n que se encuentra dentro de la región de agotamiento fluiría directamente hacia el material tipo p. Mientras más cercano se encuentre el portador minoritario a la unión mayor será la atracción hacia la capa de iones negativos y menor la oposición de los iones positivos de la región de agotamiento del material tipo n. En ausencia de un voltaje de polarización aplicada, el flujo neto de carga en cualquier dirección para un diodo semiconductor es cero.

Polarización directa

En este caso, la batería disminuye la barrera de potencial de la zona de carga espacial, permitiendo el paso de la corriente de electrones a través de la unión; es decir, el diodo polarizado directamente conduce la electricidad.



Para que un diodo esté polarizado directamente, se debe conectar el polo positivo de la batería al ánodo del diodo y el polo negativo al cátodo como se muestra en la figura 82. En estas condiciones podemos observar que: El polo negativo de la batería repele los electrones libres del material n, con lo que estos electrones se dirigen hacia la unión p-n.

- El polo positivo de la batería atrae a los electrones de valencia del material p, esto es equivalente a decir que empuja a los huecos hacia la unión p-n.
- Cuando la diferencia de potencial entre los bornes de la batería es mayor que la diferencia de potencial en la zona de carga espacial, los electrones libres del material n, adquieren la energía suficiente para saltar a los huecos del material p, los cuales previamente se han desplazado hacia la unión p-n.
- Una vez que un electrón libre de la zona n salta a la zona p atravesando la zona de carga espacial, cae en uno de los múltiples huecos de la zona p convirtiéndose en electrón de valencia. Una vez ocurrido esto el electrón es atraído por el polo positivo de la batería y se desplaza de átomo en átomo hasta llegar al final del material p, desde el cual se introduce en el cable conductor y llega hasta la batería.

De este modo, con la batería cediendo electrones libres a la zona n y atrayendo electrones de valencia de la zona p, aparece a través del diodo una corriente eléctrica constante hasta el final como se muestra en la figura 82.

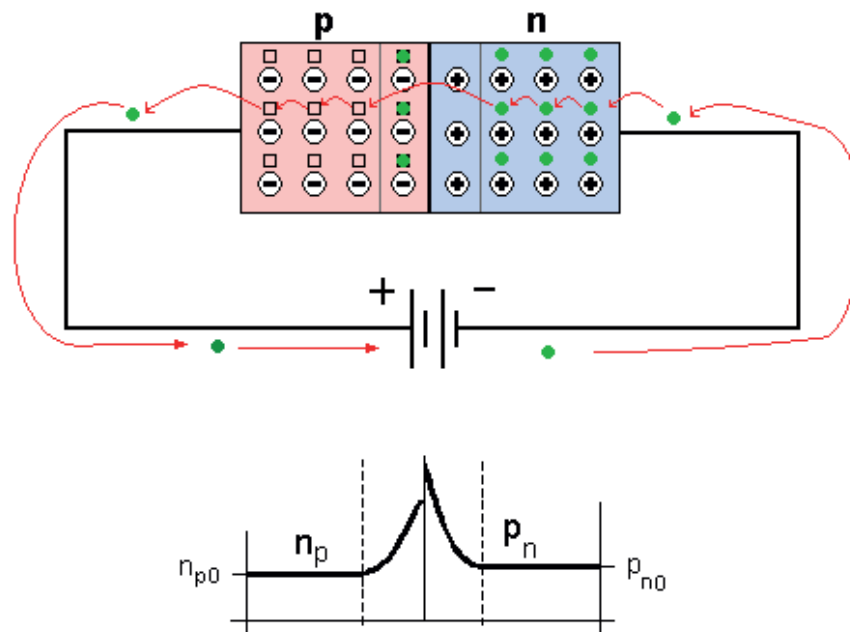
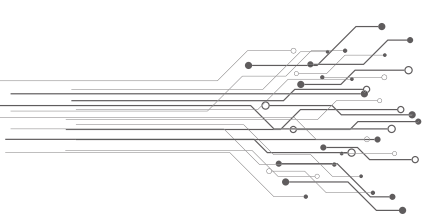


Figura 82 Polarización directa

Mientras se incrementa en magnitud la polarización aplicada, la región de agotamiento continuará disminuyendo su anchura hasta que un flujo de electrones pueda pasar a través de la unión, lo que da como resultado un incremento exponencial en la corriente, como se muestra en la región de polarización directa de las características de la figura 83.

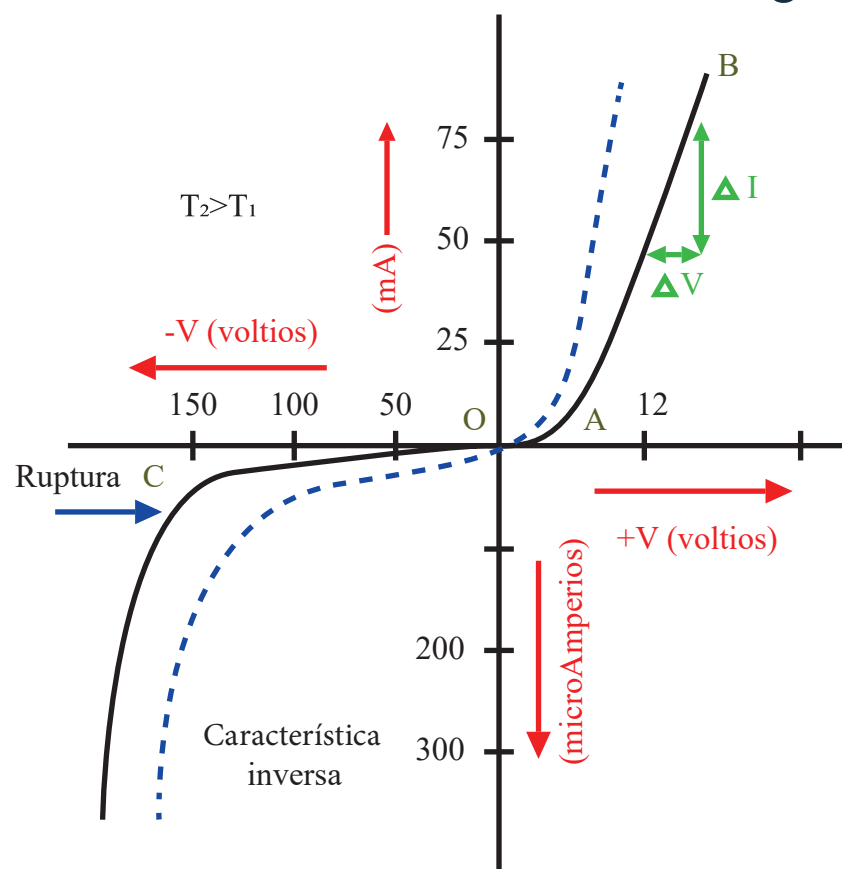
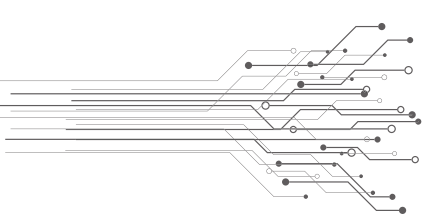


Figura 83 Polarización directa

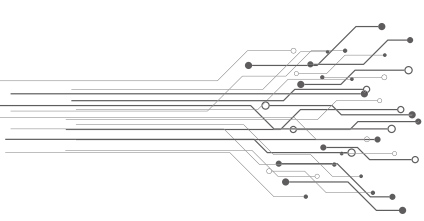


Observe que en el eje vertical de la figura 83 se encuentra la corriente en el orden de los mili amperios (aunque algunos diodos semiconductores tendrán una escala de amperios) y en el eje horizontal los voltios (máximo 1V). Por lo tanto, en general, el voltaje en un diodo en polarización directa será menor a 1 Voltio.

Polarización inversa

En este caso, el polo negativo de la batería se conecta al ánodo del diodo y el polo positivo al cátodo del mismo como se muestra en la figura 84, lo que aumenta la zona de carga espacial, y la tensión en dicha zona hasta que se alcanza el valor de la tensión de la batería, como se explica a continuación:

- El polo positivo de la batería atrae a los electrones libres de la zona n, los cuales salen del material n y se introducen en el conductor dentro del cual se desplazan hasta llegar a la batería. A medida que los electrones libres abandonan la zona n, los átomos pentavalentes que antes eran neutros, al verse desprendidos de su electrón en el orbital de conducción, adquieren estabilidad y una carga eléctrica neta de +1, con lo que se convierte en iones positivos.
- El polo negativo de la batería cede electrones libres a los átomos trivalentes de la zona p. Recordemos que estos átomos sólo tienen 3 electrones de valencia, con lo que una vez que han formado los enlaces covalentes con los átomos de silicio, tienen solamente 7 electrones de valencia, siendo el electrón que falta el denominado hueco. El caso es que cuando los electrones libres cedidos por la batería entran en la zona p, caen dentro de estos huecos con lo que los átomos trivalentes adquieren estabilidad y una carga eléctrica neta de -1, convirtiéndose así en iones negativos.



- Este proceso se repite una y otra vez hasta que la zona de carga espacial adquiere el mismo potencial eléctrico que la batería.

En esta situación, el diodo no debería conducir la corriente; sin embargo, debido al efecto de la temperatura se formarán pares electrón – hueco ambos lados de la unión produciendo una pequeña corriente (del orden de $1 \mu\text{A}$) denominada corriente inversa de saturación. Además, existe también una denominada corriente superficial de fugas la cual, como su propio nombre indica, conduce una pequeña corriente por la superficie del diodo; ya que, en la superficie, los átomos de silicio no están rodeados de superficie, los átomos de silicio no están rodeados de suficientes átomos para realizar los cuatro enlaces covalentes necesarios para obtener estabilidad. Esto hace que los átomos de la superficie del diodo, tanto de la zona n como de la p, tengan huecos en su orbital de valencia con lo que los electrones circulan sin dificultad a través de ellos. No obstante, al igual que la corriente inversa de saturación, la corriente superficial de fuga es usualmente despreciable.

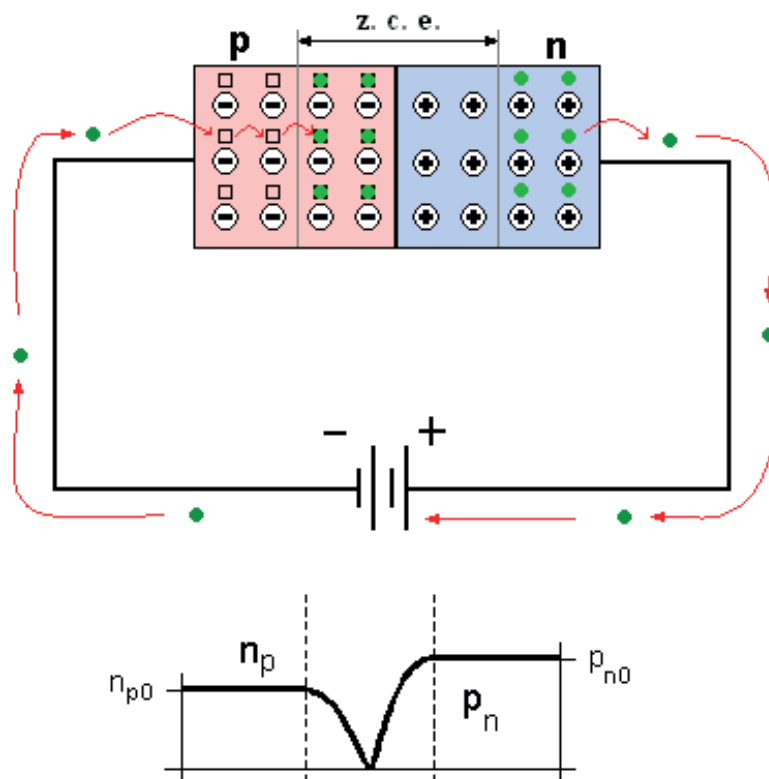
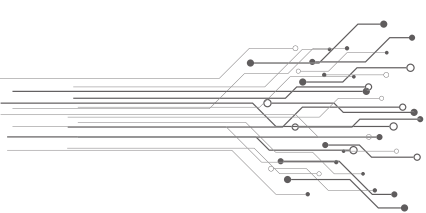
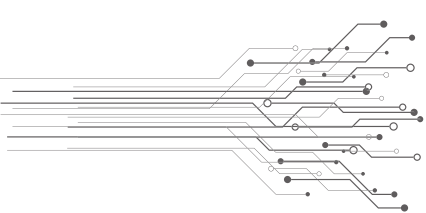
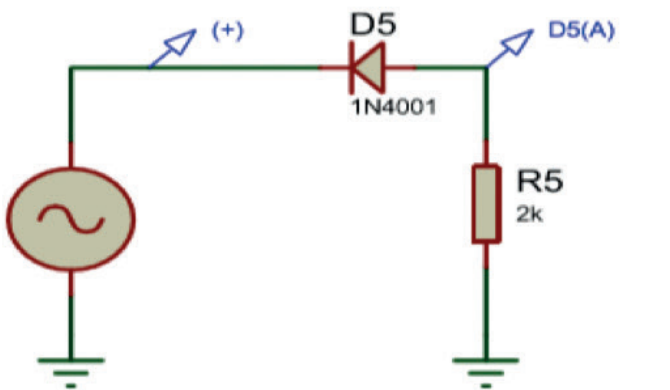
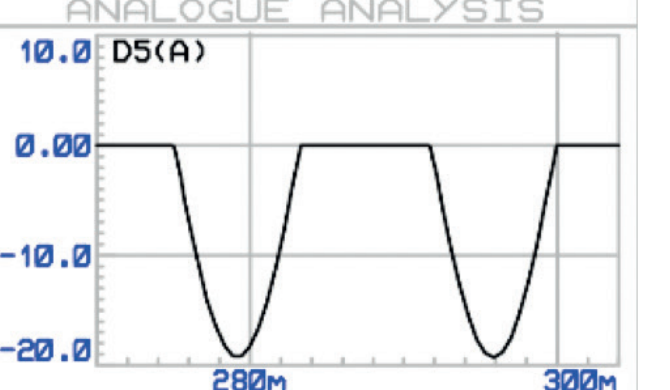
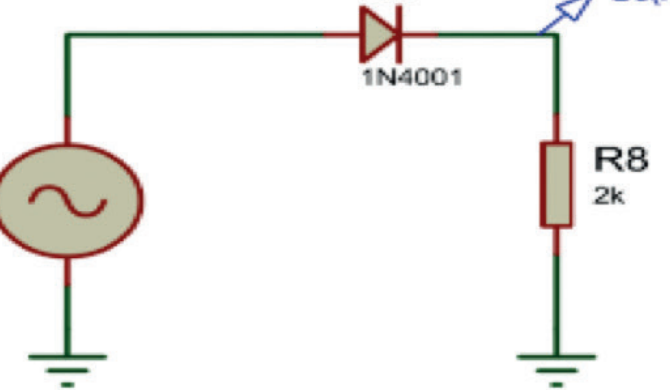
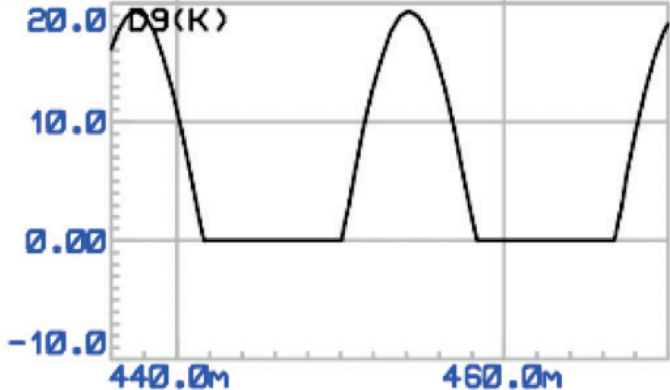
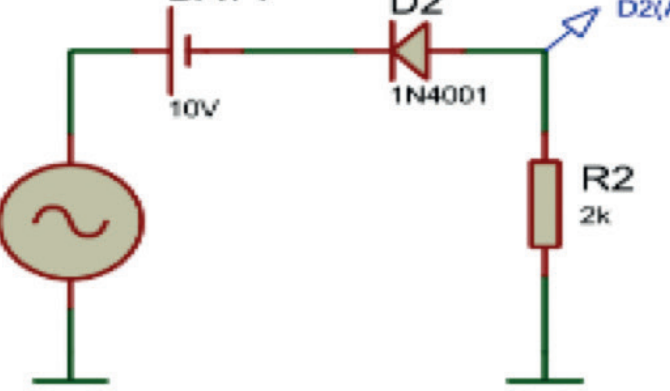
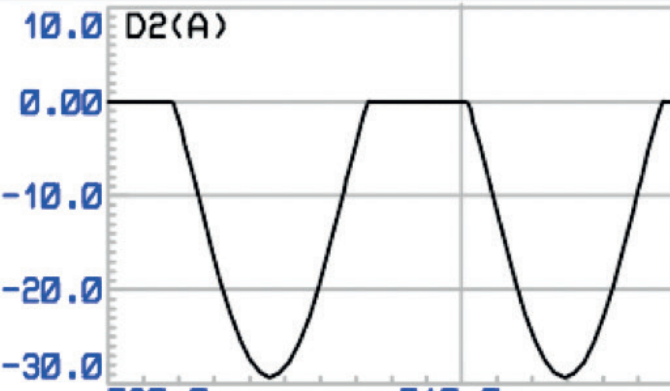


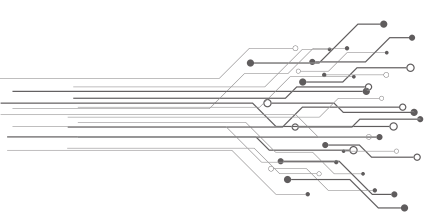
Figura 84 Polarización indirecta

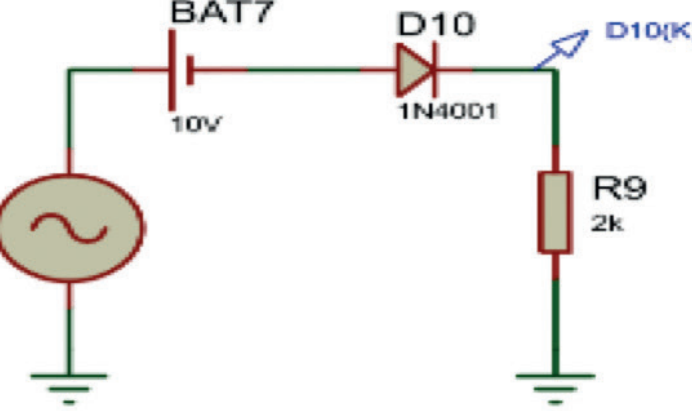
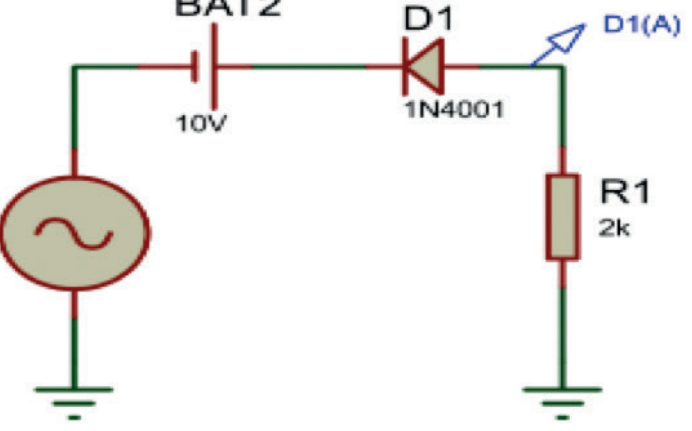
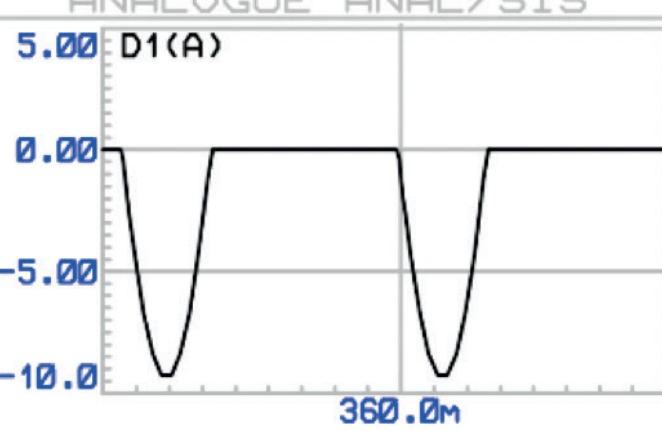
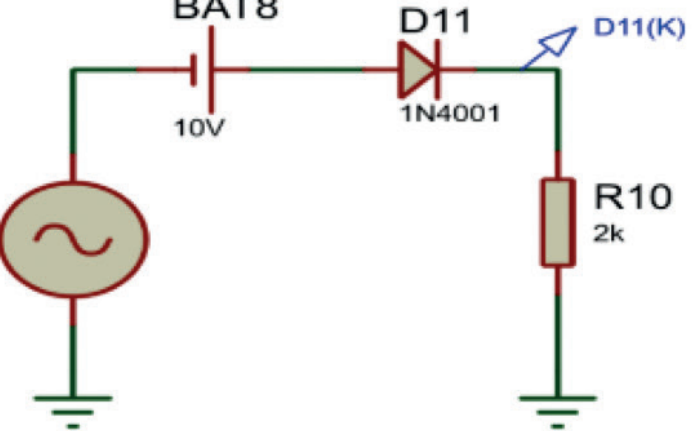
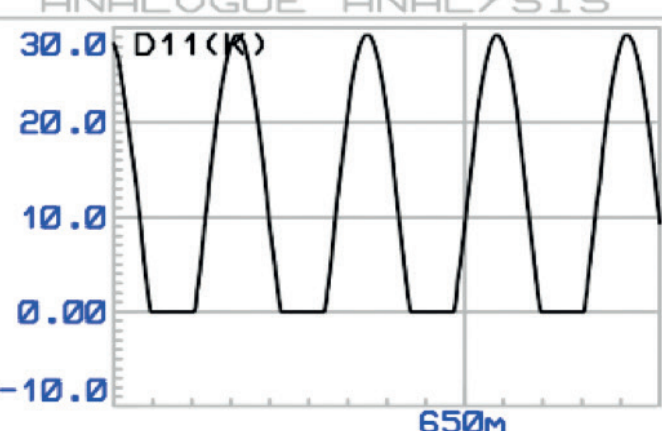


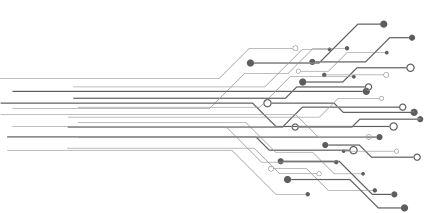
NOMBRE	ANÁLISIS	CIRCUITO	V_o
Rectificador de media onda (positivos)	$V_{in} > 0; V_{in} < 0$ $Sc (+); Sc (-)$ $D2 = PD; D2 = PI$ $V_o = V_{in}; V_o = 0 V$		
Rectificador de media onda (negativos)	$V_{in} > 0; V_{in} < 0$ $Sc (+); Sc (-)$ $D1 = PI; D1 = PD$ $V_o = 0 V; V_o = V_{in}$		
Rectificador de onda completa	$V_{in} > 0; V_{in} < 0$ $Sc (+); Sc (-)$ $D2, D3 = PD; D1, D4 = PI$ $V_o = V_{in}; V_o = V_{in}$		

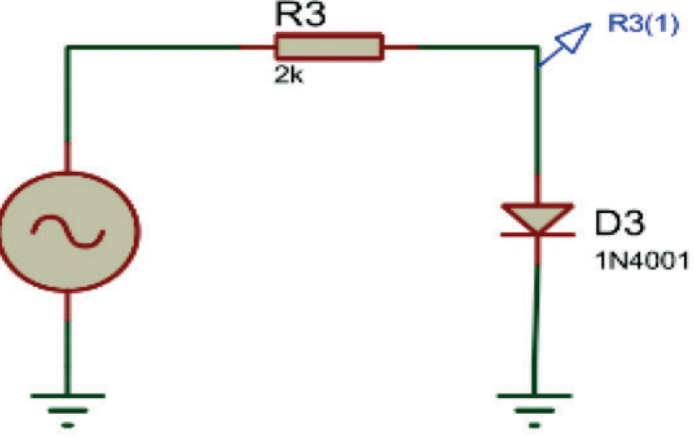
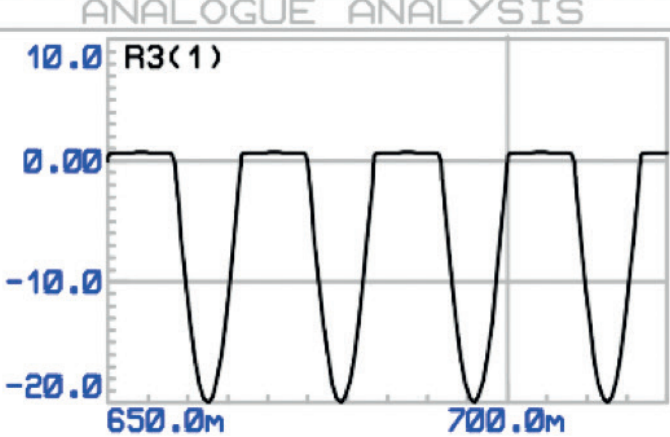
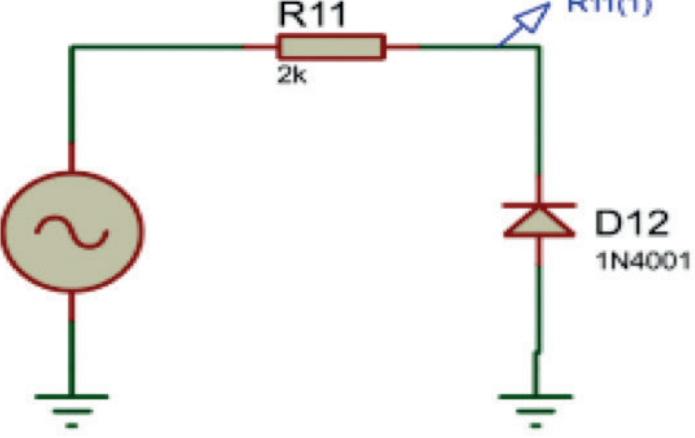
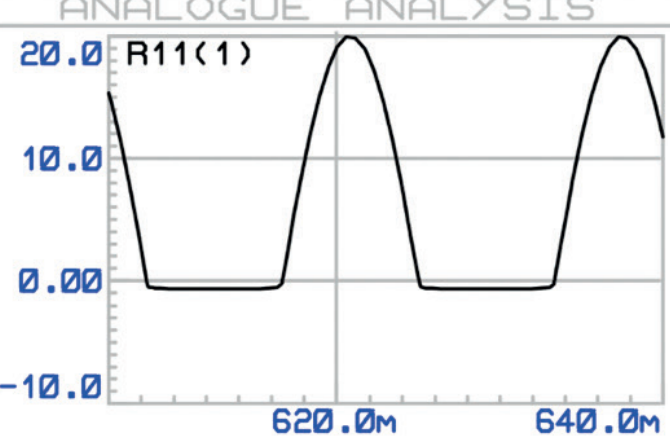
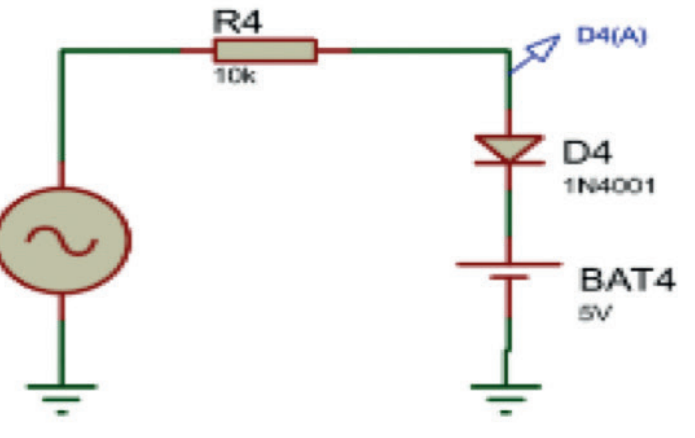
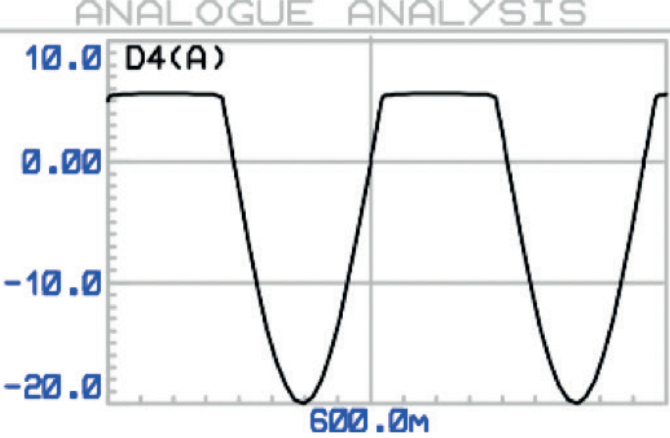


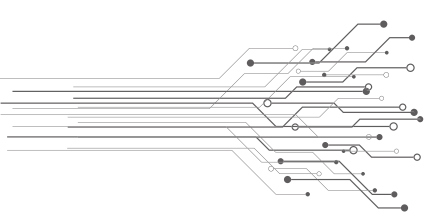
Recortadores simples en serie (negativos)	$V_{in} > 0; \quad V_{in} < 0$ $S_c (+); \quad S_c (-)$ $D5 = PI; \quad D5 = PD$ $V_o = 0 \text{ V}; \quad V_o = V_{in}$		ANALOGUE ANALYSIS 
Recortadores simples en serie (positivos)	$V_{in} > 0; \quad V_{in} < 0$ $S_c (+); \quad S_c (-)$ $D9 = PD; \quad D9 = PI$ $V_o = V_{in}; \quad V_o = 0 \text{ V}$		ANALOGUE ANALYSIS 
recortadores polarizados en serie (positivo)	$V'_{in} = V_{in} - V_{bat}$ $V'_{in} > 0; \quad V'_{in} < 0$ $S_c (+); \quad S_c (-)$ $D2 = PI; \quad D2 = PD$ $V_o = 0 \text{ V}; \quad V_o = V'_{in}$		ANALOGUE ANALYSIS 



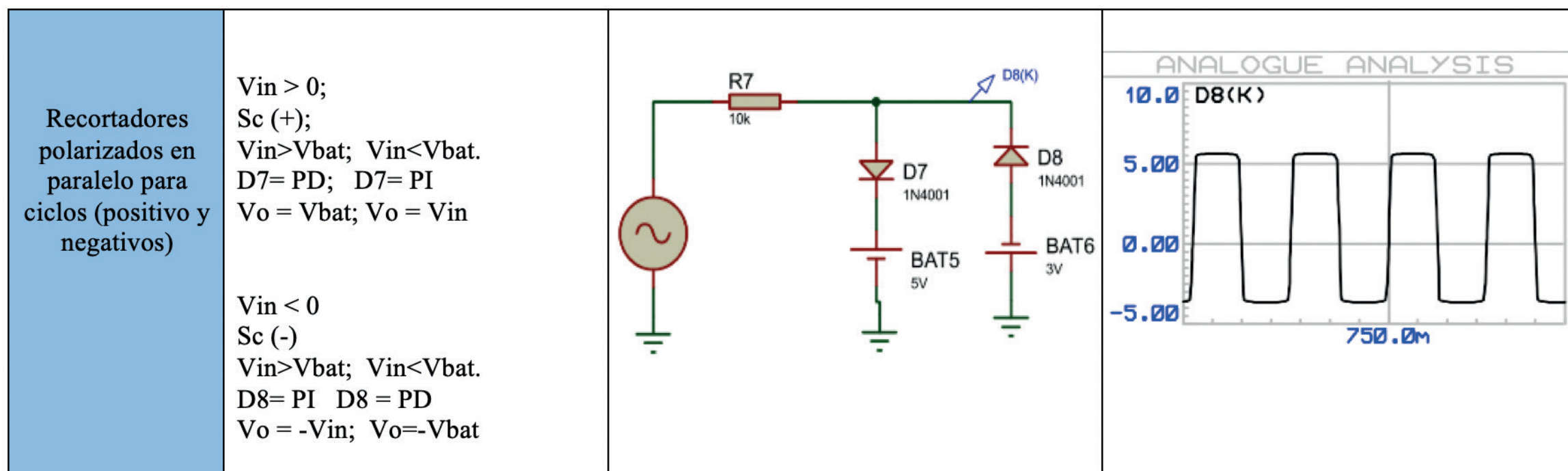
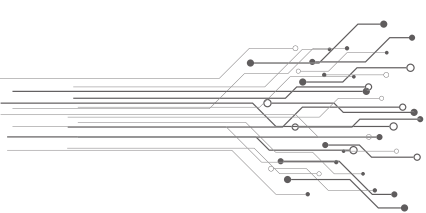
Recortadores Polarizados en serie (negativos)	$V'_{in} = V_{in} - V_{bat}$ $V'_{in} > 0; \quad V'_{in} < 0$ $S_c (+); \quad S_c (-)$ $D10 = PD; \quad D10 = PI$ $V_o = V'_{in}; \quad V_o = 0V$		
Recortadores polarizados inverso en serie (positivos)	$V'_{in} = V_{in} + V_{bat}$ $V'_{in} > 0; \quad V'_{in} < 0$ $S_c (+); \quad S_c (-)$ $D1 = PI; \quad D1 = PD$ $V_o = 0V; \quad V_o = V'_{in}$		
Recortadores polarizados inverso en serie (negativo)	$V'_{in} = V_{in} + V_{bat}$ $V'_{in} > 0; \quad V'_{in} < 0$ $S_c (+); \quad S_c (-)$ $D11 = PD; \quad D11 = PI$ $V_o = V'_{in}; \quad V_o = 0V$		

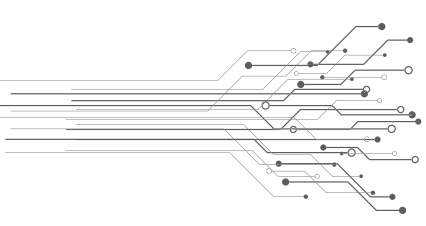


Recortadores simples en paralelo (positivo)	$V_{in} > 0; \quad V_{in} < 0$ $S_c (+); \quad S_c (-)$ $D3 = PD; \quad D3 = PI$ $V_o = V_{in}; \quad V_o = 0 \text{ V}$		ANALOGUE ANALYSIS 
Recortes simples en paralelo (negativo)	$V_{in} > 0; \quad V_{in} < 0$ $S_c (+); \quad S_c (-)$ $D12 = PD; \quad D12 = PI$ $V_o = 0 \text{ V}; \quad V_o = V_{in}$		ANALOGUE ANALYSIS 
Recortadores polarizados en paralelo (positivo)	$V_{in} > 0; \quad V_{in} < 0$ $S_c (+); \quad S_c (-)$ $V_{in} > V_{bat}; \quad V_{in} < V_{bat}$ $D4 = PD; \quad D4 = PI$ $D4 = PI$ $V_o = V_{bat}; \quad V_o = V_{in}$ $V_o = -V_{in}$		ANALOGUE ANALYSIS 



Recortadores polarizados en paralelo (negativo)	<table><tr><td>$V_{in} > 0;$ $Sc (+);$</td><td>$V_{in} < 0$ $Sc (-)$</td></tr><tr><td>$V_{in} < V_{bat}.$ $D13 = PI;$ $D13 = PI$ $V_o = V_{in};$ $V_o = -V_{in}$</td><td>$V_{in} > V_{bat};$ $D13 = PD$ $V_o = -V_{bat}$</td></tr></table>	$V_{in} > 0;$ $Sc (+);$	$V_{in} < 0$ $Sc (-)$	$V_{in} < V_{bat}.$ $D13 = PI;$ $D13 = PI$ $V_o = V_{in};$ $V_o = -V_{in}$	$V_{in} > V_{bat};$ $D13 = PD$ $V_o = -V_{bat}$		
$V_{in} > 0;$ $Sc (+);$	$V_{in} < 0$ $Sc (-)$						
$V_{in} < V_{bat}.$ $D13 = PI;$ $D13 = PI$ $V_o = V_{in};$ $V_o = -V_{in}$	$V_{in} > V_{bat};$ $D13 = PD$ $V_o = -V_{bat}$						
Recortadores polarizados inverso en paralelo (positivo)	<table><tr><td>$V_{in} > 0;$ $Sc (+);$</td><td>$V_{in} < 0$ $Sc (-)$</td></tr><tr><td>$V_{in} < V_{bat}.$ $D6 = PD;$ $D6 = PD$ $V_o = -V_{bat};$ $V_o = -V_{bat}$</td><td>$V_{in} > V_{bat};$ $D6 = PI$ $D6 =$ PD $V_o = -V_{in};$</td></tr></table>	$V_{in} > 0;$ $Sc (+);$	$V_{in} < 0$ $Sc (-)$	$V_{in} < V_{bat}.$ $D6 = PD;$ $D6 = PD$ $V_o = -V_{bat};$ $V_o = -V_{bat}$	$V_{in} > V_{bat};$ $D6 = PI$ $D6 =$ PD $V_o = -V_{in};$		
$V_{in} > 0;$ $Sc (+);$	$V_{in} < 0$ $Sc (-)$						
$V_{in} < V_{bat}.$ $D6 = PD;$ $D6 = PD$ $V_o = -V_{bat};$ $V_o = -V_{bat}$	$V_{in} > V_{bat};$ $D6 = PI$ $D6 =$ PD $V_o = -V_{in};$						
Recortadores polarizados inverso en paralelo (negativo)	<table><tr><td>$V_{in} > 0;$ $Sc (+);$</td><td>$V_{in} < 0$ $Sc (-)$</td></tr><tr><td>$V_{in} > V_{bat};$ $V_{in} < V_{bat}.$ $D14 = PI;$ $D4 = PD$ $D14$ $= PI$ $V_o = V_{in};$ $V_o = V_{bat}$ $V_o =$ V_{bat}</td><td></td></tr></table>	$V_{in} > 0;$ $Sc (+);$	$V_{in} < 0$ $Sc (-)$	$V_{in} > V_{bat};$ $V_{in} < V_{bat}.$ $D14 = PI;$ $D4 = PD$ $D14$ $= PI$ $V_o = V_{in};$ $V_o = V_{bat}$ $V_o =$ V_{bat}			
$V_{in} > 0;$ $Sc (+);$	$V_{in} < 0$ $Sc (-)$						
$V_{in} > V_{bat};$ $V_{in} < V_{bat}.$ $D14 = PI;$ $D4 = PD$ $D14$ $= PI$ $V_o = V_{in};$ $V_o = V_{bat}$ $V_o =$ V_{bat}							





10.4.2 Diodo Zener

Este dispositivo es un tipo especial de diodo que diferencia del funcionamiento de los diodos semiconductores como se muestra su simbología en la figura 85, el diodo Zener está diseñado para aprovechar una configuración de polarización inversa, es decir cuando está conectado el cátodo con una tensión positiva y al ánodo una negativa. La principal aplicación que se le da a este diodo es la de regulador de voltaje. Un regulador con Zener ideal mantiene un voltaje fijo en sus terminales siempre y cuando el voltaje de alimentación sea mayor que el voltaje Zener, sin importar si varía el voltaje alimentación (regulador de línea) y la carga (regulador de carga)

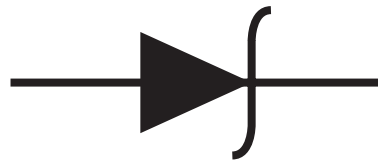


Figura 85 Simbología diodo Zener

El principio de funcionamiento del Zener es cuando lo polarizamos inversamente y llegamos a un voltaje zener (V_z) el diodo conduce y mantiene la tensión de V_z constante, aunque se siga aumentando la tensión del circuito. La corriente que pasa por el diodo zener en estas condiciones se llama corriente inversa (I_z), cuando el voltaje sobrepasa por V_z se llama zona de ruptura. Antes de llegar al V_z el diodo zener no conduce. Además cuando está polarizado directamente el zener se comporta como un diodo semiconductor.

Mientras la tensión inversa sea inferior a la tensión del zener el diodo no conduce, solo conseguiremos tener una tensión constante V_z , cuando esté conectado a una tensión igual o mayor al V_z como se muestra en la figura 86.

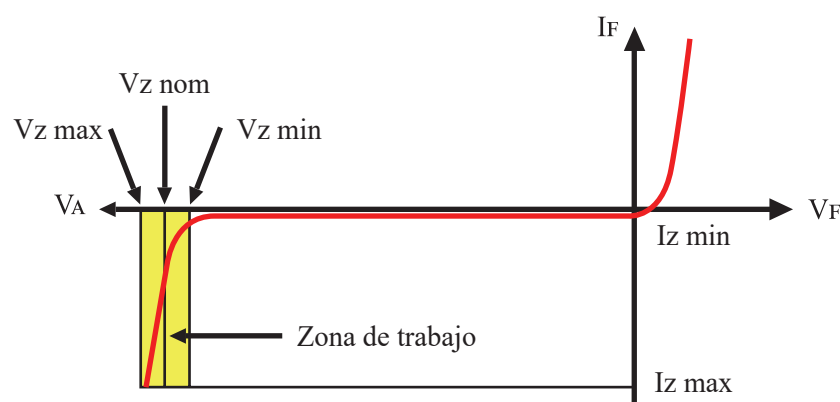
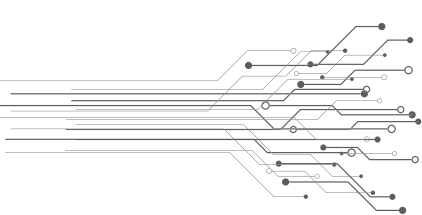


Figura 86 Curva del zener

10.4.3 Diodo Led (diodo emisor de luz)

Este dispositivo permite el paso de la corriente en solo sentido es decir con la circulación de corriente de ánodo a cátodo con características similares a un diodo semiconductor con la diferencia de que cuando existe polarización directa este emite luz y su aplicación es como un indicador.

Cuando un led es polarizado directamente, los electrones de la banda de conducción se recombinan con agujeros de la banda de valencia liberando suficiente energía para producir fotones. Estos fotones pueden salir de la unión e irradiar, produciendo luz, entonces podemos decir que los diodos emisores de luz son dispositivos semiconductores que convierten la energía eléctrica en energía lumínica.

En la figura 87 se muestra la simbología del diodo led.

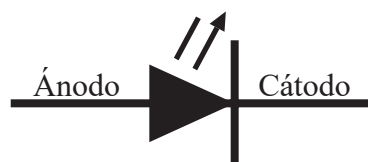
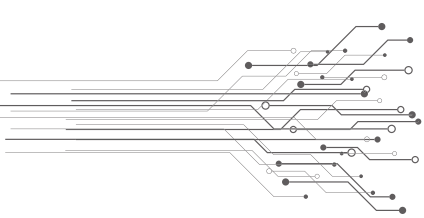


Figura 87 Simbología diodo Led

10.4.4 Transistores

Es un dispositivo semiconductor de tres terminales: emisor, colector y base. Puede ser de tipo PNP o NPN. En la figura 88 se muestra los



símbolos y nomenclatura de sus terminales. La flecha del emisor es la forma de distinguir un transistor de tipo NPN de un PNP; en un NPN la flecha apunta hacia fuera del transistor; en PNP la flecha apunta hacia dentro. Además, en funcionamiento normal, dicha flecha indica el sentido que circula la corriente por el emisor del dispositivo.

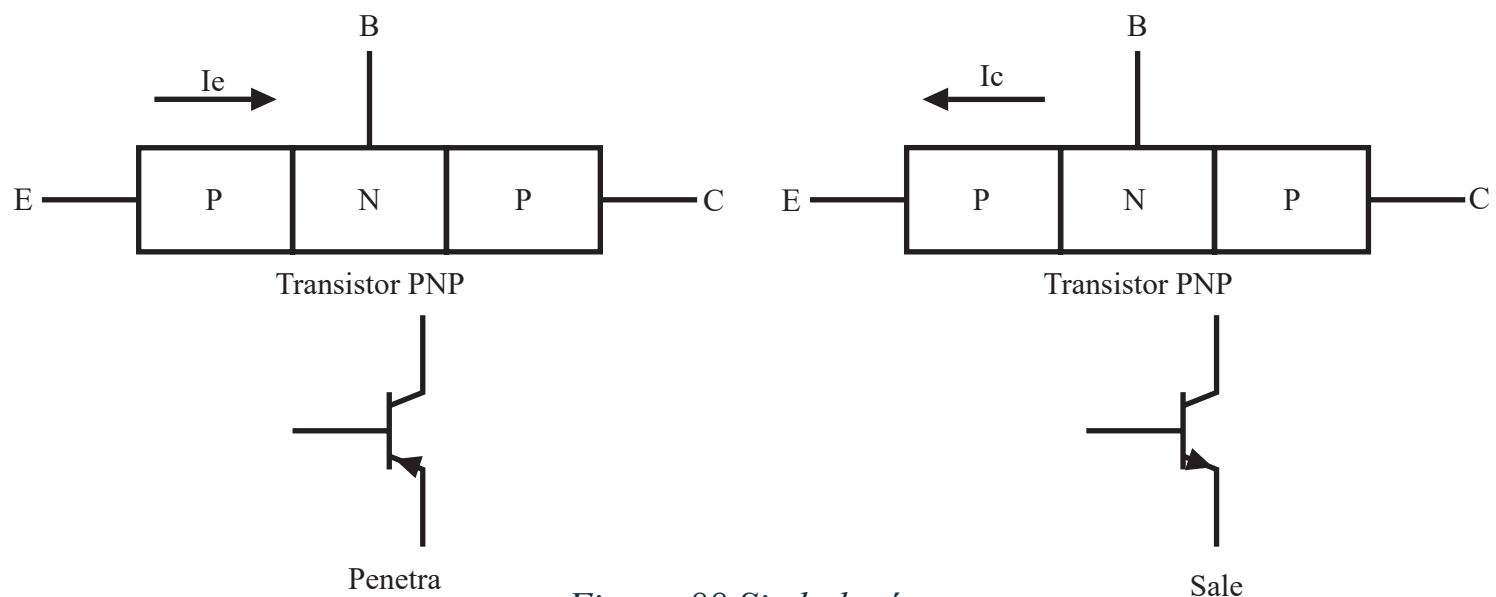


Figura 88 Simbología

El transistor bipolar es un dispositivo formado por tres regiones semiconductoras, entre las cuales se forman unas uniones (uniones PN). En la figura 89 observamos el aspecto útil para análisis de un transistor bipolar. Siempre se ha de cumplir que el dopaje de las regiones sea alterno, es decir, si el emisor es tipo P, entonces la base será tipo N y el colector tipo P. Esta estructura da lugar a un transistor bipolar tipo PNP. Si el emisor es tipo N, entonces la base será P y el colector N, dando lugar a un transistor bipolar tipo NPN.

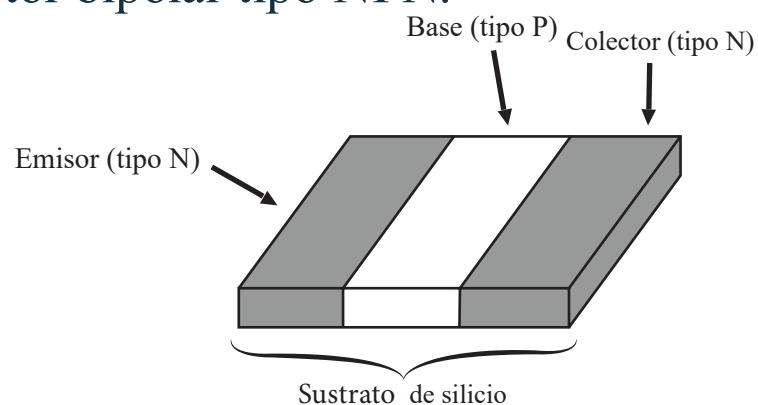
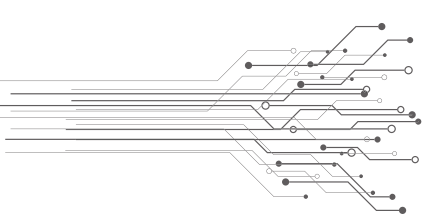


Figura 89 Estructura

El transistor se fabrica sobre un sustrato de silicio, en el cual se difunden



impurezas, de forma que se obtengan las tres regiones antes mencionadas. En la figura 90 vemos el aspecto típico de un transistor bipolar real, de los que se encuentran en cualquier circuito integrado. Sobre una base n (sustrato que actúa como colector), se difunden regiones p y n⁺, en las que se ponen los contactos de emisor y base.

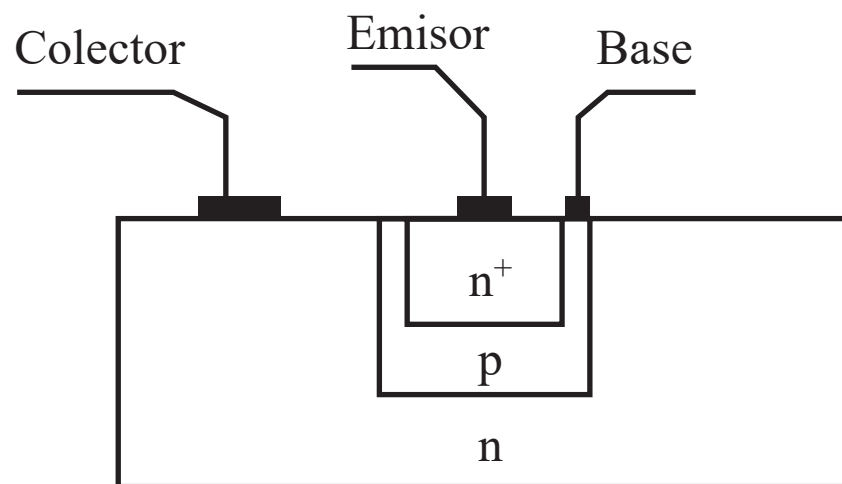
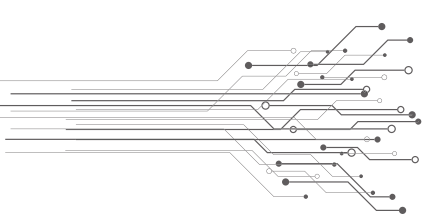


Figura 90 Estructura Real

El emisor (E) ha de ser una región muy dopada (de ahí la indicación p⁺). Cuanto más dopaje tenga el emisor, mayor cantidad de portadores podrá aportar a la corriente.

La base (B) ha de ser muy estrecha y poco dopada, para que tenga lugar poca recombinación en la misma, y prácticamente toda la corriente que proviene de emisor pase a colector, como veremos más adelante. Además, si la base no es estrecha, el dispositivo puede no comportarse como un transistor, y trabajar como si de dos diodos en oposición se tratase.

El colector (C) ha de ser una zona menos dopada que el emisor. Las características de esta región tienen que ver con la recombinación de los portadores que provienen del emisor.



Funcionamiento del Transistor.

Es un dispositivo de tres terminales que permite controlar una gran potencia a partir de una pequeña. En el terminal de base se aplica la señal de control, y entre los terminales de colector y emisor se aplica la potencia a regular. Con pequeñas variaciones de corriente a través del terminal de base, se consigue grandes variaciones a través de los terminales de colector emisor. Si se coloca una resistencia se puede convertir esta variación de corriente en variaciones de tensión según sea necesario.

Fundamentos físicos del efecto transistor.

Este dispositivo basa su funcionamiento en el control de la corriente que circula entre el emisor y el colector del mismo, mediante la circulación de la corriente de base. En esencia un transistor se puede considerar como un diodo en polaridad directa entre la unión emisor base por el que circula una corriente elevada, y un diodo en polarización inversa entre la unión base colector, por el que, en principio, no debería circular corriente, pero que actúa como una estructura que recoge gran parte de la corriente que circula por emisor base, en la figura 91 se puede observar lo que sucede. Se dispone de dos diodos, uno en polarización directa (diodo A) y el otro en polarización inversa (diodo B). Mientras la corriente por A se eleva (I_A), la corriente por B es muy pequeña (I_B). Si se unen los dos diodos, y se consigue que la zona de unión (lo que llamaremos base del transistor) sea muy estrecha, entonces toda esa corriente que circulaba por el diodo A, va a quedar absorbida por el campo existente en el diodo B. De esta forma entre el emisor y el colector circula una gran corriente, mientras que por la base una corriente muy pequeña. El control se produce mediante este terminal de base porque, si se corta la corriente por la base ya no existe polarización de un diodo en inversa y otro en directa, y por tanto no circula corriente.

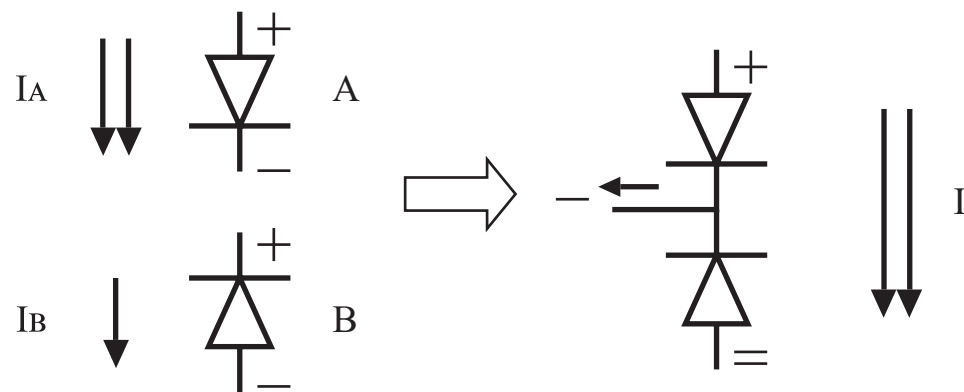
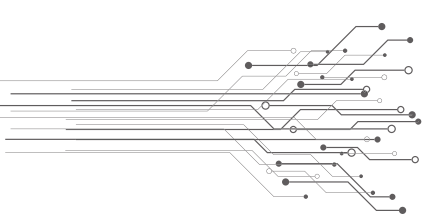


Figura 91 Efecto transistor

Corrientes y tensiones

Para el análisis de las distintas corrientes que circulan en un transistor vamos a considerar un transistor de tipo PNP, que polarizamos tal y como aparece en la figura 92.

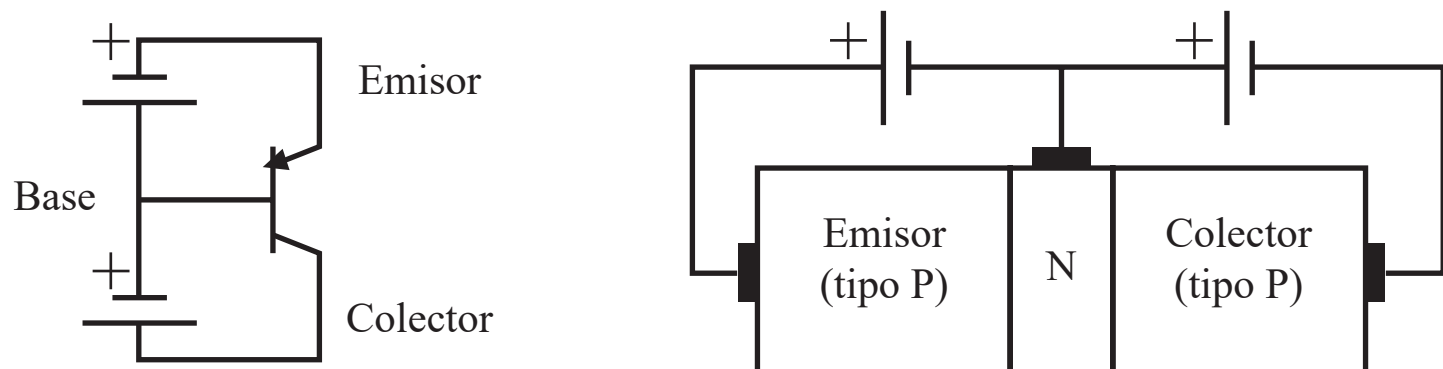


Figura 92 Polarización

Este tipo de polarización será el usado cuando el transistor trabaje en región activa, como se verá en los siguientes apartados. La unión emisor-base queda polarizada como una unión en directa, y la unión colector-base como una unión en inversa. En la figura 93 se muestran las principales corrientes (de electrones y huecos) que aparecen en el transistor tras aplicar la polarización indicada en la figura 92.

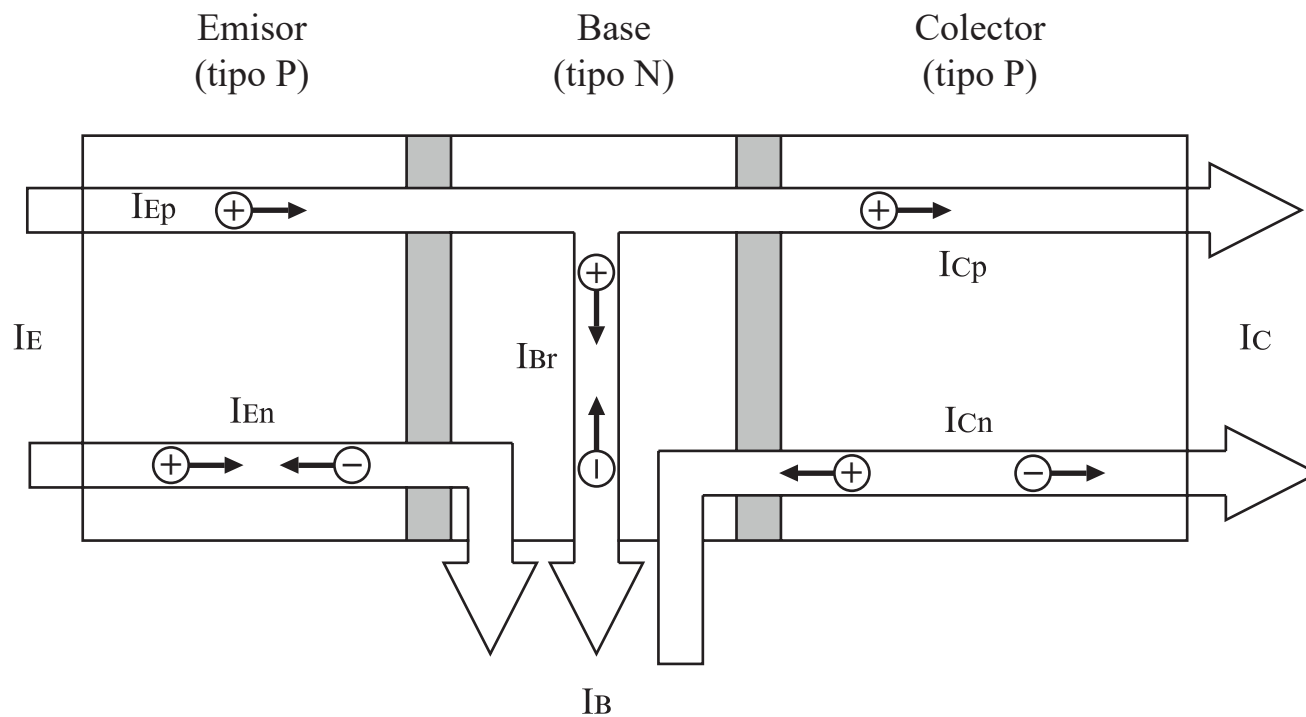
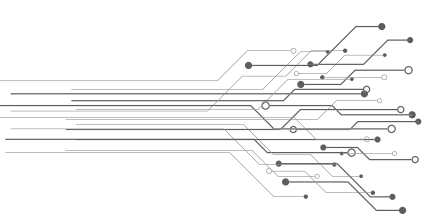


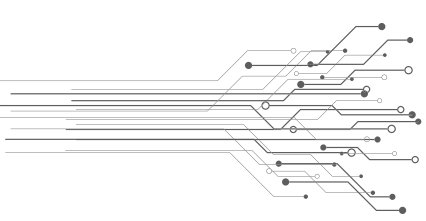
Figura 93 Corrientes de un transistor

Se puede observar:

- Entre el emisor y la base aparece una corriente ($I_{Ep} + I_{En}$) debido a que la unión está en polarización directa.
- El efecto transistor provoca que la mayor parte de la corriente anterior NO circule por la base, sino que siga hacia el emisor (I_{Cp}).
- Entre el colector y la base circula una corriente mínima por estar polarizada en inversa (I_{Cn} más una parte ínfima de I_{Cp}).
- Por la base realmente circula una pequeña corriente del emisor, más otra de colector, más la corriente de recombinación de base ($I_{En} + I_{Cn} + I_{Br}$).

A partir de lo anterior podemos obtener algunas ecuaciones básicas como son las siguientes:

$$I_E + I_B + I_C = 0$$



Esta ecuación viene impuesta por la propia estructura del circuito, es decir, el transistor es un nodo con tres entradas o salidas, por tanto la suma de las corrientes que entran o salen al mismo ha de ser cero aplicando la ley de Kirchhoff de corriente.

Cada una de las corrientes del transistor se puede poner en función de sus componentes de la siguiente forma:

$$IE = IE_n + IE_p$$

$$IC = IC_n + IC_p$$

$$IB = IE_n + IC_p + IB_r$$

Relaciones más importantes. Parámetros α y β

En este dispositivo uno de los aspectos más interesantes para su análisis y uso es el conocer las relaciones existentes entre sus tres corrientes (IE , IB e IC).

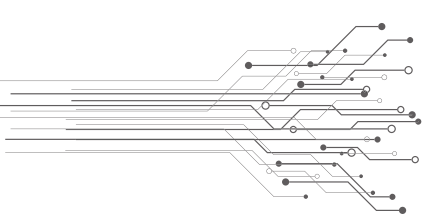
Definimos los parámetros α y β (de continua) como la relación existente entre la corriente de colector y la de emisor, o la de emisor y la de base, es decir:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}, \quad \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Operando podemos relacionar ambos parámetros de la siguiente forma:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_C}{I_E - I_C} = \frac{I_C}{I_E(1 - I_C/I_E)} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

En general el parámetro α será muy próximo a la unidad es decir valores



típicos entre $0,9 < \alpha < 0,99$ (la corriente de emisor será similar a la de colector) y el parámetro β tendrá un valor elevado (normalmente > 100).

Regiones de funcionamiento.

Dependiendo de las características dinámicas del circuito que se conecta, se diferencia tres estados de funcionamiento que son:

Región de corte.

Cuando el transistor se encuentra en corte es cuando no hay transferencia de energía de la fuente de entrada por sus terminales. Concretamente, y a efectos de cálculo, decimos que el transistor se encuentra en corte cuando se cumple la condición: $I_E = 0$ ó $I_E < 0$ (Esta última condición indica que la corriente por el emisor lleva sentido contrario al que llevaría en funcionamiento normal). Para polarizar el transistor en corte basta con no polarizar en directa la unión base-emisor del mismo, es decir, basta con que $V_{BE}=0$; o sea que se comporta como un interruptor abierto.

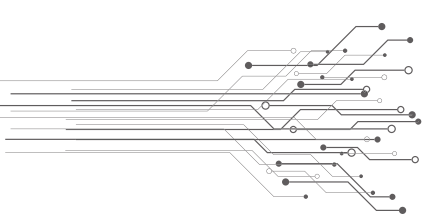
Región de saturación.

En la región de saturación se verifica que tanto la unión base-emisor como la base-colector se encuentran en polarización directa. Se dejan de cumplir las relaciones de activa, y se verifica sólo lo siguiente:

$$V_{BE} = V_{BEsat}$$

$$V_{CE} = V_{CEsat}$$

Donde las tensiones base-emisor y colector-emisor de saturación suelen tener valores determinados (0,8 y 0,2 voltios habitualmente). Es de señalar especialmente que cuando el transistor se encuentra en saturación



circula también corriente por sus tres terminales, pero ya no se cumple la relación:

$$I_C = \beta I_B$$

Es decir, en este caso el transistor conduce la máxima corriente del colector I_C posible sin dañarse, o sea se comporta como un interruptor cerrado.

Región activa

Esta región es la normal de funcionamiento del transistor. Existen corrientes en todos sus terminales y se cumple que la unión base-emisor se encuentra polarizada en directa y el colector base en polarización inversa.

En general, y a efectos de cálculo, se considera que se verifica lo siguiente:

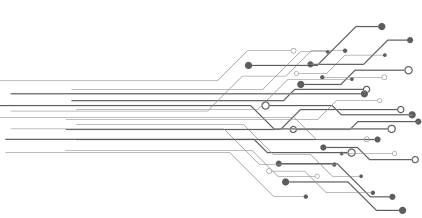
$$V_{BE} = V_\lambda$$

$$I_C = \beta I_B$$

Donde V_λ es la tensión de conducción de la unión base-emisor (en general 0,7 voltios). Cuando el transistor trabaja en esta región se utiliza en amplificadores lineales o en régimen continuo.

CURVAS CARACTERÍSTICAS

La representación gráfica de la relación que existe entre sus corrientes y tensiones se le considera como curva característica. Esta información es muy útil para el diseñador a la hora de elegir uno u otro transistor para un circuito, pues permite tanto observar todas las características del mismo, como realizar el diseño en sí.



Las curvas características son representaciones gráficas de 3 variables. En los ejes X e Y se colocan dos de las variables, y se dibuja una curva para cada uno de los valores de la tercera variable.

Existen 3 configuraciones fundamentales en función de cuál es el terminal de transistores que se usa como común: base común, colector común y emisor común, esta última es la más utilizada ya que amplifica voltaje, corriente y por lo tanto, potencia.

Analizando el transistor como un dispositivo que presenta 2 terminales de entrada y 2 de salida como se muestra en la figura 94.



Figura 94 Red de terminales

En el siguiente apartado se expondrá un ejemplo. En función de qué tres variables se elijan para representar una curva característica, y si se consideran curvas de entrada o salida, se pueden definir los siguientes tipos de gráficas en los transistores bipolares como se muestra en la tabla 3:

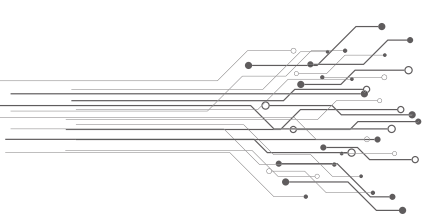


Tabla 3 Curvas – Características

Curva características	Tipo	Variable que se representan
En emisor común	De entrada	V_{BE} , I_B y V_{CE}
	De salida	I_B , I_C y V_{CE}
En base común	De entrada	V_{BE} , I_E y V_{CB}
	De salida	I_E , I_C y V_{CB}
En colector común	De entrada	V_{BE} , I_B y V_{CE}
	De salida	I_B , I_C y V_{CE}

Como se muestra en la tabla 6 las variables que se representan gráficamente, en la figura 95 se muestra las regiones de funcionamiento para una configuración colector común.

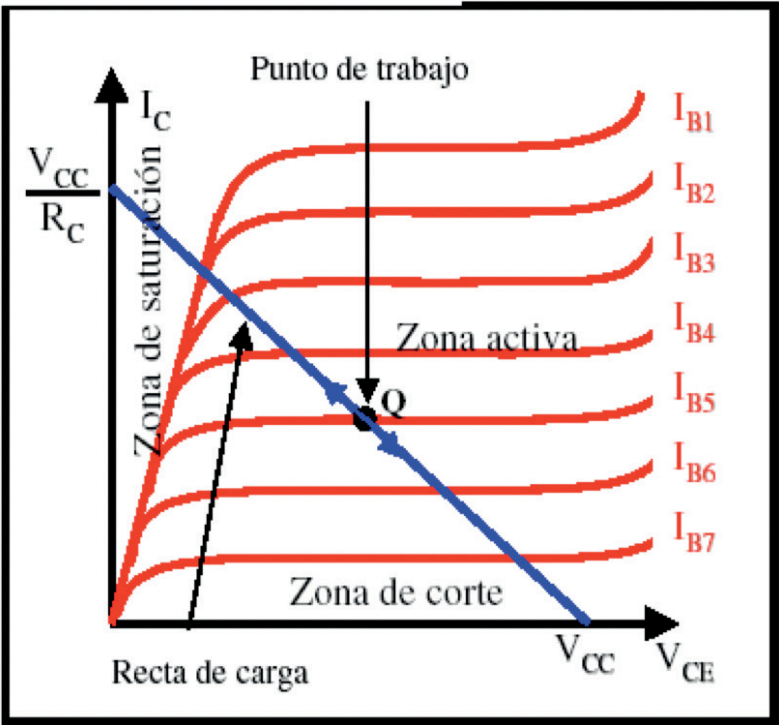
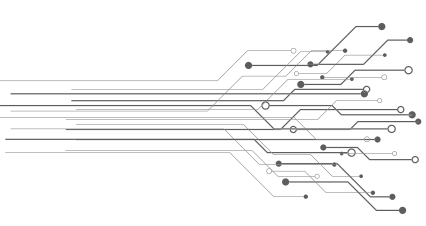


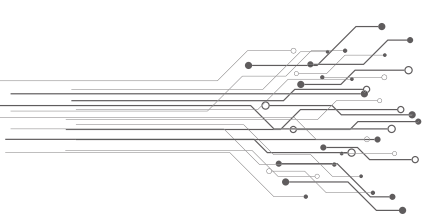
Figura 95 Regiones de Funcionamiento



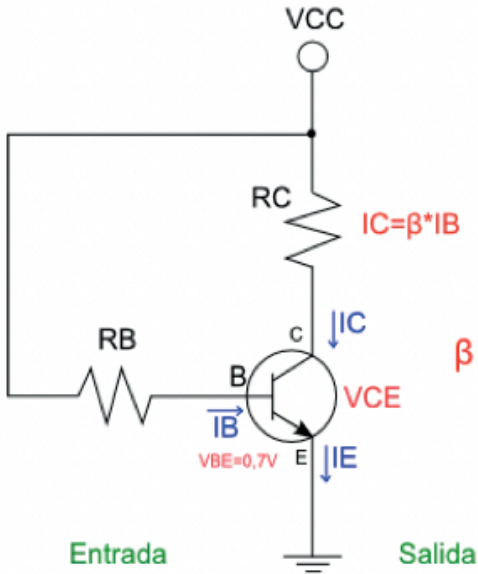
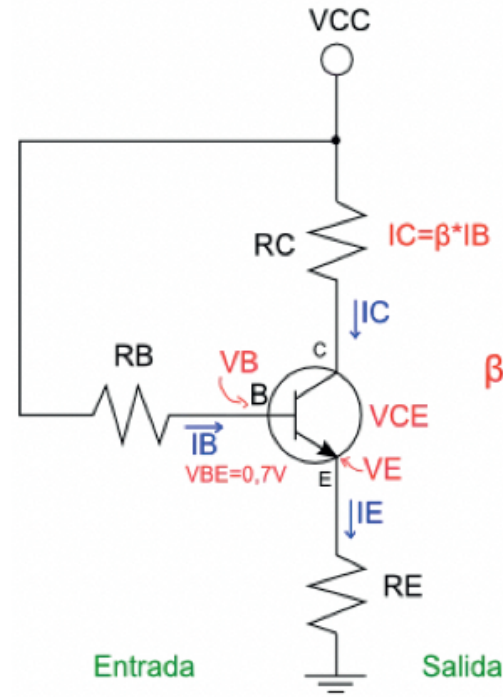
PUNTO DE OPERACIÓN

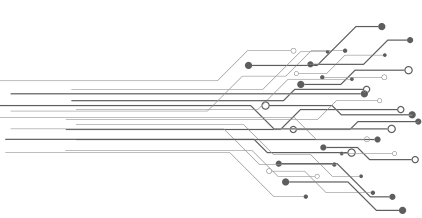
Para determinar el punto de operación o punto Q, se hace lo siguiente: polarizar el circuito, a partir de la malla de entrada se puede calcular la corriente de base del transistor (I_{BQ}), de la malla de salida se obtiene la ecuación de la recta de carga, esta recta de carga se traza sobre la curva característica de salida, donde se intercepten la recta de carga con la curva correspondiente de la corriente de base del transistor (I_{BQ}) será el punto de operación del transistor, para conocer el valor de la corriente de colector en el punto Q se traza a partir del punto de intercepción una paralela al eje de las x que representa el voltaje de colector emisor (V_{CE}) donde corta al eje y que representa la corriente del colector (I_C) ese será el valor de la corriente del colector del transistor, para conocer el valor de la tensión colector emisor en el punto Q se traza a partir del punto de intercepción una paralela al eje y donde corta está el eje V_{CE} será el valor de la tensión colector emisor del transistor como se muestra en la figura 95.

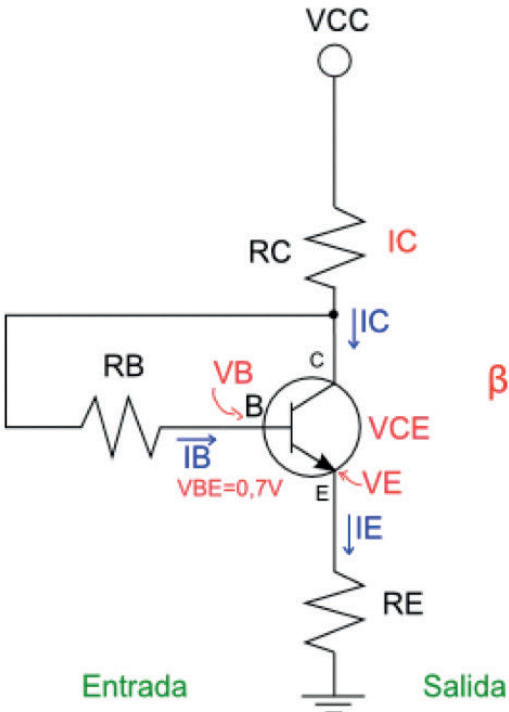
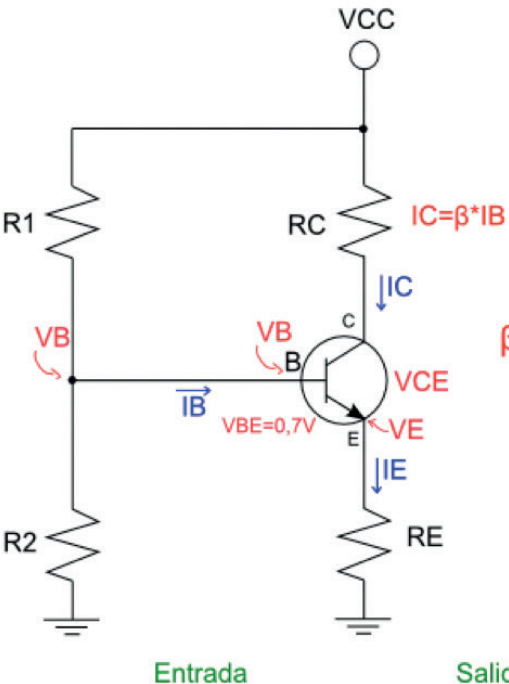
El punto Q se puede ubicar en cualquier lugar de la región activa, eso va a depender de lo que se quiera que haga el transistor, normalmente cuando se está estudiando se dice de polarizarlo en la parte media de la recta de carga, esto es así porque cuando se utiliza en transistor como amplificador de señal analógica se desea que la señal amplificada no se obtenga distorsionada.



POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR BJT.

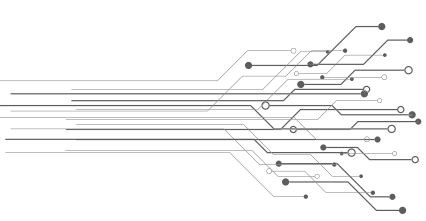
POLARIZACIÓN	CIRCUITOS	ECUACIONES
Fija		Entrada: $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B},$ $I_B = \beta \cdot I_C.$ Salida: $V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$ Factor de amplificación: >20 hasta 400, trabaja a bajas frecuencias, presenta una baja estabilidad del punto de operación respecto a la variación de la temperatura
Con resistencia en el emisor		Entrada: $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E},$ $I_C = \beta I_B$ $I_E = I_B + I_C.$ $I_E = I_B (1 + \beta)$ Salida: $V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$ Existe mayor estabilidad respecto a la variación de la temperatura



Retroalimentación de voltaje		Entrada: $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1 + \beta)(R_E + R_C)},$ $I_C = I_E$ Salida: $V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_E$
Divisor de tensión		Entrada: $I_{R1} \gg I_B$ $I_{R1} \approx I_{R2}$ $V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{CC} \quad \text{Ó}$ $V_B = V_{BE} + R_E I_E$ $I_E = \frac{V_B - 0,7}{R_E} = I_C$ Salida: $V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E$

10.4.5 TIRISTORES

Dispositivo semiconductor de tres terminales (ánodo, cátodo y compuerta), de cuatro capas (PNPN), cuyo funcionamiento se basa en la realimentación regenerativa de su estructura (circulación de una pequeña corriente eléctrica por el cátodo), estos dispositivos son biestables (dos



posiciones) y unidireccional; en el caso que la polarización sea inversa el elemento estará siempre bloqueado. En la figura 96 se muestra los símbolos, estructura y esquema equivalente con transistores.

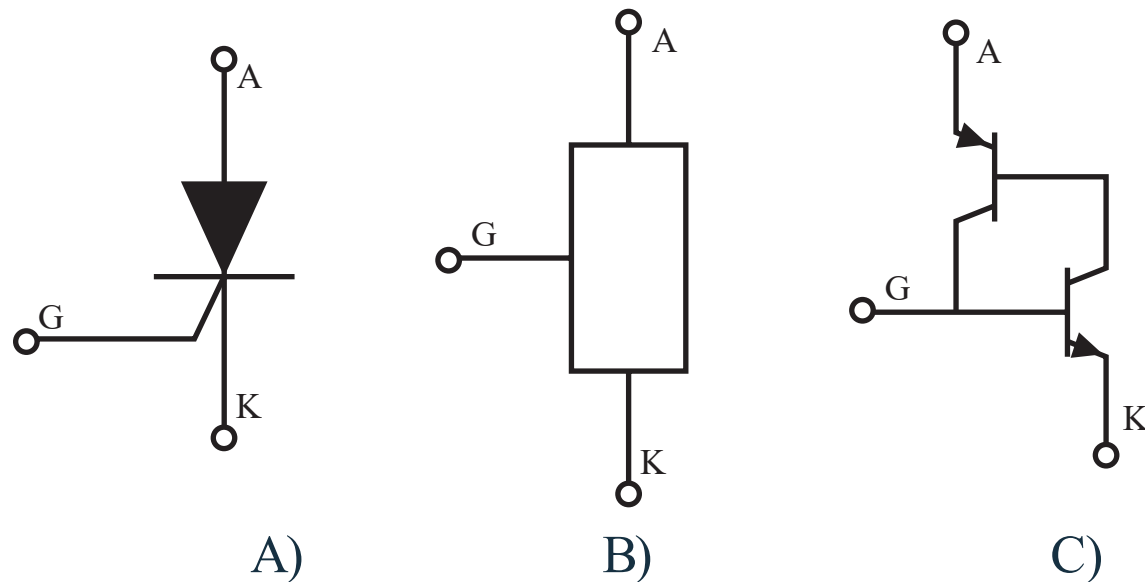


Figura 96 A) Símbolo, B) Estructura y C) Esquema equivalente

Es decir que las condiciones que deben cumplirse para su conducción o encendido son:

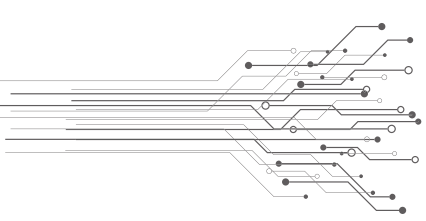
1. Tensión ánodo-cátodo positiva (polarización directa)
2. Un pulso de corta duración de corriente eléctrica entre compuerta y cátodo.

Esta se mantendrá en conducción hasta que:

1. Se invierta la tensión ánodo-cátodo (polarización inversa)
2. Se interrumpa la corriente a través de él.

CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DEL TIRISTOR

En la figura 97 muestra la curva estática del tiristor donde en



polarización inversa se comporta como un diodo semiconductor, bloqueando la tensión hasta que se alcanza la tensión inversa donde se tiene lugar la ruptura por avalancha, en polarización directa el tiristor también bloquea la tensión hasta llegar a la ruptura de conducción en voltaje de bloqueo directo. El tiristor estará conduciendo mientras la corriente a su través sea mayor que un valor llamado corriente de enganche, definida como la corriente mínima de ánodo que hace basculante al tiristor del estado de bloqueo al estado de conducción. Después, sus características son similares a las de un diodo semiconductor, permaneciendo el componente en conducción mientras la corriente del ánodo a cátodo no caiga por debajo de un valor denominado corriente de mantenimiento

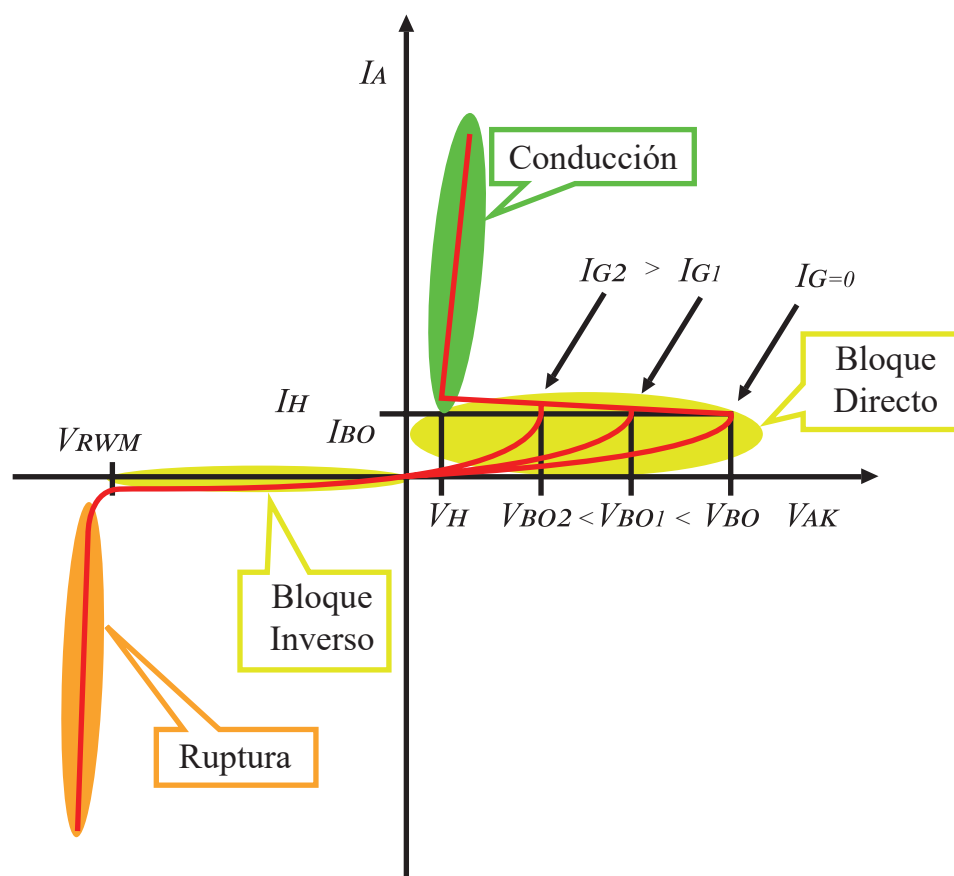
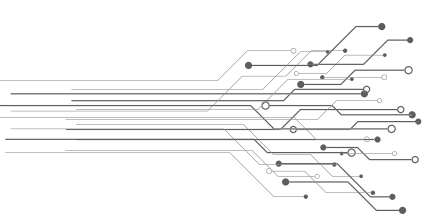


Figura 97 Característica estática del tiristor

Dependiendo de la tensión que se aplique entre ánodo y cátodo se puede distinguir tres zonas que dan lugar a los dos estados estables que posee el tiristor que son: bloqueo y conducción.



1.- $V_{ak} < 0$ (zona de bloqueo inverso). Dicha conducción corresponde al estado de no conducción en inversa, comportándose como un diodo.

2.- $V_{ak} > 0$ sin disparo (zona de bloqueo directo). El tiristor se comporta como un circuito abierto hasta alcanzar la tensión de ruptura directa.

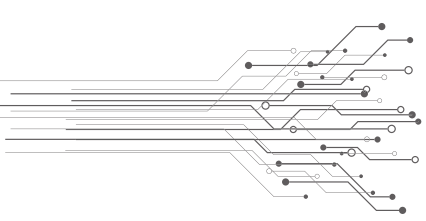
3.- $V_{ak} > 0$ con disparo (zona de conducción). Se comporta como un cortocircuito, si una vez se ha realizado el disparo, por el tiristor circula una corriente superior a la corriente de enclavamiento. Una vez en conducción, se mantendrá si el valor de la corriente ánodo – cátodo es superior a la corriente de mantenimiento.

Es muy importante que tal y como se ha comentado, si un tiristor está en polarización directa, la inyección de una corriente de compuerta al aplicar un voltaje positivo entre la compuerta y cátodo se activará al tiristor, conforme va aumentando la corriente de compuerta y se reduce el voltaje de bloqueo directo tal cual como se muestra en la figura 97, sin embargo una vez empieza a conducir, es fijado al estado de encendido, aunque la corriente de la compuerta desaparezca, no pudiendo ser cortado por pulso de la compuerta. Sólo cuando la corriente del ánodo tiende a ser negativa, o inferior a un valor umbral, por la influencia del circuito de potencia, se cortará el tiristor.

Dentro de las características más importantes del tiristor se encuentran

Tiempo de encendido: es el tiempo que transcurre desde que el dispositivo recibe el impulso por el gate hasta que el mismo comienza su conducción. Es muy pequeño.

Tiempo de apagado: es el tiempo que transcurre desde que el dispositivo se le invierte el voltaje ánodo-cátodo hasta que deje de circular la corriente y es un tiempo que varía entre las decenas y centenas de μs ,



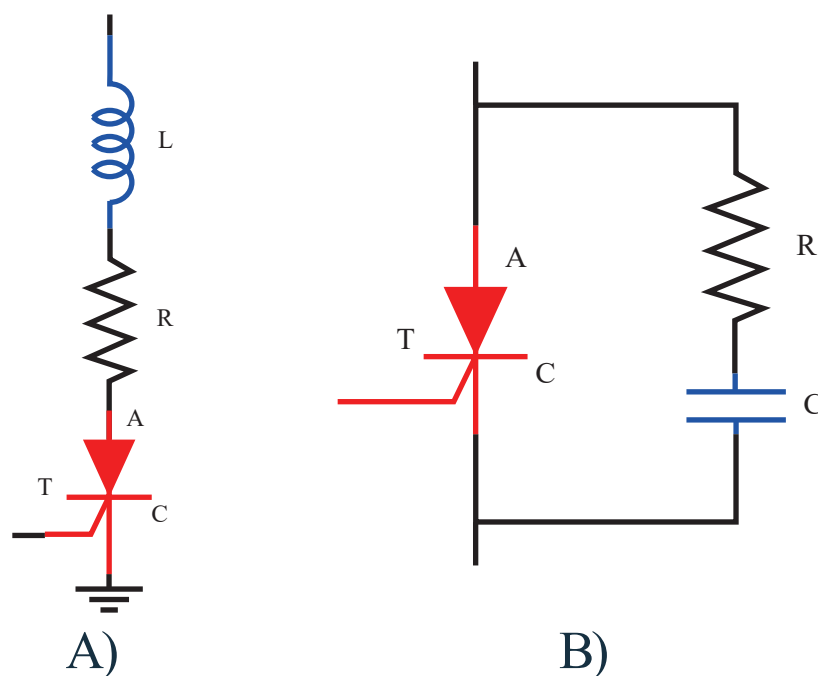
en dependencia de características específicas y de factores externos.

FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO DEL TIRISTOR.

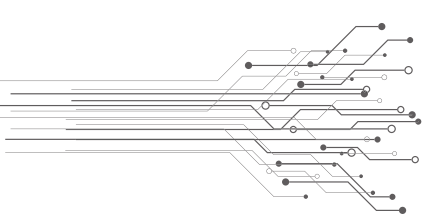
dv/dt : un sobrevoltaje que supere el valor para el cual está diseñado el dispositivo provocará disparos indeseados del mismo que influyen negativamente en el funcionamiento del circuito.

di/dt : este es más definido producto de que si la variación de la corriente (di/dt) es crítico esto provocaría una circulación de valores de corriente considerable por una pequeña sección transversal que destruirá al dispositivo por temperatura.

Para eliminar estos daños o fallas en los dispositivos se colocan redes de protección como se muestra en la figura 98.

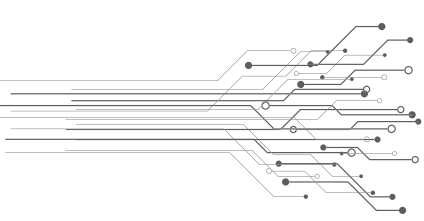


*Figura 98 Circuito de protección contra transitorios de
a) corriente, b) voltaje*



FORMAS DE ACTIVAR UN TIRISTOR.

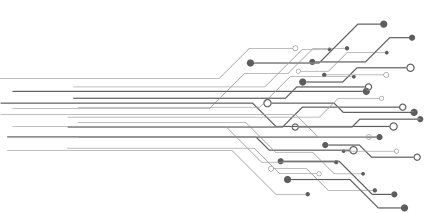
- **Luz.-** Si un haz de luz incide en las uniones de un tiristor, hasta llegar al mismo silicio, el número de pares electrón-hueco aumentará pudiéndose activar el tiristor.
- **Corriente de compuerta.-** Cuando el tiristor está polarizado directamente. La inyección de una corriente de compuerta al aplicar un voltaje positivo entre compuerta y cátodo lo activará. Si aumenta esta corriente de compuerta, disminuye el voltaje de bloqueo directo, revirtiendo en la activación del dispositivo.
- **Térmica.-** Una temperatura muy alta en el tiristor produce el aumento del número de pares electrón – hueco, por lo que aumentarán las corrientes de fuga, con lo cual al aumentar la diferencia entre ánodo y cátodo, y gracias a la acción regenerativa, esta corriente puede llegar a ser uno, y el tiristor puede activarse, este tipo de activación podría comprender una fuga térmica, normalmente cuando en un diseño se establece este método de activación, esta fuga tiende a evitarse.
- **Alto voltaje.-** si el voltaje directo desde el ánodo a cátodo es mayor que el voltaje de ruptura directo, se creará una corriente de fuga lo suficientemente grande para que se inicie la activación con retroalimentación. Normalmente este tipo de activación puede dañar el dispositivo, hasta el punto de destrucción.
- **Elevación del voltaje ánodo – cátodo.-** Si la velocidad en la variación de este voltaje es lo suficientemente alta, entonces la corriente de las uniones puede ser suficiente para activar al tiristor. Este método también puede dañar el dispositivo.



TIPOS DE TIRISTORES.

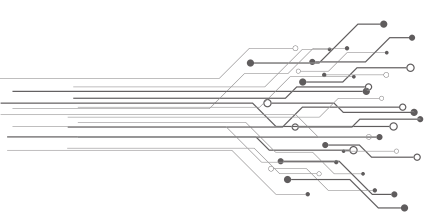
Dependiendo de la construcción física y del comportamiento de activación y desactivación, en general los tiristores pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- Tiristores de control de fase (SCR).
- Tiristores de conmutación rápida (SCR).
- Tiristores de desactivación por compuerta (GTO).
- Tiristores de triodo bidireccional (TRIAC).
- Tiristores de conducción inversa (RTC).
- Tiristores de inducción estática (SITH).
- Rectificadores controlados por silicio activados por luz (LASCR).
- Tiristores controlados por FET (FET-CTH).



NOMBRE	ANALISIS	CIRCUITO	V _L
Rectificador controlado de monofásicos media onda	$V_{in} > 0; V_{in} < 0$ $S_c (+); S_c (-)$ $T1 = PD; T1 = PI$ $V_o = V_{in}; V_o = 0 V$		
Rectificador controlado monofásicos onda completa	$V_{in} > 0; V_{in} < 0$ $S_c (+); S_c (-)$ $T1, T3 = PD; T2, T4 = PI$ $V_o = V_{in}; V_o = -V_{in}$		

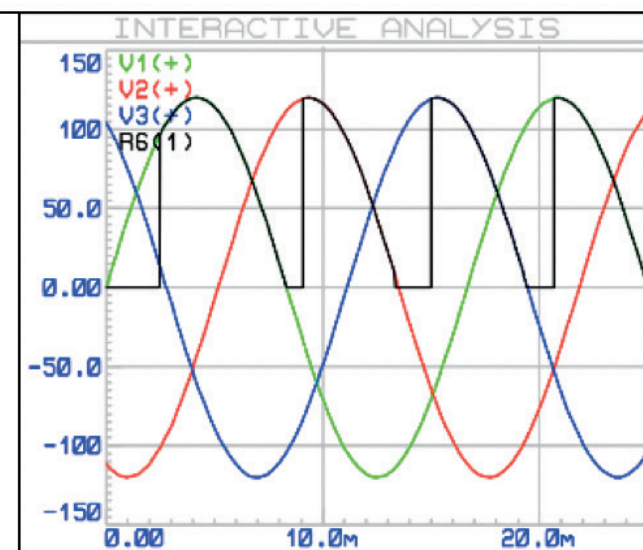
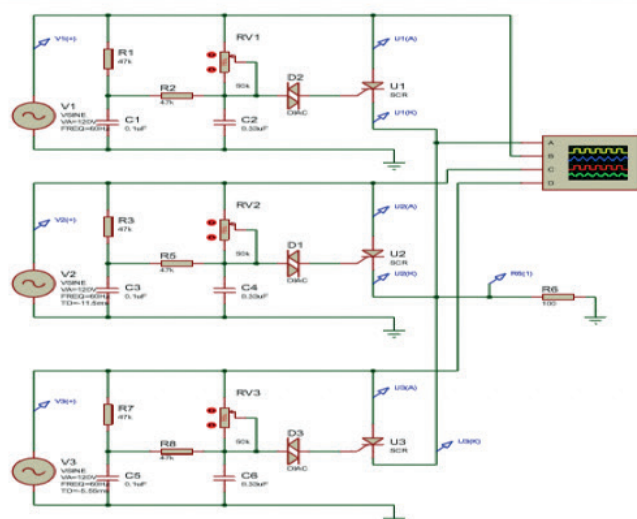


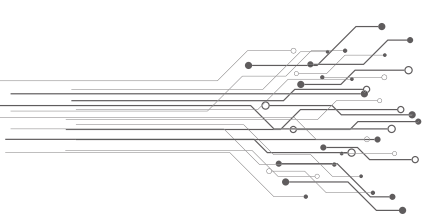


Rectificador controlado trifásico de media onda

Para la obtención de las ondas se relacionará entre las siguientes condiciones:

RS, ST, TR para los semiciclos positivos.
SR, TS, RT para los semiciclos negativos.

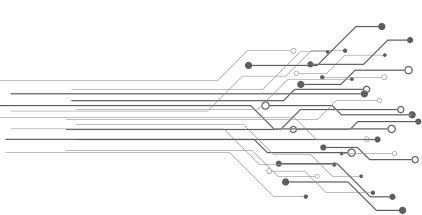




CAPÍTULO XI

FUENTES DE

ALIMENTACIÓN



Introducción:

El nombre de fuentes discretas viene dado por los componentes como diodo semiconductor, diodo zener y transistores, así como las resistencias y capacitores por las que están compuestas estas fuentes.

11.1 Diagrama en bloques de una fuente de alimentación discreta

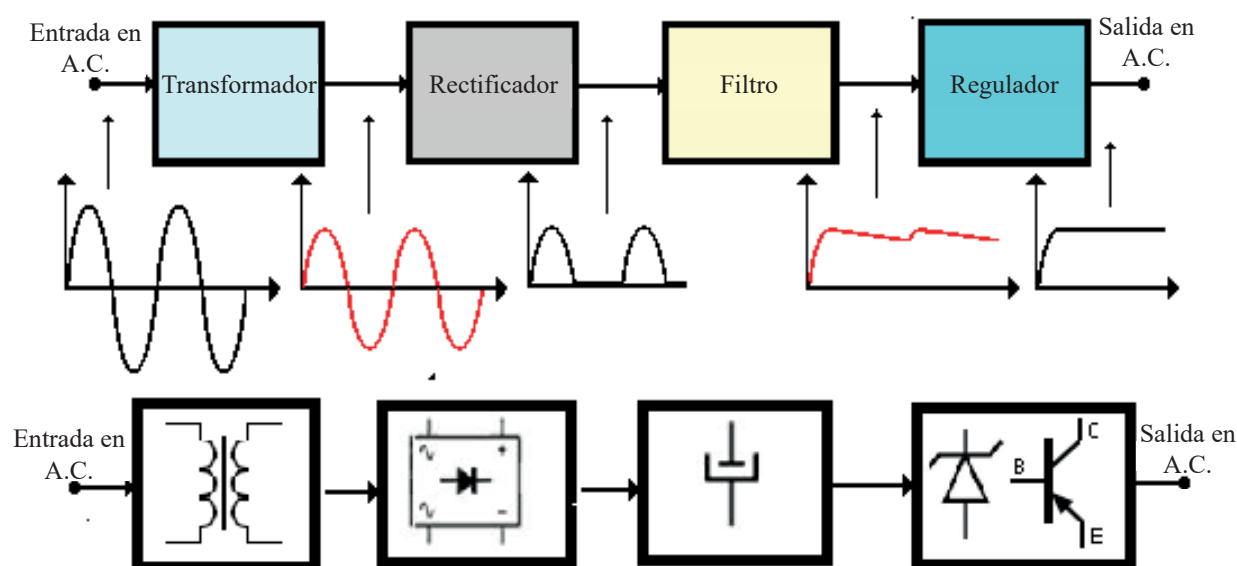


Figura 99 Diagrama de bloques

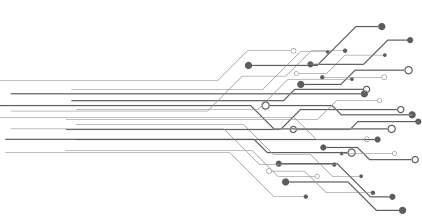
11.2 Función de cada bloque

EL TRANSFORMADOR: Tiene la función de servir de desacople eléctrico entre la RED eléctrica y el circuito de la fuente como tal y me da el voltaje necesario para el correcto funcionamiento del circuito.

RECTIFICADOR. Puede ser cualquiera de los estudiados. Rectificador monofásico de media onda no controlado, de onda completa controlado tipo tap y tipo puente, y su función es convertir la energía de corriente alterna en corriente directa pulsante.

FILTROS: Su función es convertir la corriente directa pulsante a la salida del rectificador en corriente directa no pulsante o menos pulsante.

ESTABILIZADOR: Es el encargado de mantener el voltaje de salida



constante independientemente de las variaciones del voltaje de entrada como de la que experimente la carga.

11.3 Elemento novedoso el filtro. Configuraciones más utilizadas

Filtro Capacitivo.- Es un circuito abierto para corriente directa en estado estable y un corto circuito para corriente alterna por lo que puede filtrar estos armónicos y obtener en la carga corriente directa, como se muestra en la figura 100.

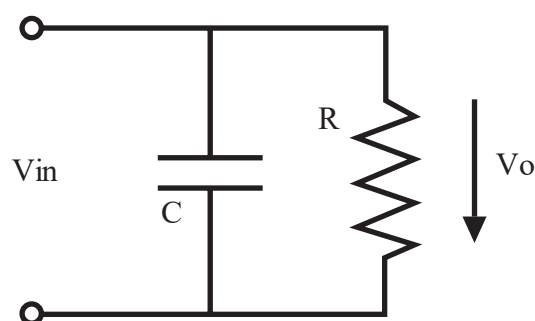


Figura 100 Filtro Capacitivo

Filtro Inductivo.- Reduce las ondas de corriente usando una bobina. Se usa un inductor como el elemento serie que se opone al cambio de corriente creando una fuerza contra electromotriz. El resultado es que la onda de corriente se reduce en forma acción del filtro del capacitor, debido a que la fuerza contra electromotriz del inductor tiende a cancelar los efectos del rizo de voltaje, como se muestra en la figura 101.

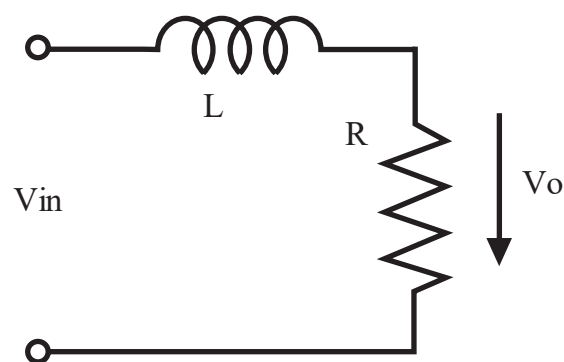
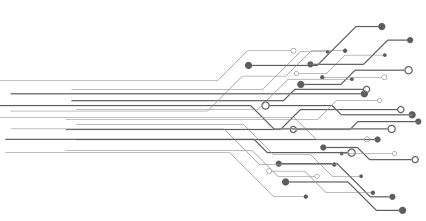


Figura 101 Filtro inductivo



Filtro LC.

Como se muestra en la figura 102 se denomina choque inductivo. Cuando a la entrada de un filtro se agrega una bobina, se obtiene una reducción adicional en el voltaje de rizo. La bobina tiene una reactancia alta a la frecuencia del rizo y la reactancia capacitiva en comparación con X_L y R_L . Las dos reactancias forman un divisor de voltaje de corriente alterna, que tiende a reducir significativamente el rizo en comparación con el filtro con capacitor a la entrada solamente.

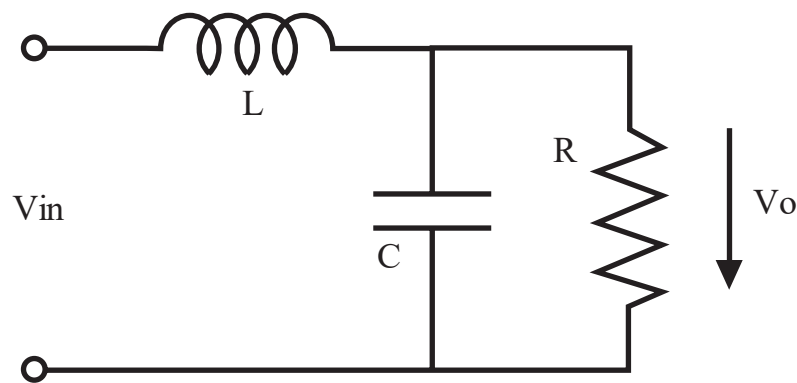


Figura 102 Filtro LC

La magnitud del voltaje del rizo que proviene del filtro se determina mediante la ecuación del divisor de voltaje.

$$V_{o/sal} = \frac{X_C}{X_L + X_C} * V_{in}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_L = 2\pi fL$$

Filtro π .- como se muestra en la figura 103 el circuito del filtro π también denominado como filtro con capacitor a la entrada, mismo que se puede concebirse como un filtro con capacitor a la entrada seguido de un filtro LC.

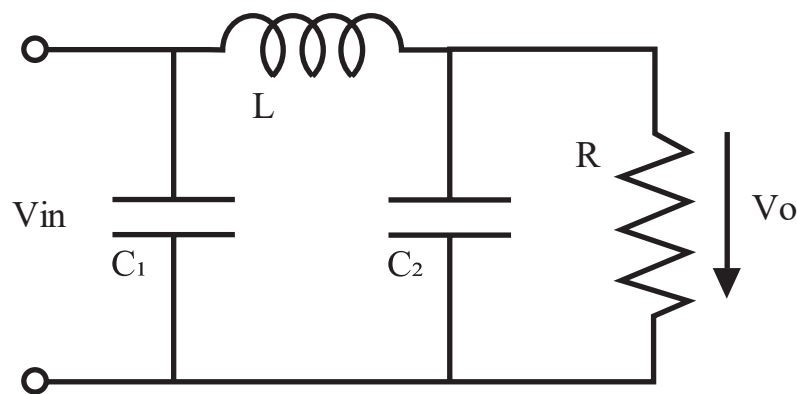
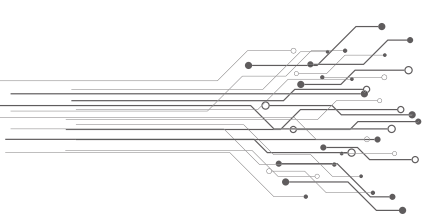


Figura 103 Filtro π

El C_1 se carga hasta el voltaje pico del voltaje de entrada y se descarga lentamente a través de la carga durante la porción restante del ciclo de entrada. La acción opositora del inductor tiende a mantener la variación de descarga en un mínimo, lo cual da por resultado una cantidad de rizo relativamente pequeño en la salida. C_2 también ayuda a mantener constante el voltaje de salida.

Filtro tipo T.- Como se muestra en la figura 104 el circuito tipo T, también denominado filtro con inductor a la entrada, es esencialmente un filtro LC seguidor por un inductor.

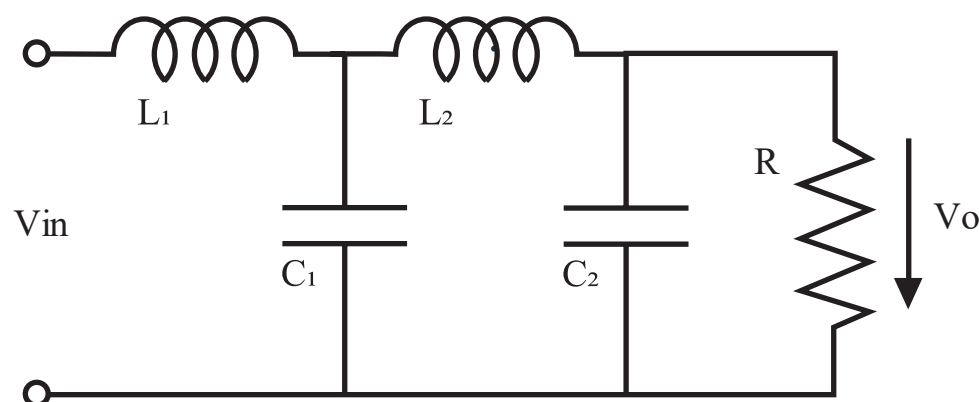
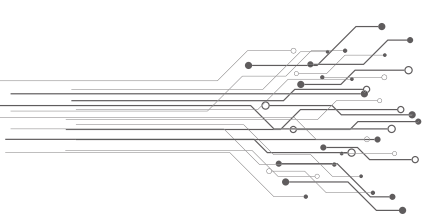


Figura 104 Filtro T

En este filtro la caída de voltaje a través de la reactancia reduce el voltaje de salida bastante por debajo del rizo de entrada. Sin embargo, la acción de suavizamiento de L_1 y L_2 tiende a proporcionar una salida con menor



rizo que el filtro π . En general el filtro tipo T proporciona menos voltaje de salida para un voltaje de entrada dado que el filtro π , aunque proporciona mejor reducción del rizo.

Estabilizadores de tensión, configuraciones más utilizadas

Con diodo Zener.- Como se muestra en la figura 105. Está compuesta por un diodo Zener, mismo que regula el voltaje de salida de acuerdo al voltaje del Zener, dicho funcionamiento fue analizado en el apartado anterior.

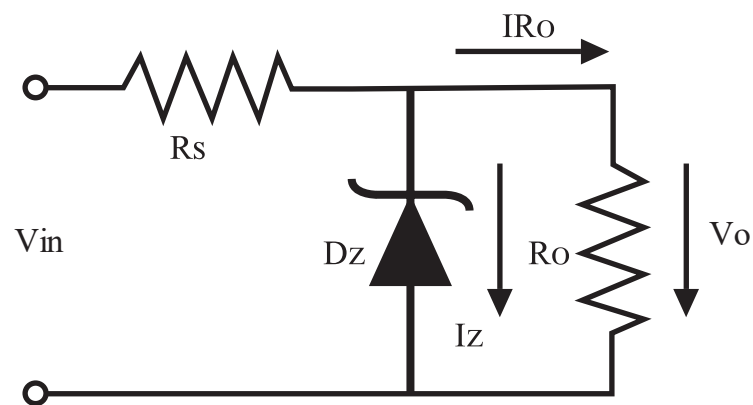


Figura 105 Regulador de voltaje

Para cuando aumente el voltaje de entrada, el voltaje de salida aumenta donde:

$$V_{in} - VR_s - V_o = 0. \text{ Despejando;} \\ V_o = V_{in} - VR_s$$

Estabilizador seguidor de Emisor. – ver figura 105.

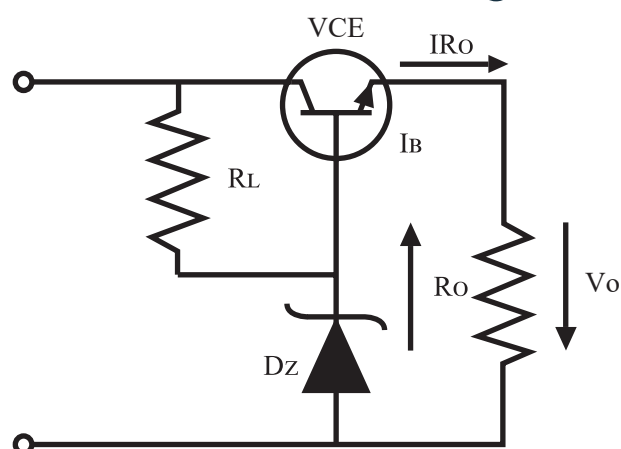
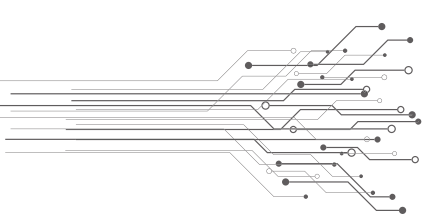


Figura 106 Estabilizador seguidor de emisor



Para cuando aumente el voltaje de entrada, el voltaje de salida aumenta donde:

$V_{in} - V_{CE} - V_o = 0$. Despejando;

$$V_o = V_{in} - V_{CE}$$

Si aumentamos el voltaje de entrada (V_{in}), el voltaje de salida (V_o) tiende a aumentar, pero disminuye el V_{BE} y por consiguiente la corriente de base (I_B), disminuye la corriente del colector (I_C) y el voltaje colector emisor (V_{CE}) aumenta, compensando el aumento inicial del voltaje de salida.

Estabilizador con seguidor de emisor y detector de error. Ver figura 106.

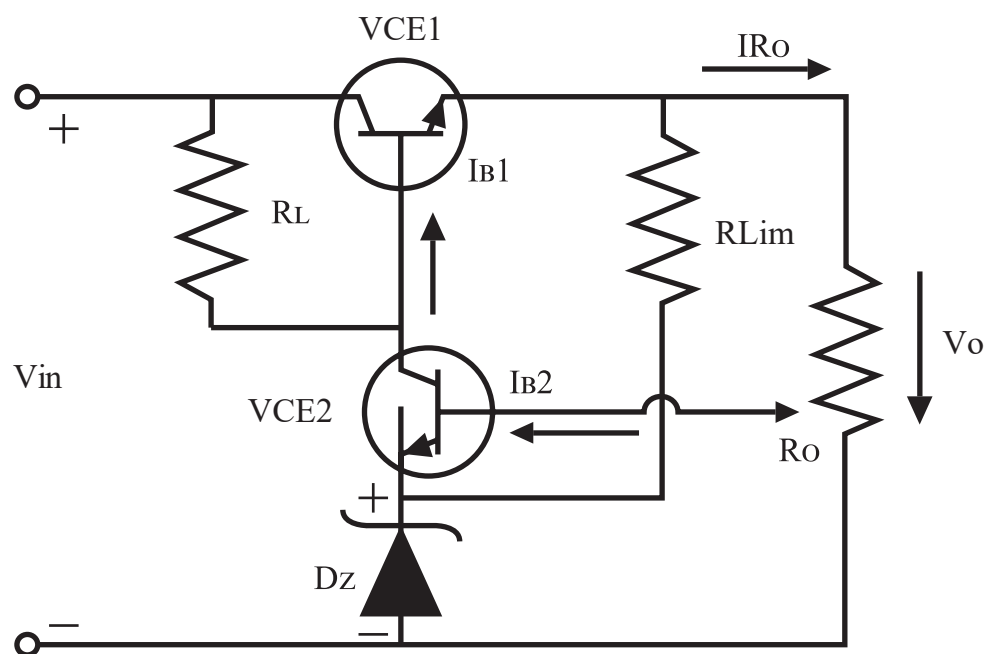
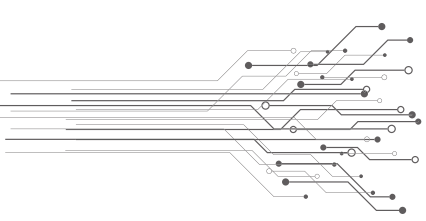


Figura 107 Estabilizador con seguidor de emisor y detector de error

$V_{in} - V_{CE1} - V_o = 0$. Despejando;

$$V_o = V_{in} - V_{CE1}$$

Si aumenta el voltaje de entrada tiende a aumentar el voltaje de salida y aumenta la fracción del βV_o , aumenta la corriente de base dos (I_{B2}) porque aumenta el voltaje base emisor uno (V_{BE2}), aumenta la corriente



del colector dos (I_{C2}) y disminuye la corriente de base (I_{B1}), aumentando el voltaje colector emisor (V_{CE1}) y manteniendo el voltaje de salida constante.

Preguntas de control:

Diga el esquema en bloques de las fuentes reguladas y la función de cada una de ellas?

Mencione las configuraciones más utilizadas y diferencias entre ellos?

Fuentes reguladas integradas

Hasta ahora, nosotros hemos estudiado las fuentes reguladas con circuitos a transistores, diodo tener y elementos positivos.

En la actualidad, las modernas tecnologías han puesto a punto toda una serie de prácticas y fiables dispositivos que proporcionan alimentaciones altamente estabilizadas con una sencillez del circuito inigualable.

Una de las más difundidas son los reguladores de 3 terminales de la familia 78xx. En ella el número 78 significa el dispositivo es un estabilizador, mientras que las letras xx identifican el valor estabilizado de salida que el dispositivo proporciona, por ej.:

7805 - 5V estabilizado

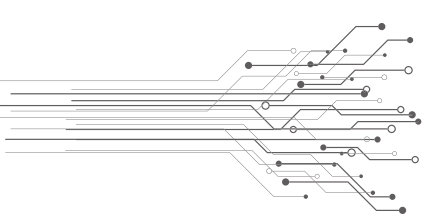
7812 - 12V estabilizado

El valor de la corriente máxima ($I_{m\acute{a}x}$) que soporta el dispositivo es también identificado.

Por ej.: cuando no tiene indicación $I_{m\acute{a}x} = 1A$

Si es 78M05 valor medio, o sea, $I_{m\acute{a}x} = 0,5A$

Si es 78L05 valor medio, o sea, $I_{m\acute{a}x} = 0,1A$



Todo esto permite seleccionar adecuadamente el regulador para una aplicación determinada.

Existen también dispositivos con valores de voltaje de salida negativos como la familia 79xx y 75xx.

Estos elementos tienen ventajas evidentes sobre las estudiadas anteriormente y estas pueden resumirse en:

Límite de corriente interna.

Encapsulado facilita el montaje.

Flexibilidad para el diseño.

Protección térmica.

Su configuración eléctrica es la mostrada en la figura 108.

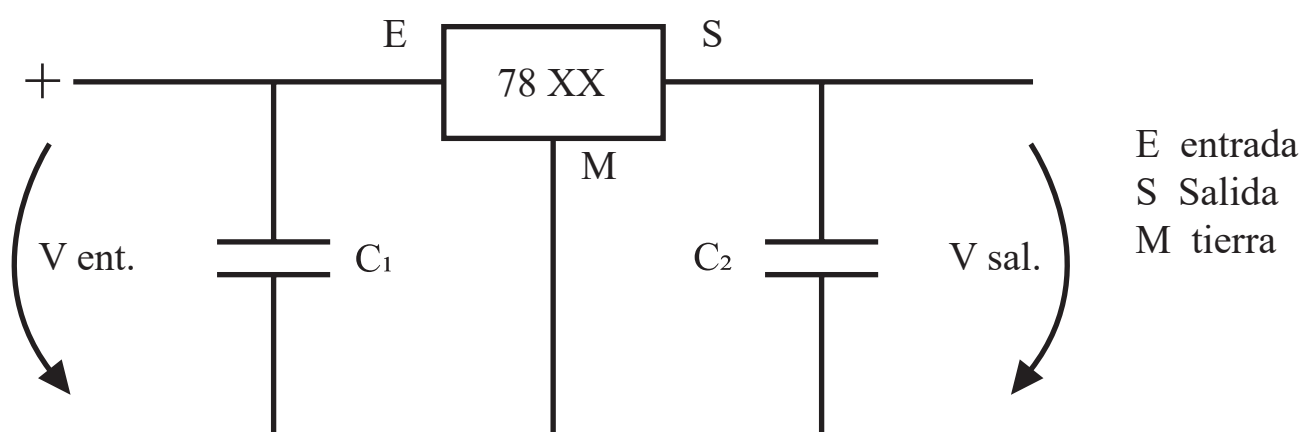
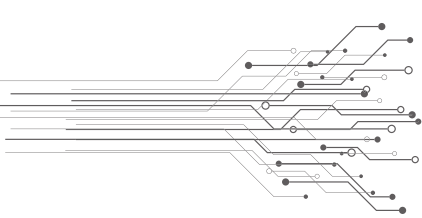


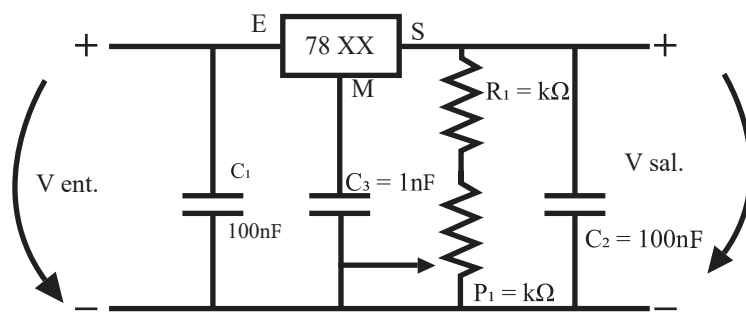
Figura 108 Configuración eléctrica

Los condensadores C_1 y C_2 se colocan en función de las dimensiones de los cables, etc. y con ellas se logra eliminar las oscilaciones que hacen más confiable y estabilizada la magnitud de salida, además de proteger al dispositivo. El valor de estos condensadores es de 100 nF, cuando los conductores de la entrada son cortos, y de 300 nF si son largos.

Los valores mínimos y máximos con que se debe alimentar el circuito integrado (V_{ent}) son indicados por el fabricante en los datos de catálogo.



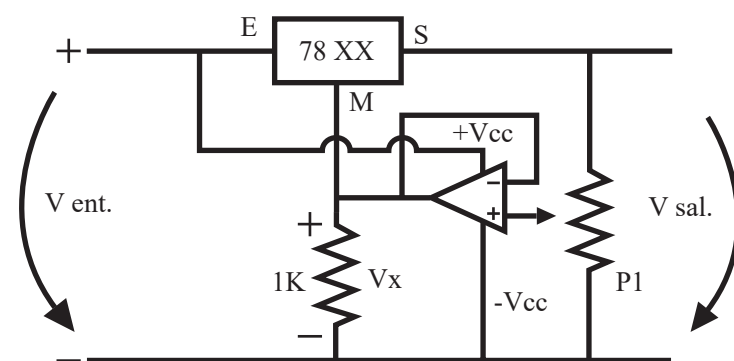
Existen diferentes esquemas típicos de utilización de estos dispositivos que demuestran en flexibilidad y los hacen más utilizados cada día. En la figura 109 se muestra cómo podría variarse el voltaje de salida estabilizado.



El voltaje de salida variable por encima del valor estabilizado del regulador. Se logra variar el V_{sal} introduciendo, una caída de tensión con un potenciómetro en serie con el regulador. Se pierde precisión en la estabilización.

Figura 109 Valor estabilizado del regulador

Otro esquema sería el mostrado en la figura 110. Que también se utiliza para variar el V_{sal} estabilizado, pero con una mejor precisión en la estabilización.



El operacional trabaja como seguidor de voltaje, simplemente “pasa” la caída de voltaje en P1 hacia M, lográndose el mismo efecto anterior, pero el operacional utilizado como desacoplador de impedancia ($R_i = \infty$) mejorando la regulación.

Figura 110 Operacional trabaja como seguidor de voltaje, simplemente

En la figura 111 se muestra un circuito empleado para obtener voltajes de salida superior al del dispositivo a partir de la suma de este con el del elemento empleado.

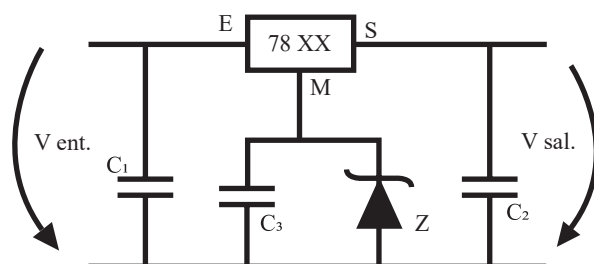
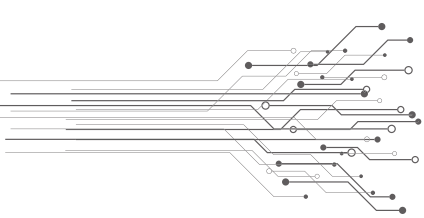


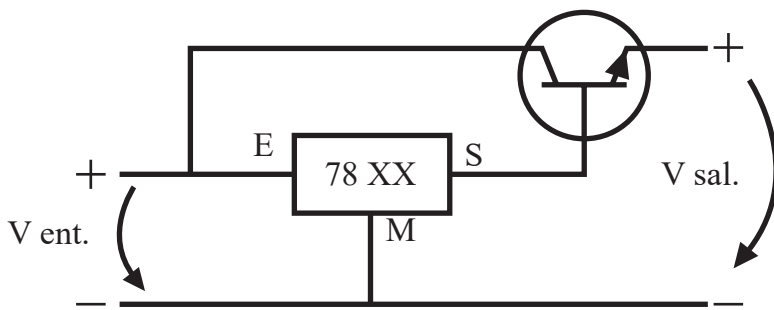
Figura 111 Circuito con Zener

Ej.: 7805 y tener de 3,3V
 $V_{sal} = 5 + 3,3 = 8,3V$

$C_1 = 100nF = C_2$
 $C_3 = 1mF$



Por último, veremos en el esquema de la figura 112 un circuito que se emplea para aumentar la capacidad de corriente estabilizada al dispositivo.



En este esquema el transistor T1 se conecta en Darlington con el interno del dispositivo aumentando β la I del regulador. T1 trabaja en zona activa.

Figura 112 Esquema el transistor T1

Como habrán podido observar, todos estos reguladores son series, y aunque tienen ventajas sobre las fuentes discretas anteriormente dicho, todavía presentan el problema de las pérdidas (transistores trabajando en zona activa o en resistencias limitadoras en diodos tener, etc.).

Para eliminar este problema se construyen las fuentes reguladas conmutadas, lográndose una mayor eficiencia.

11.4 Fuentes reguladas conmutadas

Estas fuentes consisten en trabajar el transistor en régimen de conmutación (corte-saturación) a una frecuencia elevada y cuyo esquema eléctrico se muestra en la figura 113.

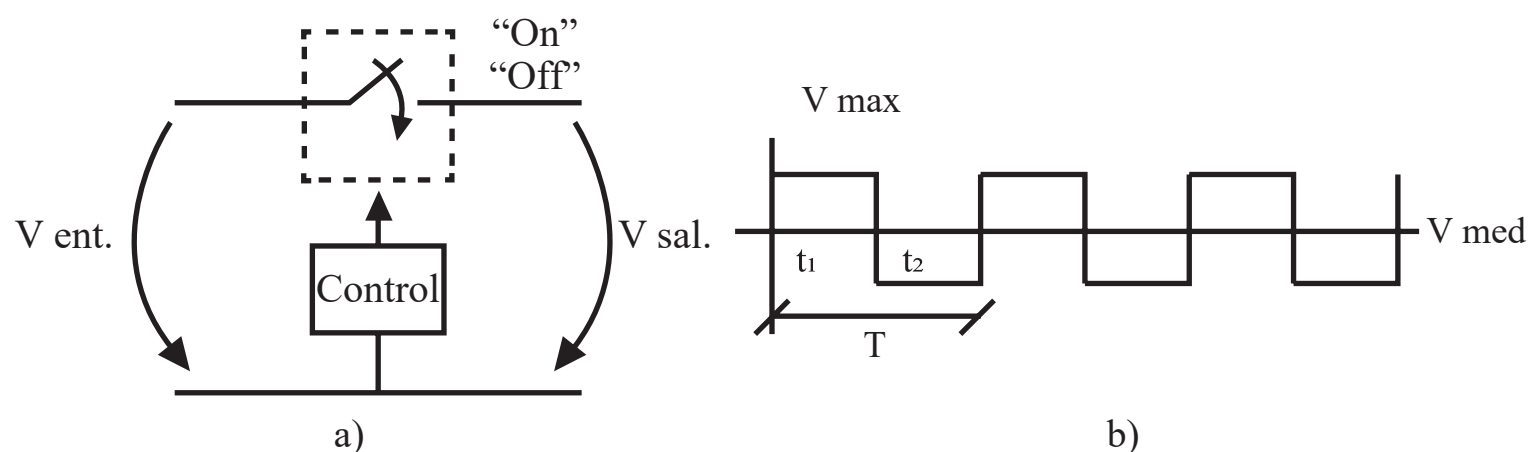
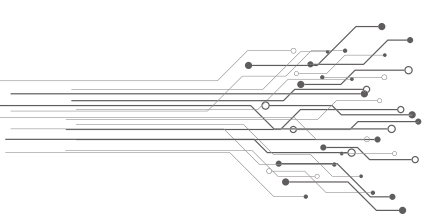


Figura 113 a) Esquema de conmutación b) forma de onda



$$V_{\text{sal}} = V_{\text{med}} = V_{\text{máx}} \frac{t_1}{T}$$

T = periodo

t_1 = “on

t_2 = “off”

El cierre del interruptor coincide con el estado de saturación de un transistor y la apertura con el corte, provocando que la onda a la salida sea como se muestra en la figura 113 b.

Si el voltaje máximo ($V_{\text{máx}}$) disminuye el voltaje medio (V_{med}) tendería a disminuir, pero variando t_1 , o sea, la relación $J \uparrow$ mantendría constante el V_{med} .

Un dato curioso es que como el transistor trabaja en corte y saturación, cuando el $V_{\text{CE}} \uparrow$ la $I_{\text{c}} \downarrow$ (corte) y cuando el $V_{\text{CE}} \downarrow$ la $I_{\text{c}} \uparrow$ (saturación) disminuyéndose las pérdidas, siendo más eficiente el circuito que los anteriores.

11.5 Ventajas de las fuentes conmutadas

Alta eficiencia: No hay pérdidas considerables en el transistor.

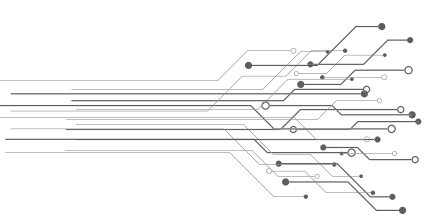
Poco peso y pequeño volumen: frecuencia de trabajo en el orden de los 20 kHz que disminuye los valores de las componentes a utilizar.

Posibilidad de regulación en una amplia gama de voltajes (variando J en forma apropiada).

Se utilizan, fundamentalmente, en circuitos de alta potencia de salida.

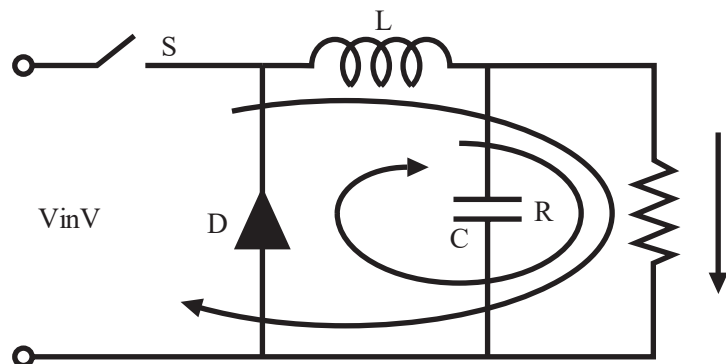
Existen 2 tipos fundamentales de fuentes conmutadas:

Regulador serie conmutado.



Regulador inverso (fly back).

Regulador serie conmutado.



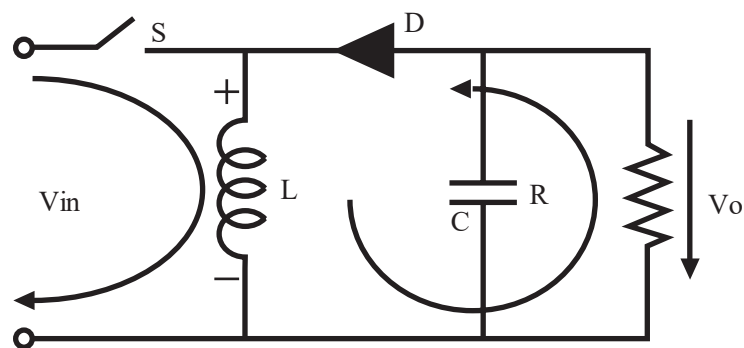
Cuando S se cierra la corriente circula como se muestra en la figura 114, y en L se almacena energía con la polaridad mostrada. Cuando S se abre la inductancia se opone al cambio brusco de la I y toma la polaridad invertida (I), circulando la I a través del diodo.

Figura 114 Regulador serie conmutado

La I por la carga y por ende el voltaje en la carga, se mantienen hasta que S vuelva a cerrarse.

Este tipo de fuente se utiliza en convertidores reductores de tensión, en instrumentos compactos, equipos portátiles (robot), relojes digitales, etc.

Reguladores inversores (fly back)

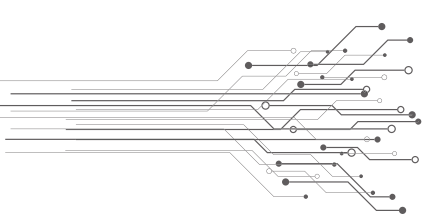


Cuando S se cierra la corriente circula como se muestra en la figura 115, y en L se almacena energía con la polaridad mostrada. Cuando S se abre la polaridad en L se invierte (x) y la I circula como se muestra.

Figura 115 Reguladores inversores (fly back).

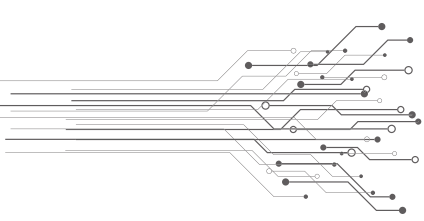
Se observa que la polaridad, con la carga del voltaje es inversa al de entrada, de ahí su nombre.

Este tipo de fuente se utiliza en aplicaciones de baja y media potencia (fuente de computadoras).



En ambos casos L y C conforman el filtro que se utiliza para “limpiar” la onda de salida de las fuentes.

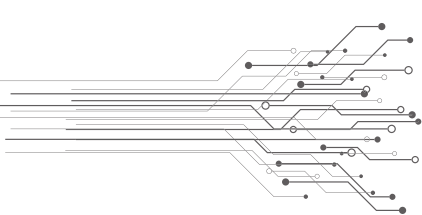
Estos casos que hemos visto son asimétricos, o sea, $t_1 \neq t_2$, pero existen circuitos que trabajan el transistor en régimen de conmutación y simétrico $t_1 = t_2$, con la utilización de circuitos integrados como la B260 y la 4040, este tipo de configuración se utiliza en aplicaciones de alta potencia como: aeronáutica, líneas de producción complejas (COPEXTEL) y debemos decir que es la tendencia actual de utilización.



CAPÍTULO XII

SISTEMAS

DIGITALES



Introducción:

Los sistemas digitales son aquellos que solo asumen dos niveles discretos de Voltaje a uno de los cuales se le asigna el símbolo “1” mientras que el otro se representa por “0”.

Las operaciones que puede realizar son pocas y relativamente sencillas, pero pueden repetirse un sinnúmero de veces y llegar a alcanzar un circuito de gran complejidad como las microcomputadoras.

Generalmente el propósito de un sistema digital es manipular información, esta información, puede ser números o letras en una computadora, imágenes en la pantalla de un juego de video, ondas sonoras en un receptor de CD, el control de válvulas y motores en una lavadora de ropa, o cualquier otra tarea.

Dentro del sistema toda esta información está con señales digitales. Esto es, consiste en bits, lo que es lo mismo “ceros” y “unos”. Para operar un sistema digital, primero se toma información del exterior. Esta función se llama entrada, como es el caso de una persona poniendo información en una computadora o calculadora mediante el presionado de teclas.

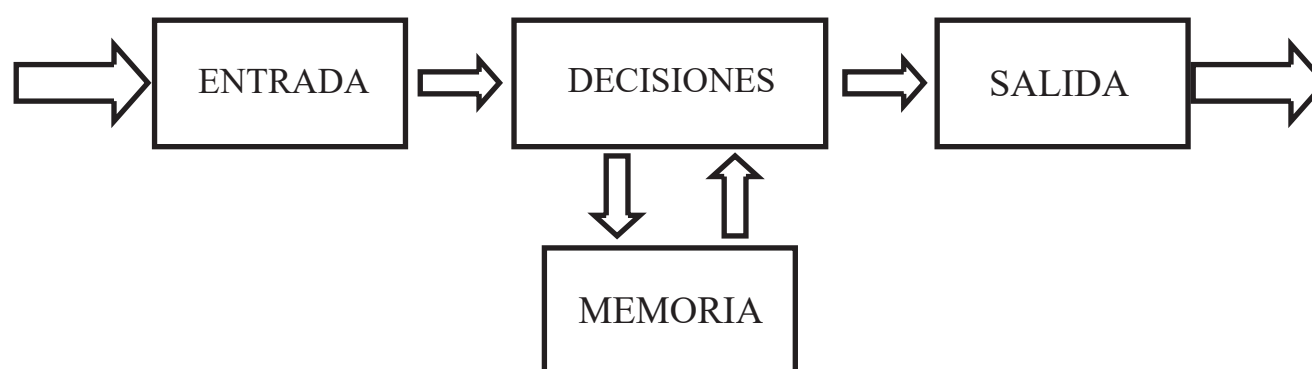
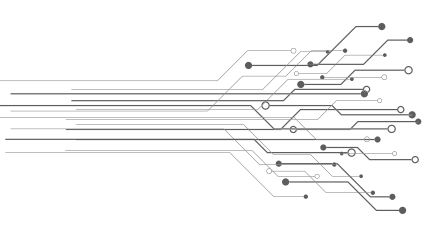


Figura 116. Sistemas digitales

Una vez traducida esta entrada a señales digitales, el sistema la usa para crear cierta nueva información llamada datos procesados. Estos datos procesados son la base que le permite al sistema tomar decisiones, como



en el caso cuando una máquina lavadora debe abrir o cerrar las válvulas de llenado del tambor, encender y apagar el motor de agitación etc. Para ayudar a tomar decisiones, la mayoría de los sistemas digitales almacenan cierta cantidad de información para entonces usarla después. Esta función se llama memoria. En la memoria la información se guarda como 0 y 1 tal como se escribiera en un trozo de papel para no olvidarla, y. se localiza en lugares específicos para luego tomarla de ahí. Finalmente, el sistema hace uso del resultado de sus decisiones para hacer una operación en el exterior. Esta función se llama salida y en general se traduce en una señal utilizable por algún dispositivo externo.

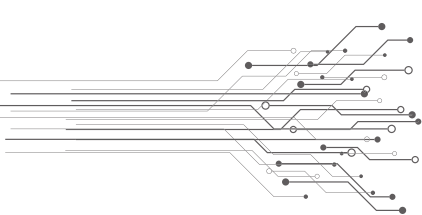
Como, por ejemplo, escribir caracteres o construir imágenes en la pantalla de un monitor.

En realidad, casi cualquier cosa que pueda llamarse sistema hace uso de esas cuatro funciones: entrada, decisiones, memoria y salida. El propio cuerpo humano lo hace, por ejemplo. Los ojos ven algo (entrada), el cerebro lo procesa y memoriza, y los músculos finalmente realizan la acción (salida).

12.1 Sistemas numéricos

El sistema numérico decimal, como sabemos todos muy bien, es de base 10 y tiene diez dígitos, del 0 al 9. El valor de cualquier número expresado en este sistema es igual a la suma de los términos que resulten de multiplicar cada uno de los dígitos que constituyen el número en cuestión por la potencia de 10 que corresponda según la posición que ocupe dicho dígito dentro del número.

El sistema numérico binario tiene base 2 y posee dos dígitos, el 0 y el 1. Por consiguiente, el valor de cualquier número expresado en el sistema numérico binario es igual a la suma de los términos que resulten de multiplicar cada uno de los dígitos que constituyen el número en cuestión



por la potencia de 2 que corresponda según la posición que ocupe dicho dígito dentro del número.

Por último, el sistema numérico hexadecimal tiene base 16 y posee 16 dígitos, los primeros diez dígitos de este sistema coinciden con los del sistema numérico decimal y los restantes seis dígitos se toman como las seis primeras letras (mayúsculas) del alfabeto: A, B, C, D, E, F. Al igual que en los dos casos anteriores, el valor de cualquier número expresado en el sistema numérico hexadecimal es igual a la suma de los términos que resulten de multiplicar cada uno de los dígitos que constituyen el número en cuestión por la potencia de 16 que corresponda según la posición que ocupe dicho dígito dentro del número.

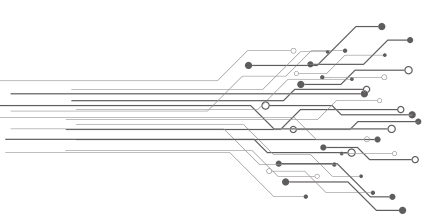
Ejemplo 1:

Para comprender mejor todo lo anterior vamos a ilustrar lo dicho con un número expresado en cada uno de los tres sistemas numéricos mencionados. Tomemos el número 154, escrito en el sistema numérico decimal.

$$\begin{aligned} 154 &= 1(10^2) + 5(10^1) + 4(10^0) \\ &= 1(100) + 5(10) + 4(1) \\ &= 100 + 50 + 4 \\ &= 154 \end{aligned}$$

Este mismo número en el sistema binario se representa por la cadena de 8 bits 10011010

$$\begin{aligned} 10011010 &= 1(2^7) + 0(2^6) + 0(2^5) + 1(2^4) + 1(2^3) + 0(2^2) + 1(2^1) + 0(2^0) \\ &= 1(128) + 0(64) + 0(32) + 1(16) + 1(8) + 0(4) + 1(2) + 0(1) \\ &= 128 + 0 + 0 + 16 + 8 + 0 + 2 + 0 \\ &= 154 \end{aligned}$$



En el sistema numérico hexadecimal se escribe como 9A

$$\begin{aligned} 9A &= 9(16*1) + A (16 *0) \\ &= 9(16) + 10(1) \\ &= 144 + 10 \\ &= 154 \end{aligned}$$

Por lo tanto, $154 = 10011010b = 9Ah$ (La b y la h significa que el número está expresado en el sistema binario y en el hexadecimal, respectivamente). Como se ve, la cadena de dígitos necesaria para representar un número aumenta al disminuir la base del sistema. La ventaja del sistema binario consiste en que el valor de sus dígitos (llamados frecuentemente bits) coincide con los valores de 1 y 0 que se utilizan en la Electrónica Digital para caracterizar los niveles alto y bajo de las señales con que operan normalmente los circuitos lógicos. Su inconveniente, además de no ser tan familiar como el sistema decimal, es que los números requieren cadenas muy largas para representarlos. Para resolver esta última desventaja y a la vez conservar su ventaja, se puede utilizar un sistema numérico cuya base sea mayor que 2 pero que sea una potencia de ese número. La base que resulta más conveniente es $2*4$, o sea 16, que es precisamente la base del sistema numérico hexadecimal.

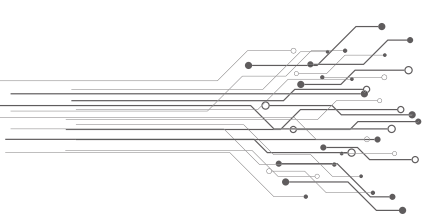
12.2 Conversiones entre sistemas numéricos

Un número binario x puede convertirse en decimal efectuando la suma de las potencias cuyo valor es uno.

Ejemplo 2:

$$\begin{aligned} (1010.011)_2 &= 1*2^3 + 0*2^2 + 1*2^1 + 0*2^0 + 0*2^{-1} + 1*2^{-2} + 1*2^{-3} \\ &= 8 + 0 + 2 + 0 + 0 + 0.25 + 0.125 = 10.375 \end{aligned}$$

Para los números expresados en base r podríamos efectuar su conversión a decimal multiplicando cada coeficiente por la potencia correspondiente



de r y sumando.

Ejemplo 3:

$$(630.4)_8 = 6 \cdot 8^2 + 3 \cdot 8^1 + 0 \cdot 8^0 + 4 \cdot 8^{-1} \\ = 384 + 24 + 0.5 = 408.5$$

Cuando deseamos efectuar la conversión de decimal a binario o a cualquier otro sistema con base r es más conveniente si el número se separa en parte entera y en una parte fraccionaria, y la conversión de cada parte se efectúa por separado:

Ejemplo 4:

Convertir el número $(41)_{10}$ a binario

41	1	LSB
20	0	
10	0	
5	1	
2	0	
1	1	MSB

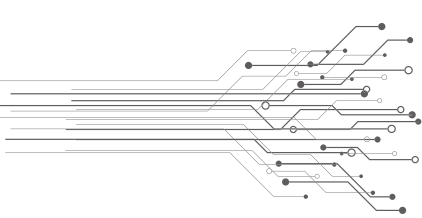
$$(41)_{10} = (101001)_2$$

Para convertir cualquier entero decimal en cualquier sistema de base r la división se hace entre r en lugar de 2.

Ejemplo 5:

Convertir el número $(153)_{10}$ a base 8

153	1 LSB
198	3
2	2 MSB



$$(153)_{10} = (231)_8$$

Para convertir una fracción decimal a binario, el sistema que se sigue es similar al que utilizamos para los enteros, sin embargo, se usa la multiplicación en lugar de la división, y los enteros se acumulan en lugar de los residuos.

Ejemplo 6:

Convertir $(0.6875)_{10}$ a base 2

Entero	Fracción	Coficiente
0.6875	$*2 \ 1 \ 0.3750 \ a^{-1}$	$= 1$
0.3750	$*2 \ 0 \ 0.75a^{-2}$	$= 0$
0.75	$*2 \ 1 \ 0.5a^{-3}$	$= 1$
0.5	$*2 \ 1 \ 0.0a^{-4}$	$= 1$
$(0.6875)_{10} = (0.1011)_2$		

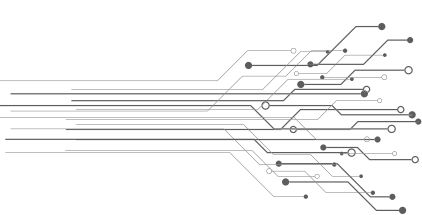
Cuando deseamos convertir una fracción decimal en número expresado en base r , el procedimiento es similar, la multiplicación se hace con r en lugar de 2 y los coeficientes se encuentran con los enteros.

Ejemplo 7:

Convertir $(0.513)_{10}$ a base 8

Entero	Fracción	Coficiente
0.513	$* \ 8 \ 4 \ 0.104 \ a^{-1}$	$= 4$
0.104	$* \ 8 \ 0 \ 0.832 \ a^{-2}$	$= 0$
0.832	$* \ 8 \ 6 \ 0.656 \ a^{-3}$	$= 6$
0.656	$* \ 8 \ 5 \ 0.248 \ a^{-4}$	$= 5$
0.248	$* \ 8 \ 1 \ 0.984 \ a^{-5}$	$= 1$
0.984	$* \ 8 \ 7 \ 0.872 \ a^{-6}$	$= 7$

Cuando deseamos hacer la conversión de un número decimal de una



parte entera y una parte fraccionaria la conversión se hace por separado y posteriormente se combinan las dos respuestas.

Ejemplo 8:

$$(41.6875)_{10} = (101001.1011)_2$$

12.2.1 Números octales y hexadecimales

Las conversiones entre código binario, octal y hexadecimal es muy importante en las comparaciones digitales, ya que cada dígito octal corresponde a tres dígitos binarios y a cada dígito hexadecimal corresponde cuatro dígitos binarios.

$$(10110001101011.111100000110)_2 \rightarrow (26153.7406)_8$$

Cuando deseamos convertir un número binario a hexadecimal, el proceso es similar excepto que el número binario se divide en grupos de 4.

$$(10110001101011.11110010)_2 \rightarrow (2C6B.F2)_{16}$$

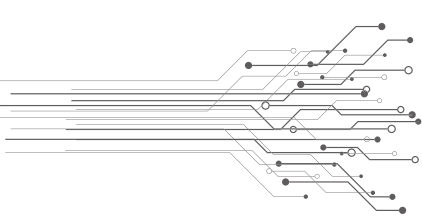
La conversión a hexadecimal en binario se realiza con un procedimiento inverso al anterior esto es; cada dígito octal se convierte en su equivalente binario de tres dígitos y cada dígito hexadecimal se convierte en su equivalente binario de cuatro dígitos.

12.3 Sistemas numéricos

12.3.1 Sistemas numéricos posicionales

En el sistema de números decimales se dice que la base o raíz es 10 debido a que usa 10 dígitos, y los coeficientes se multiplican por potencias de 10.

El sistema binario únicamente posee dos valores posibles que son 0 y



1, en los cuales cada coeficiente A_j se multiplica por 2^j , como ejemplo tendremos el desarrollo del número binario 11010.11 el cual será representado por la siguiente manera:

$$1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} + 1 \cdot 2^{-2} \\ 16 + 8 + 0 + 2 + 0 + 0.5 + 0.25 = 26.75$$

Por lo tanto, tenemos que un número en un sistema de base (r) tiene coeficientes multiplicados por potencias de (r) y quedaría representado de la siguiente manera:

$$a_n \cdot r^n + a_{n-1} \cdot r^{n-1} + \dots + a_2 \cdot r^2 + a_1 \cdot r^1 + a_0 \cdot r^0 + a_{-1} \cdot r^{-1} + \dots + a_{-m} \cdot r^{-m}$$

Operaciones en sistemas numéricos

Complementos.

Este tipo de operación se utiliza en las computadoras digitales para simplificar la operación de sustracción y para manipulaciones lógicas.

Existen 2 tipos de complementos:

- a) El complemento de r .
- b) El complemento de $r-1$.

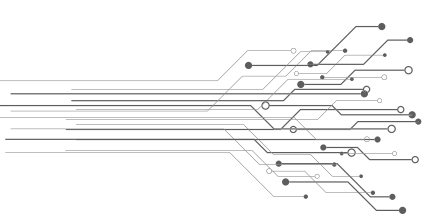
a) El complemento de r .

El complemento de r de un número positivo N en base r con una parte entera de n dígitos, será definido como el complemento de r a n y se define como $r^n - N$;

Obtener el complemento de 10 de $(52520)_{10}$

$$10^5 - 52520 = 47480$$

Obtener el complemento de 10 de $(0.3267)_{10}$



$$100 - 0.3267 = 0.6733$$

Obtener el complemento de 10 de $(25.639)_{10}$

$$102 - 25.639 = 74.361$$

Ejemplo 9: Obtener el complemento de 2 de $(101100)_2$

$$26 - (101100)_2 = (100000)_2 - (101100)_2 = (0.1010)_2$$

Por lo tanto, tendremos que el complemento de 10 de un número decimal se puede formar dejando todos los ceros significativos sin cambios se resta el primer dígito del cero menos significativo de 10 y, entonces se restan todos los pocos dígitos menos significativos menores de 9.

El complemento de 2 puede formarse dejando todos los ceros menos significativos y el primer dígito diferente de 0 sin cambio, entonces se reemplazan los 1 por 0 y los 0 por 1 en los otros dígitos más significativos.

b) Complemento de $r-1$.

Para un número positivo N en base r con una parte entera de n dígitos y una parte fraccionaria de m dígitos y una parte fraccionaria de m dígitos, el complemento de $r-1$ de m se define como $r^n - r^{-m} - N$.

Ejemplo 10:

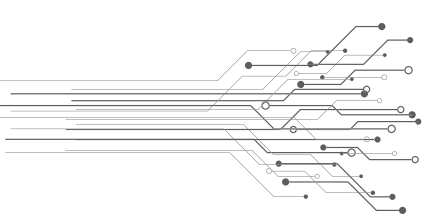
Obtener el complemento de 9 de $(52520)_{10}$

$$105 - 100 - 52520 = 47479$$

Obtener el complemento de 9 de $(0.3267)_{10}$

$$100 - 10 - 4 - 0.3267 = 0.6732$$

Obtener el complemento de 9 de $(25.639)_{10}$



$$102-10-3-25.639=74.36$$

Obtener el complemento de 1 de $(101100)_2$

$$26-20-101100=10011$$

Por lo tanto, deducimos que:

El complemento de 9 de un número decimal se forma simplemente al restar cada dígito de 9. Y el complemento de 1 de un número binario es más simple, ya que solo consiste en cambiar los 1 por 0 y los 0 por 1. Puesto que el complemento de $r-1$ es fácil de obtener, algunas veces es conveniente usarlo cuando se desea el complemento de r .

Sustracción con complemento de r .

La sustracción de 2 números positivos $(M-N)$, ambos en base r , puede hacerse como sigue:

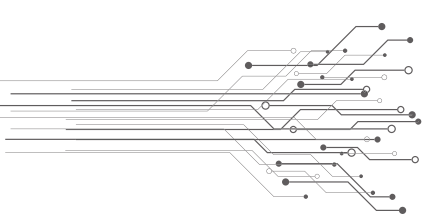
- 1.- Agréguese el minuendo m al complemento de r del sustraendo n .
- 2.- Verifique el resultado que se obtuvo en el paso 1 para el caso que exista un acarreo final.
 - a) Si existe un acarreo final, descártese.
 - b) Si no existe un acarreo final, tómese el complemento de r de número que se obtuvo en el paso 1 y colóquese un signo negativo en frente.

Ejemplo 11:

Utilizando el complemento 10 reste $72532-03250$

$$\text{complemento 10 de } 03250=96750$$

$$72532-96750=69282$$



Como no existe acarreo final se utiliza el paso b).

Complemento 10 de 69282=27468

$03250 - 27468 = 30718$

complemento 10 de 30718=69282

resultado -69282

Utilizando el complemento 2 realice M-N con los números binarios dados.

M=1010100

N=1000100

Complemento de N = 0111100

```
  0111100
  1010100
  -----
```

1 0010000

1011

1110

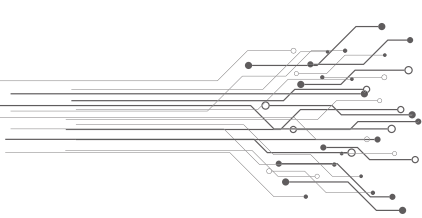
0101

1011

0001

1100

Resultado = -0011



12.3.2 Sustracción con complemento (r-1)

El procedimiento para esta operación es exactamente el mismo que para el complemento a r excepto por una variación llamada acarreo final. Para la resta de M-N en base r puede calcularse tomando en cuenta los siguientes puntos:

- 1.- Agréguese el minuendo M al complemento de (r-1) del sustraendo N.
- 2.- Verifique el resultado que se obtuvo en el paso 1 para un acarreo final.
 - a) Si ocurre un acarreo final agréguese uno al dígito menos significativo (acarreo final desplazado).
 - b) Si no ocurre un acarreo final tómese el complemento de (r-1) del número obtenido en el paso 1 y colóquese al frente un signo negativo.

Ejemplo 12:

Realice el complemento de r-1 de M-N, M=72532 y N=03250

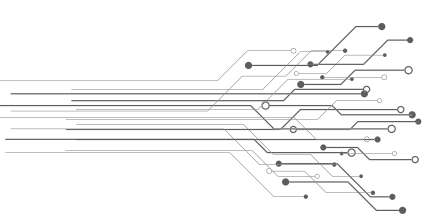
Complemento 9 de N = 96749

$$\begin{array}{r} 72532 \\ 96749 \\ \hline 1\ 69281 \end{array}$$

Como existe un acarreo final se realiza el paso a)

$$69281+1=69282$$

Realice el complemento de r-1 de M-N, N=03250 y M=72532 complemento



9 de N = 72532

03250

27467

30717

Como no existe acarreo final se realiza el paso

c) complemento 9 de 30717=69282

Resultado -69282

Ejemplo 13:

Obtener M-N para los siguientes valores, M=1010100 y N=1000100

Complemento 1 de 1000100 = 0111011

1010100

0111011

1 0001111

Como existe un acarreo final se realiza el paso a)

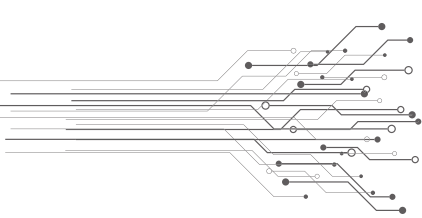
0001111

1

0010000

12.3.3 Representación de números negativos

Debido a que muchas computadoras y calculadoras digitales manejan números negativos y positivos, se necesita algún medio de representación



para el signo del número (+/-). Esto se lleva a cabo en general agregando otro bit al número, denominado bit del signo.

En términos generales la convención común que se ha adoptado es que un cero en el bit del signo representa un número positivo y un uno, representa un número negativo.

Ejemplo 14:

El registro A contiene los bits 0110100, el contenido cero en el bit de más a la izquierda (A6) es el bit del signo que representa al signo (+). Los otros seis bits son la magnitud del número, que es igual a 5210.

A6 A5 A4 A3 A2 A1 A0
0 1 1 0 1 0 0
0 110100
(+) Magnitud del número

De este modo el número almacenado en el registro A es +52. El bit del signo se usa para indicar si un número binario almacenado es positivo o bien negativo. Para los números positivos, el resto de los bits se utilizan siempre para representar la magnitud del número en forma binaria.

Para los números negativos, no obstante, existen tres formas posibles de representar la magnitud.

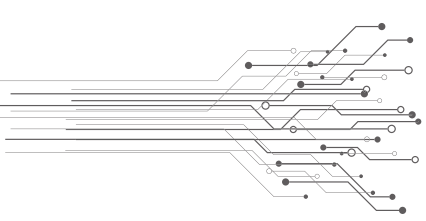
Forma de magnitud verdadera.

Forma de complemento a 1

Forma de complemento a 2

Forma de magnitud verdadera.

El ejemplo visto anteriormente, contiene un bit de signo y seis bits de



magnitud. Los bits de magnitud son el equivalente binario verdadero de los valores binarios que se representan. Aunque este sistema de magnitud verdadera es directo y fácil de entender, no es de tanta utilidad como los otros dos sistemas para representar números binarios con signo.

Forma de complemento a 1.

La forma de complemento a 1 de un número binario cualquiera se obtiene simplemente cambiando cada cero del número por 1 y cada uno por cero.

Ejemplo 15:

El complemento de 1 del número 101101 es 010010

Cuando se quiere representar números negativos en forma de complemento 1 el bit de signo se convierte en 1 y la magnitud se transforma de forma binaria verdadera.

$$\begin{aligned} -57 &= 1 \ 111001 \text{ (forma de magnitud real)} \\ &= 1 \ 000110 \text{ (forma de complemento a 1)} \end{aligned}$$

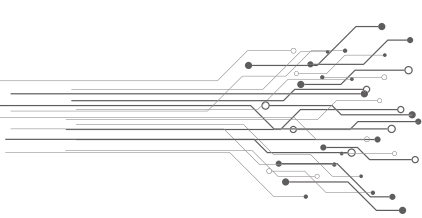
NOTA: Observe que el bit de signo no se complementa, sino que se conserva en un 1 a fin de indicar un número negativo.

Forma de complemento 2.

La forma de complemento 2 de un número binario se forma simplemente tomando el complemento 1 del número y sumando 1 a la posición del bit menos significativo.

Ejemplo 16: convertir 111001 a su forma de complemento 2.

$$\begin{array}{r} 000110 \\ \quad 1 \\ \hline 000111 \end{array}$$



De tal forma que -57 se escribirá como 1 000111 en su representación de complemento a 2.

Ejemplo 17:

Tres sistemas para representar números binarios con signo se muestran a continuación.

Sistema de magnitud verdadera Sistema de complemento 1 Sistema de complemento 2

+57	0 111001	0 111001	0 111001
-57	1 111001	1 000110	1 000111

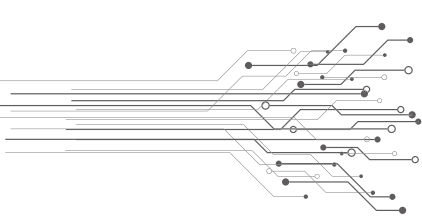
NOTA: Un número positivo en cualquier representación tiene un cero en el bit de la extrema izquierda para un (+), seguido de un número positivo. Un número negativo siempre tiene un uno en el bit de la extrema izquierda para un (-), pero los bits de magnitud se representan de una forma diferente.

En la representación de signo-magnitud, estos bits son el número positivo; en la representación de complemento de 1, estos bits son el complemento del número binario y en la representación de complemento 2, el número está en su forma de complemento 2.

12.4 Suma y resta en complemento a dos

El complemento 1 y 2 son muy semejantes pero el complemento 2 generalmente es más usado debido a las ventajas que representa al aplicarse en circuitos.

Ejemplo 18: La suma de 2 números positivos +9 y +4



+9 01001 consumando

+4 00100 sumando

+13 01101 suma = +13

NOTA: Los bits de signo del consumando y el sumando ambos son cero y por lo tanto el BIT del signo de la suma es cero, lo cual indica que la suma es positiva. Nótese que el consumando y el sumando se forman con el mismo número de bits, esto siempre debe llevarse a cabo en el sistema de complemento 2.

Ejemplo 19: Un número positivo y un número negativo menor.

+9 01001

-4 11100

+5 1 00101

Este acarreo se desprecia de manera que el resultado es 00101 (+5)

NOTA: En este caso el BIT del signo del sumando es uno. Observe que el bit del signo (+) también participa en el proceso de adición, de hecho, se genera un corrimiento en la última posición de la suma, este corrimiento siempre es despreciado, de modo que la suma final es 00101 = (+5).

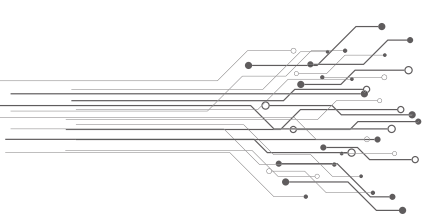
Ejemplo 20 Un número positivo y un número negativo mayor.

-9 1 0111

+4 0 0100

-5 1 1011

Se le saca el complemento 2



```
0100
  1
-----
0101
```

12.4.1 Se le agrega el BIT de signo 10101 (-5)

NOTA: La suma en este caso tiene un BIT de signo 1, lo cual indica que es negativo, esta se encuentra en su forma de complemento 2 de manera que los últimos 4 bits (1011), representan en realidad el complemento 2 de la suma.

Para determinar la magnitud verdadera de la suma, debemos de tomar el complemento 2 de 1011, el resultado será 0101(5).

Ejemplo 21: 2 números negativos -9 y -4.

```
-9  1 0111
-4  1 1100
-----
-13 1 1 0011
```

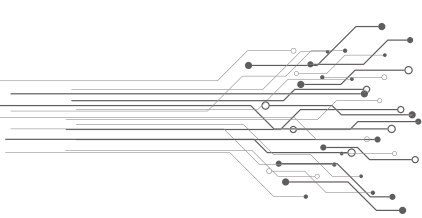
Se toma el complemento 2

Resultado: 1 1101

Este resultado final vuelve a ser negativo y está en forma de complemento 2 con un BIT de signo 1. Nótese que 0011 es el complemento 2 de 1101(+13).

Ejemplo 22: 2 números iguales y opuestos.

```
- 9  1 0111
+9  0 1001
-----
```



0 1 0 0000

Sustracción con complementos a 2.

Esta operación en realidad comprende la operación de adición que hace uso del sistema de complemento 2.

Cuando se resta un número binario (el sustraendo) de otro número binario (el minuendo), el procedimiento es como sigue:

1.- Tómese el complemento 2 del sustraendo, incluye el BIT del signo. Si el sustraendo es un número positivo, este se transforma en un número negativo en forma de complemento 2. Si el sustraendo es un número negativo, este se convertirá en uno positivo en forma binaria verdadera. En otras palabras, se altera el signo del sustraendo.

2.- Después de formar el complemento 2 del sustraendo este se suma al minuendo. El minuendo se conserva en su forma original. El resultado de esta adición representa la diferencia que se pide. El BIT del signo de esta diferencia determina si es positivo o bien negativo, y si esta en forma binaria verdadera o en forma de complemento 2.

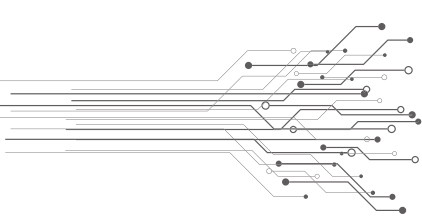
3: - Recuérdese que ambos números deben tener el mismo número de bits.

Ejemplo 23:

+9	01001
- +4	11100
---	-----
+5	1 00101

12.5 Compuertas lógicas

Los dispositivos digitales elementales son las compuertas (también llamadas puertas) lógicas. Las compuertas tienen



uno o varios terminales de entrada y un Terminal de salida. Existen tres compuertas básicas que son la inversora, también llamada NOT o inversor, la compuerta OR y la AND. En la Figura 117 se muestran los símbolos más comunes que se utilizan para representar estas tres compuertas.

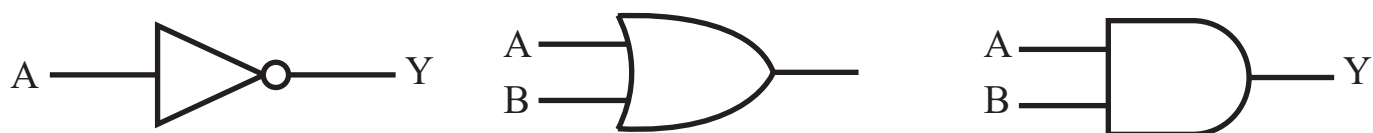


Figura 117 a) Compuertas básicas NOT, b) OR de dos entradas, c) AND de dos salidas.

La salida de la compuerta NOT será 1 cuando su entrada sea 0. La salida de la compuerta OR será 1 cuando al menos una de sus entradas sea 1. La salida de la compuerta AND será 1 cuando todas sus entradas sean 1. Cada uno de estos resultados puede presentarse en una tabla 4, llamada tabla de verdad, como las mostradas a continuación.

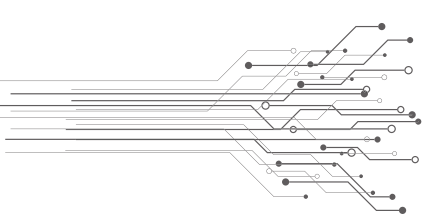
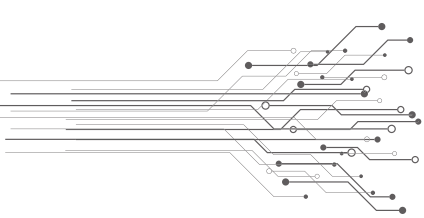


Tabla 4 Tabla de Verdad

COMPUERTA	ENTRADA		SALIDA
	B	A	Y
AND de dos entradas	0	0	0
	0	1	0
	1	0	0
	1	1	1
NAND de dos entradas	0	0	1
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	0
OR de dos entradas	0	0	0
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	1
NOR de dos entradas	0	0	1
	0	1	0
	1	0	0
	1	1	0
XOR de dos entradas	0	0	0
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	0
XNOR de dos entradas	0	0	1
	0	1	0
	1	0	0
	1	1	1
NOT		0	1
		1	0
BUFFER		0	0
		1	1



Desde el punto de vista funcional podemos derivar, a partir de las tres compuertas básicas, otras cinco: el buffer, la compuerta NOR, la compuerta NAND, la compuerta OR Exclusivo (también llamada XOR), y la compuerta NOR Exclusivo (también llamada XNOR). En la Figura 118, se muestran los símbolos más comunes que se utilizan para representar estas cinco compuertas. Más adelante introduciremos otros símbolos para representar las compuertas.

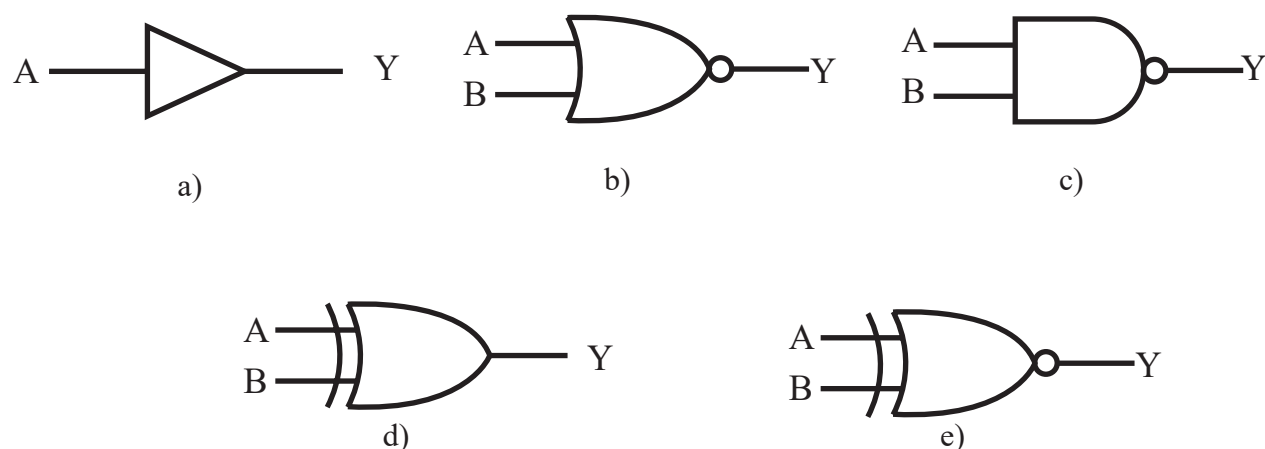
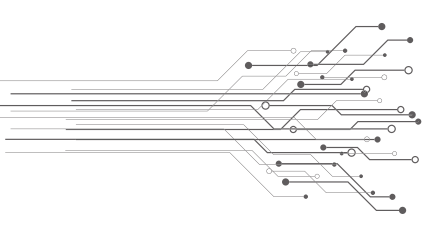


Figura 118 Compuertas derivadas de las básicas, a) buffer, b) NOR de dos entradas, c) NAND de dos entradas, d) XOR de dos entradas y e) XNOR de dos entradas

La salida del buffer, desde el punto de vista lógico, es igual que su entrada; sin embargo, la potencia de salida es mucho mayor que la de entrada y en eso consiste su utilidad (recuerde el amplificador colector común y el drenaje común, que son buffer muy conocidos de la Electrónica Analógica). La salida de la compuerta NOR será 1 cuando todas sus entradas sean 0. La salida de la compuerta NAND será 1 cuando al menos una de sus entradas sea 0. La salida de la compuerta XOR será 1 cuando un número impar de sus entradas sea 1, lo anterior implica que la XOR de dos entradas tendrá 1 en su salida únicamente cuando sus entradas sean desiguales. La salida de la compuerta XNOR será 1 cuando un número par de sus entradas sea 1, por consiguiente, la compuerta XNOR de dos entradas tendrá 1 en su salida sólo cuando sus entradas sean iguales.

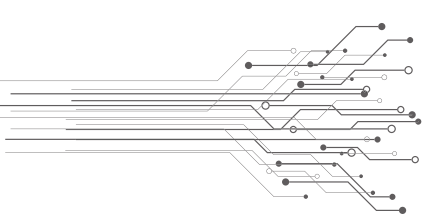


La salida del buffer, desde el punto de vista lógico, es igual que su entrada; sin embargo, la potencia de salida es mucho mayor que la de entrada y en eso consiste su utilidad (recuerde el amplificador colector común y el drenaje común, que son buffer muy conocidos de la Electrónica Analógica). La salida de la compuerta NOR será 1 cuando todas sus entradas sean 0. La salida de la compuerta NAND será 1 cuando al menos una de sus entradas sea 0. La salida de la compuerta XOR será 1 cuando un número impar de sus entradas sea 1, lo anterior implica que la XOR de dos entradas tendrá 1 en su salida únicamente cuando sus entradas sean desiguales. La salida de la compuerta XNOR será 1 cuando un número par de sus entradas sea 1, por consiguiente, la compuerta XNOR de dos entradas tendrá 1 en su salida sólo cuando sus entradas sean iguales. Todo lo anterior se resume en la Tabla 7, correspondiente a cada una de estas compuertas:

El objetivo de esta unidad es usar el conocimiento adquirido en los capítulos previos y formular varios procedimientos sistemáticos de diseño y análisis de los circuitos combinacionales. La solución de algunos ejemplos típicos proporcionará un catálogo útil de funciones elementales importantes para el entendimiento de las computadoras y sistemas digitales.

Un circuito combinacional consta de variables de entrada, compuertas lógicas y variables de salida. Las compuertas lógicas aceptan las señales de las entradas y generan señales a las salidas. Este proceso transforma la información binaria de los datos dados de entrada en los datos requeridos de salida. En forma obvia, tanto los datos de entrada y salida se representan por señales binarias, esto es, existen en dos valores posibles, uno representa la lógica 1 y el otro la lógica 0.

Para las n variables de entrada, hay 2^n combinaciones posibles de los valores binarios de entrada. Para cada combinación posible de entrada, hay una y sólo una combinación posible de salida. Un circuito



combinacional puede describirse por n funciones booleanas, una para cada variable de salida. Cada función de salida se expresa en términos de las n variables de entrada.

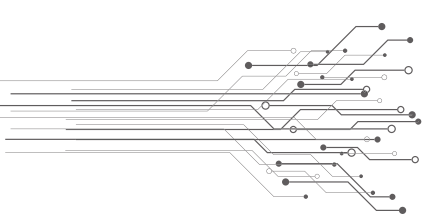
Cada variable de entrada a un circuito combinacional puede tener uno o dos alambres. Cuando está disponible sólo un alambre, puede representar la variable, ya sea en la forma normal (sin prima) o en la forma complementaria (con prima).

Ya que una variable en una expresión booleana puede aparecer con prima y/o sin prima, es necesario proporcionar un inversor para cada literal que no está disponible en el alambre de entrada, por otra parte, una variable de entrada, puede aparecer en dos alambres, suministrando las formas tanto normal como complementaria, a la entrada del circuito.

En este caso no es necesario incluir inversores para las entradas, El tipo de celdas binarias utilizadas en la mayoría de los sistemas digitales son circuitos flip-flop, que tienen salidas para los valores tanto normal como complementario de la variable binaria almacenada.

Los circuitos digitales que hasta ahora se han considerado, han sido combinacionales, esto es, las salidas en cualquier momento dependen por completo de las entradas presentes en ese tiempo. Aunque cualquier sistema digital es susceptible de tener circuitos combinacionales, la mayoría de los sistemas que se encuentran en la práctica también incluyen elementos de memoria, los cuales requieren que el sistema se describa en términos de Lógica Secuencial.

Un diagrama a bloques de un circuito secuencial consta de un circuito combinacional al que se conectan elementos de memoria para formar una trayectoria de retroalimentación. Los elementos de memoria son dispositivos capaces de almacenar dentro de ellos información binaria. La información binaria almacenada en los elementos de memoria en cualquier dado se define como el estado del circuito secuencial.

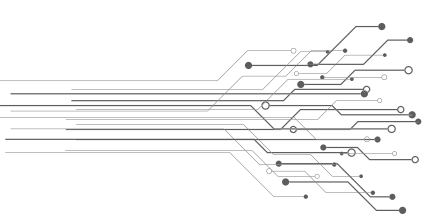


El circuito secuencial recibe información binaria de entradas externas. Estas entradas, junto con el estado presente de los elementos de memoria, determinan el valor binario en las terminales de salida. También determinan las condiciones para cambiar el estado en los elementos de memoria.

Hay dos tipos principales de circuitos secuenciales. Su clasificación depende del temporizado de sus señales. Un circuito secuencial síncrono es un sistema cuyo comportamiento puede definirse por el conocimiento de sus señales en instantes discretos de tiempo. El comportamiento de un circuito secuencial asíncrono depende del orden en el cual cambian sus señales de entrada y puede afectarse en cualquier instante de tiempo. Los elementos de memoria que por lo común se utilizan en los circuitos secuenciales asíncronos son dispositivos de retardo de tiempo. La capacidad de memoria de un dispositivo de retardo de tiempo se debe al hecho de que toma un tiempo finito para que la señal se propague a través del dispositivo.

Un sistema lógico secuencial asíncrono, por definición, debe emplear señales que afecten los elementos de memoria solo en instantes discretos de tiempo. Una forma de lograr este objetivo es usar pulsos de duración limitada a través del sistema, de modo que una amplitud de pulso represente la lógica 1 y otra amplitud (o la ausencia de pulso) represente la lógica 0.

Los sistemas lógicos secuenciales síncronos utilizan amplitudes fijas, como niveles de voltaje para señales binarias. La sincronización se logra a través de un dispositivo sincronizador llamado reloj maestro generador, el cual genera un tren periódico de pulsos de reloj. Los pulsos de reloj se distribuyen a través del sistema de tal forma que los elementos de memoria están afectados sólo por la llegada del pulso de sincronización. Los elementos de memoria que se utilizan en los circuitos secuenciales de reloj se llaman flip-flop, estos circuitos son celdas binarias capaces



de almacenar un BIT de información. Un circuito flip-flop tiene dos salidas, una para el valor normal y otra para el valor complementario del BIT almacenado en él, la información binaria puede entrar a un flip-flop es una gran variedad de formas, hecho que da lugar a diferentes tipos de flip-flop.

FLIP-FLOPS.

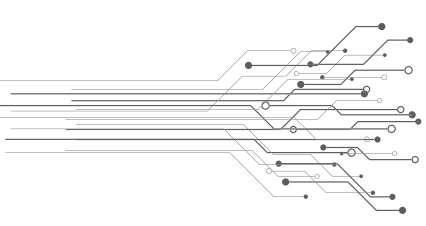
Un circuito flip-flop puede mantener un estado binario en forma indefinida (en cuanto se suministre potencia al circuito) hasta que recibe la dirección de una señal de entrada para cambiar de estado. La diferencia principal entre los diversos tipos de flip-flop está en el número de entradas que poseen y en la manera en la cual las entradas afectan el estado binario.

12.6 Circuito básico flip-flop

Como ya se mencionó anteriormente, estos circuitos pueden construirse con compuertas NAND o dos compuertas NOR. Cada circuito forma un flip-flop básico, La conexión y el acoplamiento cruzado mediante la salida de una compuerta a la entrada de otra constituye una trayectoria de retroalimentación. Por esta razón los circuitos se clasifican como secuenciales asíncronos. Cada flip-flop tiene dos salidas Q y Q' , y dos entradas, SET para ajustar y RESET para restaurar. A este tipo de flip-flop se les llama RS directamente acoplado o seguro.

Un flip-flop tiene dos estados útiles, cuando $Q=1$ y $Q'=0$, está en el estado ajuste (o estado 1). Cuando $Q=0$ y $Q'=1$, está en el estado despejado (o estado 0). Las salidas Q y Q' son complementarias la una de la otra y se refieren como las salidas normal y complementaria, respectivamente. El estado binario del flip-flop se toma para que sea el valor de la salida normal.

Bajo operación normal, ambas entradas permanecen en 0 a menos que tenga que cambiarse el estado de flip-flop. La aplicación de un 1

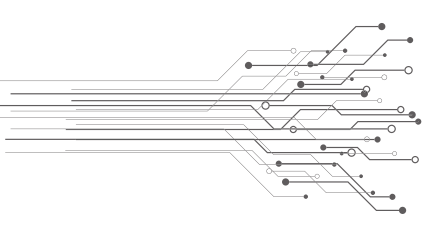


momentáneo a la entrada de ajuste provoca que el flip-flop pase al estado de ajuste. La entrada ajuste debe volver a 0 antes de que un 1 se aplique a la entrada restaurar. Un 1 momentáneo aplicado a la entrada de restaurar causa que el flip-flop vaya al estado despejado, cuando ambas entradas son inicialmente 0, un 1 aplicado a la entrada de puesto mientras el flip-flop está en el estado despejado deja las salidas sin cambio, cuando se aplica un 1 a ambas entradas de ajuste y restaurar, ambas salidas pasan a 0, este estado del flip-flop es indefinido y por lo tanto se evita. Si ambas entradas ahora van a 0, el estado del flip-flop es indeterminado y depende de cuál entrada permanezca en 1 más tiempo de la transición a 0.

DISPARO DEL FLIP-FLOP

El estado de un flip-flop se cambia por una modificación momentánea en la señal de entrada. Este cambio momentáneo se le denomina gatillo y la transición que provoca se dice que dispara el flip-flop. Los flip-flop asíncronos, como los circuitos básicos, requieren una entrada de gatillo definida por un cambio de nivel de señal. Este nivel debe de volver a su valor inicial (0 en NOR y 1 en NAND) antes de que se aplique un segundo gatillo. Los flip-flop temporizados se disparan por pulsos. Un pulso comienza desde un valor inicial de 0, pasa en forma momentánea a 1 y después de un corto tiempo, regresa a su valor 0 inicial. El intervalo de tiempo desde la aplicación del pulso hasta que ocurre la transición de la salida es un factor crítico que requiere más investigación.

Un pulso de reloj puede ser positivo o bien negativo. Una fuente positiva de reloj permanece 0 durante el intervalo entre pulsos y pasa a 1 al ocurrir un pulso. El pulso pasa a través de dos transiciones de señal: desde 0 a 1 y el regreso de 1 a 0, La transición positiva se define como borde positivo y la transición negativa como el borde negativo, esta definición también se aplica a los pulsos negativos.

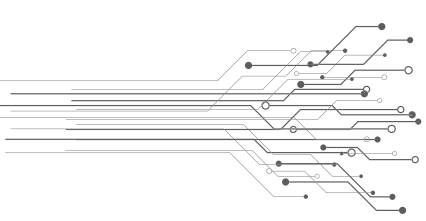


Flip-Flop maestro-esclavo

Este arreglo, se construye mediante dos flip-flops separados, un circuito sirve como un maestro y el otro como un esclavo. Este circuito consta además de lo ya mencionado con un inversor. Cuando el pulso de reloj CP es 0, la salida del inversor es 1. Ya que la entrada de reloj del esclavo es, el flip-flop está habilitado si la salida Q es igual a Y, en tanto que Q'es igual a Y'. El flip-flop maestro se habilita porque CP=0. Cuando el pulso llega a 1, entonces la información en las entradas externas R y S se transmiten al flip-flop maestro, sin embargo, el flip-flop esclavo está aislado mientras el pulso esté en su nivel 1, ya que la salida del inversor es 0. Cuando el pulso regresa a 0, el flip-flop maestro está aislado, lo cual evita que lo afecten las entradas externas. El flip-flop esclavo pasa entonces al mismo estado que el flip-flop maestro. El comportamiento del flip-flop maestro-esclavo que acaba de describirse dicta que los cambios de estado en todos los flip-flops coincidan con la transición de borde negativo del pulso. No obstante, algunos flip-flops maestro-esclavo IC cambian los estados de salida en la transición de borde positivos de los pulsos de reloj. Esto sucede en flip-flops que tienen un inversor adicional en la CP Terminal y la entrada del maestro, tales se disparan con pulsos negativos de modo que el borde negativo del pulso afecte al maestro y el borde positivo afecte al esclavo y las terminales de salida.

Flip-Flop disparo por borde

Otro tipo de flip-flop que sincroniza los cambios de estado durante la transición de pulsos de reloj es el disparado por borde en este tipo de flip-flop, las transiciones de salida ocurre en un nivel específico del pulso de reloj. Cuando el nivel del pulso de entrada excede el nivel umbral, las entradas están bloqueadas y, de este modo, el flip-flop no responde a los cambios adicionales en las entradas hasta que el pulso de reloj regresa a 0 y ocurre otro pulso. Algunos flip-flops disparados por borde provocan una transición en el borde positivo del pulso y otros causan una transición en el borde negativo del pulso.



12.7 Terminología de memoria

Celda de memoria: Dispositivo o circuito eléctrico que se usa para almacenar un solo BIT (0 o 1).

Palabra de memoria: Grupo de bits (celdas) en una memoria que representa instrucciones o datos de algún tipo.

Byte: Término especial que se usa para una palabra de 8 bits. Un byte siempre consta de 8 bits, que es el tamaño de palabra más común en las microcomputadoras.

Capacidad: Forma de especificar cuántos bits pueden almacenarse en un dispositivo de memoria particular o bien en un dispositivo de memoria completo.

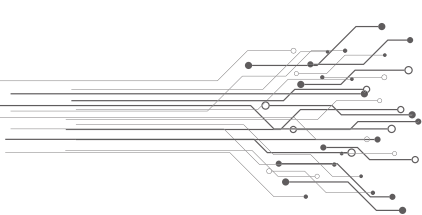
Dirección: Número que identifica la localidad de una palabra en la memoria. Cada palabra almacenada en un dispositivo de memoria o sistema de memoria tiene una dirección única.

Operación de lectura: Es la operación mediante la cual una palabra binaria almacenada en una localidad (dirección) específica de la memoria es captada y después transferida a otra localidad.

Operación de escritura: Es por medio de la cual se coloca una nueva palabra en cierta localidad de memoria.

Tiempo de acceso: Medida de la velocidad del dispositivo de memoria. Es la cantidad de tiempo que se requiere para realizar una operación de lectura.

Tiempo de ciclo: Otra medida de la velocidad del dispositivo de memoria. Es la cantidad de tiempo necesario para que la memoria realice una operación de lectura o escritura y después regrese a su estado original lista para ejecutar el siguiente comando.



Memoria Volátil: Cualquier tipo de memoria que requiera la aplicación de energía eléctrica a fin de almacenar información. Si se retira la energía eléctrica, toda la información almacenada en la memoria se perderá.

Memoria de Acceso Aleatorio (RAM): Memoria en la cual la localización física real de una palabra de la memoria no tiene efecto sobre el tiempo que tarde en leer de esa localidad o bien escribir en ella.

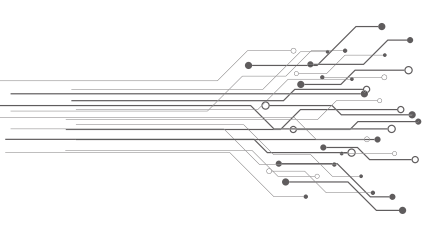
Memoria de Acceso Secuencial (SAM): Tipo de memoria en el cual el tiempo de acceso no es constante, sino que varía según la localidad de la dirección.

Memoria de Lectura y Escritura (RWM): Cualquier memoria de la que pueda leerse información o bien escribirse en ella con la misma facilidad.

Memoria de Solo Lectura (ROM): Vasta clase de memorias semiconductoras diseñadas para aplicaciones donde la proporción de operaciones de lectura a operaciones de escritura es muy alta.

Dispositivos de Memoria Estática: Dispositivos de memoria semiconductor en los cuales los datos almacenados se quedarán permanentemente guardados en tanto se aplique energía, sin necesitar reescribir periódicamente los datos en la memoria.

Dispositivo de Memoria Dinámica: Dispositivos de memoria semiconductor en los cuales los datos almacenados no se quedarán permanentemente guardados, aun con energía aplicada, a menos que los datos se reescriban en forma periódica en la memoria. La última operación se conoce como operación de refresco.



12.8 Operación general de la memoria

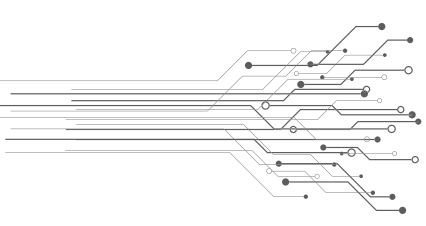
Independientemente de su construcción, todas las memorias requieren varios tipos diferentes de líneas de entrada y salida para desempeñar las funciones siguientes:

- 1.- Seleccionar la dirección de la memoria que esté siendo accesada para una operación de lectura o escritura.
- 2.- Seleccionar una operación de lectura o bien de escritura para ser efectuada.
- 3.- Proporcionar los datos de entrada para ser almacenados en la memoria durante una operación de escritura.
- 4.- Contener los datos de salida que vienen de la memoria durante una operación de lectura.
- 5.- Activar (o desactivar) la memoria de manera que responda (o no) a las entradas de dirección y al comando de Lectura/Escritura.

MEMORIA DE SOLO LECTURA (ROM)

Este tipo de memoria se diseñó con el fin de contener datos que sean permanentes o que no cambien frecuentemente. No se puede escribir nuevos datos en una ROM; pero si, leerse información de ella. Para algunas ROM los datos que están almacenados tienen que grabarse durante el proceso de fabricación, para otras ROM se puede introducir en forma eléctrica. Al proceso de grabar datos se le conoce como programación de la ROM. Algunas ROM no pueden alterar sus datos una vez que se hayan programado, otras pueden borrarse y reprogramarse con la frecuencia que se desee.

Las ROM se usan para almacenar datos e información que no cambiará durante la operación de un sistema. Un uso importante de las ROM



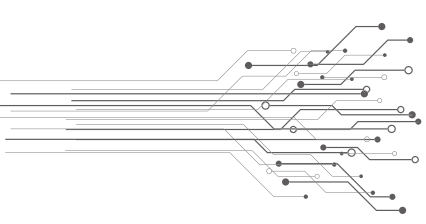
es en el almacenamiento de programas en microcomputadoras. Ya que todas las ROM son no volátiles, estos programas no se pierden cuando la microcomputadora es apagada. Cuando se enciende la máquina, pueden empezar de inmediato a ejecutar el programa almacenado en la ROM. También se emplean para almacenar programas y datos en equipos controlado por microprocesadores como complejas cajas registradoras electrónicas.

12.9 Expansión del tamaño de la palabra y de la capacidad

En muchas aplicaciones de la memoria en circuitos integrados la capacidad de almacenamiento que se requiere o bien el tamaño de palabra no puede ser satisfecho por un circuito integrado de memoria. En cambio, varios circuitos integrados de memoria tienen que ser combinados para ofrecer la capacidad y el tamaño de palabra deseados.

Expansión de tamaño de palabra

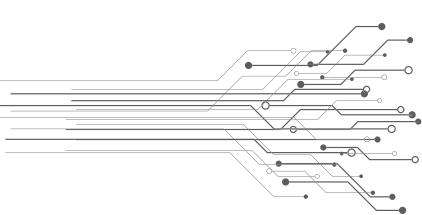
Supóngase que se necesita una memoria que puede almacenar 16 palabras de 8 bits y todo lo que se tiene son circuitos RAM que se disponen como memorias de 16x4 con líneas E/S comunes. Podemos cambiar dos de estos circuitos integrados de 16x4 para producir la memoria que se busca.



CAPÍTULO XIII

SISTEMAS

PROGRAMABLES



Introducción

Con el surgimiento de los transistores primero y los circuitos integrados después, se forman reduciendo el tamaño, consumo de energía etc. de los equipos electrónicos. Aparejado a ello se fueron obteniendo de forma integrada circuitos capaces de realizar diferentes funciones, tal es el caso del amplificador operacional. En clase vimos cómo variando la red externa, un amplificador operacional (AOP) funciona como sumador, restador, multiplicador etc. Esto por supuesto representaba un gran salto, pero el hecho de tener que variar físicamente la red externa de un AOP para que realice otra función, traía consigo el uso de muchos AOP (cada uno para determinadas funciones), esto hacia los dispositivos voluminosos, aunque permitió la construcción de la computadora analógica.

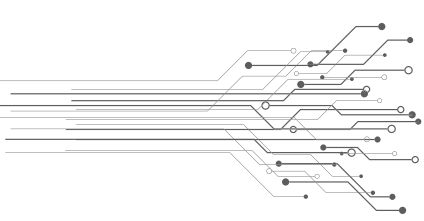
Las técnicas de integración se perfeccionan cada vez más, se redujo considerablemente el tamaño de los elementos integrados, todo ello provocó un salto ya esperado por la ciencia y la técnica.

El surgimiento de un dispositivo que pudiera programarse en un lenguaje, aunque fuera rudimentario y que fuera capaz de ejecutar un conjunto de operaciones a voluntad del programador.

Así es como en 1971 la firma americana INTEL, lanza al mercado el primer microprocesador (MP) de solo 4 BIT. Este MP sirvió de base para el surgimiento de los muy difundidos MP de 8 BIT (8080, Z80, etc.) que a su vez constituyen el procesador principal de las microcomputadoras (MC) digitales, muy conocidas por nosotros, por supuesto luego siguieron Mp de 16 BIT, de 32 BIT y más recientemente de 64 BIT y 128 BIT.

13.1 Estructura básica funcional de una microcomputadora

Todos los sistemas contruidos con microprocesadores constan de una microcomputadora con mayor o menor potencialidad y de forma general,



deben constar de las siguientes unidades funcionales:
Buses.

Unidades de entrada y salida.

Unidad de memoria.

Unidad de procesos.

Unidad de control.

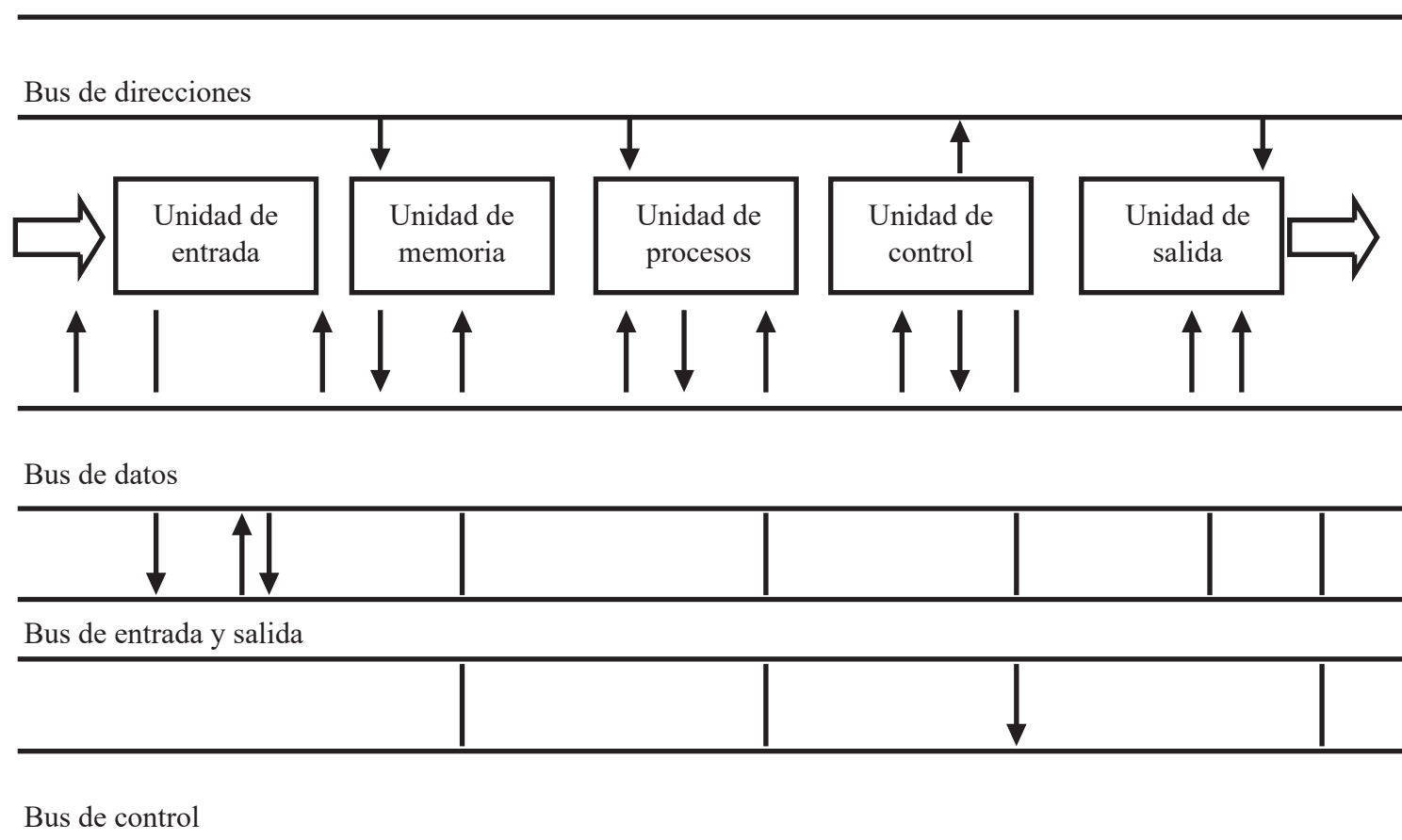
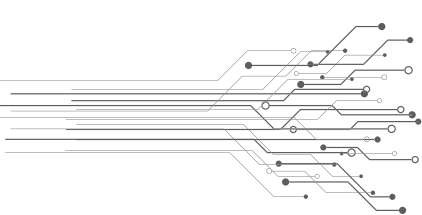


Figura 119. Estructura básica de un computador

Buses: Son grupos de líneas de interfaces por donde se transmiten datos, códigos de instrucciones, señales de sincronización, códigos de dirección etc., entre las diferentes unidades funcionales de la microcomputadora en forma paralela, lo que permite una alta velocidad de transmisión.



13.2 Tipos de buses

Bus de datos, bus de control y bus de direcciones.

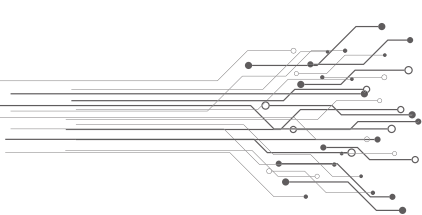
El bus de datos es el medio por el cual se mide la longitud de la palabra de los MP, posee la peculiaridad de ser bidireccional, pues transmite código de operación, datos o partes de una dirección que van desde la memoria hacia el CPU, también se transmiten datos y resultados desde el CPU hacia la memoria o unidad de salida.

El bus de control está formado por varias líneas unidireccionales, donde cada una posee una función muy específica e indica a cada uno de los dispositivos externos la función que debe realizar, así se logra la sincronización de todos los componentes de la microcomputadora que corre a cargo de la unidad de control.

El bus de direcciones al igual que el bus de control, es unidireccional y sale desde el CPU. Del código binario formado por los bits de este bus, se selecciona el dispositivo que trabajara en cada instante por tanto el CPU indica a través de dicho bus hacia qué dispositivo de la unidad de salida enviará información por el bus de datos de la misma forma que le permite al CPU seleccionar el dispositivo de los que forman la unidad de entrada o localización de memoria desde donde recibirá la información el CPU.

El bus de entrada y salida constituye una extensión del bus de datos ya que por medio de este último se realizan transferencias de entrada-salida de información con dispositivos externos a la microcomputadora. Realmente en los microprocesadores existe solo el bus de datos.

De lo antes expuestos se puede concluir que cuando el CPU va a sacar una información saca por el bus de direcciones un código que selecciona por cuál de los puertos de salida o a que localización de memoria mandará el dato o resultado. Inmediatamente después le indica por el bus de control a través de los bits correspondientes, que función debe ejecutar y, por



último, le manda por el bus de dato la información procesada.

Lo mismo ocurre cuando va a recibir una información el CPU desde la memoria o un puerto correspondiente a la entrada; pero en este caso la información entra en el CPU por el bus de datos.

Unidad de entrada – salida: Son circuitos integrados programables o no que se usan como interfaces de las señales de la CPU con los periféricos Ej. Puertos 8255, 8251, etc. A las pastillas que se conectan por un lado a un periférico y por el otro al bus de datos se le denomina puerto de entrada o puerto de salida en dependencia de la función que realiza en el sistema.

Unidad de memoria: Es el soporte del software en el que se almacenan los datos, resultados y el programa de trabajo en el cual se basará la unidad de control para regir las actividades a realizar en el sistema.

Las memorias pueden ser:

RAM: memoria de lectura escritura.

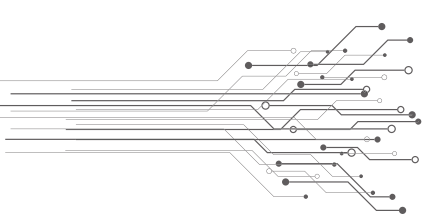
ROM: memoria de solo lectura.

PROM: memoria de solo lectura afectada por el fabricante.

EPROM: puede ser borrada con luz ultravioleta.

Todas las memorias empleadas en sistemas con microprocesadores son semiconductores por la velocidad de respuesta, la discriminación de empaquetamiento y la capacidad entre otras ventajas.

Las memorias están formadas por un conjunto de celdas direccionales aleatoriamente por el bus de direcciones, la capacidad de cada celda debe estar en correspondencia con la longitud de la palabra del CPU. Por tanto, dentro de la memoria no puede diseccionarse un BIT sino palabras de varios bits.



La memoria recibe y entrega información al bus de datos y para su funcionamiento es seleccionada por una combinación de señales del bus de direcciones y bus de control.

Estas memorias se agrupan en páginas (cada página posee 256 palabras), lo que hace más factible el diseccionado, la capacidad de la memoria se mide en 12 bits que es igual a 1024 localizaciones y se expresa de la siguiente forma $NKXb$ donde N es el número de K y b es el número de BIT de cada localización.

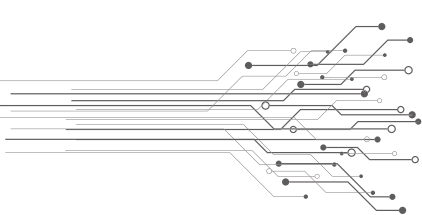
Unidad de proceso: Esta comprende la unidad aritmética lógica (ALU) y los registros. En la ALU se realizan las operaciones de suma, resta y operaciones lógicas (AND, OR, NOT, NAND, NOR) los registros almacenan temporalmente datos o resultados.

Unidad de control: Es la unidad rectora de todas las actividades dentro del MP y contiene:

- Registro de instrucciones.
- Decodificador de instrucciones.
- Sección de sincronización.

De la estructura anterior se desprende que un MP siempre está realizando algunas de las siguientes operaciones:

- Leyendo en memoria.
- Escribiendo en memoria.
- Entrando un dato.
- Sacando un dato.
- Operación interna.



El Hardware es el soporte físico del sistema lo componen los elementos electrónicos de la circuitería, por ejemplo: puertos, memorias, convertidores, temporizadores, circuitos lógicos multiplexores, etc.

Software: lo constituyen los programas en cuestión para la realización de una determinada función.

13.3 Clasificación de los lenguajes

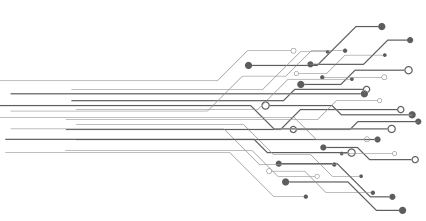
Todas las instrucciones de cada computadora son únicas y llegan a la unidad de control por sus líneas de comunicación denominadas bus de datos, desde la memoria, donde se encuentran almacenadas en celdas separadas que reciben el nombre de localizaciones de memoria, dentro de las cuales se almacenan en códigos binarios formando palabras de igual número de dígitos o bits (longitud de palabra), por lo que toda la información que se mueve dentro de la computadora y hacia el exterior de ellas tienen igual número de bits (4, 8, 16, 32, 64, etc.) pero difiere de una máquina a otra.

Todo lo que debe procesar la computadora tiene que estar en expresiones binarias de 1 y 0. Será 1 lógico cuando exista potencial en la línea y 0 lógico, cuando no exista potencial, referidos en ambos casos a la tierra del sistema.

Se entiende por lenguaje de programación, el conjunto de reglas, símbolos y palabras en código a los cuales responde la computadora y de los cuales, con su combinación adecuada, obtenemos el significado de las aplicaciones deseadas para ser ejecutadas por la computadora.

Lenguaje de máquina: Es el lenguaje más rudimentario de las computadoras y el único que procesa de forma directa las instrucciones, datos y demás informaciones se le introducen a la máquina en código binario, los cuales son interpretados directamente por su hardware.

Los programas escritos en lenguaje de máquina ocupan poca memoria,



pero son muy tediosos y propensos a introducir errores.

Lenguajes simbólicos directos.

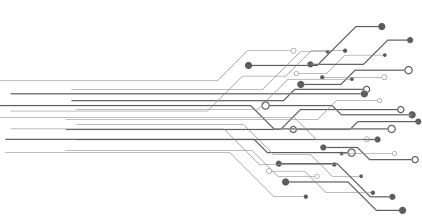
Debido a las desventajas que poseen los lenguajes de máquina aparecieron lenguajes aún cercanos a la máquina, donde se sustituyen los códigos binarios por símbolos alfanuméricos de 3 o 4 letras denominados mnemónicas. Cada mnemónica se transforma en una o varias instrucciones de lenguaje de máquina.

Estos lenguajes presentan varias ventajas, por ejemplo, los datos pueden ser introducidos en código decimal, octal, hexadecimal, ASCII, BCD, etc.; además permite incorporar comentarios, frases cortas que explican el objetivo de cada parte del programa y su aprovechamiento de la capacidad de memoria es casi óptimo.

Como es obvio, cualquier otro lenguaje empleado debe traducirse al lenguaje de máquina atendiendo a las instrucciones de la computadora en cuestión para esta función tenemos los programas monitor y ensamblador. Programa monitor: puede actuar como el sistema operativo, facultando a la máquina para realizar muchas funciones programables. Por ejemplo, puede mover bloques de códigos de unas localizaciones de memorias u otras y gobernar máquinas de casetes para cargar los programas de aplicación.

De esta manera es posible introducir un programa desde un teclado, comenzando a introducir desde la localización deseada, el equivalente binario de las instrucciones y datos que originalmente estaban en hexadecimal o ASCII.

Programa ensamblador: Este también es un programa operativo que permite atacar directamente a la máquina con los mnemónicos. Cada computadora tiene su juego particular de mnemónicos, constituye el intérprete, ya que el programa del lenguaje ensamblador (fuente) se convierte en lenguaje o código objeto a través del ensamblador.



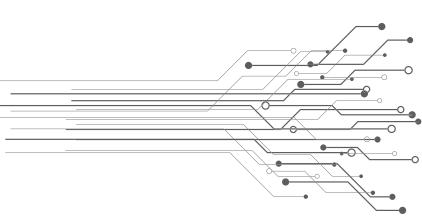
Los sistemas con ensambladores requieren generalmente discos magnéticos para almacenar el programa.

13.3.1 Lenguajes de alto nivel no conversacionales o algorítmicos

Estos tipos de lenguajes son mucho más eficaces que el anterior ya que cada instrucción en nemónicos es traducida a un conjunto de instrucciones en lenguaje de máquinas y para ello requiere de un programa operativo llamado compilador que realiza la traducción.

Los componentes y circuitos de un sistema programable:

SENSOR NTC	FOTOTRANSISTOR	CD/A	AGV
SAMPLE AND HOLD	MULTIPLEXOR (MX)	DEMULTIPLEXOR (DMX)	CA/D
PUERTO DE ENT-SAL	MEMORIA	MONITOR	M P
TECLADO	NIVEL	TACOMETRO	PTC



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

IRVING L. KOSOW 1948. Máquinas Eléctricas y Transformadores 1948

A. FITZGERALD – KINGSLEY – KUSKO. 1984. Teoría y Análisis de las Máquinas eléctricas, ed. Hispano europea, 1984.

SEMBU GOURISHANKAR. 1990. Conversión de Energía Electromecánica Ediciones alfaomega, 1990.

LIWCHITZ – GARIK. 1987. Máquinas de Corriente Continua, Máquinas de Corriente Alterna ed. o. van nostrand, company, 1987.

M.P. KOSTENKO – L.M. PIOTROVSKI. 1975. Máquinas Eléctricas Tomos I y II, III 1975.

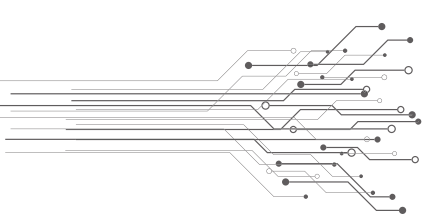
FRAILE MORA, J. 2005. Electromagnetismo y Circuitos Eléctricos, 6ª Edición, McGraw-Hill Interamericana de España, 2005.

CHAPMAN, S.J. 2000. Máquinas Eléctricas, 3ª Edición, McGraw Hill, 2000.

HORENSTEIN MARK N. 1997 Microelectrónica circuitos y dispositivos. 2a. Ed. Prentice Hall, 1997.

MILLMAN Y GRABEL. 1989. Microelectrónica. Mc Graw Hill. 1989.
SCHNADOWER BARAN I. 1979 Circuitos electrónicos digitales. Mc Graw Hill. 1979

SEDRA Y SMITH. 1992. Dispositivos Electrónicos y amplificación.



Interamericana. 1992.

MILLMAN. 1982 Microelectrónica. Mc Graw Hill. 1982.

ALLAN D. PIERCE 1989 Acustics, an introduction its Physical Principles and Applications Woodburry, New York: Acoustical Society of America 1989

ADEL S. SEDRA Y KENNET C. SMITH MC GRAW HILL. 2006. Circuitos Microelectrónicos Interamericana Quinta edición 2006

DONALD L. SCHILLING, CARLES BELOVE. 1991. Circuitos Electrónicos: Discretos e Integrados Publicaciones Alfaomega Marcombo, S.A. Segunda edición 1991

KREYSZIG, ERWIN LIMUSA WILEY TERCERA 2008 Matemáticas Avanzadas Para Ingeniería Tomo II edición 2008

ALCALDE SAN MIGUEL, P., Electrotecnia, 4ª Edición, Thomson-Paraninfo, 2004.

CARLSON, A. BRUCE, Teoría de circuitos: ingeniería, conceptos y análisis de circuitos eléctricos lineales, Thomson-Paraninfo, 2002.

CONEJO, A., Circuitos eléctricos para la ingeniería, McGraw-Hill, 2004.

EDMINISTER, N., Circuitos Eléctricos, Mc Graw Hill, 1997. **537 EDM cir**

FRAILE MORA, J., Electromagnetismo y Circuitos Eléctricos, 6ª Edición, McGraw-Hill Interamericana de España, 2005. **537.8 FRA ele**



Autores

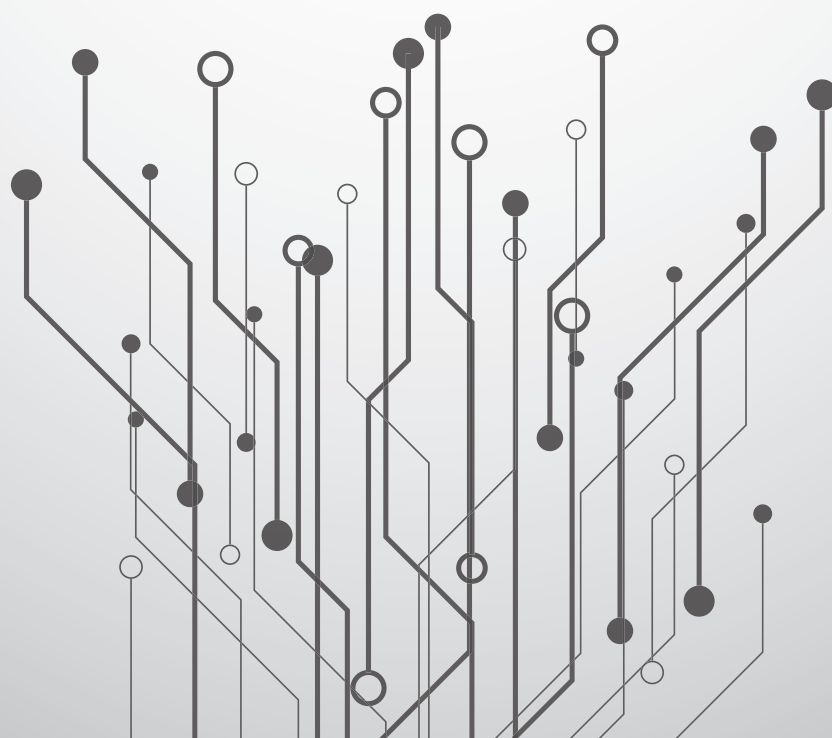
MgS. Edwin Homero Moreano Martínez

MgS. Cristian Fabian Gallardo Molina

MgS. Luis Rolando Cruz Panchi

MgS. Franklin Hernán Vásquez Teneda

2022
INVESTIGACIÓN



ISBN: 978-9978-395-79-0



9 789978 395790