

8
25



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

**“LA MAQUINA DE CORRIENTE CONTINUA SU
ESTUDIO Y APLICACIÓN EN MÁQUINAS DE
EXTRUSIÓN”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

JAVIER BENÍTEZ GÓMEZ

**ASESOR DE TESIS :
ING. J. J. RAMÓN MEJÍA ROLDAN**



MEXICO

1999

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

74957



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatorias:

A mi Madre: Por ser la fuerza motriz para que yo saliera adelante, el principal estímulo en mi vida al cual yo debo mi ser, mi existencia y mi profesión.

A mi Padre: Le agradezco la formación de mi carácter y objetividad para comprender el mundo que me rodea y salir adelante; nunca olvidaré las enseñanzas que de él pude obtener durante toda mi carrera.

A mi Esposa: Le doy gracias por todo el apoyo que me brindó y me sigue brindando en los peores momentos de mi vida profesional y ordinaria.

A mis Hijos: Porque gracias a ellos me propuse llegar finalmente a la meta de concluir mis estudios.

A DIOS: Por permitirme vivir y lograr mis objetivos.

A La U.N.A.M. Por ser la máxima casa de estudios que me dio mi preparación.

A CAMPUS ARAGON. Por que fue mi segundo hogar donde pase gran parte de mi vida y me abrió las puertas de la enseñanza superior.

A mis Hermanos:

José Luis: Por ofrecerme su ayuda siempre que se lo solicite de manera incondicional en todos los aspectos de mi vida profesional.

Luis Rey: Por tu apoyo académico en gran parte de mis estudios y por transmitirme el entusiasmo profesional.

Alberto Diego: *Por su confianza que siempre me brindó con múltiples consejos para andar en el camino de la vida y concluir mis estudios.*

Rodolfo, Arturo, Agustín, Hermelindo y Manuel: *Porque fueron parte de mi formación desde mi niñez.*

A mis Hermanas:

Lucía y Rocío: *Que contribuyeron mucho en mi vida profesional con su comprensión y apoyo en muchos aspectos.*

Agradecimientos:

Al Ing. J.J. Ramón Mejía Roldán:

Por su apoyo en la elaboración de este proyecto y en mi formación personal y profesional.

Al Sr. Francisco Neria y Manuel Ponce:

Por sus sabios consejos y su apoyo total e incondicional en el desarrollo de algunos capítulos del presente proyecto.

Y A todas las personas que de cualquier forma influyeron en la elaboración de mi Tesis.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
--------------------	---

CAPITULO I ANTECEDENTES HISTORICOS

I.1 GENERALIDADES	4
I.2 PELICULAS DE POLIETILENO.....	5
I.3 PROPIEDADES DE LAS PELICULAS E INTERPRETACIÓN	7
I.4 CARACTERISTICAS Y GRADOS DE PELICULAS IMPORTANTES	9
I.5 EL FUTURO DE LOS PLASTICOS EN EL EMPAQUE	13
I.6 ¿ COMO LLEGAR AL FUTURO?.....	14

CAPITULO II. DISPOSITIVOS BASICOS PARA EL CONTROL DEL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

II.1 GENERALIDADES	16
II.2 DIODO.....	18
II.3 TRANSISTOR.....	20
II.4 TIRISTORES DE DOS TERMINALES O DIODO PN/PN.	22
II.5 RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO	24
II.6 TRANSISTOR UNIJUNTURA O MONOUNION (ujt)	25
II.7 DIAC.....	27
II.8 TRIAC.....	27

CAPÍTULO III INTRODUCCION A LAS MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

III.1 GENERALIDADES DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS	29
III.2 PRINCIPIOS DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS	31
III.2.1 POSICIÓN ANGULAR.....	31
III.2.2 VELOCIDAD ANGULAR ω	32

III.2.3. ACELERACIÓN ANGULAR α	33
III.2.4 PAR f	33
III.2.5 LEY DE ROTACION DE NEWTON	36
III.2.6 TRABAJO W	37
III.2.7 POTENCIA	37
III.3 PRINCIPIOS GENERALES DE LOS MOTORES DE C.C	39
III 3.1 LA MAQUINA LINEAL DE CORRIENTE CONTINUA	39
III 3.2 ARRANQUE DE LA MAQUINA DE C.C.	41
III 3.3 LA MAQUINA LINEAL DE C.C. COMO MOTOR	42
III 3.4 PROBLEMA EN EL ARRANQUE	44
III.4 MAQUINA ROTATIVA SIMPLE	45
III 4.1 VOLTAJE INDUCIDO EN UNA ESPIGA GIRATORIA	47
III 4.2 OBTENCION DE UN VOLTAJE DE C.C. A PARTIR DE UNA ESPIRA GIRATORIA	52
III.5 MAQUINAS REALES DE C.C.	53
III.5.1 BOBINAS DEL ROTOR	53
III.5.2 DEVANADOS.....	55
III.6 PROBLEMAS DE LA CONMUTACIÓN EN MAQUINAS REALES	61
III.6.1 REACCION DE ARMADURA (INDUCIDO).....	61
III.6.2 VOLTAJES $L(dI/dT)$	64
III.6.3 SOLUCION DE PROBLEMAS DE LA CONMUTACION	66
III.6.4 CONSTRUCCION DE LAS MAQUINAS DE C.C.	69
III.6.5 MTO. A LA MAQUINA DE C.C.....	74
CAPITULO IV ESTUDIO APLICACIÓN DE LOS MOTORES DE C.C.	
IV.1 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA	77
IV.1.1 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN MOTOR C.C.	78
IV.2 MOTORES DE C.C. CON EXCITACIÓN INDEPENDIENTE Y CON EXCITACIÓN DE DERIVACIÓN	79

IV.2.1 EFECTO DEL CIRCUITO DE CAMPO ABIERTO	92
IV ARRANCADORES DE MOTORES DE C.C.	92
IV 3.1 PROBLEMAS EN EL ARRANQUE DE MOTORES DE C.C.	93
IV 3.2 CIRCUITOS DE ARRANQUE DE MOTOR DE C.C.	95
IV 3.3 EL SISTEMA WARD-LEONARD Y CONTROLADORES DE VELOCIDAD DE ESTADO SOLIDO.....	99

CAPITULO V MAQUINARIA DE EXTRUSION GENERALIDADES

V.1 APLICACIÓN DE LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA A UNA MAQUINA DE EXTRUSION	104
V.2 PARTES QUE CONSTITUYEN LA MAQUINA DE EXTRUSION	106
V.2.1 TOLVAS.....	106
V.2.2 EXTRUDER.....	107
V.2.3 CAMBIADOR DE FILTRO O PORTAMALLA.....	110
V.2.4 ADAPTER.....	111
V.2.5 CABEZA DE EXTRUSION O DADO	112
V.2.6 SISTEMA DE ENFRIADO DEL GLOBO	114
V.2.6.1 AIRE DE ENFRIAMIENTO INTERNO	115
V.2.6.2 AIRE DE ENFRIAMIENTO EXTERNO	116
V.2.6.3 ENFRIAMIENTO POR RODILLOS REFRIGERANTES	117
V.2.7 PELICULA, GLOBO O BURBUJA	118
V.2.8 MARCO PLEGADOR.....	118
V.2.9 RODILLOS PRIMARIOS DE ARRASTRE	119
V.2.10 MAQUINA DE TRATAMIENTO O TRATADORA.....	120
V.2.11 RODILLOS LOCOS	122
V.2.12 CORTE DE BORDES	122
V.2.13 RODILLOS SECUNDARIOS DE ARRASTRE	123
V.2.14 EMOBINADORES	124
V.2.15 APLICACIÓN DE LOS MOTORES DE C.C. EN LA MAQUINA DE EXTRUSION.....	124

CAPITULO VI EL REGULADOR DE VOLTAJE EN ESTADO SOLIDO

VI.1 DESCRIPCION FUNCIONAL BASICA.....	127
VI.2 LAZO DE CORRIENTE INTERNA	128
VI.3 LAZO DE VELOCIDAD EXTERNA.....	128
VI.4 CONVERTIDOR DE POTENCIA.....	129
VI.5 DIAGRAMA DE BLOQUES	129
VI.6 ANALISIS DE LOS CIRCUITOS BASICOS	130
VI.6.1 ACELERACIÓN DESACELERACIÓN	130
VI.6.2 AMPLIFICADOR DE ERROR DE VELOCIDAD.....	131
VI.6.3 AMPLIFICADOR DE ERROR DE CORRIENTE	132
VI.6.4 CIRCUITO GENERADOR DE RAMPA.....	133
VI.6.5 CIRCUITOS COMPARADOR Y OSCILADOR DE GATE	134
VI.6.6 CIRCUITO DETECTOR DE FALLAS.....	136
VI.6.7 CARACTERISTICAS DE SOBRECARGA	137
VI.6.8 CONTROL DE RELES DE ENCENDIDO, ARRANQUE, PARA Y JOG.....	138
VI.7 ANALISIS DE LA TENSIÓN DE SALIDA DEL REGULADOR DE VELOCIDAD DE ESTADO SOLIDO.....	140
VI.7.1 POTENCIA PARA EL MOTOR DE C.C.	140

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la tecnología esta avanzando a pasos gigantescos lo triste de esto es que gran parte de los logros conseguidos han sido por países altamente industrializados como: Alemania, Japón, E.U. etc.

En México sin embargo, el desarrollo científico-tecnológico propio no existe es por eso que se trata de impulsar para iniciar estudios, tratando que en un futuro no muy lejano se desarrolle tecnología nacional.

Actualmente existe en México (en algunas empresas) tecnologías obsoletas; por tanto podemos comenzar con el estudio de algunos medios para proponer cambios a maquinaria que requiere de innovaciones tecnológicas para un mejor funcionamiento e incremento de la productividad.

No se trata de decir que lo aquí expuesto sea algo netamente nuevo, porque si bien es cierto todos sabemos de antemano que muchas cosas que se nos puedan ocurrir ya existen en países desarrollados. Pero lo que se pone en claro es que con este trabajo se intenta desde un punto de vista muy personal, dar comienzo a la era de la investigación enfocada al desarrollo de maquinaria nacional para la producción del polietileno en México. Este estudio se enfoca principalmente en los motores de corriente continua aplicados a la industria del plástico y como ya se mencionó antes, especialmente a la producción del polietileno.

Los motores de c.c. tienen características especiales es por eso que son muy utilizados en este tipo de procesos. Además han tenido gran auge últimamente gracias a la aparición de los circuitos de control de estado sólido para motores de corriente continua.

Los motores de corriente alterna también ocupan un lugar muy especial en la industria, sólo que quedan fuera de nuestro objeto de estudio debido a que sus características no son requeridas en este tipo de maquinaria; sus usos se restringen en este caso únicamente a ventiladores y motores para el accionamiento de pequeños dispositivos.

El estudio está basado en el motor de c.c. así como su control aplicado a la industria productora de polietileno; ya que como veremos más adelante los motores más importantes que accionan la máquina productora de polietileno son motores de c.c. con excitación independiente. No se pasará por alto los demás tipos de motores de c.c. pues considero que es importante mencionarlos, aunque este trabajo se enfoque a uno sólo.

El presente trabajo abarca VI capítulos, en el 1º y 2º capítulos dan a conocer los antecedentes históricos y los dispositivos básicos para el control de los motores de c.c.

Los dos siguientes capítulos son un estudio detallado de los motores de corriente continua es decir por un lado, la introducción a las máquinas de corriente continua y por el otro los motores de c.c. su estudio y aplicación.

El penúltimo capítulo se destina a la descripción de la máquina productora de polietileno que utiliza motores de corriente continua para su operación. Y el último es un sencillo tratado del regulador de voltaje de estado sólido.

Con esto queda completo punto por punto todo un proyecto muy personal que espero interese a todo Ingeniero que piense aplicarse al campo de las máquinas.

Se eligió una máquina que produce polietileno por la facilidad que presenta para la aplicación de los motores de c.c. y por su flexibilidad para su estudio; pero esto no significa que existan límites. El proyecto realizado es muy importante en las empresas que trabajen con máquinas ya que los principios son los mismos, lo único que varía es la aplicación de los motores de c.c. y por consiguiente los productos elaborados; es decir los motores de c.c. y su control son muy utilizados en la industria y se hace hincapié en seguir fomentando su uso ya que son muy apropiados para muchos procesos.

Presentamos principal interés por el polietileno ya que es el material más utilizado en todo tipo de empaques sea comestible, de vestir, etc. Su uso se ha expandido enormemente esto va acompañado también de la decoración que se le da al polietileno para la presentación del producto.

Es interesante estudiar aplicaciones prácticas de máquinas eléctricas y espero que este trabajo le sea de utilidad y sirva como ejemplo a estudiantes de ingeniería para que se introduzcan al estudio aplicado de las máquinas eléctricas en general en la Industria Mexicana.

Para impulsar a un país como el nuestro sólo falta decisión de nuestra parte para estudiar y desarrollar proyectos de ingeniería y así impulsar a nuestro México para salir adelante.

Del estudiante, en especial de ingeniería depende mucho el desarrollo tecnológico nacional ya que si poco a poco nos introducimos al desarrollo tecnológico tal vez más tarde podamos desarrollar tecnología propia.

CAPITULO I

ANTECEDENTES HISTORICOS.

I. GENERALIDADES.

El empaque surgió como una necesidad desde el momento en que se inició el comercio en el mundo, esto fue en el siglo XII a.C. con los fenicios; los cuales en lugar de vender sus productos en lugares cercanos, se trasladaban a zonas más alejadas para comerciar sus animales y frutos. En ese momento es cuando se requiere de vasijas, pieles o cestos que les sirvan de transporte y que le den un toque decorativo al producto por vender.

El problema con el que se encontraron fue que los productos perecederos se echaban a perder y esto representaba pérdidas en sus ventas, además de que no podían hacer ventas muy grandes y necesitaban reabastecerse continuamente.

Así durante mucho tiempo continuó la función del empaque como un medio de transporte, utilizándose posteriormente papel, cartón y madera. Fue hasta 1796 que el francés Nicolás Appert perfeccionó un proceso para conservar productos perecederos en envases de vidrio a instancias de Napoleón que requería de

alimentos para sus ejércitos, lo que impulso posteriormente la implementación de envases de hojalata.

El mismo procedimiento sucedía aquí en México hasta principios de este siglo donde el sector de empaque se mantenía con materiales tradicionales como: papel, vidrio, madera, cartón y metal, pero a raíz de la industrialización del petróleo y de la línea de productos que surgieron de él se inició el cambio, por lo que comenzaron a presentarse en el mercado envases y empaques de plástico los cuales proporcionan mejor protección y tuvieron la misma función de presentar el producto igual que el vidrio y el metal.

Los envases de materiales plásticos presentan ventajas contra los materiales tradicionales porque el alimento se conserva mejor, y el material no reacciona con el producto envasado, es más rápida y menos costosa su fabricación y presenta una gran variedad de diseños, además de facilidad de impresión, con ventajas de comercialización sobre los otros materiales. Las películas de polietileno funcionan como un empaque ya que facilitan el transporte y además protegen al producto que puede estar envasado o no. El material que ha generalizado su uso como una película de plástico es el polietileno, aunque existen otros.

1.2 PELICULAS DE POLIETILENO.

La película de polietileno es un material flexible de 10 a 300 micras de pulgada de espesor que sirve para: empaclar, envasar o envolver productos.

Estas películas plásticas deben cumplir ciertas funciones:

a) **Proteger al producto:** con el objeto de preservar al producto e impedir el paso de sustancias al interior del empaque, que pueden producir aroma o sabor diferente al original.

b) Facilitar su transporte y almacenaje: que el material sea resistente y presente tal diseño que los productos sean apilados y transportados de manera rápida y eficiente.

c) Exhibir o identificar el contenido: para que el producto sea más atractivo es necesario que esté a la vista del público ya sea que el material sea transparente y deje observar mirar el producto o bien que en la impresión se vea la reproducción del mismo.

d) Mostrar un mensaje para su venta: aquí se requiere que el material posea facilidad de impresión y de esta forma que se realce la imagen del producto.

e) Presentar información del contenido para cuestiones legales: en la actualidad, es necesario que todo empaque o envase muestre a simple vista los contenidos de materiales en porcentajes en forma real y honesta. En ocasiones un sólo material no va a cubrir todas estas necesidades, se requiere que se hagan combinaciones de materiales para lograr que entre unos y otros complementen las funciones, es decir que un material aporte una propiedad y otro u otros aporten las restantes que el primero no posee. Lo anterior se puede lograr de dos formas:

LAMINACION: Es la combinación, de películas o láminas de diferentes materiales que unidas mediante un adhesivo o calor, forman una estructura combinada y completa de espesor de 50 hasta 80 micras y que cumplen funciones de barrera y protección mecánica.

COEXTRUSION: Es la combinación de dos o más materiales en el momento de su procesamiento en estado fundido que logran formar estructuras desde 30 hasta 55 micras.

Cuando estos materiales, ya se encuentran en forma de laminaciones o coextrusiones y están en contacto directo con alimentos, requieren que sean

analizados y probados para todo uso por la Asociación de Alimentos y Medicamentos (FDA).

I.3 PROPIEDADES DE LAS PELICULAS E INTERPRETACION

Para cumplir las funciones de un empaque se requiere que los materiales posean las siguientes funciones:

Resistencia a la tensión: Se corta una muestra de película de aproximadamente de 5 x .5 cm y se somete a un estiramiento hasta que se logre su ruptura y en ese momento se obtiene el valor de la prueba. (comparación de la longitud inicial con la final). En el caso del polietileno estas propiedades dependen de: a) La densidad, cuando esta se incrementa, aumenta significativamente la resistencia a la tensión. B) Del peso molecular, si aumenta, aumenta un poco la resistencia a la tensión.

Resistencia al desgarre: dificultad que presentan algunas películas a romperse en el momento de su llenado.

Resistencia al impacto: es la dificultad que presenta un cuerpo a romperse cuando lo golpea una carga. Se corta una muestra redonda de 3.8 cm de diámetro y de 6 cm de espesor. Se sujeta sobre una prensa horizontal y se deja caer un dardo de peso conocido y se va incrementando el peso de éste pero en forma uniforme hasta lograr la ruptura de la película. Esta técnica se debe de repetir un mínimo de 20 veces y el resultado se tiene estadísticamente, dando como dato el peso del dardo que fracturó por lo menos un 50% de las muestras.

Transmitancia y brillo: el brillo se obtiene mediante un enfriamiento rápido de la película de tal forma que se van acomodando las moléculas y la refracción de la

luz sea muy alta y por lo tanto los productos sean estéticos y decorativos. Se mide haciendo incidir un rayo de luz a 45 o 60 grados de inclinación sobre la película para medir que cantidad de luz se refleja.

Barrera a gases y vapor de agua: se refiere a la facilidad con que un gas se difunde a través de un material en condiciones normales, que son 25 grados centígrados y una atmósfera de presión. Esta propiedad definiría si el material es capaz de ser utilizado para empacar alimentos de acuerdo a la Asociación de Alimentos y Medicamentos (FDA).

Resistencia química: se refiere a la facilidad que presenta un material para ser atacado por diferentes sustancias en un baño durante siete días. Marca el comportamiento del material como se disuelve, no lo ataca, se hincha etc.

Grado alimenticio: muestra la posibilidad de que un material esté en contacto con alimentos que no le afecten las grasas, y no reaccione con el contenido. Por ello se requiere que la FDA analice y autorice este uso, de tal manera que la materia prima, el proceso, aditivos y el producto terminado tengan un registro clave de la FDA que marque el uso del material, para estos fines con el nivel de aditivos que sea el adecuado.

Densidad: esta propiedad es importante para conocer el rendimiento de un material respecto al número de piezas que se pueden obtener de acuerdo a los gr/cm^3 resultantes en su producción.

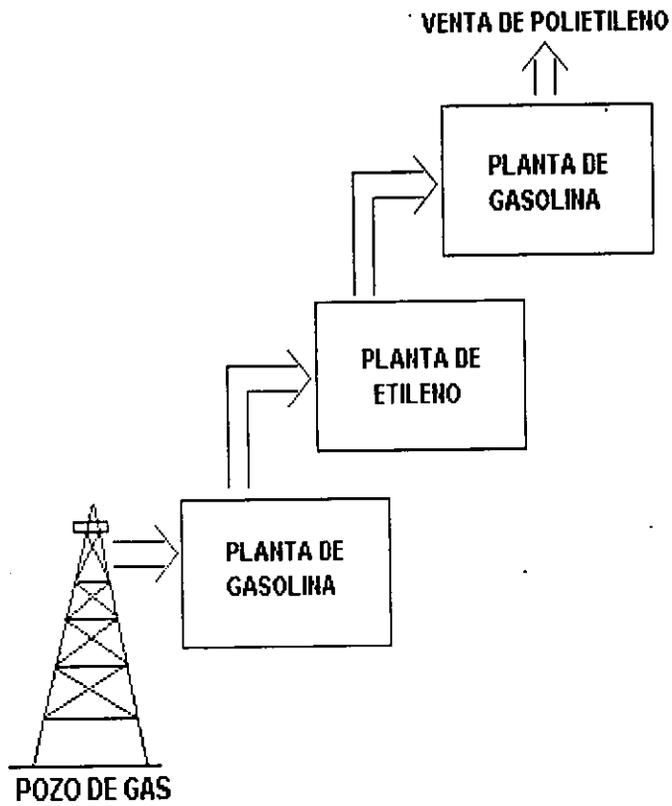
Índice de fluidez : es la facilidad con que fluye el plástico al aplicarle calor y presión. Se mide en $\text{gr}/10 \text{ min}$ y se realiza la prueba en un aparato en el que en un orificio de 9 mm. se coloca una cantidad de material determinada, con resistencias se calienta el cilindro y con un pistón de diferente peso se empuja el material hasta

la salida del orificio. La cantidad de material que salga en 10 minutos es el índice de fluidez.

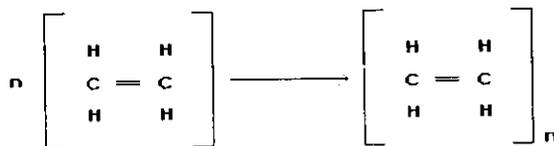
1.4 CARACTERISTICAS Y GRADOS DE PELICULAS IMPORTANTES.

POLIETILENO. Dentro del campo de las películas plásticas, el material que absorbe en mayor proporción esta aplicación es el polietileno, existiendo el de baja densidad para la bolsa comercial, el de alta densidad para la bolsa industrial y de cereales, el polietileno lineal para pellet y bolsa de bajos calibres aunque estos tres tipos de polietileno son los más utilizados, existen las mezclas y grados especiales que se obtienen de la modificación con aditivos. Por lo que siendo tantos tipos de materiales que parten de la misma fuente primero se presentará su obtención y su clasificación.

OBTENCION: el etileno parte del petróleo, donde en el momento de su fraccionamiento y destilación se separa el etano del propano y butano para obtener etileno. Este etileno puede ser utilizado para la fabricación de: alcohol etílico, etilenglicol, oxido de etileno , acetaldehido, PVC, poliestireno, y etileno. En el caso de obtener y vender únicamente el etileno, si este monomero se une entre sí, es decir se polimeriza para obtener una estructura muy grande y repetitiva "n" veces, se obtiene el polietileno.



POLIETILENO



De acuerdo al tipo de polimerización y por lo tanto, densidad obtenida en el producto los polietilenos se clasifican en:

TIPO	DENSIDAD	INDICE DE FLUIDEZ
Polietileno de baja densidad (LDPE).	0.910-0.940	0.4-0.6
Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE).	0.918-0.935	0.4-4
Polietileno de alta densidad (HDPE).	0.941-0.960	0.4-1

Si a estos materiales se les modifica con aditivos o se mezclan entre si, se logra mayor variedad de productos, y aplicaciones como se muestra a continuación:

LDPE {

- Normal* *Bolsas*
- Termoencogible* *Pallet, empaque.*
- Espumable* *Empaque.*
- Biodegradable*

LLDPE *Bolsas, pallet*

HDPE *Bolsa industrial, cereales*

El polietileno presenta tres parámetros a controlar que provocan la variación de diferentes propiedades, y lo que da por consecuencia diferentes tipos de películas.

- A) Densidad
- B) Índice de fluidez
- C) Distribución del peso molecular.

AL AUMENTAR LA DENSIDAD.

AUMENTAN:

- a) Rigidez
- b) Cristalinidad
- c) Dureza
- d) Resistencia química.
- e) Punto de cedencia.
- f) Punto de ablandamiento.
- g) Temperatura de fusión.

DISMINUYEN:

- a) Resistencia al impacto.
- b) Resistencia al desgarre.
- c) Claridad.
- d) Bloqueo.
- e) ESCR.
- f) Rango de sellado.

AL AUMENTAR EL INDICE DE FLUIDEZ.

AUMENTAN:

- a) Procesabilidad.
- b) Estiramiento en caliente.
- c) Propiedades ópticas.

DISMINUYEN:

- a) Peso molecular promedio.
- b) Resistencia química
- c) Resistencia a la tensión.
- d) Resistencia al impacto.
- e) Res. en estado de fundido.
- f) Encogimiento y albeo.
- g) Tenacidad
- h) Res. a bajas temperaturas.
- i) ESCR.

1.5 EL FUTURO DE LOS PLASTICOS EN EL EMPAQUE.

Día con día surgen más necesidades en el sector del empaque y se requiere que los materiales posean.

- a) Resistencia al desgarre.
- b) Resistencia a la punzura.
- c) Resistencia a productos químicos.
- d) Brillo superficial.
- e) Barrera a la transmisión de gases y vapor de agua.
- f) Facilidad de impresión.
- g) Sellabilidad con calor.
- h) Bajo costo.

Llegándose a la conclusión de que no existe un material que cubra todas estas características por sí sólo por eso se busca la combinación de diferentes materiales o la modificación de algunos de ellos.

Por lo anterior el futuro de los plásticos y la solución que dan estos al mercado del empaque es:

- a) Nuevos materiales.
- b) Modificación de los ya existentes.
- c) Laminaciones.
- d) Coextrusiones.

1.6 ¿ COMO LLEGAR AL FUTURO ?

Si bien estos materiales y desarrollos se están dando en el mundo para avanzar con ideas originales se requiere de departamentos de investigación y desarrollo dentro de la industria del plástico.

Esto es importante porque si se desarrolla tecnología propia se reduce el riesgo de obsolescencia se conocen las amenazas y oportunidades del mercado, se diversifica la empresa y se mantiene la competitividad en el mercado

Las necesidades de desarrollo se presentan porque dentro de la misma industria del empaque se han presentado diferentes cambios como son: mayor diversidad de productos y servicios, se refuerza la investigación a nivel mundial y se prevén restricciones de transferencia de tecnología. Por lo que es necesario ir dirigiendo recursos a departamentos de investigación que desarrollen tecnologías propias y que con ello se cimiente una industria fuerte y prometedora.

La industria del empaque debe continuar con su desarrollo es por eso que en el presente trabajo se abarca, el estudio detallado de la maquinaria que nos proporciona la materia prima para el empaque (el polietileno y sus combinaciones con aditivos para las diversas aplicaciones), así como su posible control semiautomático.

La aplicación más importante en esta máquina a nivel Ingeniería Eléctrica y Electrónica es el uso de los motores de (corriente continua) así como su control por medio de dispositivos electrónicos principalmente SCR's y demás componentes. El estudio es básicamente el motor de c.c. aplicado a la industria de la fabricación de película de polietileno.

CAPITULO II

DISPOSITIVOS BASICOS PARA EL CONTROL DE MOTORES DE C.C.

II. 1 7 GENERALIDADES.

En las décadas que siguieron a la introducción del transistor semiconductor en los años cuarenta han atestiguado un cambio sumamente drástico en la industria electrónica. La miniaturización que ha resultado nos maravilla cuando consideramos sus límites. En la actualidad se encuentran sistemas completos en una oblea miles de veces menor que el más sencillo elemento de las primeras redes. Las ventajas asociadas con los sistemas semiconductores en comparación con las redes con bulbos de los años anteriores son en su mayor parte obvias, más pequeñas y ligeras no requieren calentamiento, además no se producen en ellas pérdidas térmicas.

El concepto semiconductor debe quedar claro, por sí mismo proporciona una pista en cuanto a las características de este dispositivo. El prefijo semi se aplica por lo general a todo aquello que se encuentre a la mitad entre dos límites. El término conductor se aplica a cualquier material que permita un flujo considerable de carga debido a la aplicación de una cantidad limitada de presión externa. Un semiconductor, por tanto es un material que tiene un nivel de conductividad en algún lugar entre los extremos de un aislador (de muy baja conductividad) y un conductor como el cobre que tiene un alto nivel de conductividad.

Los materiales semiconductores germanio (Ge) y silicio (Si) son los más utilizados, no son los únicos materiales semiconductores pero son los que han recibido mayor atención en el desarrollo de los dispositivos con semiconductores. En años recientes la tendencia se ha desviado hacia el silicio, alejándose del germanio pero este sigue produciéndose aunque en menor cantidad.

En la última década ocurrió una revolución en la aplicación de los motores eléctricos. El desarrollo de los controladores de estado sólido para motores ha progresado de tal forma, que cualquier problema de control de potencia puede resolverse mediante su utilización.

Los costos de los sistemas de control de estado sólido han tenido un decrecimiento enorme, mientras que su confiabilidad se ha incrementado. La versatilidad y el relativo bajo costo de los controladores y accionamientos de estado sólido han permitido muchas nuevas aplicaciones de los motores de corriente alterna en aquellos trabajos que normalmente se realizaban con máquinas de c.c. Así mismo los motores de c.c. han aumentado su flexibilidad desde la aplicación de los controladores de estado sólido.

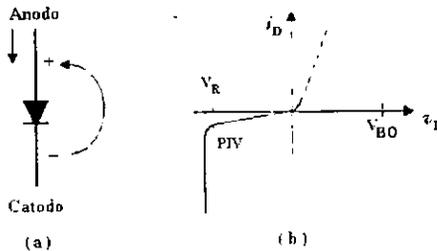
Este cambio se dió como resultado del desarrollo de una serie de elementos semiconductores. Dentro de los más importantes tenemos:

- 1) Diodo
- 2) Transistor
- 3) Tiristor de dos terminales (diodo pnpn)
- 4) Rectificador controlado de silicio SCR
- 5) Transistor unijuntura o monounión (UJT)
- 6) Diac.
- 7) Triac.

II. 2 DIODO

El primer dispositivo electrónico que se presentara se llama diodo. Es el más sencillo de los dispositivos semiconductores, pero desempeña un papel vital en los sistemas electrónicos, con sus características que se asemejan en gran medida a las de un sencillo interruptor. Se encontrará una amplia gama de aplicaciones que se extienden desde las simples hasta las sumamente complejas. ●

El diodo se puede definir como un elemento semiconductor diseñado para conducir corriente sólo en una dirección. El símbolo de este elemento se muestra en la figura 2.1. Un diodo puede conducir corriente del ánodo al cátodo, pero no en la dirección opuesta. Cuando se aplica al diodo un voltaje en la dirección mostrada en la figura 2.1 se produce una gran circulación de corriente; pero cuando se aplica al diodo un voltaje en la dirección inversa, este limita el flujo de corriente a un valor muy pequeño, del orden de microamperios o menor.



(a) Símbolo del diodo. (b) Característica voltaje corriente.

Figura 2.1

Existe una diversidad de diodos que se diseñan específicamente para manejar las demandas de alta potencia y altas temperaturas de algunas aplicaciones. La utilización más frecuente de los diodos de potencia se presentan en los procesos de rectificación. Cuando se emplean de este modo, los diodos reciben por lo general el nombre de rectificadores.

La mayor parte de los diodos de potencia se construyen utilizando silicio debido a sus más altos valores nominales de corriente, temperatura y VPI (voltaje pico inverso). Las demandas de corriente más elevada requieren que el área de la unión sea más grande, para asegurar que existe una baja resistencia directa del diodo. Si la resistencia directa fuera demasiado grande, las pérdidas resultarían excesivas. La capacidad de corriente de los diodos de potencia puede incrementarse disponiendo dos o más en paralelo y es posible aumentar el valor nominal de VPI colocando diodos en serie.

En la figura 2.2a se presentan varios tipos de diodos de potencia y sus valores nominales de corriente. Las temperaturas altas, resultado de las altas corrientes, requieren, en muchos casos, que se empleen disipadores para extraer el calor del elemento. Algunos de los diferentes tipos de disipadores de calor disponibles se muestran en la figura 2.2b. Si no se emplean estos últimos se diseñan diodos de perno para unirse directamente al chasis, que a su vez actuará como el disipador de calor.

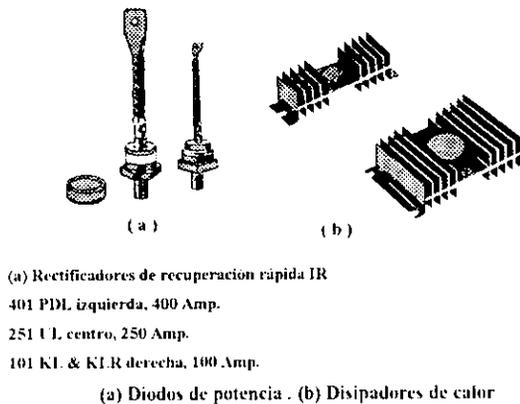


Figura 2.2

Los diodos se clasifican por la cantidad de potencia que pueden disipar de manera segura y por el máximo voltaje inverso que pueden soportar antes de llegar

a la ruptura. La potencia disipada por un diodo durante la operación en directo es igual al producto de la caída de tensión directa en el diodo por la corriente que circula a través de él. Esta potencia debe limitarse para evitar que el diodo se recaliente. El máximo voltaje inverso de un diodo se conoce como su voltaje pico inverso (VPI). Este debe ser lo suficientemente alto como para garantizar que el diodo no se rompa en un circuito y ocasione problemas conduciendo la corriente en dirección inversa.

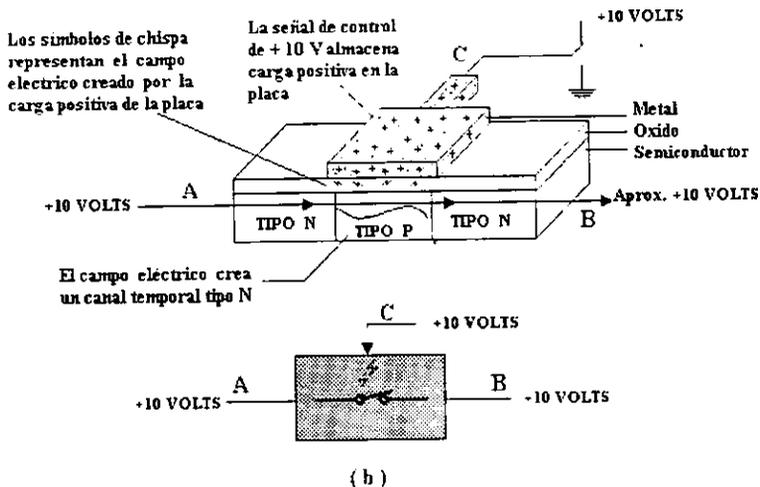
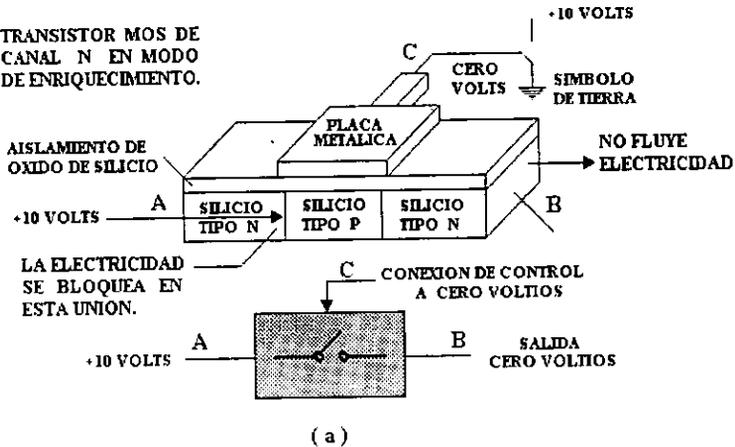
Los diodos también se suelen clasificar por su tiempo de maniobra, esto es, por el tiempo que le toma ir del estado conectado al estado desconectado y viceversa. Puesto que los diodos de potencia son grandes, los elementos de alta potencia con mucha carga almacenada en sus empalmes cambian de estado mucho más lentamente que los diodos que se encuentran en circuitos electrónicos.

II. 3 TRANSISTOR

La base de la electrónica del estado sólido moderna la constituye el transistor. Fue inventado en 1947 en los Bell Laboratory, y ocasionó un cambio permanente en la industria de la electrónica. El transistor tiene múltiples aplicaciones puede utilizarse como dispositivo de conmutación en circuitos lógicos digitales. con el fin de tomar decisiones también se utiliza en la fabricación de memorias capaces de almacenar información y en muchos más circuitos como dispositivos amplificadores y conformadores de señales eléctricas.

Un transistor es un dispositivo semiconductor, ya que está fabricado con un material como el silicio o el germanio que se encuentra a mitad del camino entre un buen conductor de la electricidad, como por ejemplo el cobre y un buen aislante.

TRANSISTOR MOS DE
CANAL N EN MODO
DE ENRIQUECIMIENTO.



Un modelo de transistor. (a) Interruptor A. (b) cambio de material tipo "p" a tipo "n"

Figura 2.3

La figura 2.3a muestra un transistor que puede utilizarse como dispositivo de conmutación. El silicio es de dos tipos, denominados tipo p y tipo n que se consiguen añadiendo impurezas diferentes al silicio con lo que se altera de forma diferente sus propiedades eléctricas. Una de las leyes fundamentales de la física de semiconductores es que la electricidad no puede fluir, a través de una unión, desde

el material tipo n al de tipo p, si la tensión aplicada al primero es más positiva que la aplicada al segundo. Se dice que la unión se encuentra inversamente polarizada.

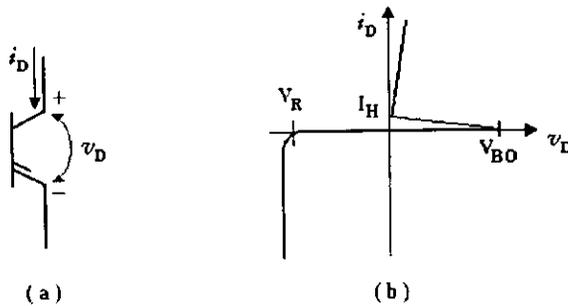
Así pues, en la figura 2.3a, si se aplican +10 volts a el terminal A, no circulara corriente alguna por el terminal B. ya que la unión p-n se encuentra bloqueada. Se dice que el transistor se encuentra en estado abierto o cortado.

Sin embargo, si se aplican +10 volts a la placa metálica que se encuentra, separada de silicio por un aislante (oxido de silicio), el material tipo p se convierte en la práctica en un material tipo n debido al campo eléctrico creado por la placa, tal como puede verse en la figura 2.3b. Ahora la corriente puede fluir entre las terminales A,B, el último de los cuales, como puede verse en la figura 2.3b se encuentra a una tensión de aproximadamente +10 volts. Cuando se dan estas circunstancias, se dice que el transistor se encuentra en estado de conducción o cerrado. Así pues es posible hacer que el transistor se comporte como un interruptor, simplemente controlando la tensión que se aplica a la placa metálica. Este tipo de dispositivo se conoce como transistor MOS debido a que la estructura que lo con forma es Metal Oxido Semiconductor.

II. 4 TIRISTOR DE DOS TERMINALES O DIODO PNP.

Tiristor es el nombre con el que se le conoce a la familia de dispositivos hechos de semiconductores de cuatro capas de material semiconductor. Un miembro de esta familia es el tiristor de dos terminales, conocido también como diodo pnpn. Este tiristor recibe el nombre también de diodo de bloqueo inverso tipo tiristor, el simbolo de este dispositivo se muestra en la figura 2.4a

Es un rectificador o diodo con una característica poco usual en la región de polarización directa. Esta característica de voltaje corriente se muestra en la figura 2 4b



(a) Tiristor de dos terminales o diodo pnpn. (b) Característica voltaje-corriente del diodo pnpn

Figura 2.4

La curva característica consta como se ve de tres regiones: Figura 2.4b

1) Región de bloqueo inverso: se comporta como un diodo común y bloquea toda circulación de corriente mientras alcanza el voltaje de ruptura inverso.

2) Región de conducción: nuevamente se comporta como un diodo común permitiendo el flujo de grandes corrientes con caídas muy pequeñas de voltaje directo.

3) Región de bloqueo directo: esta región es la que distingue a un diodo pnpn de uno común; cuando un diodo pnpn se polariza en sentido directo, no fluye corriente en él hasta que el voltaje de polarización directa no exceda en un cierto valor de voltaje llamado voltaje de ruptura directo (V_{SO}). Cuando el voltaje directo a través del diodo pnpn excede del valor V_{SO} el diodo conduce y se mantiene conduciendo hasta que la corriente que fluye a través de él caiga por debajo de un cierto valor mínimo (típicamente unos pocos miliamperios). Si la corriente se reduce por debajo de este valor mínimo (llamada corriente de mantenimiento I_H), el diodo pnpn sale de conducción y no conducirá hasta que la caída de tensión directa en el diodo exceda el valor V_{SO} .

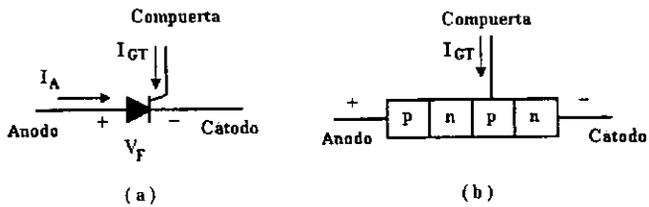
II. 5 RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO SCR.

Dentro de los dispositivos pnpn, el rectificador controlado de silicio (SCR) es incuestionablemente el de mayor interés hoy en día. Se introdujo por primera vez, en 1956 en los Bell Telephones Laboratory. Algunas áreas de mayor aplicación de los SCR's incluyen controles de reelevadores, circuitos de retraso de tiempo, fuentes de poder reguladas, interruptores estáticos, controles de motores, inversores, cargadores de baterías, circuitos de protección, controles de calefacción y controles de fase.

En los últimos años se han desarrollado SCR's para controlar potencias tan altas como 10MW con valores nominales individuales tan elevados como 2000 A.

Como la terminología indica el SCR es un rectificador construido de material de silicio con una tercera terminal para propósitos de control. Se eligió el silicio debido a su elevada capacidad de temperatura y potencia. La operación básica del SCR es diferente de la del diodo semiconductor fundamental de dos capas en que una tercera terminal, llamada compuerta, determina cuando el rectificador conmuta del estado de circuito abierto al de corto circuito. No es suficiente con polarizar directamente la región de ánodo a cátodo del dispositivo. En la región de conducción, la resistencia dinámica del SCR es por lo general de 0.01 a 0.1 ohm , y la resistencia inversa es típicamente de 100 K Ω o más.

El símbolo gráfico para el SCR se muestra en la figura 2.5. Como se indica en la figura 2.5a, si se va a establecer una conducción directa, el ánodo debe ser positivo con respecto al cátodo. Sin embargo éste no es un criterio suficiente para activar el dispositivo. También debe aplicarse en la compuerta un pulso de magnitud suficiente para establecer una corriente de disparo, representada simbólicamente por I_{gt}



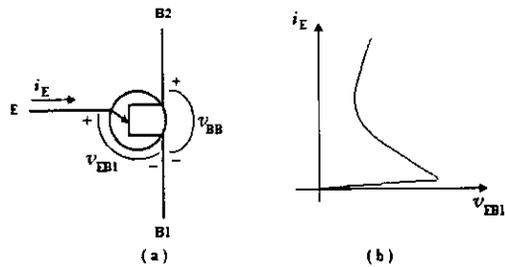
(a) Símbolo gráfico de un SCR. (b) Construcción básica de un SCR.

Figura 2.5

La construcción básica de una perla de cuatro capas de un SCR se muestra en la figura 2.6a. La construcción completa de un SCR de alta corriente libre de fatiga térmica se muestra en la figura 2.6b. Observe la posición de las terminales de la compuerta, el cátodo y el ánodo. El pedestal actúa como disipador de calor transfiriendo el calor que se genera durante la operación al chasis sobre el cual está montado el SCR. La construcción del encapsulado y la identificación de las terminales de los SCR variarán con la aplicación. Otras técnicas de construcción del encapsulado y la identificación de terminales de cada uno se indican en la figura 2.7.

II. 6 TRANSISTOR UNIJUNTURA O MONOUNION (UJT).

El símbolo para un UJT se muestra en la figura 2.8. El UJT tiene tres terminales un emisor y dos bases. Si se aplica un voltaje bastante grande V_{bb} entre las dos terminales de las bases del UJT. entonces, la unión emisor base 1 se comporta en forma muy similar al diodo pnpn, para que circule cualquier corriente se debe aplicar un voltaje directo V_{eb1} bastante grande



(a) Símbolo del UJT . (b) Característica voltaje-corriente.

Figura 2.8

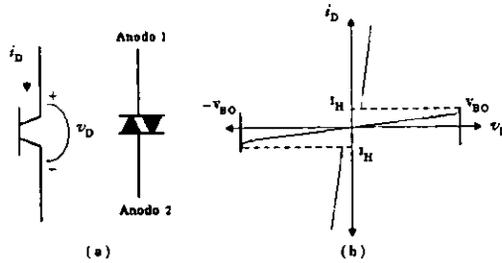
II. 7 DIAC.

Es un dispositivo que se comporta como dos diodos pnpn conectados en forma contrapuesta. Puede conducir en cualquier dirección una vez que el voltaje de ruptura se sobrepasa.

En la figura 2.9a se ilustra el símbolo del diac. Su característica voltaje corriente puede verse en la figura 2.9b. Se enciende cuando el voltaje de alimentación, en cualquier dirección sobrepasa V_{bo} . Una vez que se enciende el diac permanece encendido hasta que su corriente cae por debajo de I_h .

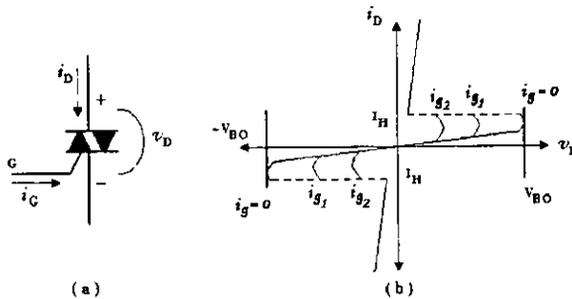
II. 8 TRIAC.

Es un dispositivo que se comporta como dos SCR en contraposición con una compuerta de paro común; puede ir en cualquier dirección desde el momento en que el voltaje de ruptura se sobrepasa.



(a) Símbolo del diac. (b) Característica voltaje corriente.

Figura 2.9



(a) Símbolo del triac. (b) Característica voltaje-corriente

Figura 2.10

El símbolo del triac se ilustra en la figura 2.10a y su característica corriente voltaje en la figura 2.10b. El voltaje de ruptura de un triac disminuye si se aumenta la corriente de compuerta, en la misma forma que lo hace en un SCR con la diferencia que un triac responde tanto a los impulsos positivos como a los negativos de su compuerta. Una vez que se encuentra encendido el triac permanece así hasta que su corriente cae por debajo de I_H .

CAPITULO III

INTRODUCCION A LAS MAQUINAS DE C C.

III.1 GENERALIDADES DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS.

Una máquina eléctrica es un dispositivo que puede hacer la conversión de energía mecánica en eléctrica; o bien de energía eléctrica en mecánica. Cuando dicho dispositivo convierte energía mecánica en eléctrica se llama generador. Así mismo cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica, se le denomina motor

Puesto que una máquina eléctrica puede convertir potencia en uno, u otro sentido, cualquier máquina se puede usar como generador o como motor. Todos los generadores y motores convierten energía de una forma en otra mediante la acción de un campo magnético.

Estos dispositivos están presentes con muchos aspectos de la vida diaria y sobre todo a nivel industrial están a la orden del día con los sistemas automáticos de

control modernos en combinación con la electrónica de potencia; que se utiliza para el control de los mismos.

Estas máquinas se han venido utilizando desde tiempos ,muy antiguos; sólo que en los últimos años han adquirido mayor importancia debido al desarrollo de controles de estado sólido para motores; hoy en día cualquier problema de control de potencia puede ser resuelto por la utilización de estos dispositivos.

El diseño y estudio de las máquinas eléctricas es una de las áreas más antiguas de la Ingeniería Eléctrica sus inicios datan a finales del siglo XIX. Desde entonces las unidades eléctricas comenzaron a estandarizarse internacionalmente y llegaron a ser utilizadas por los Ingenieros de todo el mundo (Voltios, Amperios, Ohms, Vatios etc.). Estas unidades se emplearon para describir cantidades eléctricas referidas a las máquinas.

En los países de habla inglesa, la medición de cantidades mecánicas se realizaba con el sistema inglés de unidades (pulgada, pie, libra etc.) y esta práctica se extendió al estudio de las máquinas eléctricas por eso durante mucho tiempo las cantidades eléctricas y mecánicas de las máquinas, se han medido con diferentes sistemas de unidades.

En 1954 se adoptó como norma internacional un sistema de unidades basado en el sistema métrico conocido como sistema internacional (SI) y ha sido aceptado en casi todo el mundo inclusive en la Gran Bretaña y Canadá. E.U. es el único reacio a su utilización. Debido a que son muchas las personas que actualmente utilizan el sistema inglés, éste permanecerá por algún tiempo. Actualmente los estudiantes de ingeniería deben familiarizarse con los dos sistemas de unidades, puesto que habrán de encontrar referencias de ambos en su vida profesional

III.2 PRINCIPIOS DE LAS MAQUINAS ELECTRICAS.

Casi todas las máquinas eléctricas rotan alrededor del llamado eje de la máquina; debido a la naturaleza giratoria del movimiento de la máquina resulta importante entender las leyes del movimiento rotacional.

Para describir la rotación de un objeto en el espacio se necesita un vector tridimensional; pero como las máquinas giran al rededor de un eje fijo, su rotación queda restringida a una dimensión angular.

La dirección del movimiento rotacional se puede denominar como horaria o contrahoraria; tomando como referencia un extremo de la máquina. Asumiremos como positivo el movimiento en sentido contrahorario y como negativo el movimiento en sentido horario; la misma convención se adopta para los ángulos, Para la rotación alrededor de un eje fijo todos los conceptos descritos se reducen a escalares.

Definiremos los conceptos principales del movimiento rotacional, comparando con las ideas análogas del movimiento lineal.

III.2 1 POSICION ANGULAR

La posición angular θ de un objeto, es el ángulo en el cual se encuentra orientado. medido a partir de un punto de referencia arbitrario. La posición angular de un objeto se mide regularmente en radianes o en grados. El concepto lineal análogo es la distancia a lo largo de una línea.

III.2.2 VELOCIDAD ANGULAR ω .

La velocidad lineal está definida por la ecuación $V = dr/dt$. Mientras que la velocidad angular es la razón de cambio de la posición angular con respecto al tiempo y se define :

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (\text{rad/seg}) \quad (3.1)$$

A menudo los Ingenieros usan en su lenguaje corriente de máquinas eléctricas, unidades diferentes a los rad/seg para describir la velocidad del eje por ello va a ser necesario utilizar diferentes símbolos de velocidad para los diferentes sistemas; para evitar confusiones debido a las diversas unidades.

- a) ω_m = velocidad angular (rad/seg)
- b) f_m = velocidad angular (rev/seg)
- c) n_m = velocidad angular (rev/min)

NOTA: El subíndice indica que son cantidades mecánicas en oposición a una cantidad eléctrica que se escribe sin subíndice.

Estas unidades están relacionadas entre sí por las siguientes ecuaciones:

$$n_m = 60 f_m$$

$$f_m = \frac{\omega_m}{2\pi}$$

III.2.3 ACELERACION ANGULAR α .

La aceleración lineal se define por: $a = dv/dt$. Así la aceleración angular se define por la razón de cambio de la velocidad angular con respecto al tiempo y se define:

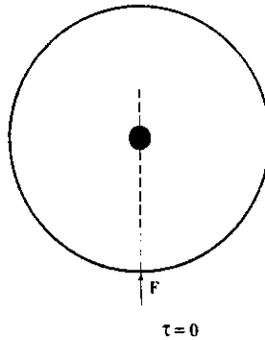
$$\alpha = d\omega/dt \text{ (rad/seg}^2 \text{ .)} \quad (3.3)$$

III.2.4 PAR τ .

En el movimiento lineal una fuerza aplicada a un cuerpo produce un cambio en su velocidad mientras más grande sea el cambio de la fuerza aplicada más rápido es el cambio de velocidad.

En el movimiento rotacional cuando un cuerpo esta girando, su velocidad angular es constante a menos, que sobre él exista un par. En la medida en que el par aumenta más rápido es el cambio en la velocidad angular.

En términos generales, el par es la fuerza de torsión sobre un objeto. Imagine un cilindro que puede girar libremente alrededor de su eje. Si se aplica una fuerza de manera que su línea de acción pase por el eje (figura 3.1.) entonces el cilindro no gira.

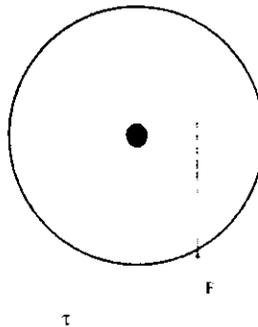


El par es cero

Fuerza aplicada a un cilindro de tal manera que su línea de acción pasa por el eje de rotación $\tau = 0$

Figura 3.1

Si la misma fuerza se localiza de tal manera que su línea de acción pase a la derecha del eje (Figura 3.2) entonces el cilindro tenderá a girar en dirección contrahoraria.



Par de sentido contrahorario

Fuerza aplicada a un cilindro de tal manera que su línea de acción no pasa por el eje de rotación. Aquí τ tiene sentido contrahorario.

Figura 3.2

El par de acción de torsión sobre el cilindro depende; 1) de la magnitud de la fuerza aplicada, 2) de la distancia entre el eje de rotación y la línea de acción de la fuerza.

El par producido sobre un cuerpo se define como el producto de la fuerza aplicada al cuerpo, por la menor distancia entre la línea de acción de la fuerza y el eje de rotación del cuerpo. Si r es un vector que va desde el eje de rotación hasta el punto de aplicación de la fuerza y F es la fuerza aplicada, entonces el par esta dado por:

$$\begin{aligned} \tau &= (\text{fuerza aplicada}) (\text{distancia perpendicular}) \\ \tau &= (F)(r \text{ sen } \theta) \\ \tau &= rF \text{ sen } \theta \end{aligned} \quad (3.4)$$

Donde θ es el ángulo entre el vector r y el vector F . Ver figura 3.3.

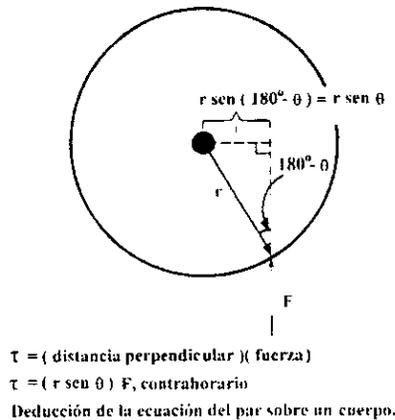


Figura 3.3

Las unidades del par son (new/m) en el sistema internacional y (lb/pie) en el sistema inglés.

III.2.5 LEY DE ROTACION DE NEWTON.

La ley de Newton para cuerpos en movimiento a lo largo de una línea recta describe la relación entre la fuerza aplicada sobre el cuerpo y su aceleración resultante. Esta relación esta dada por la ecuación:

$$F = ma \quad \text{donde:}$$

F = fuerza neta aplicada al cuerpo.

m = masa del cuerpo.

a = aceleración resultante

En el sistema internacional de unidades; la fuerza se mide en newtons, la masa en kilogramos y la aceleración en metros por segundo cuadrado. En el sistema inglés la fuerza se mide en libras, la masa en slug y la aceleración en pies por segundo cuadrado.

Una ecuación similar describe la relación entre el par aplicado a un cuerpo y su aceleración angular resultante. Esta relación llamada ley de Newton de la rotación esta dada por la ecuación.

$$\tau = J\alpha \quad (3.5)$$

Donde: τ es el par neto aplicado en new/m o lb/pie y α es la aceleración angular resultante en radianes por segundo cuadrado. El término J representa el equivalente a la masa de un cuerpo en movimiento lineal; se le denomina, momento de inercia del cuerpo y se mide en K/m cuadrado o Slug/pie cuadrado.

III.2.6 TRABAJO W.

En el movimiento lineal el trabajo se define como la aplicación continua de una fuerza a lo largo de una distancia es decir:

$$W = \int F dr.$$

Donde: se asume que la fuerza es colineal con la dirección del movimiento. Para el caso especial de una fuerza constante aplicada en la misma dirección del movimiento esta ecuación se convierte

$$W = F \cdot r \quad (3.6)$$

Las unidades de trabajo son julios en el sistema internacional, y libras pie en sistema inglés.

En el movimiento rotacional, el trabajo resulta de la aplicación de un par durante un ángulo. La ecuación es:

$$W = \int \tau d\theta \quad \text{y si } \tau = \text{constante}$$

$$W = \tau \theta \quad (3.7)$$

III.2.7 POTENCIA .

La potencia es el incremento de trabajo por unidad de tiempo. La ecuación de la potencia es:

$$P = dW/dt$$

Usualmente se mide en julios por segundo (Vatios) pero también se puede medir en lb.pie/ seg o en caballos de potencia.

Aplicando la definición anterior y asumiendo que la fuerza es constante y colineal con la dirección del movimiento.

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} Fr = F \frac{dr}{dt} = Fv$$

Asumiendo que el τ es constante, en el movimiento rotacional la potencia está dada por

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} \tau \theta = \tau \frac{d\theta}{dt} = \tau W$$

$$\text{así } P = \tau W \quad (3.8)$$

La ecuación 3.8 es muy importante en el estudio de las máquinas eléctricas ya que describe la potencia en el eje de un motor.

Para que las relaciones entre potencia, par y velocidad dadas en la ecuación 3.8 sean correctas, deben medirse:

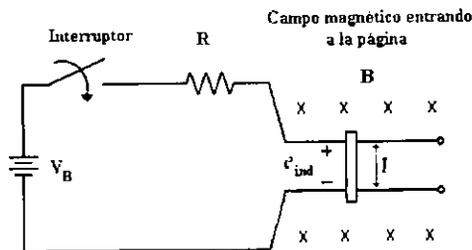
Potencia = Vatios = H. P
 Par = New.m = lb. Pie.
 Velocidad = rad/seg = rev/min.

III.3 PRINCIPIOS GENERALES DE LOS MOTORES DE C.C.

Los motores de c.c. convierten energía eléctrica de c.c. en energía mecánica. La mayoría de los motores de c.c. son semejantes a los motores de c.a. ya que en su interior ambos tienen corrientes y voltajes de c.a. Los motores de c.c. tienen c.c. sólo en su circuito exterior. Debido a la existencia de un mecanismo convierte los voltajes externos de c.c. en voltajes de c.a. en su interior. Este mecanismo se llama colector.

III.3.1 LA MÁQUINA LINEAL DE CORRIENTE CONTINUA.

Es la forma más simple de entender una máquina de c.c. funciona bajo los mismos principios y tiene el mismo comportamiento que los generadores y motores de c.c. reales.



Una máquina lineal de c.c. El campo magnético está orientado hacia el interior de la página.

Figura 3.4

La figura 3.4 muestra una máquina lineal de c.c. la cual consta de una batería y una resistencia conectada mediante un interruptor a un par de rieles lisos carentes de fricción. A lo largo de esta "carrillera" hay un campo magnético constante de

densidad uniforme dirigido hacia el interior de la página. Sobre los rieles se coloca atravesada una barra de metal conductor.

Su comportamiento se determina con la aplicación de 4 ecuaciones básicas de las máquinas y son:

1.- Ecuación de la fuerza sobre un conductor que se encuentra en un campo magnético.

$$\mathbf{F} = i(\mathbf{l} \times \mathbf{B}) \quad (3.9)$$

donde: \mathbf{F} = Fuerza sobre el conductor.

i = corriente que circula por el conductor.

\mathbf{l} = longitud del conductor

\mathbf{B} = vector de densidad de flujo magnético.

2.-La ecuación del voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético.

$$e_{md} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l} \quad (3.10)$$

donde e_{md} = voltaje inducido en el conductor.

\mathbf{v} = velocidad del conductor

\mathbf{B} = vector de densidad de flujo magnético.

\mathbf{l} = longitud del conductor en el campo magnético

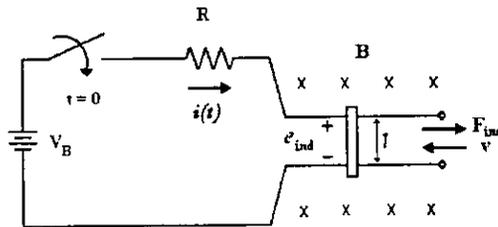
3 - Ley de voltajes de Kirchoff aplicada a la máquina (figura 3.4)

$$\begin{aligned} I'_B &= iR - e_{md} = 0 \\ I'_B &= e_{md} - iR = 0 \quad (3.11) \end{aligned}$$

4. Ley de Newton aplicada a la barra atravesada sobre los rieles.

$$F_{net} = ma \quad (3.12)$$

III.3.2 ARRANQUE DE LA MAQUINA DE C.C.



Arranque de una máquina lineal de c.c.

Figura 3.5

Estudiaremos el comportamiento de la máquina de c.c. lineal usando las cuatro ecuaciones anteriores.

Para el arranque de esta máquina se cierra el interruptor. Ahora fluye por la barra una corriente que está determinada por la ley de Kirchoff:

$$i = \frac{V_B - e_{ind}}{R} \quad (3.13)$$

Como la barra inicialmente está en reposo $e_{ind} = 0$ entonces $i = V_B/R$; ésta corriente fluye por los rieles hacia la barra. Ahora según la ecuación (3.9) una corriente que circula por un conductor que se halla en un campo magnético produce una fuerza sobre el conductor. Dada la geometría de la máquina esta fuerza es:

$$F_{ind} = i l B \text{ hacia la derecha.} \quad (3.14)$$

En consecuencia la barra se acelera hacia la derecha (de acuerdo con la ley de Newton). Cuando la velocidad de la barra comienza a aumentar, aparece un voltaje entre sus extremos. Este voltaje esta dado por la ecuación (3.10) y de acuerdo con la geometría de la máquina.

$$e_{ind} = v B l \quad \text{con el positivo hacia arriba.}$$

Este voltaje que aparece en la barra, reduce la corriente que circula por esta ya que de acuerdo con la ley de voltajes de Kirchoff.

$$i \downarrow = \frac{V_B - e_{ind} \uparrow}{R} \quad (3.15)$$

Así mientras e_{ind} ésta aumentando i está disminuyendo.

Como resultado le ésta acción, la barra alcanzará eventualmente una velocidad constante de estado estacionario (v_{ss}) donde la fuerza sobre la barra es cero. Esto ocurrirá cuando e_{ind} haya alcanzado ser igual al voltaje v_B en este instante la barra se moverá a una velocidad dada por:

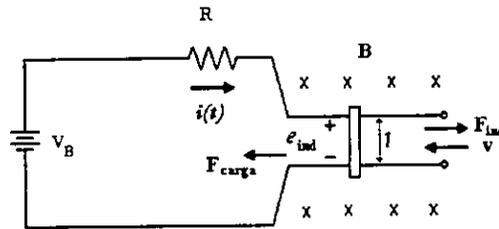
$$e_{ind} = v_{ss} B l = v_B$$

$$v_{ss} = v_B / B l \quad (3.16)$$

III.3.3 LA MAQUINA LINEAL DE C.C. COMO MOTOR.

Asuma que la máquina lineal de la sección III.3.2 esta rodando a la velocidad de vacío en la condición de estado estacionario descrita anteriormente.

¿qué le pasará a la máquina si se le aplica una fuerza exterior?. Veamos la figura 3.6.



La máquina lineal de c.c. como motor.

Figura 3.6

Se le aplica a la barra una fuerza F_{carga} en dirección opuesta a su movimiento. Puesto que la barra se encuentra en estado estacionario aplicarle la fuerza resultará una fuerza neta sobre la barra en dirección opuesta a la dirección del movimiento; el objeto de esta fuerza será frenar la barra. Tan pronto como la barra comience a frenarse, el voltaje inducido en ella disminuye ($e_{\text{ind}} \downarrow = vBl$). Al disminuir el voltaje inducido, la corriente que circula por la barra aumenta:

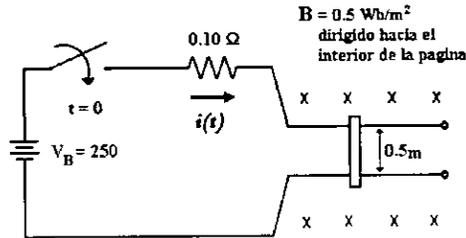
$$i \uparrow = \frac{V_B - e_{\text{ind}} \downarrow}{R}$$

Por lo tanto la fuerza producida por el conductor también aumenta $F_{\text{ind}} \uparrow \propto i / B$. El resultado final de esta cadena de eventos es que la fuerza inducida crece hasta hacerse igual a la fuerza de carga y por tanto: la barra nuevamente estará en estado estacionario pero a una velocidad menor.

Ahora en la barra se disipa una gran cantidad de potencia que es $(e_{\text{ind}})(i)$ la cual se convierte en potencia mecánica igual a $(F_{\text{ind}})(v)$. Puesto que la potencia se convierte de eléctrica en mecánica, esta barra opera como un motor

III.3.4 PROBLEMA EN EL ARRANQUE.

En la figura 3.7 se muestra el diagrama de una máquina lineal.



Esquema de una máquina lineal con los valores que ilustran el problema de la magnitud de la corriente de arranque.

Figura 3.7

Esta máquina está alimentada por una fuente de c.c de 250 V, y su resistencia interna R es aproximadamente 0.10Ω . La resistencia R representa la resistencia interna de una máquina real de c.c.

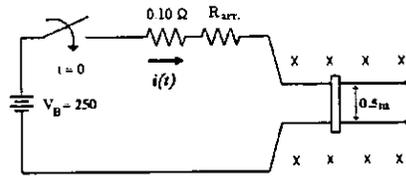
Las cifras utilizadas en esta figura ponen de relieve un problema de las máquinas de c.c. En el momento del arranque la velocidad de la barra es cero por tanto $e_{ind} = 0$ y la corriente de arranque es:

$$I_{an} = \frac{V_B}{R} = \frac{250V}{0.1\Omega} = 2500A$$

Esta corriente es muy grande. a menudo es hasta 10 veces la corriente nominal de máquina. Dichas corrientes pueden causar severos daños al motor.

Para evitar tales daños, la manera más fácil es insertar en el circuito una resistencia extra durante el arranque para limitar la corriente mientras e_{ind} crece lo

suficiente para hacerla disminuir. La figura 3.8 muestran resistencia de arranque insertada en el circuito de la máquina.



Máquina lineal con una resistencia adicional conectada en serie para controlar la corriente de arranque.

Figura 3.8

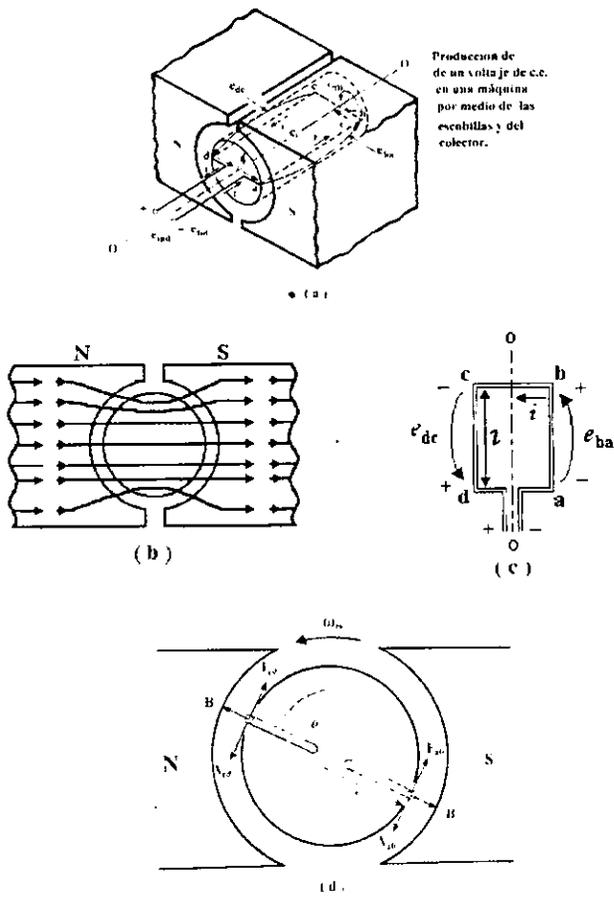
Este mismo problema existe en las máquinas reales y se resuelve de la misma manera insertando una resistencia en el circuito de la armadura del motor durante el arranque.

III.4. MAQUINA ROTATIVA SIMPLE

La máquina lineal ya estudiada es la forma más sencilla de entender el funcionamiento de las máquinas de c.c. sus respuestas tanto a la variación de carga como de campo magnético se asemeja al comportamiento de los motores y generadores de c.c. reales. Solo que estos no se mueven en la línea recta sino que giran

Para poder entender las máquinas reales estudiaremos la máquina rotativa más sencilla que podemos tener. La figura 3.9 muestra la máquina rotativa más simple. Consta de una espira de alambre que gira al rededor de un eje fijo la parte giratoria de esta máquina se llama rotor y la parte estacionaria se llama estator. El campo magnético de esta máquina lo suministran el par de polos norte y sur que conforman el estator.

La espira del rotor se encuentra dentro de una ranura hecha en el núcleo ferromagnético. El hierro del rotor junto con la forma curvada de las caras polares forman un entrehierro de longitud constante entre rotor y estator. La reluctancia del aire es mucho mayor que la reluctancia del hierro. Con el fin de minimizar la reluctancia de la trayectoria del flujo en esta máquina, el flujo magnético debe seguir la ruta más corta posible a través del aire entre las superficies de las caras polares y las del rotor.



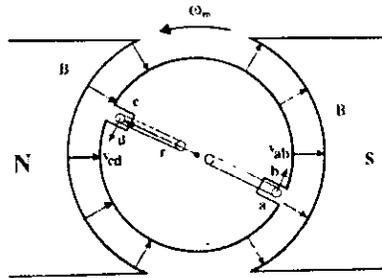
(a) Vista en perspectiva. (b) Representación de las líneas de campo. (c) Vista de techo. (d) Vista frontal

Figura 3.9

La trayectoria más corta para el flujo en el entrehierro es la distancia perpendicular entre la superficie del rotor y la cara de uno de los polos. Si el entrehierro es de longitud uniforme la reluctancia será igual en cualquier punto sobre la cara polar y por lo tanto la densidad de flujo magnético es constante en cualquier punto frente a la cara polar.

III.4.1 VOLTAJE INDUCIDO EN UNA ESPIRA GIRATORIA

Si el rotor de la máquina gira se induce un voltaje en la espira, para determinar la magnitud y la forma del voltaje, examine la figura 3.10, y 3.9a.



Deducción de la ecuación del voltaje inducido en una espira.

Figura 3.10

La espira es de forma rectangular con sus lados ab y cd perpendiculares al plano de la página y dos planos bc, da paralelos al plano de la página. El campo magnético es constante y perpendicular a la superficie del rotor en cualquier punto frente a la cara polar y rápidamente cae a cero mas allá del eje entre los dos polos.

Para determinar el voltaje total e_{tot} en la espira, se puede tomar por separado el de cada uno de los segmentos y luego sumarlos. El voltaje en cada segmento esta dado por la ecuación:

$$e_{md} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$$

1. Segmento ab: la velocidad de este segmento es tangencial a la trayectoria de rotación. El campo magnético \mathbf{B} está orientado hacia afuera de la superficie del rotor y es perpendicular a ella. Es de magnitud constante frente al polo y es cero en los puntos del eje interpolar. Frente al polo la velocidad \mathbf{v} es perpendicular al campo magnético \mathbf{B} y la cantidad $(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ está dirigida hacia el interior de la página.

$$e_{md} - e_{ba} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l} = \begin{cases} vBl, (+), \text{ entrando a la página frente al polo} \\ 0 \text{ en el eje interpolar} \end{cases} \quad (3.17)$$

2. Segmentos bc y da: En este segmento la cantidad $(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ puede estar orientada hacia adentro o hacia afuera pero la longitud \mathbf{l} está en el mismo plano; por lo tanto $(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ es perpendicular a \mathbf{l} . Entonces el voltaje de los segmentos bc y da será cero

$$e_{bc} = e_{da} = 0 \quad (3.18)$$

3 Segmento cd: La velocidad de este segmento es tangencial a la trayectoria de rotación. El campo magnético \mathbf{B} está orientado hacia el interior de la superficie del rotor y es perpendicular a ella además es de magnitud constante frente al polo y es cero en los puntos del eje interpolar. Frente al polo la velocidad \mathbf{v} es perpendicular al campo magnético \mathbf{B} y la cantidad $(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ está dirigida hacia afuera de la página así el voltaje inducido en este segmento es:

$$e_{ind} = e_{dc} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l} = \begin{cases} vBl, (+), \text{ saliendo de la pagina frente al polo} \\ 0 \text{ en el eje interpolar} \end{cases} \quad (3.19)$$

El voltaje total en la espira será:

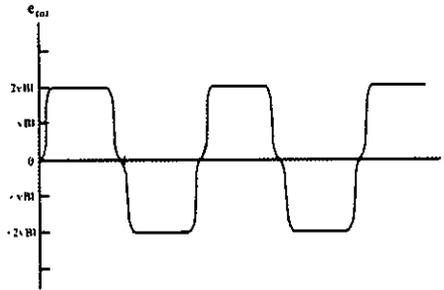
$$e_{ind} = e_{ba} + e_{cb} + e_{dc} + e_{ad}$$

$$e_{ind} = \begin{cases} 2vBl, \text{ frente a las caras polares} \\ 0 \text{ en el eje interpolar} \end{cases} \quad (3.20)$$

Cuando la espira gira 180° el segmento ab cambia de estar frente al polo sur para estar frente al polo norte. Simultáneamente la dirección del voltaje en el segmento se invierte, pero su magnitud permanece constante. La figura 3.11 muestra el voltaje resultante en función del tiempo.

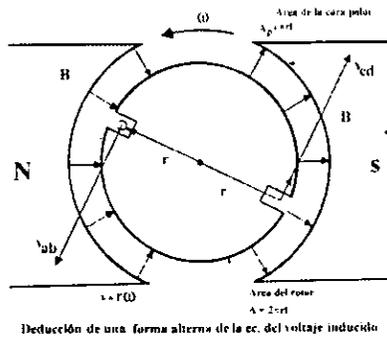
Hay otra manera de expresar la ecuación 3.20 que relaciona claramente el comportamiento de una espira con el comportamiento de una máquina real de c.c.

De la figura 3.12 La velocidad tangencial v del borde de la espira se puede expresar como:



Voltaje de salida de la espira

Figura 3.11



Deducción de una forma alterna de la ec. del voltaje inducido

Figura 3.12

$$v = r\omega \quad (3.21)$$

donde. r = radio desde el eje de rotación hasta el eje de la espira.
 ω = velocidad angular de la espira.

de (3.21) en (3.20)

$$e_{ind} = \begin{cases} 2r\omega Bl, & \text{frente a las caras polares} \\ 0 & \text{en el eje interpolar} \end{cases}$$

En la figura 3.12 se puede observar también que la superficie del rotor es un cilindro cuya área es igual a $2\pi r l$ debido a que hay dos polos, el área del rotor frente a cada polo es: $A_p = \pi r l$ entonces:

$$e_{ind} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} A_p \mathbf{B} \omega, & \text{frente a las caras polares} \\ 0 & \text{en el eje interpolar} \end{cases}$$

Como la densidad de flujo magnético \mathbf{B} es constante en toda la zona del entrehierro situado frente a las caras polares, el flujo total bajo cada polo es el producto del área de el polo por la densidad de flujo.

$$\phi = A_p \mathbf{B}$$

Entonces la ecuación definitiva del Voltaje es,

$$e_{ind} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \phi \omega & \text{frente a las caras polares} \\ 0 & \text{en el eje interpolar} \end{cases}$$

Esta ecuación establece que el voltaje interno generado por la máquina es igual al producto del flujo por la velocidad de rotación de la máquina.

En general el voltaje de cualquier máquina depende de 3 variables:

- a) flujo magnético en la máquina.
- b) La velocidad de rotación.
- c) Una constante que depende de la construcción de la máquina.

III.4.2 OBTENCIÓN DE UN VOLTAJE DE C.C. A PARTIR DE UNA ESPIRA GIRATORIA

La gráfica de la figura 3.11 corresponde al voltaje generado por una espira giratoria. Como se ve, este voltaje es de tipo alterno con periodos positivos y negativos de magnitud constante.

Para lograr que ésta máquina proporcione el voltaje de C.C. y no de corriente alterna. Veamos la figura 3.13 se muestra una forma para lograrlo, aquí se han colocado en los extremos de la espira dos segmentos semicirculares de material conductor, y dos contactos fijos, colocados de tal manera que, en el instante que el voltaje en la espira sea cero deben poner los dos segmentos en corto circuito. Así cada vez que el voltaje en la espira cambia de dirección, los contactos también permutan las conexiones, de tal manera que uno de ellos siempre será el positivo. (Figura 3.13).

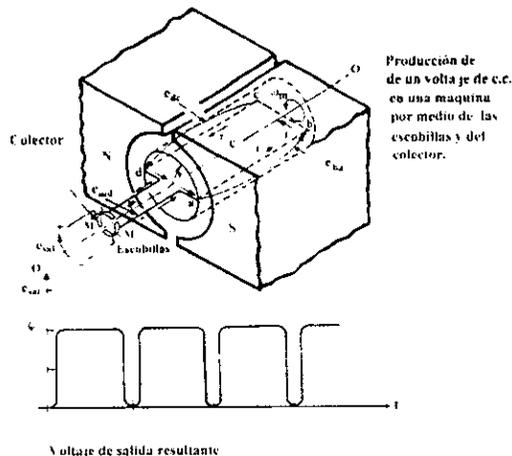


Figura 3.13

Este proceso de cambios de la conexión se llama conmutación. Los segmentos semicirculares giratorios se llaman delgas y los contactos fijos se llaman escobillas.

III.5 MAQUINAS REALES DE C.C.

En estas máquinas, las espiras del rotor, (también llamado armadura o inducido) pueden conectarse en diferentes maneras a las delgas del colector. La forma como se conectan determina el número de ramas en paralelo en que se divide la corriente del rotor, la magnitud del voltaje de salida, la cantidad y ubicación de las escobillas.

III.5.1 BOBINAS DEL ROTOR

La mayoría de los arrollamientos de los rotores están conformados por bobinas hexagonales que se colocan en las ranuras del rotor. Cada bobina consta de un cierto número de vueltas (espiras) de alambre, cada una aislada de las demás y del material del núcleo. Cada uno de los lados de una espira se denomina un conductor. El número total de conductores de la máquina esta determinada por:

$Z - 2CNc$ donde.

Z = Número de conductores del rotor

C = Número de bobinas del rotor

Nc = Número de espiras de una bobina

Normalmente una bobina abarca 180° eléctricos. Esto significa que cuando un lado de la bobina esta frente al centro del polo, el otro lado esta frente al centro del polo de polaridad opuesta. Los polos físicos pueden encontrarse separados por una

distancia diferente de 180° mecánicos pero el campo magnético invierte su polaridad de un polo al siguiente. En una máquina los grados eléctricos y los grados mecánicos están relacionados por la expresión.

$\theta_e = P/2 \theta_m$ Donde:

θ_e = Angulo medido en grados eléctricos

θ_m = Angulo medido en grados mecánicos

P = Número de polos de la máquina

Si una bobina abarca 180° eléctricos los voltajes en los conductores de los dos lados de la bobina tendrán la misma magnitud y sentido opuesto en todo momento. Esta bobina se llama bobina de paso diametral.

En algunos casos las bobinas tienen de 180° eléctricos. Entonces se llaman bobinas de paso fraccionario y el devanado del rotor que tenga estas bobinas se llama devanado de cuerda. El nivel de acortamiento de un devanado se puede describir mediante el factor de paso que está definido por la ecuación.:

$$p = \frac{\text{angulo electrico de la bobina}}{180^\circ} \times 100$$

Con frecuencia se emplean, en máquinas de c.c los devanados con un pequeño acortamiento en el paso de la bobina para mejorar la conmutación.

Los devanados de la mayoría de los rotores son de dos capas, es decir que los lados de dos bobinas diferentes se colocan en la misma ranura.

III . 5.2 DEVANADOS

Una vez que el devanado se ha instalado en las ranuras del rotor, sus terminales deben conectarse a las delgas del colector. Hay varias formas de efectuar estas conexiones, con las cuales, se logran devanados diferentes.

Devanado imbricado paralelo. Es el devanado mas sencillo que se utiliza en máquinas modernas de c. c. En este tipo de devanado los extremos de la bobina se conectan a dos delgas adyacentes (Figura 3.14)

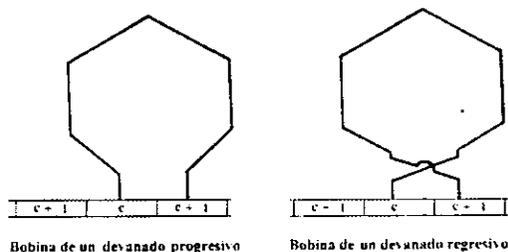


Figura 3.14

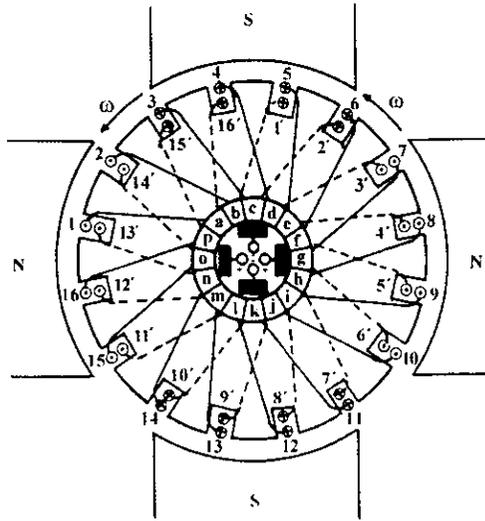
Los devanados imbricados se tienen de dos tipos:

Progresivo. Si el extremo final de la bobina se conecta a la delga siguiente a la cual se ha conectado el extremo inicial. **Regresivo.** Si el extremo final de la bobina se conecta a la delga anterior a la cual se ha conectado el extremo inicial

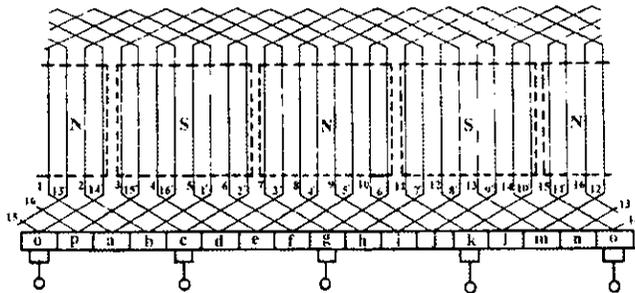
El devanado imbricado simple tiene tantas ramas en paralelo como polos tenga la máquina. Si C es el número de bobinas del rotor y P el número de polos de la máquina, entonces habrá C/P bobinas en cada una de las R ramas en paralelo en que se divide la máquina; debido a esto se hace necesario tantas escobillas como polos tenga la máquina con el fin de tener conexión con todas esas trayectorias de corriente. Lo anterior se ilustra para un motor de 4 polos figura 3.15.

El hecho de que existan varias ramas en una máquina multipolar es favorable para máquinas de bajo voltaje y altas corrientes, ya que ésta última se reparte entre las diferentes ramas. Esta repartición de corriente permite que el tamaño de los conductores sea razonable aunque la corriente total sea demasiado grande.

La existencia de varias ramas en paralelo también puede ocasionar problemas debido al desgaste de los rodamientos; esto hace que el entrehierro deje de ser uniforme lo cual ocasiona incremento en los voltajes inducidos en las ramas conformadas por las bobinas que se encuentran, más cerca de los polos, un pequeño desbalance en los voltajes de las diferentes ramas ocasionará circulación de grandes corrientes que pueden generar problemas serios de calentamiento debido a que las resistencias de los devanados son pequeñas.



a) Devanado imbricado de un motor de c.c. de 4 polos.

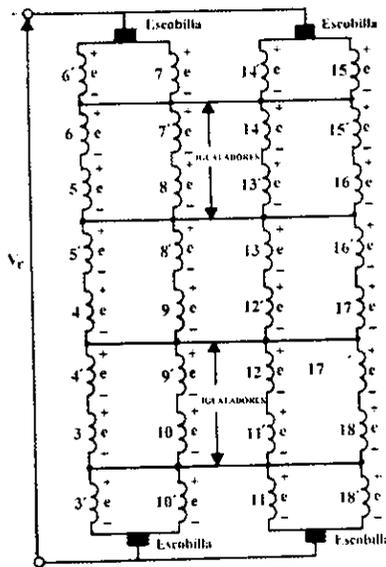
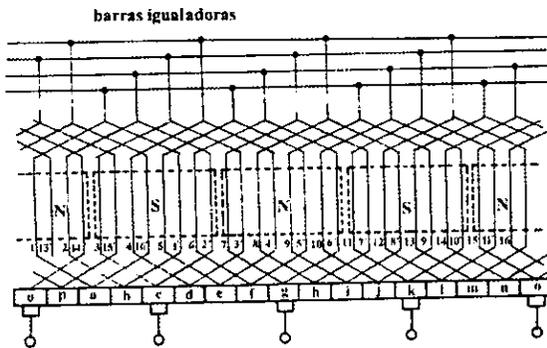


b) devanado del rotor de la máquina. Se puede observar que el extremo final del devanado está conectado a la ranura siguiente de aquella donde comenzó. Este es un devanado imbricado progresivo.

Figura 3.15

Para reducir las grandes corrientes que se generan se utilizan conexiones compensadoras y se hacen conectando barras o conectores que cortocircuiten todos los puntos de igual nivel de voltaje pertenecientes a las diferentes ramas en paralelo. En la figura 3.16 se muestran conexiones compensadoras para la máquina de 4 polos.

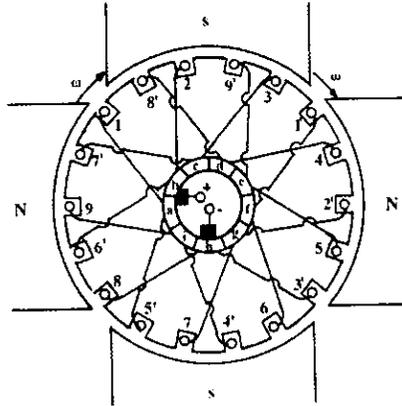
a) Conexiones compensadoras para lamina de 4 polos de la fig. 3.15



b) Diagrama de voltajes en la máquina, donde se muestran los puntos cortocircuitados por las conexiones compensadoras

Figura 3.16

Devanado ondulado o serie. Es otra manera de conectar las bobinas a las delgas del colector. La figura 3.17 muestra un devanado ondulado sencillo para una máquina de cuatro polos.



Devanado simple de una máquina de c.c. de cuatro polos

Figura 3.17

En este arrollamiento el final de la segunda bobina se conecta a una delga adyacente donde comenzó la primera. Entre dos delgas adyacentes hay dos bobinas en serie cada una de las cuales tienen un lado frente a un polo. El voltaje total es la suma de los voltajes inducidos frente a cada polo y no puede haber desequilibrios de tensión. Figura 3.18.

El final de la segunda bobina se puede conectar a la delga siguiente si se quiere que el devanado sea progresivo o bien a la delga anterior si se quiere que sea regresivo.

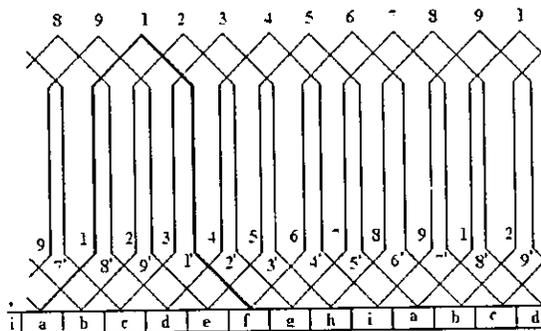


Diagrama del devanado del rotor de la máquina de la figura 3.17. El extremo final de la segunda bobina de una serie está conectado a la delga siguiente a aquella donde se inició la primera bobina

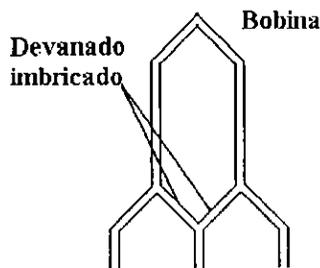
Figura 3.18

En general si la máquina tiene P polos entonces hay $P/2$ bobinas en serie entre las delgas adyacentes.

Puesto que en un devanado ondulado sencillo hay solo dos ramas en paralelo se necesitan solo 2 escobillas, ya que las delgas en proceso de conmutación conectan los puntos de igual voltaje pertenecientes a todos los polos. Si se quiere se puede adicionar más escobillas colocándolas a 180° eléctricos, pues debe quedar al mismo potencial y conectadas simultáneamente a través de los conductores que están en conmutación. Normalmente se emplean escobillas adicionales, aunque no sean muy necesarias para así reducir la cantidad de corriente que debe pasar por cada una de ellas.

Los devanados ondulados son convenientes para máquinas de c.c de voltaje elevado, debido a que la cantidad de bobinas que pueden colocarse en serie es mayor con este tipo de devanados.

Devanado pata de rana o autoigualado. Recibe este nombre por la forma de sus bobinas, como puede verse en la figura 3.19.



Bobina de un devanado autoigualado.

Figura 3.19

Es una combinación de un devanado ondulado y un devanado imbricado. Las conexiones compensadoras en un devanado imbricado común., se conocen entre los puntos del arrollamiento que tienen el mismo voltaje. Los devanados ondulados se extienden entre los puntos que prácticamente tienen el mismo voltaje ubicados sobre caras polares sucesivas de la misma polaridad lo cual es equivalente a colocar una barra igualadora entre ellas. El número de ramas en paralelo de un devanado de este tipo es:

$$a = 2P m_{lap} \quad \text{Donde}$$

P = Número de polos de la máquina

M_{lap} = grado de multiplicidad del devanado

III. 6 PROBLEMAS DE LA CONMUTACIÓN EN MAQUINAS REALES

El proceso de la conmutación no es tan simple como se ve en teoría debido a dos efectos muy importantes, que son:

- a) La reacción de armadura (inducido)
- b) Los voltajes autoinducidos ($L di/dt$)

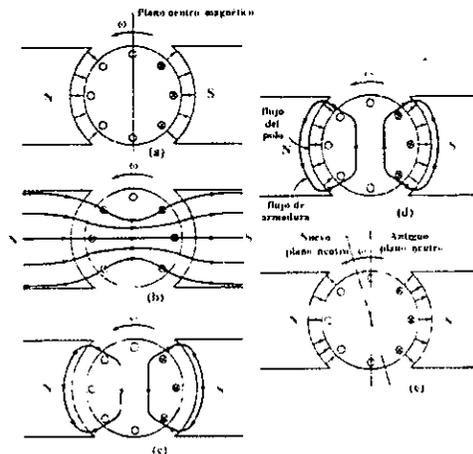
III. 6.1 REACCION DE ARMADURA (INDUCIDO)

Si se conecta una carga a los terminales de la máquina circulará corriente por el devanado de armadura, ésta corriente produce su propio campo magnético que distorsiona el campo magnético original de los polos de la máquina

Esta distorsión del flujo en la máquina a medida que se incrementa la carga se llama reacción de armadura o reacción de inducido. La reacción produce dos serios problemas en máquinas reales de c.c.

a) **Corrimiento del plano neutro.** El plano neutro magnético se define como el plano dentro de la máquina donde la velocidad de los conductores del rotor es exactamente paralela a la dirección de las líneas de flujo magnético, de tal manera que e_{ind} en esos conductores del plano neutro es exactamente cero.

Para entender el problema del corrimiento del plano neutro observemos la figura 3.20. En la figura 3.20a se muestra una máquina de dos polos puede verse que el flujo está uniformemente distribuido frente a las caras polares. El devanado del rotor tiene voltajes orientados hacia el interior de la página frente al polo norte y hacia afuera de la página para los conductores frente al polo sur. El plano neutro en esta máquina es por tanto exactamente vertical.



Proceso de la reacción de armadura en un generador de c.c. (a) inicialmente el flujo frente a los polos está uniformemente distribuido y el plano neutro magnético está en posición vertical. (b) Efecto del entrehierro en la distribución del flujo frente a los polos. (c) Campo magnético de la armadura debido a la carga de la máquina. (d) Flujo de los polos y flujo producido por el rotor. Pueden distinguirse las zonas en las que estos flujos se suman y las zonas en que se contrarrestan. (e) Flujo magnético resultante. El plano neutro magnético se ha desplazado en la dirección del movimiento. Figura 3.20

Ahora suponga que se ha conectado una carga a la máquina de tal manera que funciona como un generador. La corriente circulará saliendo por el terminal positivo del generador, y su dirección en los conductores frente al polo norte es hacia el interior de la página, y hacia afuera de la página para los conductores frente al polo sur. Esta corriente produce un campo magnético alrededor del devanado del rotor como se muestra en la figura 3,20c. Este campo magnético del rotor afecta el campo magnético de los polos que habían producido el voltaje generado en primera instancia. En algunas regiones de la superficie del polo el flujo del rotor se opone al flujo del polo y en otras zonas se suman los dos flujos. El resultado final es que el flujo magnético en el entrehierro de la máquina se hace oblicuo como se muestra en la figura 3.20d y e. Puede verse que la zona del rotor donde el voltaje inducido en un conductor sería cero (el plano neutro) se ha desplazado.

El plano neutro magnético se desplaza en la dirección de sentido de giro para un generador, y en la dirección opuesta al movimiento para un motor. La magnitud del desplazamiento depende de la cantidad de corriente en el rotor, y por tanto de la carga de la máquina.

El problema es el siguiente: El colector debe tener en corto las delgas que en un momento determinado tengan voltaje cero. Si las escobillas se mantienen en el plano vertical, efectivamente pondrán en corto circuito las delgas de voltaje cero, pero solamente mientras la máquina está sin carga. Cuando la máquina se carga el plano neutro se corre y las escobillas quedan haciendo el corto entre delgas que tienen un voltaje diferente a cero.

El resultado es que ahora fluye una corriente entre las delgas en corto y la escobilla y en el instante en que la escobilla deja el contacto con ellas se interrumpe la corriente y aparece una chispa entre las delgas y la escobilla.

Finalmente se crea un arco de chispas en las escobillas; este es un problema serio que puede reducir drásticamente la duración de la escobilla, desgastar las delgas del colector y en definitiva, aumentar los costos de mantenimiento.

Cabe mencionar que este problema no se arregla corriendo las escobillas hasta la posición en el plano neutro cuando la máquina tiene carga, porque entonces habrá chispas con la máquina en vacío.

b) Debilitamiento del flujo. Este es el segundo problema provocado por la reacción de armadura. La mayoría de las máquinas trabajan con una densidad de flujo cercana al punto de saturación. En la zona de la superficie del polo en la cual la fuerza magnetomotriz del rotor se suma a la fuerza manetomotriz del polo, se presenta, solamente un pequeño aumento de flujo. Sin embargo en la zona de la superficie del polo donde la fuerza magnetomotriz del rotor se opone a la fuerza magnetomotriz del polo se presenta una notoria disminución del flujo.

El resultado neto es que el flujo promedio bajo el polo disminuye. El debilitamiento del flujo crea problemas en los motores de c.c.; cuando el flujo disminuye la velocidad aumenta. Al aumentar la velocidad del motor aumenta su carga y como resultado el flujo se debilita aún más. Es posible en algunos motores de corriente continua con excitación en derivación, que se llegue a producir un embalamiento y la velocidad del motor seguirá creciendo hasta que la máquina se desconecte de su fuente de potencia, o de lo contrario se destruirá.

III. 6.2 VOLTAJES $L(di/dt)$

El segundo problema importante que crea la conmutación son los voltajes $L(di/dt)$ que se presentan en las delgas puestas en corto por las escobillas. Este voltaje se llama algunas veces golpe inductivo; para entenderlo obsérvese la figura 3 21

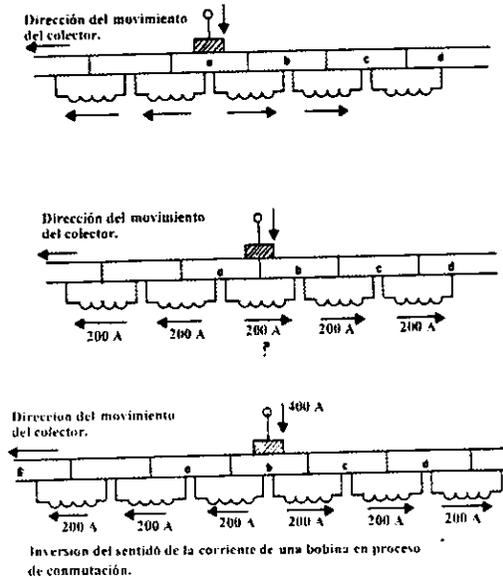


Figura 3.21

Esta figura representa una serie de delgas y los conductores de las bobinas que están conectadas a ellas. Si asumimos que la corriente es la escobilla es 400 A, por lo tanto la corriente en cada rama es de 200 A, cuando una delga pasa frente a la escobilla su corriente debe cambiar de sentido. Asuma que la máquina está girando a 800 r.p.m. y que hay 50 delgas en el colector (cantidad razonable para un motor típico) entonces cada delga se demora 0.0015 segundos pasando frente a una escobilla. En conclusión, la velocidad de cambio de la corriente en promedio, debe ser

$$\frac{di}{dt} = \frac{400 A}{0.0015} = 266\,667 A / \text{sec}$$

A pesar de que la inductancia de la espira es pequeña, se induce un voltaje significativo $V = L(di/dt)$ entre las delgas en corto. Este voltaje alto, ocasiona chispeo en las escobillas, resultando un arco y por lo tanto los mismos problemas del corrimiento del plano neutro.

III. 6.3 SOLUCION DE LOS PROBLEMAS DE LA CONMUTACION.

- a) Corrimiento de las escobillas.
- b) Polos auxiliares o de conmutación.
- c) Devanado de compensación.

A) CORRIMIENTO DE LAS ESCOBILLAS.

El primer intento por mejorar el proceso de conmutación en máquinas de c.c. comenzó eliminando el chispeo en las escobillas, causado por el desplazamiento de la zona neutra y por el voltaje $L(di/dt)$.

Si el plano neutro de la máquina se corre, hay que correr las escobillas y así eliminamos las chispas. Existen varios inconvenientes, el desplazamiento del plano neutro varía con la carga y además la dirección del desplazamiento cambia cuando la máquina pasa de motor a funcionar como generador. Entonces sería necesario ajustar la posición de las escobillas en todo momento, de acuerdo con la variación de la carga de la máquina. Además, al correr las escobillas se pueden eliminar las chispas, pero se acentúa el debilitamiento del flujo.

Otra proposición fue la de fijar las escobillas en una posición intermedia de tal manera que no haya chispa cuando la máquina funciona a dos terceras partes de plena carga). En este caso hay chispa si la máquina (motor) está en vacío y también a plena carga, solo será útil si va a funcionar la mayor parte del tiempo a las dos terceras partes de plena carga. Esta máquina no podría utilizarse como generador, por que el chispeo sería intolerable.

La idea de correr las escobillas se abandonó hace aproximadamente 80 años y hoy en día se usa solamente en máquinas muy pequeñas que giran siempre en la

misma dirección; ya que solucionar el problema con mejores métodos no resultaría económico para máquinas tan pequeñas.

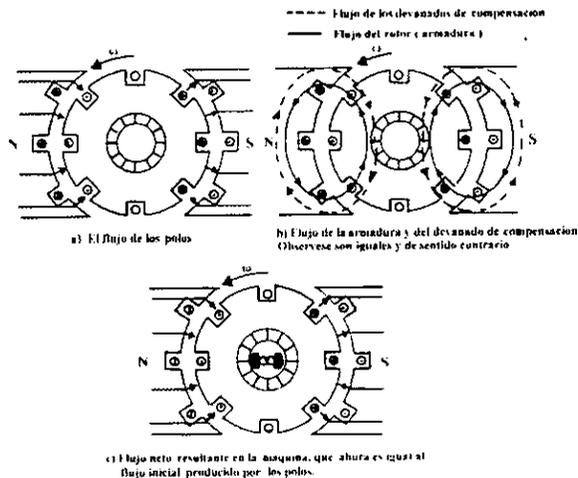
B) POLOS AUXILIARES (DE CONMUTACION O INTERPOLOS).

Debido a la desventaja de que una persona estuviera ajustando la posición de las escobillas para condición de carga, se desarrollaron otros procedimientos para solucionar el problema de las chispas. La idea de los nuevos proyectos era que si se lograba hacer cero el voltaje en los conductores en proceso de conmutación entonces no habría chispas en las escobillas. Para lograr esto se colocaron polos más pequeños en medio de los polos principales y se les llamo polos de conmutación o interpolos. Estos polos se conectan directamente sobre los conductores que comienzan el proceso de conmutación; con el flujo de estos polos auxiliares se puede anular exactamente el voltaje de la bobina que se encuentra en proceso de conmutación por lo cual si la anulación del voltaje es exacta no habrá chispas en las escobillas.

La anulación perfecta del voltaje para cualquier carga se logra conectando los devanados de los polos auxiliares en serie con el devanado del rotor. Así cuando se incrementa la carga, crece la corriente del rotor y con ella aumenta el corrimiento del plano neutro y la magnitud del voltaje $L(di/dt)$ las cuales aumentan el voltaje de los conductores en conmutación. Sin embargo, el flujo del polo auxiliar también crece, produciendo en los conductores un voltaje también alto y de sentido opuesto al ocasionado por el corrimiento del plano neutro. El resultado es que los dos efectos se anulan para un rango bastante amplio de cargas.

C) DEVANADOS DE COMPENSACION.

Para motores que trabajan en forma muy pesada el debilitamiento del flujo puede convertirse en un problema serio. Para eliminar completamente los dos efectos de la reacción de armadura (corrimiento del plano neutro y desmagnetización); con este método se colocan devanados de compensación en ranuras hechas en las caras de los polos orientadas paralelamente a los conductores del rotor con el fin de eliminar el efecto de distorsión del campo creado por la reacción de armadura. Estos devanados se conectan en serie con el devanado del rotor, de tal manera que si cambia la carga, también cambia la corriente en el devanado de compensación.



Efecto del devanado de compensación de una máquina de c.c.

Figura 3.22

La figura 3.22 muestra el concepto básico del efecto del devanado de compensación de una máquina de c.c. En la figura 3.22a se muestra el flujo de los polos principales. En la figura 3.22b están representados el flujo del rotor y el flujo de los devanados de compensación. En la figura 3.22c está la suma de los tres flujos que es exactamente igual al flujo original de los polos principales.

La mayor desventaja de los devanados de compensación es que son costosos, ya que deben ser maquinados en la caras de los polos. Un motor que tenga devanados de compensación también debe tener polos de conmutación ya que los devanados de compensación no anulan el efecto $L(di/dt)$. Los polos auxiliares no deben ser demasiado fuertes ya que solo son para anular el voltaje $L(di/dt)$. Debido al costo que tienen los devanados de compensación y los polos auxiliares los primeros se utilizan únicamente cuando el tipo de demanda es muy severo y exige trabajo muy fuerte al motor.

III. 6.4 CONSTRUCCION DE LAS MAQUINAS DE C. C.

Un diagrama simplificado de una máquina de c.c. lo podemos ver en la figura 3.23 y en la figura 3.24 se presenta un diagrama más detallado en corte.

La estructura física de la máquina consta de dos partes: el estator o parte estacionaria y el rotor o parte rotatoria.

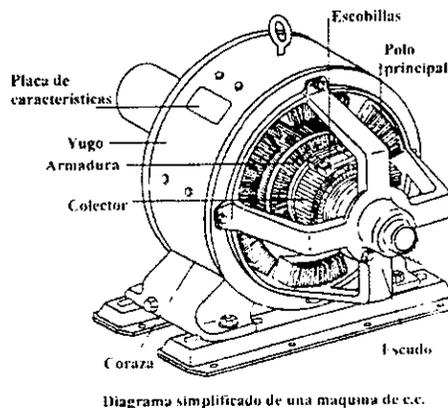


Figura 3.23

La parte estacionaria está constituida por la carcaza, que soporta mecánicamente las piezas polares que quedan en su interior. Los extremos de las piezas polares que están cerca del rotor se agrandan para poder distribuir su flujo en una mayor superficie del rotor. Estos extremos se llaman las zapatas polares. La superficie de la zapata polar se denomina cara polar y la distancia entre la cara polar y el rotor es el entrehierro.

En una máquina de c.c. hay dos devanados principales, el de armadura y el de campo. El devanado de armadura es en el que se induce el voltaje y el devanado de campo es el que produce el campo magnético principal de la máquina. En una máquina de c.c. normal el arrollamiento de armadura esta en el rotor y los arrollamientos de campo están en el estator. Debido a que el devanado de armadura se encuentra en el rotor, a menudo el rotor mismo se denomina como armadura.

CARCAZA Y POLO.

En las máquinas antiguas, con frecuencia, los polos principales se hacían de una pieza de metal fundido, con el devanado de campo arrollado a su alrededor. Algunas veces, los extremos eran laminados para reducir las pérdidas del núcleo en las caras polares.

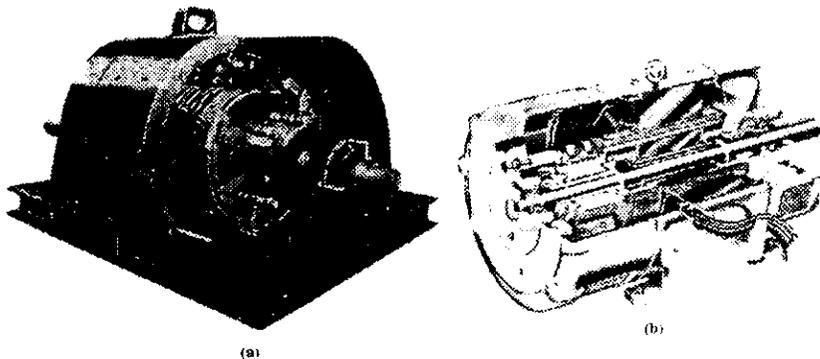


Figura 3.24

Con el desarrollo de los dispositivos de estado sólido se volvió común hacer los polos principales de las máquinas completamente laminados, esto debido a que las fuentes de alimentación de los motores de c.c. son fuentes de c.a con controladores de estado sólido, con lo cual las pérdidas por corrientes parásitas en los estatores pueden ser mucho mayores. Las caras polares se construyen achaflanadas o excéntricas, con el fin de que la distancia entre la superficie del rotor y la superficie del polo sea ligeramente menor en el centro del polo que en sus bordes extremos, lo que incrementa la reluctancia en los extremos y así se contrarresta el efecto de concentración de flujo magnético causado por la reacción de armadura.

Los polos de las máquinas de c.c. se llaman polos salientes porque sobresalen de la superficie del estator. Los polos auxiliares de las máquinas de c.c. se colocan en medio de los polos principales. Estos se construyen laminados por el mismo problema de las pérdidas descrito para los polos principales.

ROTOR O ARMADURA

El rotor o armadura de una máquina de c.c. consta de un eje maquinado a partir de una barra de acero con un núcleo montado sobre él. El núcleo está compuesto de varias láminas de acero, apretadas entre sí, con ranuras en su superficie exterior para colocar en ellas el devanado de armadura. En uno de los extremos del núcleo y montado sobre el eje se ubica el colector. Las bobinas de la armadura se colocan dentro de las ranuras del núcleo, y sus terminales se conectan a las delgas del colector.

COLECTOR Y ESCOBILLAS.

El colector de una máquina de c.c. se fabrica comúnmente de barras de cobre aisladas entre sí por un material como la mica o similar. Las barras de cobre se hacen suficientemente gruesas para que con un desgaste normal operen durante toda la vida del motor. El aislamiento de mica entre las delgas debe ser más duro que el material del colector, de tal manera que si se hace necesario pulir el colector, no queden pedazos de aislante sobresaliendo por entre las delgas.

Las escobillas se hacen de carbón, grafito o de mezcla de metal-grafito o de carbón-grafito. Deben tener alta conductividad para reducir las pérdidas eléctricas y un bajo coeficiente de fricción para que no tengan un desgaste excesivo; se construyen deliberadamente con materiales mucho más blandos que las delgas para que la superficie del colector tenga un desgaste mínimo. Se pueden usar escobillas endurecidas, pero presentan inconvenientes. Si las escobillas blandas deben ser reemplazadas con frecuencia, las duras ocasionan desgaste excesivo en el colector y así pueden disminuir la vida de la máquina.

El desgaste de la superficie del colector se debe a la fricción que sobre él hacen las escobillas para lograr que los voltajes de c.a que hay en los conductores se conviertan en voltajes de c.c. en las terminales de la máquina. Si la presión de las escobillas es muy grande, se desgastarán excesivamente tanto ellas como el colector. De otra parte, si la presión es demasiado pequeña las escobillas tenderán a saltar un poco y aparecerán chispas entre ellas y el colector. Este chispeo es perjudicial tanto para las escobillas como para el colector. Entonces, la presión de las escobillas sobre la superficie del colector debe ajustarse con mucho cuidado para que así se prolongue su vida y la de la máquina.

Otro hecho que afecta el desgaste de las escobillas y de la delgas del colector en una máquina de c.c. es la cantidad de corriente que circula por la

máquina. Normalmente, las escobillas se deslizan en el colector sobre una pequeña capa de óxido que sirve como lubricante. Sin embargo, si la corriente es muy pequeña, ésta capa se desmorona y se incrementa así la fricción entre las escobillas y el colector, lo que contribuye a un rápido deterioro. Para que las escobillas tengan larga vida, es conveniente mantener siempre la máquina por lo menos parcialmente cargada.

AISLAMIENTO DE LOS DEVANADOS.

Además del colector, otro elemento crítico en el diseño, de una máquina de c.c. es el aislamiento de sus devanados.

Si falla el aislamiento de los devanados el motor queda fuera de servicio. La reparación de la máquina, si es posible resulta costosa. Para evitar que falle por calentamiento los aislantes de los devanados de una máquina es necesario controlar su temperatura. Esto se puede lograr parcialmente haciendo circular aire frío sobre los devanados, aunque en última instancia la temperatura máxima que soportan los devanados, limitan la potencia que la máquina puede suministrar en forma continua.

Rara vez la falla del aislamiento se presenta de un momento a otro debido a algún valor crítico de la temperatura, sino que el deterioro es gradual y se puede acelerar por otras causas tales como golpes, vibraciones y esfuerzos eléctricos. Hay una vieja regla empírica que dice que la vida útil esperada para un motor con un aislamiento determinado, se reduce a la mitad por cada 10% de aumento en la temperatura de los devanados. Hoy se sigue utilizando esa regla

En los Estados Unidos la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) ha definido varias clases de aislamientos. Para cada clase se especifica la temperatura máxima permisible. Hay cuatro clases de aislamientos (Según norma

NEMA) utilizados en máquinas de c.c., denominados A, B, F y H. Cada uno permite un determinado aumento en su temperatura por encima de la temperatura ambiente, así: 50 °C para la clase A; 70 °C para la B; 90 °C para la F y 110 °C para la aislantes de la clase H.

III 6.5 MANTENIMIENTO A LA MAQUINARIA DE C.C.

El mantenimiento a un motor de c.c. consiste, principalmente, en mantener limpios los conductos de aire de refrigeración y los filtros (si existen), el control de los cojinetes, rodamientos, escobillas, portaescobillas y del colector, como también el cambio periódico de escobillas gastadas.

Así mismo es conveniente limpiar periódicamente el interior del motor, soplando con aire seco a presión.

Los motores que no cuentan con boquillas de engrase, o engrasadores, llevan rodamientos con una cantidad de grasa que bajo condiciones de funcionamiento normales, es, como mínimo suficiente para un año.

Se aconseja desmontar los rodamientos después de un periodo transcurrido entre 2 o 3 años y limpiarlos. Si las condiciones de operación son muy duras, esta operación se realizará mas frecuentemente. Las cantidades de grasa a reponer y los intervalos de engrase vienen indicados en listas que proporciona el fabricante.

El engrase de los rodamientos se hará con grasa lítica cuyo punto de goteo no será inferior a 180 °C. En ningún caso deberá mezclarse con grasa sódica o cálcica

Como intervalos de mantenimiento del colector y las escobillas tenemos:

1. Después de 500 hrs. De trabajo, o en su lugar, como máximo un mes después de su funcionamiento, deben realizarse los siguientes trabajos.

- Controlar que las escobillas no estén encasquilladas. NO deben estar ni demasiado flojas ni muy apretadas.

- Controlar la superficie de rodaje de las escobillas (la tonalidad ha de ser uniforme).

- Examinar la superficie del colector. Las estrías formadas en la parte donde se apoyan las escobillas han de tener la misma densidad de color (no desprender la patina).

2. Después de 1000 horas de funcionamiento.

- Controlar la largura de cada escobilla, si se ha alcanzado la marca de desgaste permitido, la cual va indicada en la escobilla (la marca se ve al sacar la escobilla del portaescobilla), entonces hay que cambiar la escobilla por un juego completo nuevo de la misma calidad. Si debido a ello se desplazase el soporte de las escobillas, (eje neutro), finalmente tiene que ajustarse exactamente de nuevo de acuerdo con la marca del color, apretando fuertemente los tornillos.

- Controlar la presión de las escobillas ($p=2.5 \text{ N/cm}^2 + 0\% \text{ } 10\%$) Controlar el giro concéntrico del colector (tolerancia máxima 0.04 mm)

Limpiar los residuos, por ejemplo polvo, partículas carboníferas de las ranuras de aislamiento que están entre delga y delga

Como una medida más de los trabajos de mantenimiento, se aconseja medir la largura de cada una de las escobillas, y junto con la corriente del rotor existente en el servicio, anotarlos en una ficha de control (control de desgaste).

Las escobillas nuevas se rasparán con tela de esmeril, es decir se adaptarán a la superficie del colector, sin que se rompan los cantos de las escobillas . Seguidamente, y con aire a presión seco, se limpiará el espacio entre delga y delga y todo el colector.

El colector debe estar bien pulido y liso, debiendo girar redondamente. Para su cuidado. el colector se limpiará con un trapo de lana suave, para eliminar de la superficie de rodadura el polvo o los residuos de aceite. Si presenta una superficie áspera, quemaduras, o un fuerte ennegrecimiento, puede repasarse con una piedra pómez suave, o bien con tela de esmeril muy fina. En caso de que la falta de redondez sea más grande, o si se han formado estrías, será necesario repasar el colector en el torno, obteniéndose un resultado óptimo si se emplea una cuchilla de torno con filo de diamante. Después del torneado tiene que fresarse el aislamiento entre las del gas. La profundidad del fresado ha de ser como mínimo de 1 milímetro. Así mismo deben romperse ligeramente los cantos de laminas y reajustarse la posición de las cajas del portaescobillas, de tal forma, que la distancia entre el canto inferior de las mismas y el colector sea como máximo de 3 milímetros.

CAPITULO IV.

ESTUDIO Y APLICACION DE LOS MOTORES DE C.C.

IV. 1 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA.

La misma máquina física puede ser un motor o un generador, ésta depende simplemente de la dirección en que llegue la potencia a través de ella.

Una aplicación para los motores de corriente continúa es en los casos en donde se requiere "amplias variaciones de velocidad". Los motores de c.c. son excelentes en las aplicaciones de control de velocidad y si no hay disponible una fuente de c.c. se pueden utilizar rectificadores de estado sólido y circuitos troceadores para crear la potencia necesaria

Los motores de c.c. se comparan por su regulación de velocidad. La regulación de velocidad de un motor se define por la ecuación:

$$SR = \frac{\omega_{sc} - \omega_{pc}}{\omega_{pc}} \times 100 \quad \text{ó} \quad SR = \frac{\eta_{sc} - \eta_{pc}}{\eta_{pc}} \times 100$$

Nota esta es una medida aproximada de la forma de la característica $\tau - v$ de un motor

Una regulación positiva de la velocidad.- significa que la velocidad del motor cae con el incremento de la carga.

Una regulación de velocidad negativa.- significa que la velocidad del motor aumenta al incrementar la carga.

Se asume que:

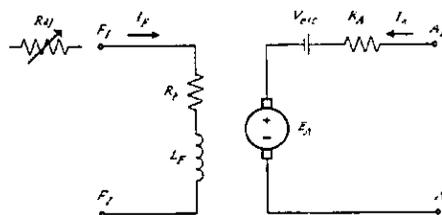
El voltaje de entrada a un motor de c.c. es constante, este supuesto simplifica el análisis de los motores y la comparación entre los diferentes tipos de motores.

Existen cinco tipos principales de motores, de c.c. de uso generalizado:

1. Motor de c.c. con excitación independiente.
2. Motor de c.c. en derivación "SHUNT".
3. Motor de c.c. con imán permanente.
4. Motor de c.c. en serie.
5. Motor de c.c. con excitación compuesta.

IV.1.1 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN MOTOR DE C.C.

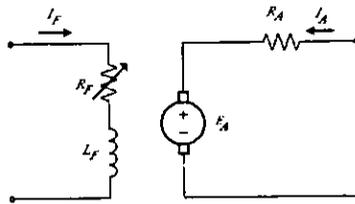
Un motor de c.c. físicamente es la misma máquina que un generador de c.c.; sus circuitos equivalentes son iguales excepto por la dirección de circulación de la corriente. En la figura 4.1 se muestra el circuito equivalente de un motor de c.c.; la corriente fluye hacia dentro del circuito de armadura de la máquina.



Circuito equivalente de un motor de c.c.

Figura 4.1

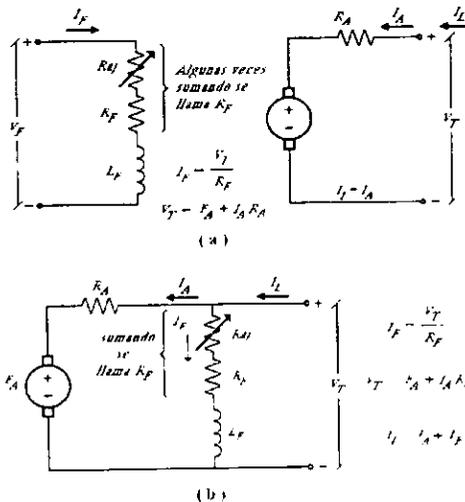
La figura 4.2 muestra el mismo circuito equivalente de un motor de c.c. sólo que simplificado, eliminando la caída en las escobillas y combinando R_{aj} y R_f



Circuito equivalente simplificado eliminando la caída de voltaje en las escobillas y combinando R_{aj} con la resistencia de campo

Figura 4.2

IV.2 MOTORES DE C.C. CON EXCITACIÓN INDEPENDIENTE Y CON EXCITACIÓN EN DERIVACIÓN.



(a) Circuito equivalente de un motor de c.c. con excitación independiente

(b) Circuito equivalente de un motor en derivación de c.c.

Figura 4.3

ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA

Un motor de c.c. con excitación independiente; es un motor cuyo circuito de campo se alimenta desde una fuente de alimentación separada; mientras que un motor de c.c. en derivación es un motor cuyo circuito de campo toma su potencia directamente de las terminales de la armadura del motor. Cuando la fuente de alimentación de voltaje es constante, no hay diferencia práctica en el comportamiento de éstas dos máquinas.

La ecuación de la ley de Kirchhoff para el circuito de armadura es:

$$V_T = E_A - I_A R_A \quad (4.1)$$

Nota: el comportamiento del motor en derivación siempre incluirá el de el motor con excitación independiente.

La característica terminal de un dispositivo es una gráfica que representa las cantidades de salida unas contra otras. En este caso son: el par en el eje y la velocidad.

Un motor en derivación responde a la carga de la siguiente manera:

Supóngase que se incrementa la carga en el eje del motor en derivación. Cuando el par de carga (τ_{carga}) exceda al par producido ($\tau_{producido}$) en la máquina el motor comenzará a ir más despacio. Cuando va más lento, el voltaje generado cae ($E_A = K_c \omega$) así que la corriente de armadura en el motor $[I_A = (V_T - E_A) / R_A]$ se incrementa. Como la corriente de armadura se eleva incrementa el par inducido en el motor ($\tau_{ind} = k \phi I_A$) y finalmente el par producido será igual al par de la carga a una menor velocidad mecánica de rotación ω .

La característica de la salida se puede obtener de las ecuaciones de voltaje y par inducido en el motor además de la ley de Kirchoff así:

$$V_T = E_{iA} + I_A R_A \quad (4.1) \quad \text{donde:}$$

$$E_{iA} = K\phi\omega \quad (4.2)$$

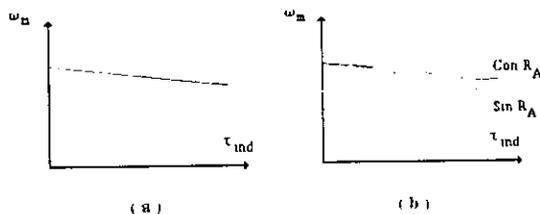
$$I_A = \frac{\tau_{md}}{K\phi} \quad (4.3) \quad \text{así pues:}$$

$$\omega = \frac{V_T}{K\phi} - \frac{R_A}{(K\phi)^2} \tau_{md} \quad (4.4)$$

La ecuación anterior es una línea recta con pendiente negativa.

La velocidad del motor varía linealmente con el par, siempre y cuando los otros términos permanezcan constantes con la variación de la carga.

Si el voltaje no es constante entonces las variaciones del voltaje afectaran la forma de la curva par-velocidad. La curva par-velocidad del motor en derivación se muestra en la figura 4.4.



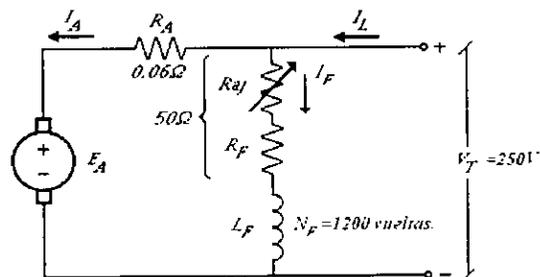
(a) Característica par-velocidad de un motor de c.c. en derivación o excitado independientemente con devanados de compensación para eliminar la reacción de armadura. (b) Característica par-velocidad del motor de c.c. con la reacción de armadura presente.

Figura 4.4

La "reacción de armadura" es otro efecto interno del motor que puede afectar la forma de la curva par-velocidad. Si un motor tiene "reacción de armadura" entonces cuando se incrementa su carga, el efecto desmagnetizante reduce su flujo (ec. 4.5) la reducción de flujo a cualquier carga dada es un incremento de la velocidad del motor con respecto a la velocidad que giraría sin reacción de armadura.

En la figura 4.4b se muestra la característica par-velocidad de un motor en derivación con reacción de armadura. Si un motor tiene devanados de compensación por supuesto no habrá problemas por el efecto desmagnetizante en la máquina y su flujo permanecerá constante. Si en un motor en derivación de c.c. se conocen la velocidad y la corriente de armadura, a cualquier valor de la carga, entonces es posible calcular la velocidad a cualquier otro valor dado de la carga, mientras se conozca, o pueda determinarse, la corriente de armadura a esa carga.

Por ejemplo: Se tiene un motor en derivación de c.c. de 50 HP, 250V, 1200 r.p.m., con devanados de compensación, tiene una resistencia de armadura (incluyendo escobillas, devanados de compensación e interpolos) de 0.06Ω . Su circuito de campo tiene una resistencia total $R_{aj} + R_f$ de 50Ω el cual produce una velocidad le vacío de 1200 rpm. Hay 1200 espiras por polo en el devanado de campo en derivación. (Ver fig. 4.5)



Motor en derivación del ejemplo anterior.

Figura 4.5

- a) ¿Cuál es la velocidad del motor cuando la corriente de entrada es de 100 A.?
- b) ¿Cuál es la velocidad del motor cuando la corriente de entrada es de 200 A.?
- c) ¿Cuál es la velocidad del motor cuando la corriente de entrada es de 300 A.?
- d) Utilice estos datos para graficar la característica par-velocidad de este motor.

SOLUCION:

El voltaje generado por una máquina de c.c. con su velocidad expresada en revoluciones por minuto, está dado por la ecuación

$$E_{i1} = K' \phi \eta$$

Puesto que la corriente de campo en la máquina, es constante (porque: V_T y la resistencia de campo son constantes) y no hay efectos de la reacción de armadura entonces el flujo en este motor es constante. La relación entre la velocidad y el voltaje generado en el motor, en dos condiciones de carga diferentes es

$$\frac{E_{i2}}{E_{i1}} = \frac{K' \phi \eta_2}{K' \phi \eta_1} = \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

La constante K' se elimina, puesto que es una constante para una máquina dada y el flujo ϕ desaparece por lo descrito anteriormente. Entonces,

$$\eta_2 = \frac{E_{i2}}{E_{i1}} \eta_1$$

Sin carga la corriente de armadura es cero, así que $E_A = V_T = 250 \text{ V}$, al mismo tiempo que la velocidad $n_m = 1200 \text{ rpm}$. Ahora es posible responder las preguntas.

a) si $I_L = 100 \text{ A}$, entonces la corriente de armadura es:

$$I_A = I_L - I_F = I_L - \frac{V_T}{R_F}$$
$$= 100 \text{ A} - \frac{250 \text{ V}}{50 \Omega} = 95 \text{ A}$$

Entonces a esta carga E_A será

$$E_{A1} = V_T - I_A R_A$$
$$E_{A1} = 250 \text{ V} - (95 \text{ A})(0.06 \Omega)$$
$$E_{A1} = 244.3 \text{ V}$$

La velocidad resultante del motor es:

$$\eta_2 = \frac{244.3 \text{ V}}{250 \text{ V}} 1200 \text{ rpm}$$
$$\eta_2 = 1173 \text{ rpm}$$

b) Si $I_L = 200 \text{ Amp}$, la corriente de armadura es:

$$I_A = I_L - \frac{V_T}{R_F}$$
$$200 \text{ A} - \frac{250 \text{ V}}{50 \Omega} = 195 \text{ A}$$

entonces, a esta carga E_A será

$$E_A = V_T - I_A R_A$$
$$E_A = 250 \text{ V} - (195 \text{ A})(0.06 \Omega)$$
$$E_{A2} = 238.3 \text{ V}$$

La velocidad resultante es

$$\eta_2 = \frac{238.3 \text{ V}}{250 \text{ V}} 1200 \text{ rpm}$$
$$\eta_2 = 1144 \text{ rpm}$$

c) Si $I_L = 300 \text{ A}$ la corriente de armadura en el motor es:

$$I_A = I_L - \frac{V_T}{R_f}$$
$$300 \text{ A} - \frac{250 \text{ V}}{50 \Omega} = 295 \text{ A}$$

entonces, a esta carga E_A será

$$E_A = V_T - I_A R_A$$
$$E_{A1} = 250 \text{ V} - (295 \text{ A})(0.06 \Omega)$$

$$E_{A12} = 232.3 \text{ V}$$

la velocidad resultante del motor será

$$\eta_2 = \frac{232.3 \text{ V}}{250 \text{ V}} 1200 \text{ rpm}$$
$$\eta_2 = 1115 \text{ rpm}$$

b) Para gráfica la característica de salida de este motor, es necesario encontrar el par correspondiente a cada valor de velocidad. Sin carga el par producido τ_{ind} obviamente es cero. El par producido para cualquier otra carga puede determinarse a partir del hecho de que la potencia convertida en un motor de c.c. es :

$$P_{conv} = E_A I_A = \tau_{ind} \omega$$

El par producido en un motor es :

$$\tau_{ind} = \frac{E_A I_A}{\omega}$$

- Así el par producido para $I_L = 100A$ es

$$\begin{aligned} \tau_{ind} &= \frac{(2443 \text{ V})(95 \text{ A})}{(1173 \text{ rpm}) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} \right)} \\ &= 190 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

- El par producido para $I_L = 200 \text{ A}$ es.

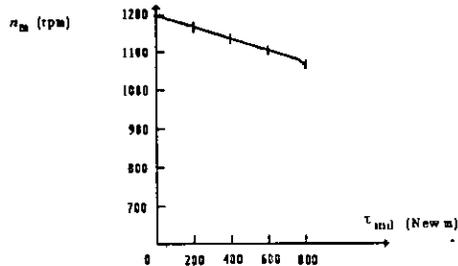
$$\tau_{ind} = \frac{(2383 \text{ V})(195 \text{ A})}{(1144 \text{ rpm}) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} \right)} = 388 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- El par producido para $I_L = 300 \text{ A}$ es

$$\tau_{ind} = \frac{(232.3 \text{ V})(295 \text{ A})}{(1115 \text{ rpm}) \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{\text{rev}} \right)} = 587 \text{ N.m}$$

La característica par-velocidad para este motor está representada en la figura

4.6



Característica par-velocidad del motor del ejemplo anterior

Figura 4.6

CONTROL DE VELOCIDAD EN LOS MOTORES EN DERIVACIÓN DE CORRIENTE CONTINUA.

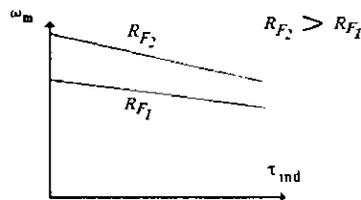
Existen 3 métodos. 2 de uso común y 1 de uso menos frecuente

- a) Variar la resistencia de campo R_f (flujo del campo)
- b) Variar el voltaje aplicado a las terminales de la armadura
- c) Insertar una resistencia serie con el circuito de la armadura. (uso poco común)

A) CAMBIO DE LA RESISTENCIA DE CAMPO

El incremento de la R_f causa disminución en $I_f = \left[\frac{V_f}{R_f} \right]$

2. La disminución en I_f disminuye el ϕ
3. La disminución del flujo hace más pequeño el $E_A = (K\phi\omega)$
4. La disminución de E_A incrementa la $I_A = (I_T - E_A) / R_A$
5. El incremento de I_A incrementa a $\tau_{ind} = K\phi I_A$ (con el cambio de IA dominando sobre el flujo).
6. Al aumentar el par inducido hace par inducido mayor a par de carga y la velocidad ω aumenta
7. El incremento en ω nuevamente incrementa a $E_{i1} = (K\phi\omega)$
8. El aumento del E_{i1} disminuye I_A
9. La disminución de I_A decrementa al par inducido, hasta que el par inducido es igual al par de carga a una velocidad ω más alta. (figura 4.7)



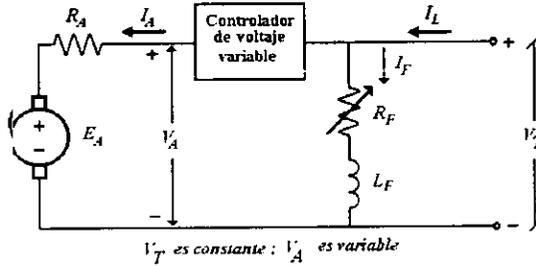
Efecto del control de velocidad por resistencia de campo, sobre las características par-velocidad de un motor en derivación.

Figura 4.7

Observemos la figura 4.7 el efecto que ocasiona aumentar R_f sobre la característica par velocidad es que con el aumento de R_f el flujo en la máquina disminuye y con esto se consigue que la velocidad del motor sin carga aumente, mientras que la pendiente de la curva par velocidad se hace más empinada. Naturalmente entonces la disminución de " R_f " invertirá el proceso descrito, y la velocidad del motor caerá.

B) CAMBIO DEL VOLTAJE EN LA ARMADURA.

Para este tipo de control es necesaria una conexión similar a la mostrada en la figura 4.8



Control de voltaje de armadura de un motor de c.c. en derivación
o con excitación independiente.

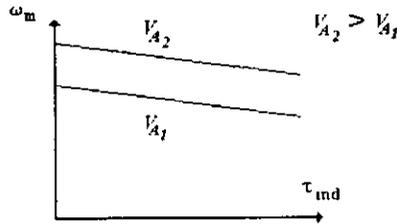
Figura 4.8

En efecto para controlar el voltaje de armadura, el motor se debe excitar independientemente. El comportamiento causa-efecto involucrado en este método de control de velocidad es :

1. Un incremento en V_A incrementa $I_A = \frac{V_A - E_A}{R_A}$
2. El incremento en I_A incrementa el $\tau_{ind} = K\phi I_A$
3. El incremento del par inducido hace que $\tau_{ind} > \tau_{ext}$ incrementando ω
4. El incremento en ω incrementa el $E_A = (K\phi\omega)$
5. El incremento en E_A decrementa el $I_A = \frac{V_A - E_A}{R_A}$
6. La disminución en I_A decrementa el τ_{ind} hasta que $\tau_{ind} = \tau_{ext}$ a una

velocidad ω mas alta

En la figura 4.9 se muestra el efecto de un incremento en el V_A sobre la característica par-velocidad de un motor excitado separadamente. La velocidad sin carga del motor se cambia, pero la pendiente de la curva permanece constante.

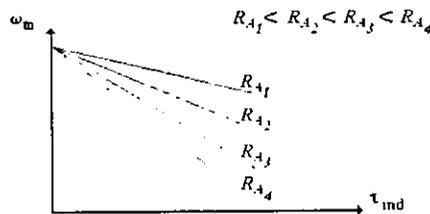


Efecto del control de velocidad por voltaje de armadura, sobre las características par-velocidad de un motor en derivación.

Figura 4.9

C) INSERCIÓN DE UNA RESISTENCIA EN SERIE CON EL CIRCUITO DE ARMADURA (poco común)

Si se inserta una resistencia en serie con el circuito de armadura, su efecto es incrementar drásticamente la pendiente de la característica par-velocidad del motor, haciendo su operación más lenta al cargarlo figura 4.10



Efecto del control de velocidad por resistencia de armadura sobre las características par-velocidad de un motor en derivación.

Figura 4.10

La inserción de una resistencia es un método de control de velocidad excesivamente antieconómico, puesto que las pérdidas en la resistencia insertada son enormes. Por esta razón se usa muy raramente. Se encontrará solamente en aplicaciones, en las cuales el motor pasa la mayor parte del tiempo operando a plena velocidad, o en aplicaciones demasiado económicas para justificar una mejor forma de control de velocidad. Mediante la combinación en el mismo motor de las dos primeras técnicas de control de velocidad, es posible alcanzar un rango de variaciones de velocidad de 40 a 1 o más. Los motores en derivación y con excitación independientes son excelentes para aplicaciones que requieren grandes variaciones de velocidad, especialmente si las variaciones de velocidad deben controlarse con exactitud.

Para el control de voltaje de armadura, el flujo en el motor es constante así el máximo par en el motor es:

$$\tau_{max} = K\phi I_{a,max} \quad (4.5)$$

Este par máximo es constante e independiente de la velocidad de rotación puesto que la potencia de salida del motor está dada por:

$$P = \tau\omega$$

La potencia máxima del motor a cualquier velocidad bajo el control de voltaje de armadura es:

$$P_{max} = \tau_{max}\omega \quad (4.6)$$

Entonces, bajo el control de voltaje de armadura, la potencia máxima de salida del motor es directamente proporcional a su velocidad de operación

IV.2.1 EFECTO DEL CIRCUITO DE CAMPO ABIERTO.

Cuando la resistencia de campo se incrementa, la velocidad del motor se incrementa con ella. ¿Qué sucedería si el circuito de campo se abriera mientras el motor esté girando. El flujo de la máquina cae drásticamente hasta que ϕ_{res} , y $E_{i1} = K\phi$ cae con él. Esto causa un incremento enorme de la corriente de armadura y el par producido resultante será mucho más alto que el par de carga en el motor. Por lo tanto la velocidad del motor comienza a elevarse y se mantiene creciendo, hasta lograr una sobre velocidad del motor (embalamiento).

El resultado de abrir un circuito de campo puede ser espectacular. En los circuitos de arranque y protección de los motores de c.c. normalmente se incluye un relé de pérdida de campo para desconectar el motor de la línea en el evento de una pérdida de la corriente de campo.

IV.3 ARRANCADORES DE MOTORES DE CC.

Para que un motor de cc funcione apropiadamente en una planta, debe tener asociado con él, algún tipo especial de protección y control. Los propósitos de este equipo son.

1. Proteger al motor contra daños debido a corto circuito en el equipo
2. Proteger al motor contra daños provenientes de sobrecargas prolongadas.
3. Proteger al motor contra daños provenientes de corrientes de arranque excesivas
4. Proveer de una forma conveniente, mediante la cual se pueda controlar la velocidad de operación del motor.

IV. 3.1 PROBLEMAS EN EL ARRANQUE DE MOTORES DE CC.

Para que un motor funcione adecuadamente debe protegerse contra, daños físicos durante el periodo de arranque. En condiciones de arranque, el motor no está girando y así $E_A = 0 \text{ Volts}$. Puesto que la resistencia interna de un motor de cc. normal es muy pequeña comparada con su tamaño circulará una corriente de armadura muy grande.

Por ejemplo: considere un motor de 50 HP, 250V. La corriente de plena carga de este motor es menor de 200 A. Pero la corriente de arranque es:

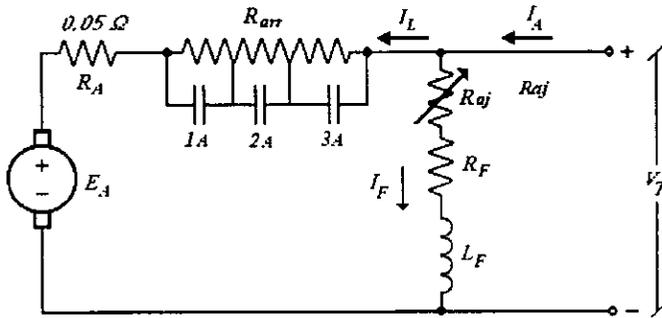
$$I_{A1} = \frac{V_T - E_A}{R_{A1}} = \frac{250 \text{ V} - 0 \text{ V}}{0.06 \Omega} = 4167 \text{ A.}$$

Esta corriente es superior a veinte veces la corriente nominal de plena carga del motor. Es posible que un motor sea severamente dañado por tales corrientes aún cuando se apliquen solo por un momento.

Una solución al problema del exceso de corriente durante el arranque es insertar una resistencia de arranque en serie con la armadura para limitar la corriente de arranque hasta que E_A pueda elevarse. Esta resistencia no puede estar permanentemente en el circuito ya que ella puede conducir a pérdidas excesivas y puede causar que la característica de par-velocidad del motor caiga excesivamente con un incremento en la carga.

Se debe insertar una resistencia en el circuito de armadura para limitar la corriente que fluye en el arranque y esta debe nuevamente removerse cuando la velocidad del motor aumente. En la práctica, una resistencia de arranque se hace de una serie de secciones, cada una de las cuales se remueve sucesivamente del

circuito del motor, cuando el motor aumenta la velocidad, para limitar la corriente en el motor a un valor seguro sin reducirla nunca a un valor demasiado bajo para una rápida aceleración. (figura 4.11).



Motor en derivación con una resistencia de arranque en serie con su armadura.

Los contactos 1, 2 y 3 A cuando se cierran cortocircuitan secciones de la resistencia de arranque

Figura 4.11

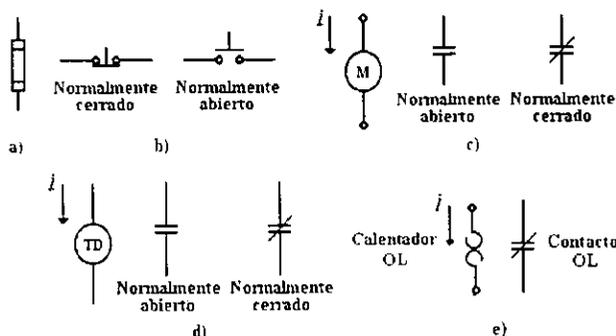
La figura 4.11 muestra un motor en derivación con una resistencia de arranque suplementaria que puede sacarse del circuito en segmentos, mediante el cierre de los contactos 1A, 2A y 3A. Para hacer trabajar el arrancador del motor, son necesarias dos acciones.

1. Seleccionar el tamaño y número de segmentos de resistencia necesarios para limitar la corriente de arranque a los valores deseados
2. Diseñar un circuito de control que cierre la resistencia a través de contactos en el momento apropiado para remover del circuito aquellas partes de la resistencia.

En las instalaciones más recientes los motores operan por medio de circuitos arrancadores automáticos

IV.3.2 CIRCUITOS DE ARRANQUE DE MOTOR DE CC.

Veamos antes que nada algunos de los componentes utilizados en los circuitos de arranque de motores.



(a) Un fusible. (b) Pulsadores normalmente abiertos y normalmente cerrados. (c) Una bobina de relé y contactos. (d) Un temporizador y contactos. (e) Un relé de sobrecarga y sus contactos normalmente cerrados.

Figura 4.12

La figura 4.12 ilustra algunos de los componentes de uso común en los circuitos de control de motores.

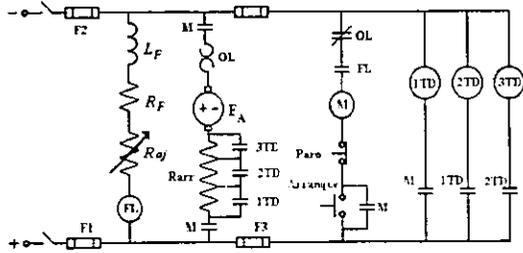
Figura 4.12a símbolo de un fusible. Los fusibles en un circuito de control de motores sirven para proteger al motor contra el peligro de los corto circuitos. Se colocan en las líneas de entrada de alimentación de potencia al motor. Si un motor produce un corto circuito el fusible en la línea de entrada se quema, abriendo el circuito antes que cualquier daño pueda ocurrir en el mismo motor.

Figura 4.12b Interruptor pulsador tipo resorte. De tales interruptores hay dos tipos básicos, normalmente abierto y normalmente cerrado. Los contactos normalmente abiertos están abiertos cuando el botón está en reposo y cerrados cuando se oprime el botón, mientras que los contactos normalmente cerrados están cerrados cuando el botón está en reposo y abiertos cuando se empuja el botón.

Figura 4.12c muestra un relé. consta de una bobina principal y un número de contactos. La bobina principal se representa con un círculo y los contactos se muestran como líneas paralelas. Los contactos son de dos tipos; normalmente abiertos y normalmente cerrados. Cuando se aplica potencia eléctrica al relé (el relé está energizado) sus contactos cambian de estado: los contactos normalmente abiertos: cierran y los contactos normalmente cerrados abren.

Figura 4.12d Muestra un temporizador. Obra exactamente como un relé ordinario excepto que cuando se energiza hay un tiempo de retardo ajustable antes de que sus contactos cambien de estado.

Figura 4.12e muestra un relé de sobrecarga. Consta de un elemento térmico y algunos contactos normalmente cerrados. La corriente que llegue hacia el motor pasa a través del elemento térmico. Si la carga en un motor llega a ser demasiado grande, entonces la corriente que circula hacia el motor calentará el térmico el cual hace que los contactos normalmente cerrados se abran. Estos contactos pueden activar algún tipo de circuitería de protección del motor.



Circuito arrancador de motores de c.c. utiliza temporizadores para sacar la resistencia de arranque.

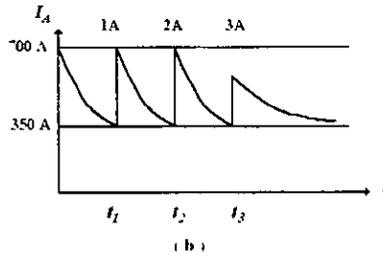
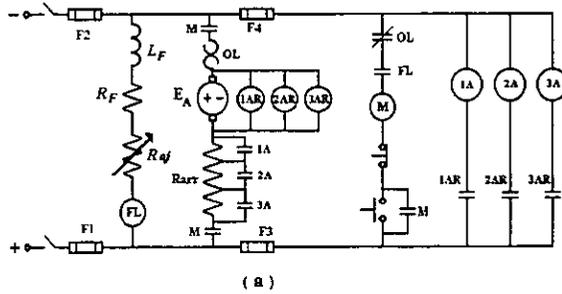
Figura 4.13

En la figura 4 13 se ilustra un circuito común de arranque de motores que utilizan estos componentes. En este circuito, una serie de temporizadores cierran

contactos que remueven cada sección de la resistencia de arranque en el momento correcto, después de aplicar la potencia al motor.

Cuando en el circuito de la figura 4.13 se oprime el botón de arranque, el circuito de armadura del motor se conecta a su fuente de potencia y la máquina arranca con toda la resistencia en el circuito. Sin embargo, el temporizador 1TD se energiza al mismo tiempo que el motor arranca, así, después de un retardo el contacto 1TD se cierra y saca del circuito parte de la resistencia de arranque. Simultáneamente, se energiza el temporizador 2TD así, después de otro retardo de tiempo el contacto 2TD se cierra y se remueve del circuito la segunda parte de la resistencia de arranque. Cuando cierra el contacto 3TD se energiza el temporizador 3TD y así el proceso se repite de nuevo y finalmente el motor gira a una velocidad plena sin resistencia de arranque presente en el circuito. Si los tiempos de retardo se escogen apropiadamente, las resistencias de arranque pueden desconectarse justo en el momento exacto para limitar la corriente del motor y su valor de diseño.

En la figura 4.14 se muestra otro tipo de arrancador de motor. Aquí una serie de relés sensan en el motor el valor de I_a e interrumpen la resistencia de arranque cuando I_a sobrepasa el valor preseleccionado, este tipo de arrancador es mejor que el anterior, puesto que si el motor tiene una carga pesada y arranca mas lento que lo normal la resistencia de arranque se elimina cuando la corriente de arranque cae al valor apropiado



(a) En un circuito arrancador de motores de c.c. que utiliza relés sensores de contra voltaje para sacar la resistencia de arranque. (b) La corriente de armadura durante el arranque del motor de c.c.

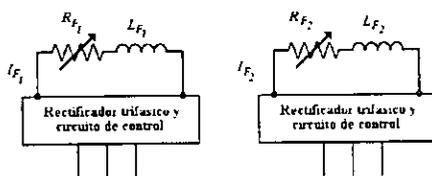
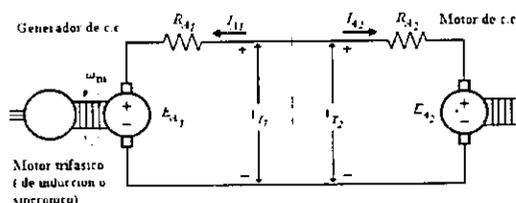
Figura 4.14

Observe que ambos circuitos arrancadores tienen un relé en el circuito de campo, marcado con "FL". Este es un relé de pérdida de campo, este se desenergiza, interrumpiendo la potencia hacia el relé M. Cuando se desenergiza el relé M sus contactos abren y desconectan el motor de la fuente de potencia. Este relé evita que el motor se embale cuando pierda su corriente de campo.

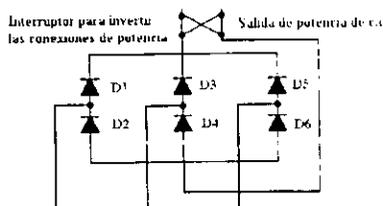
También observe que hay un relé de sobrecarga en cada circuito arrancador de motores. Si la potencia tomada por el motor llega a ser excesiva, éste relé de sobrecarga se calienta y abre el contacto OL normalmente cerrado, desconectando el relé M. Cuando el relé se desenergiza abre sus contactos normalmente abiertos y desconecta el motor de la fuente de potencia, protegiendo así el motor contra daños causados por prolongadas cargas excesivas.

IV. 3.3 EL SISTEMA WARD-LEONARD Y CONTROLADORES DE VELOCIDAD DE ESTADO SOLIDO.

La velocidad de los motores de c.c. con excitación independiente en derivación o compuesta puede variarse de tres formas: Cambiando la resistencia de campo, cambiando el voltaje de armadura o cambiando la resistencia de armadura, puesto que permite una amplia variación de la velocidad sin afectar el par máximo del motor.



(a)



(b) Potencia de entrada trifásica.

(a) Un sistema de control Ward-Leonard para control de velocidad de motores de c.c. (b) El circuito para producir la corriente de campo del generador de c.c. y del motor de c.c.

Figura 4.15

Un buen número de los sistemas de control de motor se desarrollaron tomando ventaja de los grandes pares y variaciones de velocidad disponibles en el control de voltaje de armadura de los motores de c.c. En los días previos a la disponibilidad de los componentes electrónicos de estado sólido, era difícil producir un voltaje de c.c. variable. En efecto la forma de variar el voltaje de armadura de un motor de c.c. era suministrándolo desde un generador de c.c.

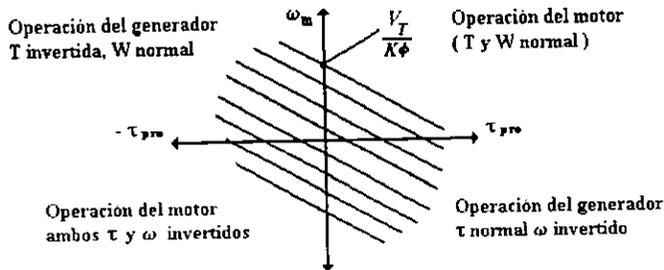
En la figura 4.15 se muestra un sistema de control de voltaje de armadura de este estilo. Esta figura muestra, un motor de C.A. que sirve como primotor a un generador de c.c., el cual a su vez se usa para alimentar un voltaje de c.c. a un motor. Tal sistema de máquinas se llama sistema Ward-Leonard, y es extremadamente versátil.

En tal sistema de control de motores el voltaje de armadura se puede variar mediante cambios en la corriente de campo del generador de c.c. Este voltaje de armadura permite que la velocidad del motor pueda variarse suavemente entre un valor muy pequeño y la velocidad base. La velocidad del motor puede ajustarse por encima de la velocidad base reduciendo la corriente de campo del motor. Con un arreglo tan flexible, es posible el control total de la velocidad del motor.

Además, si se invierte la corriente de campo del generador, la polaridad del voltaje de armadura del generador también se invierte. Esto invertirá la dirección de rotación del motor. Por lo cual, es posible obtener un rango muy amplio de variación de la velocidad en cualquier sentido de rotación con un sistema Ward-leonard de control de motores de c.c.

Otra ventaja del sistema Ward-Leonard es que puede regenerar o retornar a las líneas de alimentación la energía de movimiento de las máquinas. Si una carga pesada se eleva y luego se baja mediante el motor de c.c. de un sistema Ward-Leonard, cuando la carga está cayendo, el motor de c.c. actúa como generador, suministrando potencia hacia el sistema de C.A. En ésta forma, mucha de la energía

requerida en el primer momento, para alzar la carga puede recuperarse reduciendo el costo total de operación de la máquina.



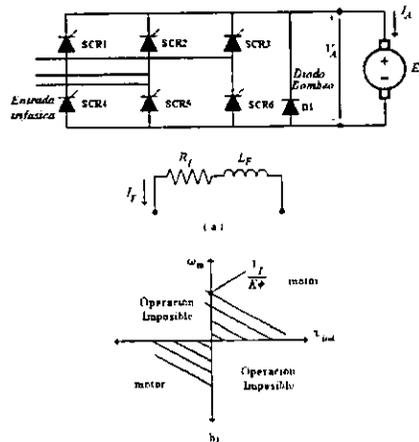
El rango de operación del sistema Ward-Leonard de control de motores. El motor puede operar como motor en cualquier dirección, hacia adelante (cuadrante 1) o en reverso (cuadrante 3) y también puede regenerar en los cuadrantes 2 y 4.

Figura 4.16

En la figura 4.16 se muestra el diagrama par-velocidad de los posibles modos de operación de la máquina de c.c. cuando este motor esta rotando en la dirección normal y suministrando par en la dirección de rotación, opera en el primer cuadrante de esta figura. Si se invierte la corriente de campo del generador, se invierte el voltaje de armadura del generador a su vez el voltaje de armadura del motor. Cuando se invierte el voltaje de armadura, permaneciendo sin cambio la corriente de campo del motor, se invierten el par y la velocidad del motor y la máquina opera como motor en el tercer cuadrante del diagrama. Si solamente el par o la velocidad se invierte mientras la otra cantidad no lo hace entonces la máquina funciona como un generador retornando potencia al sistema de potencia de C.A. Como el sistema Ward-Leonard permite la rotación y regeneración en cualquier dirección, se le denomina un sistema de control de cuatro cuadrantes.

Las desventajas del sistema Ward-Leonard saltan a la vista. Una de ellas es que el usuario esta forzado a comprar tres máquinas completas de valores nominales esencialmente iguales, lo cual es muy costoso. Otra es que, tres máquinas son mucho menos eficientes que una.

A causa de su costo y relativa ineficiencia, el sistema Ward-Leonard, en aplicaciones nuevas se ha reemplazado ampliamente por circuitos controladores basados en SCR's.



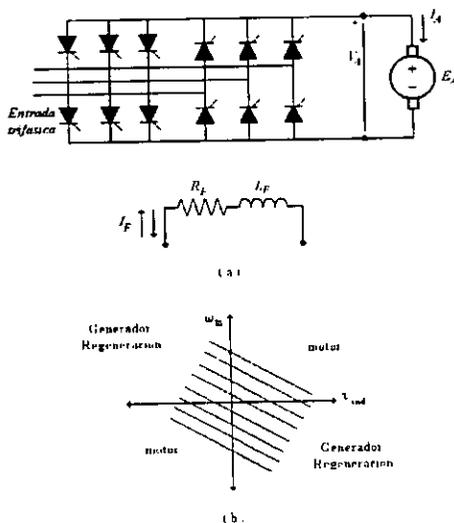
(a) Controlador de motores de c.c. de estado sólido de dos cuadrantes. Puesto que la corriente no puede fluir hacia afuera del terminal positivo de la armadura, este motor no puede actuar como generador, retornando potencia al sistema. La dirección de rotación puede invertirse por inversión de la dirección de la circulación de la corriente de campo. (b) Los posibles cuadrantes de operación.

Figura 4.17

La figura 4 17 muestra un circuito controlador de voltaje de armadura simple. El voltaje promedio aplicado a la armadura del motor y además la velocidad promedio del motor, dependen de la fracción de tiempo en que se aplica a la armadura la fuente de voltaje. Esto a su vez depende de la fase-relativa en la cual se disparan los SCR; en el circuito rectificador. Este circuito particular, solamente es capaz de suministrar a la armadura voltaje con una polaridad así que el sentido de giro del motor no se puede cambiar invirtiendo las conexiones a la armadura

El sentido de giro de este motor puede invertirse por medio de la inversión de la dirección de circulación de la corriente de campo. Observemos en la figura 4.17 que no es posible que una corriente de armadura fluya hacia afuera del terminal positivo de motor, puesto que la corriente no puede circular en sentido contrario a través de un SCR. Por, lo cual este motor no puede regenerar y cualquier energía suministrada al motor no puede recuperarse. De la figura 4.16b podemos concluir que este tipo de circuito de control es un controlador de 2 cuadrantes.

En la figura 4.18 se muestra un circuito más avanzado que es capaz de suministrar un voltaje de armadura con cualquier polaridad. Este circuito de control de voltaje de armadura permite fluir la corriente hacia afuera del terminal positivo de la máquina. así un motor con este tipo de controlador puede regenerar. Si también se puede cambiar la polaridad del circuito de campo del motor, entonces el circuito de estado sólido es un controlador total de 4 cuadrantes tal como el sistema Ward-Leonard.



(a) Un controlador de estado sólido de c.c. de cuatro cuadrantes. (b) Los posibles cuadrantes de operación de este controlador de motores.

Figura 4.18

CAPITULO V.

MAQUINA DE EXTRUSIÓN GENERALIDADES.

**+

V.1 APLICACIÓN DE LOS MOTORES DE C.C. A UNA MAQUINA DE EXTRUSION

Una vez que estamos enterados de los diversos usos que puede tener el polietileno, así como del estudio total de los motores de c.c. vamos a hacer un estudio de una maquina de extrusión, cuyo fin es la elaboración de este producto, y la demostración de la aplicación de los motores de c.c. a ésta máquina.

Normalmente estas máquinas para su movimiento mecánico principal hacen uso de motores de C.A que transmiten su movimiento mecánico por medio de un moto reductor (caja de engranes). Pero ahora vamos a utilizar los motores de c.c. ya que el control de velocidad de estos se ha vuelto mas versátil gracias al uso de los circuitos de estado sólido SCR's

Hasta este momento se tienen bien sentadas las bases teóricas de los motores de c.c., pues en los capítulos anteriores se hizo un estudio completo de las maquinas de c.c. ahora solo nos falta demostrar la importancia de estos motores al aplicarlos a máquinas de extrusión.

Una máquina de este tipo no es nada sencilla, como ya observamos en el capítulo I el polietileno requiere de ciertas características especiales para su uso; principalmente en las áreas del empaque en la industria alimenticia y del vestido.

El que se desee polietileno con características especiales es ya un problema muy grande, la máquina se complica más, ya que ahora no solo deberá de trabajar con polietileno, sino además con otro tipo de resinas y aditivos (para aumentar la calidad del polietileno, y diversificar su uso), que pueden ser tal vez 3, 4, o más según necesidades comerciales; cosa que veremos mas adelante.

La máquina que produce el polietileno se muestra en, la figura 5.1; está constituida de tres entradas para formar una película tubular de polietileno de tres capas que en su interior tiene una cantidad de aire constante para dar forma al globo; (película tubular de polietileno), en su parte superior la película tubular es presionada por dos rodillos y aplastada por un marco plegador y es arrastrada por una serie de motores, finalmente a esta película tubular presionada de antemano se le cortan las orillas para poder hacer dos bobinas de polietileno; una vez comprendido el proceso, estudiaremos detalladamente las partes que forman la máquina una a una para entender completamente el proceso así como el uso de los motores de c.c.

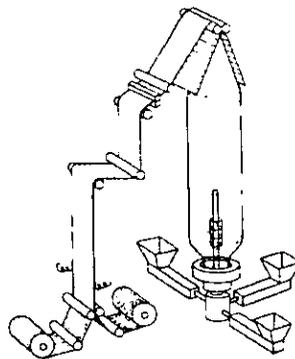


Figura 5.1

Cabe mencionar que todos los datos de medidas, tiempos y recomendaciones aquí consideradas son cantidades un tanto arbitrarias debido a que las medidas, tiempos y recomendaciones exactas lo dará la experiencia en el campo de trabajo.

V.2 PARTES QUE CONSTITUYEN LA MAQUINA DE EXTRUSION.

V.2.1 TOLVAS.

Las tolvas son recipientes donde se coloca la materia prima granulada o "pellet" que va a ser procesada por la máquina; pueden ser recipientes cónicos que terminan en punta para que el material se desplace del cuerpo de la tolva a través de una garganta que tienen en su parte inferior y que es mucho más delgada que su cuerpo (figura 5.2)

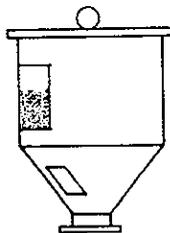


Figura 5.2

Las tolvas utilizadas en esta máquina son tres. (según la fig 5.1) ¿Por qué tres? Se utilizan tres tolvas, porque de esta forma podemos utilizar tres tipos diferentes de materiales (resinas) para la obtención de un polietileno de mejor calidad según necesidades industriales del cliente, constituido de tres capas y que cumpla con las características de calidad necesarias ya descritas en el capítulo 1.

Por ejemplo: En una de las tolvas podemos aplicar polietileno y en las otras dos polietileno y nylon para mejorar a este. Lo anterior no quiere decir que todas las

máquinas de este tipo usen tres tolvas pueden haber máquinas que trabajen con 1, 2 y hasta ;8 tolvas, según necesidades de la empresa y por requerimiento de los clientes que pidan tal vez mas de tres resinas para mejorar la calidad de la película de polietileno.

Los tamaños de las tolvas varían si son máquinas con una sola tolva generalmente deberá ser grande 1 o 1.7 metros de diametro; si son máquinas con un número mayor de estas su tamaño es mas reducido aún desde 0.5 hasta 0.8 de metros ∅ aproximadamente.

Estas tolvas son alimentadas normalmente en forma manual por medio de personas que hacen el llenado. Pero si tenemos algo de creatividad el llenado se puede hacer por medio de aspiradoras que pueden servir para aumentar la producción, aparte de reducir el trabajo.

Las tolvas deben de contar con una tapadera para evitar la contaminación del material y también cuentan con una mirilla para observar el comportamiento de la materia prima dentro de la tolva y que durante la producción nunca se vacíe ocasionando problemas en la producción, si el llenado es por aspiradora la máquina debe contar con sensores que indiquen cuando la tolva está vacía y cuando esté llena y que hagan funcionar a la aspiradora para que la mantengan siempre a su nivel de llenado, aunque el llenado sea por medio de la aspiradora el sistema puede llegar a fallar por problemas en el motor de aspirado o su control, por tal razón es la mirilla para estar al pendiente de algún problema

V.2.2 EXTRUDER.

La función del extruder es la de introducir, comprimir, derretir, homogeneizar y empujar el polietileno directo al dado de soplado.

El extruder es una de las partes más importantes en la máquina ya que es el alimentador principal de material; su estudio es complejo porque incluye mucha precisión en la inyección de material (polietileno) figura 5.3

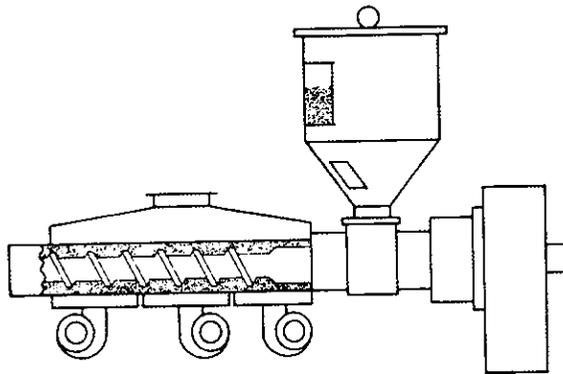


Figura 5.3

Una vez que el material o la materia prima sale de la garganta de la tolva, pasa al extruder y entra por la garganta de este aquí el material granulado o "pellet" se encuentra en estado sólido y empieza a ser introducido por un husillo gusano ó sinfín, el cual lo va transportando a través del cuerpo del extruder. La longitud del husillo puede ser de 1, 2 o 3 metros aproximadamente.

En el interior del extruder después de que el material pellet entró por su garganta aproximadamente a una distancia de $\frac{1}{3}$ del husillo el material comienza a cambiar de estado de granulado a una masa amorfa esto gracias a un grupo de resistencias que calientan el cuerpo del extruder es decir el área cilíndrica que cubre al husillo

Las resistencias calientan al extruder para que las resinas pasen por sus tres zonas alimentación, compresión y plastificación, (zonas en que se divide el

extruder) para llegar finalmente al portamallas. ¿Como es que el husillo trabaja?
figura 5.4



Figura 5.4

El motor que controla el extruder es de c.c., está ubicado cerca del cañón del extruder, este debe ser energizado por una unidad de tiristores.

El husillo es guiado por un mecanismo de engranes. Una banda controlada la transmisión del par del motor para la reducción de velocidad por medio del sistema de engranes. El rango de velocidad del husillo depende de la aplicación individual así como del par existente en el tornillo.

El husillo es accionado por el motor de c.c. que trabaja en forma muy precisa; y es una especie de tornillo figura 5.4 con una longitud que oscila entre 1 y 3 metros; tiene su "cuerda o rosca" cuidadosamente diseñada; la cual es calentada para que en conjunto con el motor introduzcan la cantidad exacta de material. La rosca o cuerda del husillo es fija, se puede decir entonces que el trabajo final de introducir una cantidad exacta de material por unidad de tiempo depende básicamente de control del motor; vemos aquí la importancia del motor de c.c. ya que su tarea requiere de mucha precisión entonces se necesita de un control muy preciso de la velocidad

Es necesario que la velocidad del motor sea controlada por completo, ya que la alimentación del materia no es siempre la misma, sino que varía según el tipo de material y la producción en metros por minuto que se desee obtener

Una vez que el material o las resinas se encuentran completamente en forma de masa amorfa, ésta debe mantenerse temperatura constante, es decir el grupo de resistencias debe siempre estar funcionando por medio de controles de temperatura para lograr una temperatura constante preseleccionada, mientras se esté produciendo, ya que si algunas de estas llegan a fallar el material ya no tiene la misma fluidéz y nos puede ocasionar problemas muy serios de alimentación de material variable, lo que nos conduce a errores en el calibre de la película y otros más de operación, entonces hay que tener cuidado con estas zonas ya que es “la vida” del trabajo elaborado.

V.2.3. CAMBIADOR DE FILTRO O PORTAMALLA.

La salida del material del extruder esta bloqueada por mallas o filtros intercambiables, para cambiarlas se cuenta con el cambiador de filtro que está instalado en la parte final del extruder y a la entrada del cabezal de extrusión, a ésta parte se le llama adapter. La ilustración del cabezal de extrusión la podemos observar en la figura 5.7 y el portamalla en la figura 5.5.

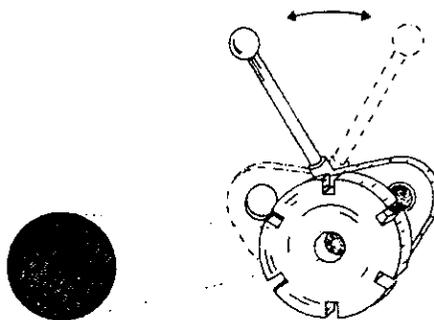


Figura 5.5

Estos filtros o mallas sirven para filtrar las impurezas finas de la masa fundida. Con el fin de minimizar el tiempo de interrupción del proceso de producción cuando es necesario cambiar una malla contaminada, esta es girada afuera del cañón donde

se encuentra la masa fundida, en tanto una malla nueva es girada automáticamente y colocada en el lugar que desocupa la malla contaminada. Figura 5.5

Para evitar pérdidas de temperatura el cambiador de filtros es calentado por bandas de calefacción. Esto garantiza una temperatura uniforme de la masa fundida mientras este pasando por el cambiador de mallas.

Cuando la presión de masa en la parte frontal del filtro, (que se mide en la punta final del husillo en la extrusora) aumenta mucho a una producción constante, el filtro que se encuentra en el flujo de la masa estará atascado.

La extrusora entonces ha de desconectarse, ya que el filtro no puede ser cambiado si la máquina sigue estando bajo presión. Cuando no se desconecta la extrusora manualmente la presión sigue subiendo hasta alcanzar valores altos de presión, por lo tanto se debe ajustar por medio de sensores de presión para que la máquina se pare automáticamente a través de un dispositivo limitador de presión y no sufra daños costosos de reparar e incluso también problemas de alimentación de material y con ello variación en el calibre del polietileno. Se recomienda sin embargo no esperar que los sensores de presión se activen sino cambiar el filtro periódicamente por ejemplo cada 24 hrs.

Normalmente después de la malla se obtiene la resina libre de impurezas disponibles para pasar al siguiente bloque del proceso dentro de la máquina

V.2.4 ADAPTER.

Una vez que el material ha sido purificado en la malla pasa al adapter esta es la parte que une al cañón del extruder con el cabezal del dado, figura 5.6.

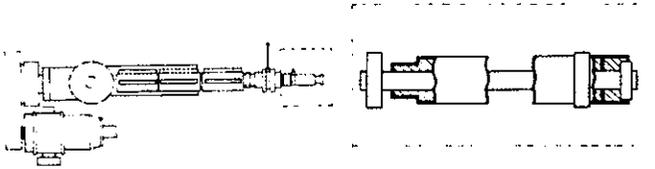


Figura 5.6

Finalmente inicia su recorrido hacia la parte inferior de las zonas del cabezal del dado(Block). Figura 5.7

V.2.5 CABEZAL DE EXTRUSION O DADO.

Hemos llegado a la parte mas importante de la máquina en este proceso. El dado cuya figura podemos ver a continuación figura 5.7.

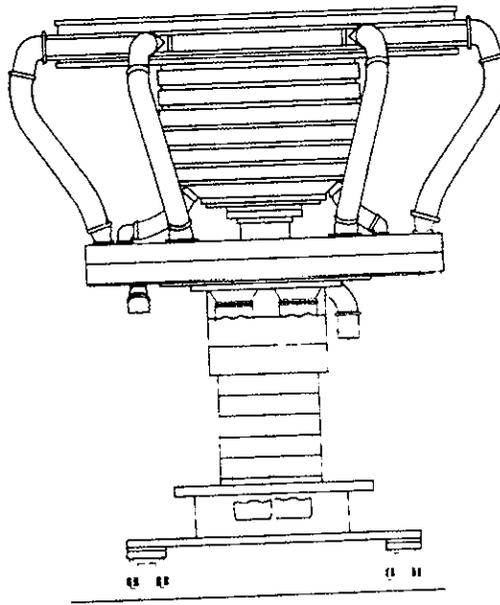


Figura 5.7

Es la parte que tiene la tarea más difícil "la formación de la película de polietileno". Es el receptor de material (masa amorfa) que viene de la garganta del extruder (adaptar) o de los extruder según sean 1,2, etc.

El cuerpo del dado está forrado completamente de resistencias con sus respectivos controles de temperaturas por zonas lo cual ayuda a aumentar la temperatura de la masa amorfa más aún alcanzando temperaturas hasta cerca de los 200° c según de los materiales de los que se trate.

Analicemos detalladamente la operación del dado y cómo es que va formando una película multicapa. Observemos la figura 5.8

Consideremos exagerando un poco que nuestra máquina cuenta con 5 extruder; por lo tanto el material llega al dado por medio de 5 gargantas, cada garganta se divide en dos como podemos ver en la figura 5.8 de tal modo que dentro del dado tenemos diez conductos que nos conducen a las resinas. Los conductos con las diferentes resinas van distribuidos de los extremos hacia el centro. Cada dos conductos de un mismo material llegan a un mandril. Un mandril es por donde se desplaza interiormente el material para formar la burbuja gracias a los distribuidores o dispersores(husillos pequeños) ubicados en la entrada del mandril.

Tenemos así 5 mandriles que conducen resinas diferentes y separadas; todos los conductos de los mandriles finalmente se juntan en una sola salida que reúne las 5 capas diferentes. La figura 5.8 nos muestra esta salida que termina en la parte superior del dado y se le conoce como "el labio del dado"; donde finalmente fluye el material hacia el exterior aún en forma de masa amorfa.

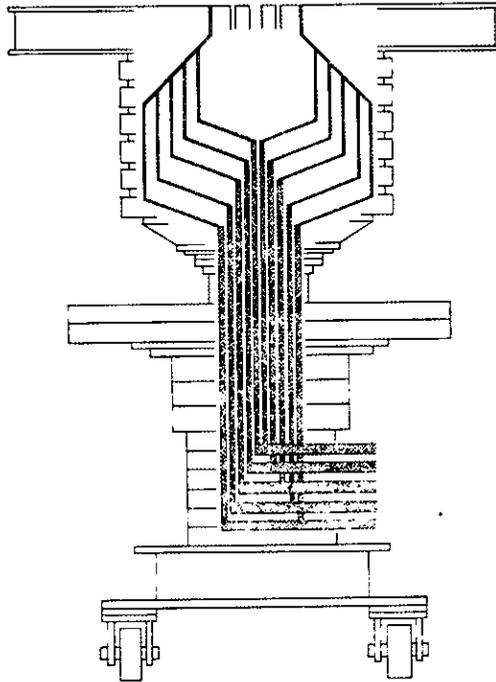


Figura 5.8

V.2.6 SISTEMA DE ENFRIADO DEL GLOBO.

La resina comienza a brotar del labio y empieza a ascender. La temperatura de la resina es muy alta a la salida del labio por esta razón estas máquinas se deben construir con alturas considerables es decir de la base del dado donde se forma o inicia el globo hasta donde se encuentran los primeros rodillos que presionan al globo debe haber suficiente altura a modo que la película pierda algo de temperatura, la suficiente para que al ser presionada por los rodillos la película no se bloquee. Las alturas que alcanzan estas máquinas pueden ser variables desde 10 hasta 15 metros o un poco más.

Como la temperatura de extrusión es muy alta se cuenta con tres sistemas de enfriamiento de la película. Uno por medio de aire interno, otro por aire externo y un tercero utilizando rodillos refrigerantes.

V.2.6.1 AIRE DE ENFRIAMIENTO INTERNO.

Este sistema como podemos apreciar en la figura 5.9 es un enfriamiento en el interior del globo

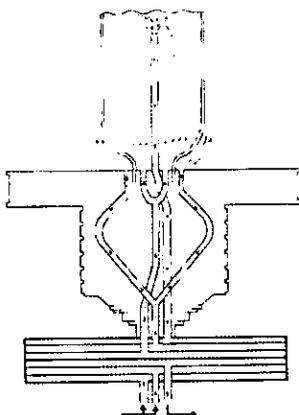


Figura 5.9

El aire es proporcionado por un sistema de enfriamiento e inyectado por ventiladores, viene frío a través de las tuberías entra por los conductos como se vé en la figura 5 9

En la base del globo en su parte interna sobre el dado se tienen las salidas de aire que inflan el globo y lo enfrían; dentro del globo, una vez que este aire ha sido calentado por la película, disminuyendo un tanto la temperatura de ésta, el aire es expulsado por el centro del dado y dirigido hacia un conducto de escape de aire caliente este sistema de enfriamiento tiene dos objetivos: a) por un lado el ya

mencionado de enfriar la película, b) por el otro lado ayuda a estabilizar el globo ya que con este aire en cantidad constante se mantiene el globo inflado hasta cierto tamaño (entre mas aire, mas grande es la burbuja y mayor el ancho de la película que puede obtener); como el papel del aire es de estabilizador entonces entendemos que la presión del aire en el interior del globo debe ser constante para que siempre nos proporcione una película uniforme y con el mismo ancho es decir la cantidad de aire en el interior del globo es constante y tanto el aire que entra como el que sale tiene que ser la misma cantidad.

Si por cualquier motivo el aire en el interior del globo está fallando es decir la presión esta variando, entonces nuestro globo va a cambiar de tamaño y con ello tendremos una película angosta de algunas partes y mas ancha de otras es decir muy irregular y por consiguiente inservible. Por la tanto siempre hay que cuidar la estabilidad del globo, para ello se cuenta con un sensor de presión que cuando la presión baja el sensor actúa e inyecta mas aire hasta lograr la presión adecuada de aire.

V.2.6.2. AIRE DE ENFRIAMIENTO EXTERNO.

Este sistema de enfriamiento es complementario del anterior ya que, se expulsa aire frío pero ahora por la parte externa del globo que sirve para enfriamiento aún mayor del globo. La figura 5.9 nos muestra también este sistema de enfriamiento complementario, que también ayuda a mantener la estabilidad del globo o burbuja de modo que no varíe su tamaño.

V.2.6.3 ENFRIAMIENTO POR RODILLOS REFRIGERANTES.

La película al salir del dado es enfriada por los dos sistemas ya descritos, además de que el diseño de la máquina considera una altura tal que permite que la película se enfríe lo suficiente para que al llegar a los rodillos primarios esta película tubular no se adhiera una cara con la otra al ser presionado el globo por dos rodillos llamados "rodillos primarios" y por el juego de "rodillos locos", figura 5.10

Los rodillos locos tienen la función de guiar el polietileno, son cilíndricos montados sobre baleros que son movidos por la fricción de la película sobre ellos.

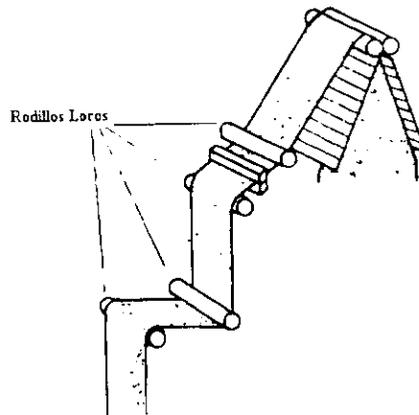


Figura 5.10

En los rodillos locos la película aún lleva una temperatura entre unos 30 y 40°C temperatura que nos puede ocasionar problemas si ésta se mantiene hasta los embobinadores es por eso que antes de llegar a los segundos rodillos que tensan el material figura 5 10 (rodillos secundarios), se cuenta con un sistema de rodillos que sirven como refrigerantes

Estos rodillos son cilindros de aproximadamente 30 cm de diámetro que sirven como refrigerantes, son enfriados por agua en su interior; por lo tanto al pasar la película por éstos, ésta pierde calor transmitiéndoselo a los rodillos siendo enfriados hasta aproximadamente 10 °C que es una buena temperatura para no tener problemas al ser la película enrollada en bobinas en los embobinadores.

V.2.7 PELICULA, GLOBO O BURBUJA.

La película de polietileno que se obtiene se encuentra en forma de globo al salir del cabezal del dado comienza a ascender hasta una altura aproximada de 12 metros o más. Esta película ya lleva la calidad seleccionada según su uso, es decir los diferentes tipos de materiales que forman la masa amorfa que conforman la película.

V.2.8 MARCO PLEGADOR.

Según la figura. 5.11 podemos darnos cuenta que para obtener la película en forma de una sola hoja hay que presionar el globo (o cerrar la burbuja), esto lo logramos en forma gradual antes de que la burbuja de polietileno llegue a los primeros rodillos (rodillos primarios), que jalan el material. Por lo tanto el aplastado de la película se logra por medio del marco plegador, figura 5.11.

La distancia que abarca el marco plegador puede ser aproximadamente de 2 y 3 metros según la altura de la máquina.

Este se constituye de una serie de rodillos generalmente de aluminio de un diámetro pequeño aproximadamente de 5 a 10 centímetros y montados sobre baleros movidos por la fricción con la película

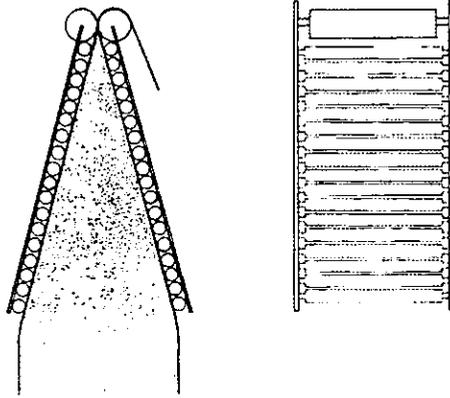


Figura 5.11

Los rodillos facilitan el desplazamiento de la película y la van plegando para que al llegar a los rodillos jaladores primarios se encuentre en forma de hoja y no de globo.

Una recomendación muy importante es que éste sistema "marco plegador" siempre debe de mantener sus rodillos bien limpios debido a su contacto que tienen con la película para que no la maltraten o dejen algún tipo de marca debida a alteraciones en los rodillos propios del marco plegador.

V.2.9 RODILLOS PRIMARIOS DE ARRASTRE.

Los rodillos primarios de arrastre también conocidos como "rodillos jaladores primarios" son como su nombre lo indica los primeros en jalar la película que se obtiene en el dado

La velocidad de los rodillos primarios es importantísima ya que con ella se controlan factores como el calibre de la película así como la producción de la máquina claro todo en conjunto con la velocidad de producción de los extruder y las

velocidades de los otros sistemas, jaladores secundarios y embobinadores que más adelante en este capítulo explicaremos más a detalle.

Como la velocidad de éste sistema es vital, ésta es controlada por un motor de c.c. el cual a su vez es controlado por un sistema electrónico a base de SCR's para lograr un alta precisión en la velocidad así como un control total de la misma, figura 5.11

V 2.10 MAQUINA DE TRATAMIENTO O TRATADORA.

Esta parte de la máquina tiene un especial interés.

Como ya sabemos, el objetivo final es el empaque de polietileno; por lo tanto, un producto aparte de ser empaquetado con polietileno, necesita de una presentación que nos informe acerca del producto empaquetado, así como algunas especificaciones sobre el mismo.

Una vez producidas las bobinas de polietileno necesitan ser estampadas en máquinas "rotativas", pero la experiencia ha demostrado, que muchos tipos de tintas al ser aplicados sobre el polietileno tienden a desprenderse entonces para evitar esto se ideó la máquina que da un tratamiento al polietileno para que éste pueda ser impreso y que la tinta no se desprenda.

Esta máquina de tratamiento consiste en un sistema electrónico que produce un alto voltaje y se le aplica al polietileno ocasionando en el ciertos cambios químicos (cuya explicación está fuera del alcance de este trabajo), que permiten una mayor adherencia de la tinta.

La máquina se puede calibrar a diferentes rangos de corrientes de tratamiento esto dependiendo de muchos factores como calibre, tipo de tintas a usar, producto a empaquetar, tipo de material etc.

La máquina de tratamiento la describiremos a continuación según la figura 5.12.

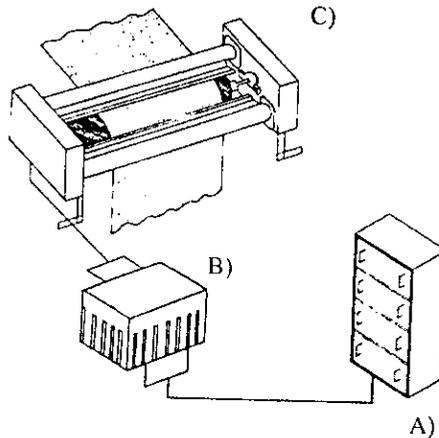


Figura 5.12

A) GENERADOR.- Es el aparato que genera la tensión a un voltaje aproximado de 380.V

B) TRANSFORMADOR.- Del generador pasa al transformador la tensión y ésta se encarga de elevar la tensión que se utilizará para el tratamiento del polietileno

C) ESTACION DE DESCARGA.- Es un juego de rodillos y electrodos para provocar una descarga de alta tensión. La película pasa entre el rodillo de tratamiento y los electrodos de descarga (como se vé en la figura 5 12). entre los cuales se genera un arco de voltaje logrando con esto un tratado de polietileno

D) VENTILADOR EXPULSOR.- Es un sistema de tuberías conectadas a la máquina de tratamiento y diseñadas de tal forma que expulsan al medio ambiente parte de las sustancias tóxicas que se producen en el proceso del tratado del polietileno.

V.2.11. RODILLOS LOCOS.

Anteriormente mencionamos que este tipo de máquinas debe ser de una altura considerable, el principal objetivo de la altura es que la película esté suficientemente fría como ya se dijo en secciones anteriores, en el momento que es plegada por los rodillos primarios.

Como su altura es de varios metros para llevar el polietileno a los embobinadores una vez que esté en la parte mas alta de la máquina hay que volver a bajar el polietileno ya plegado para esto se cuenta con un sistema de "rodillos locos" de aluminio; los cuales tienen dos objetivos, el primero bajar la película y el segundo lugar conservar la tensión.

Se puede decir que únicamente son rodillos de paso para que la película no se cuelgue al bajar y no provoque problemas como bobinas sueltas o quizá arrugas en las bobinas al embobinar el polietileno. figura 5.10

V.2.12 CORTE DE BORDES.

El polietileno en los rodillos locos, se encuentra aún en forma de bolsa, por lo tanto se cuenta con un sistema de navajas para cortar las orillas o bordes para separar la película en dos bobinas de una sola hoja de polietileno sencillo

También por medio del sistema de navajas se le dá la medida del ancho de la bobina que se requiera, estas navajas son movibles para aumentar o disminuir la medida o sea para hacer el ajuste de medidas del polietileno. Figura 5.13

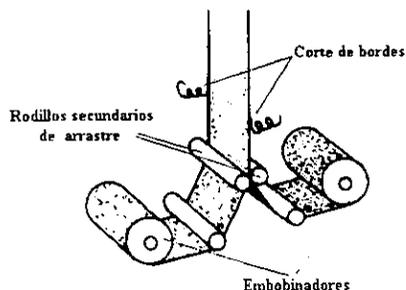


Figura 5.13

V.2.13 RODILLOS SECUNDARIOS DE ARRASTRE.

Para que el polietileno pueda deslizarse a través de los rodillos locos deben existir otros rodillos que se llaman "rodillos jaladores secundarios" en la parte baja de la máquina que deben jalar el material para que éste pueda ser bobinado posteriormente.

El grupo de rodillos jaladores primarios y secundarios son muy importantes, ya que de el "control" que se tenga de la velocidad de ellos depende en un 90% calidad de el material obtenido. Es decir el movimiento de los rodillos primarios debe ir en sincronía con el movimiento de los rodillos secundarios; (debe existir una diferencia de 2 metros por minuto más en los rodillos secundarios, con respecto a los primarios) Esto para conservar la tensión de la película y que ésta no se cuelgue en el paso por los rodillos locos. Figura 5 11

V.2.14 EMOBOINADORES.

Esta es la parte final de la máquina de extrusión productora de película de polietileno. Al igual que los rodillos primarios y secundarios; su control de velocidad es muy estricto ya que los embobinadores son los que nos dan la calidad final (tensión) al rollo o bobina de polietileno para su posterior utilización en máquinas de impresión o directamente en empaques.

Una vez que la película se le han cortado los bordes obtenemos dos hojas de polietileno tal como se ve en la figura 5.13

Los embobinadores son dos y deben estar en completa sincronía entre ellos y con respecto a los rodillos jaladores primarios y secundarios.

Su velocidad debe ser 2m/min. mas arriba que la velocidad de los jaladores secundarios o sea 4 m./min. Mas arriba que los jaladores primarios; con el objeto de que la película no se cuelgue entre los rodillos primarios y secundarios en primer lugar y segundo lugar tampoco se cuelgue entre los rodillos secundarios y embobinadores según sea el caso y por consiguiente si ésta llegase a colgar se obtendría una película de mala calidad que no serviría, porque estaría rota y con calibres muy alterados.

V.2.15 APLICACIÓN DE LOS MOTORES DE C.C EN LA MAQUINA DE EXTRUSION.

A lo largo del desarrollo del presente capítulo apreciamos detalladamente el proceso que se sigue para la fabricación del polietileno a partir de la materia prima o resinas varias.

Este proceso es bastante complicado aunque en la realidad parezca sencillo. La aplicación de los motores de c.c. en este tipo de máquinas tiene un especial interés ya que ésta máquina requiere de la utilización de este tipo de motores en gran escala, en todo el proceso. He seleccionado este moto, por sus características especiales en su control de velocidad que puede ser mucho mas preciso esto gracias a la aparición de los sistemas de velocidad por medio de dispositivos de estado sólido (SCR).

Introduciéndonos un poco, una vez que conocemos el proceso comenzaremos a explicar la aplicación del motor de c.c. a lo largo de éste y el porque de su uso.

El motor de c.c. se utiliza en general por su facilidad para controlar amplios rangos de velocidad.

La introducción del material se lleva a cabo por medio de un motor de c.c. de aproximadamente 60 u 80 HP se utiliza este motor porque la dosis de este material que introduce el rotor (por medio de una caja de transmisión) tiene que ser exacta (cierta cantidad por unidad de tiempo), por lo tanto el control de velocidad del motor tiene que ser total. Siguiendo el proceso llegamos ahora a los rodillos jaladores primarios que también operan con un motor de c.c. pero de menor potencia 10 o 12 HP. la cantidad de película que estos jalan debe de ser constante por que con ello se consigue un calibre uniforme en la película. El control de velocidad es total varía desde 0 al iniciar el proceso hasta 40. 60 o más metros/min. al estabilizarse la producción y calibre deseados.

Posteriormente tenemos otro motor de c c de la misma potencia que el de los jaladores primarios pero ahora para los rodillos jaladores secundarios, su papel es similar que el de los primarios y se requiere del completo dominio de la velocidad del motor para igualar la velocidad a la de los primarios (un poco arriba) y con ello evitar variación de la tensión y así lograr que no se cuelgue la película.

Finalmente encontramos otros dos motores de c.c. en el último paso del proceso.

Los embobinadores trabajan a base de motores de c.c. que deben operar también en conjunto y sincronía con los demás motores es por eso que todos son de c.c.

Como podemos ver la aplicación del motor de c.c. es elemental en toda máquina y a lo largo de todo el proceso; es por eso que se muestra especial interés por este tipo de motores.

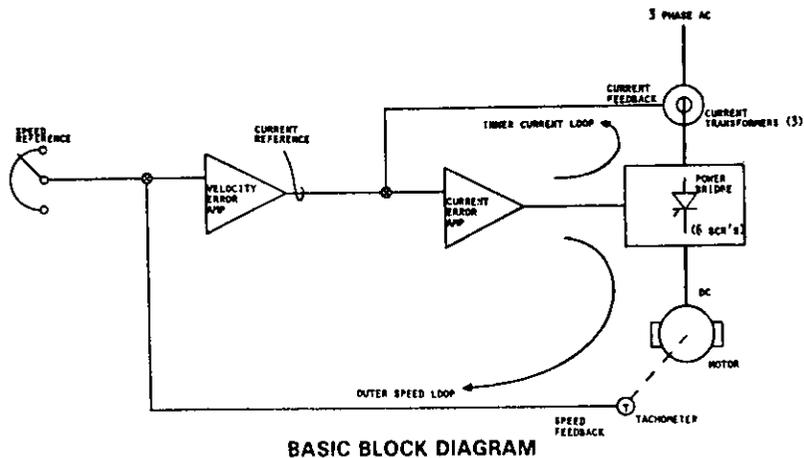
CAPITULO VI

EL REGULADOR DE VOLTAJE DE ESTADO SOLIDO

VI. 1 DESCRIPCION FUNCIONAL BÁSICA

La unidad de tiristores para el control de velocidad de motores de c.c. es un control de lazo cerrado de corriente interna con una alta ganancia y un lazo cerrado de velocidad. Una ventaja del sistema es que; una vez estabilizada la corriente del lazo, éste limitará la corriente al motor. Este también protegerá al motor, al puente rectificador de tiristores de potencia y a sus fusibles en una condición transitoria de sobrecarga (cambios repentinos de carga).

El rango de corriente permisible es de 100 a 125% de la carga nominal del motor para garantizar el par suficiente que el motor puede proporcionar de acuerdo a los requerimientos



VI. 2. LAZO DE CORRIENTE INTERNA.

La corriente interna del lazo emplea la retroalimentación de corriente de armadura,; La corriente de armadura es detectada por tres transformadores de corriente (TC) uno para cada una de las tres fases de acoplamiento inductivo a la línea de entrada.

La referencia para la corriente de lazo enviada por la retroalimentación es la salida del amplificador de error de velocidad, esta señal enviada consigue una corriente de armadura resultante en el motor que es proporcional a la ordenada por la retroalimentación.

VI. 3. LAZO DE VELOCIDAD EXTERNA.

El lazo de velocidad externa emplea un voltaje proporcional a la velocidad de retroalimentación suministrado por un tacómetro o por un muestreo del mismo voltaje de armadura. El mencionado lazo de corriente está contenido dentro del lazo de velocidad y es un servidor de este.

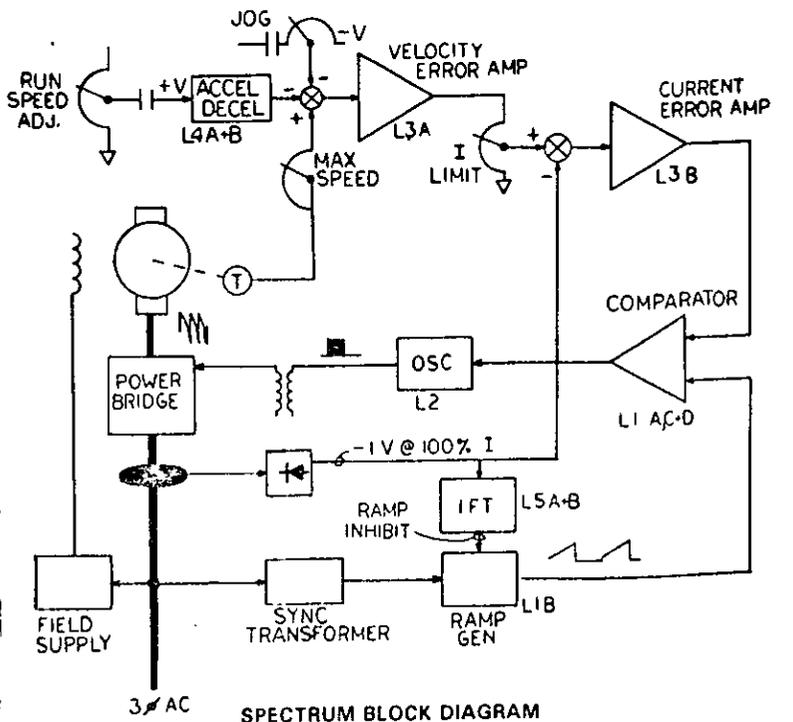
VI. 4 CONVERTIDOR DE POTENCIA.

La conversión de la línea de voltaje de c.a. a c.d. es realizada con 6 SCR (rectificadores controlados de silicio) elementos rectificadores de la línea trifásica, también conocido como puente rectificador de potencia.

El SCR es un switch electrónico (tiristor). El cual es encendido por medio de su terminal de control en un ángulo de fase específico de la línea de entrada de c.a., de ese modo se controla el voltaje de salida medio de c.d. para la armadura del motor. El lazo de corriente interno es un control total del puente de SCR.

VI. 5 DIAGRAMA A BLOQUES.

Un diagrama a bloques detallado del control de el motor de c.d. se muestra a continuación.



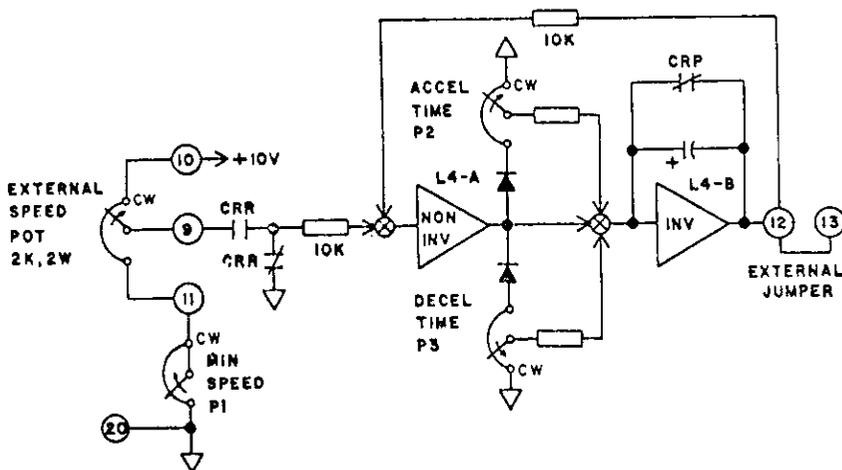
El flujo general es explicado en la descripción de los diferentes circuitos que componen todo el sistema

VI. 6. ANALISIS DE LOS CIRCUITOS BASICOS.

VI. 6.1 ACELERACION/DESACELERACION.

Cuando se inicia el control de arranque es aplicado un voltaje de referencia ajustable de 0 a 10 volts positivos para la entrada al circuito accel/desaccel. (L4A y L4B) provenientes del potenciómetro de velocidad externa, éste potenciómetro va aumentando linealmente la amplitud de la entrada (terminal 9). La razón de cambio de la salida esta determinada por la fijación del ajuste de aceleración cuando la entrada se balancea más positiva y del ajuste de desaceleración cuando la entrada se balancea menos positiva.

La salida de este circuito la tenemos en la terminal 12 y es el voltaje de referencia de la velocidad. Como L4B es un inversor, la polaridad ahora se invirtió (negativa). Al girar cualquiera de los potenciómetros aceleración o desaceleración en el sentido de las manecillas del reloj incrementamos la aceleración o el tiempo dedesaceleración.



ACCEL/DECEL CIRCUIT

VI. 6.2 AMPLIFICADOR DE ERROR DE VELOCIDAD

La referencia de voltaje negativo proveniente de la salida del circuito de acel/desacel, es aplicada al amplificador de error de velocidad de alta ganancia L3A (entrada del amplificador de error de velocidad terminal 13). La señal de retroalimentación ya sea la muestra de voltaje tomada de la armadura o la proporcionada por el tacómetro es sumada algebraicamente a la referencia de voltaje produciendo una señal de velocidad de error a la salida del amplificador de error de velocidad terminal 18. Como L3A es un inversor ahora obtenemos una señal de error de velocidad positiva. El potenciómetro P6 es el ajuste de estabilización de velocidad, este es usado de manera similar al lazo de salida de velocidad para que el motor pueda ser controlado una vez que el motor rompa la inercia que opone la carga

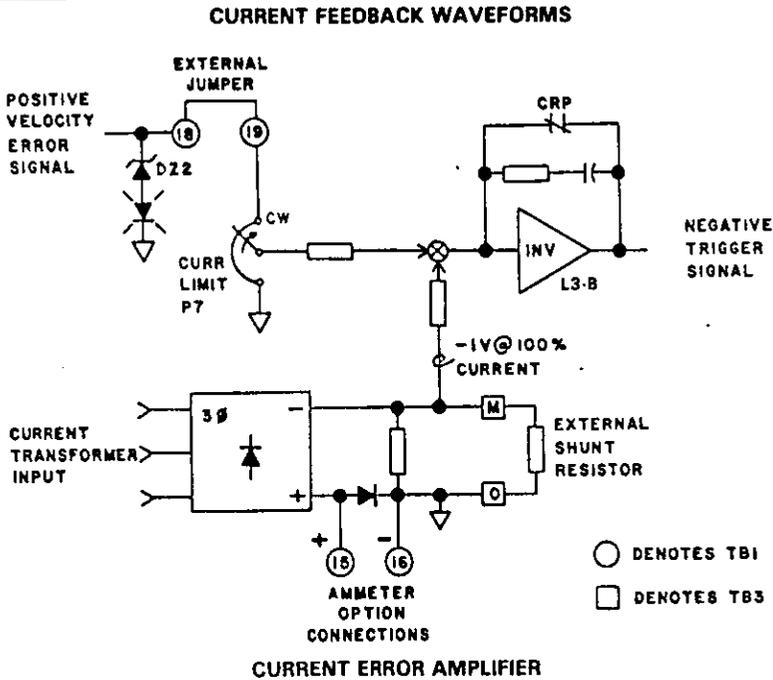
El potenciómetro P4 es el ajuste de la velocidad de Jog (observe que la entrada del jog es la del amplificador de error de velocidad que es "by-pasada" A través de CRJ con el circuito de acel/desacel; es decir es una entrada de paso.

El potenciómetro P8 es el potenciómetro de compensación IR (que compensa pérdidas de resistencia de armadura) y a medida que tal señal de retroalimentación es positiva es sobre compensada, y puede ocasionar operación inestable este ajuste viene normalmente fijado de fábrica y podría ser antihorario para retroalimentación por tacometro, la salida del amplificador de velocidad es un voltaje positivo.

La retroalimentación de voltaje por tacómetro es captada y amplificada por L7B y el potenciómetro de máxima velocidad. L7A es un amplificador diferencial provisto de una resistencia de aislamiento entre el circuito de control y la armadura.

El puente JP2 y X2 son el corte para aislamiento máximo en el cave de retroalimentación por armadura.

Una condición del limite de corriente es señalada por el diodo led emisor amarillo. Cuando la salida del amplificador de error de velocidad alcanza aproximadamente 12 volts, DZ2 a 10 volts diodo zener empieza a conducir iluminando al led.

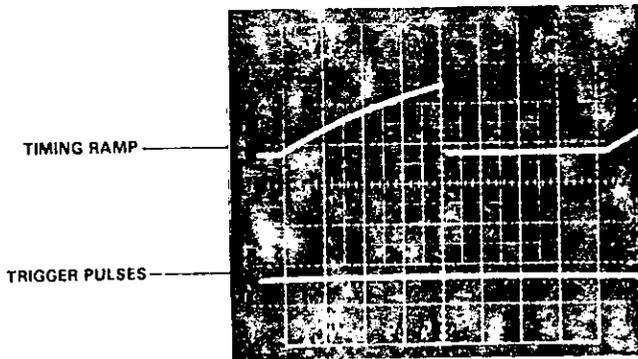
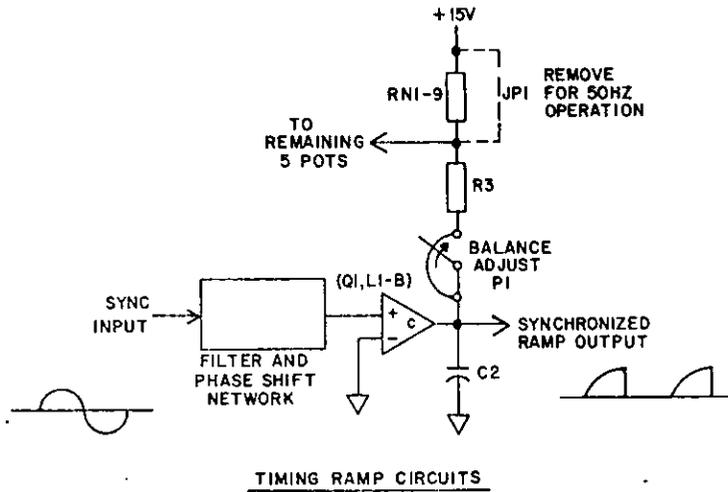


VI. 6.4 CIRCUITO GENERADOR DE RAMPA.

Es aplicada una señal de sincronía en Q1, L1B. arreglo del amplificador de switcheo tomada de la línea de c.a.

La señal de sincronía de la línea de c.a. hacia Q1.L1B es un voltaje positivo. Este arreglo produce una rampa de 60 Hz. La pendiente de esta rampa está determinada por P1, R3, y RN1-9.

Existen entonces 6 circuitos generadores de rampa seguidos por 6 circuitos osciladores comparadores. (Uno para cada SCR)



TYPICAL TIMING CIRCUIT WAVEFORMS

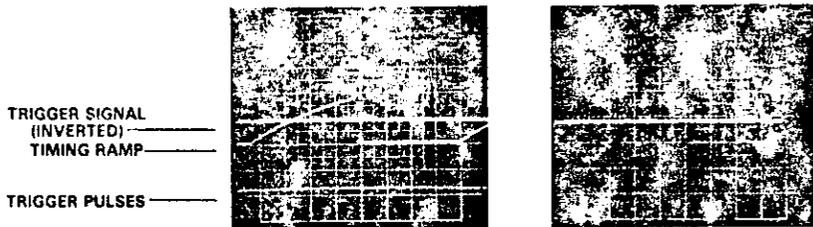
VI. 6.5 CIRCUITOS COMPARADOR Y OSCILADOR DE GATE.

L1C es un comparador de voltaje, internamente controla el nivel de voltaje de umbral por medio "la señal negativa de control de disparo proveniente del amplificador de error de corriente; cuando exista una condición tal que el nivel de

voltaje del generador de rampa exceda el nivel de voltaje de umbral de la compuerta (gate) de este comparador la salida L1C será de 0 volts. Conforme al nivel de voltaje sea más negativo la salida de L1A será más positiva dependiendo del valor de entrada del generador de rampa.

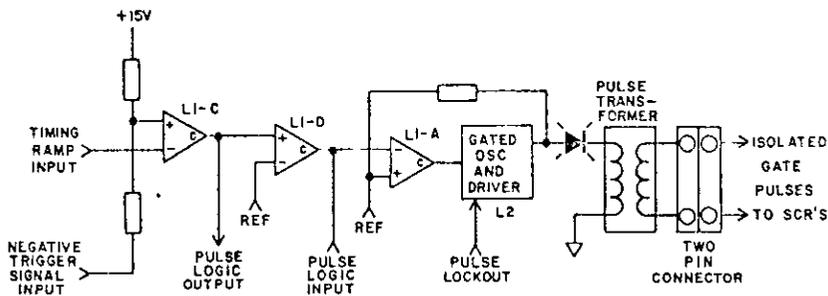
Esta señal habilita la compuerta del oscilador L2. La salida del tren de pulsos para la compuerta de los SCR es dirigida a estos por medio del (transformador de aislamiento T6. Cada uno de los 6 circuitos de control de disparo reciben 60° de desplazamiento de la señal de sincronía.

Esto resulta en 6 pulsos de corriente por ciclo de línea para controlar el motor.



COMPARATOR TIMING WAVEFORMS

EXPANDED VIEW OF THE TRIGGER PULSES



COMPARATOR AND GATED OSCILLATOR CIRCUITS

VI. 6.6. CIRCUITO DETECTOR DE FALLAS.

El circuito detector de fallas está diseñado para proteger al equipo en eventos de:

1. Pérdida de campo.
2. Calentamiento excesivo, sobretemperatura.
3. Sobrecorriente instantánea (rango 300%)
4. Tiempo inverso de sobrecarga de c.d.
5. Pérdida de fase o desequilibrio de corriente.

En el caso en que algunas de estas condiciones ocurran, Q2 es apagado (off) desenergizando el relay de control CRFT. Esta secuencia apaga el control; en esta condición las entradas a los circuitos de gate son puestas en bajo, previniendo los disparos de los SCR.

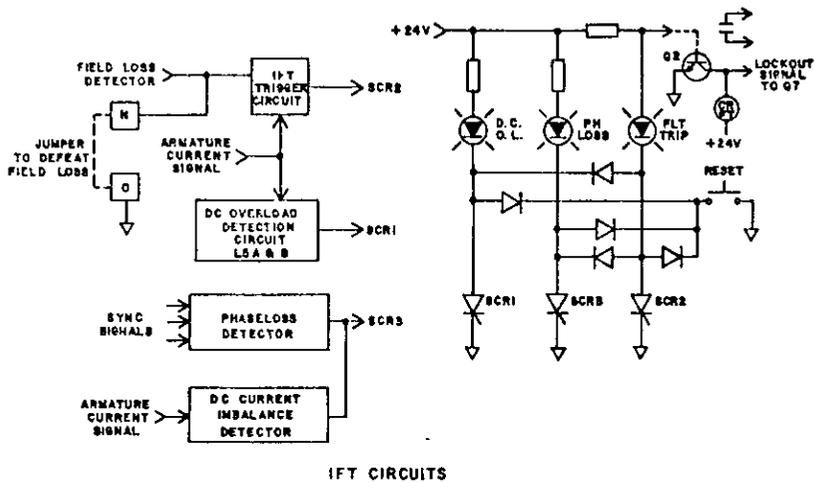
La protección contra pérdida de campo, sobretemperatura por calentamiento excesivo y sobrecorriente instantánea son detectados por Q8 (en el puente de triodos), que es apagado. El cual normalmente es encendido para el control de disparo del SCR.

El circuito de sobrecarga de c. d. consiste de dos amplificadores operacionales, uno es un integrador (LSA) y el otro es un comparador (LSB) Cuando la corriente de armadura excede el rango de corriente (o se tiene un voltaje grande de retroalimentación de corriente más de 1 volt), el integrador tendrá una rampa positiva. (La razón de la altura deberá ser proporcional a la cantidad de sobrecorriente)

Cuando la rampa del integrador sea de aproximadamente 10 volts, el comparador balancea positivamente y controla el disparo del SCR. Este circuito

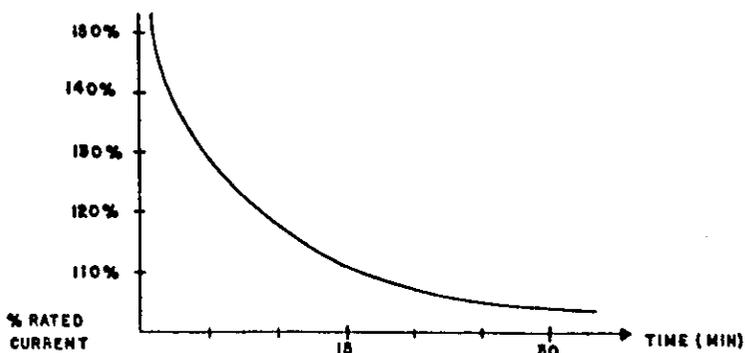
permite que el control sea 150% del limite de corriente por aproximadamente 1 minuto, en las secuencias de control de apagado.

El reset deberá ser deshabilitado por aproximadamente un minuto. Una representación gráfica de la corriente de sobrecarga será mostrada en la gráfica de características de sobrecarga.



VI. 6.7 CARACTERÍSTICAS DE SOBRECARGA

Nota La protección de pérdida de campo podrá ser deshabilitada por el puente en las terminales ON. La pérdida de fase es detectada por Q5 y L6 que es también un monitoreo del balance de corriente



**INVERSE TIME TRIP
OVERLOAD CHARACTERISTICS**

VI. 6.8 CONTROL DE RELES DE ENCENDIDO, ARRANQUE, PARO Y JOG.

El control de c.d. unidad de tiristores, consta de la etapa de potencia o alimentación principal que incluye al tuptorusibles de protección, con su derivación respectiva de corriente alterna rectificada (c.c) para la alimentación del campo del motor de c.d.; así como también sus derivaciones para el transformador de control y el transformador de voltajes de referencia, la etapa de potencia de c.a finaliza con la entrada de c.a al puente rectificador de potencia de SCR's y con la retroalimentación de corriente por medio de los TC que toman la referencia de las líneas principales de c a para llevarla al amplificador de corriente.

La secuencia de apagado y encendido del sistema es por medio de un switch push-button una vez accionado los 115 volts de control son convertidos a 48 o 24 volts de c d para operar los relay de control. Se puede decir que entonces el sistema está en standby, simultáneamente con la secuencia de relés se enclava el contactor principal del motor de c.d y a través de contactos auxiliares de los mismos relevadores se habilitan los diferentes módulos que conforman el sistema

Una secuencia típica de encendido es la siguiente:

Se arranca cuando el pushbutton es apretado haciendo el cierre momentáneo entre las terminales 5 y 6, este energiza CRR y se mantiene encendido por el interlock por medio del contacto normalmente abierto. Al mismo tiempo otro contacto normalmente abierto de CRR es cerrado y suministra 115 volts a la bobina de control del relay MC del contactor de armadura. Este ocasiona que el contacto normalmente abierto de MC cierre y este podrá ser usado para energizar lo que se requiera y el contactor del lazo de c.d. externo.

Un contacto normalmente abierto de este contactor es retornado a las terminales 2 y 3 que cuando cierra (el contactor del lazo de c.d.) energiza el relay de control CRP. Entonces CRP libera el enlace de encendido de los amplificadores de error de velocidad y de corriente.

CRP también habilita el circuito detector de pérdida de campo

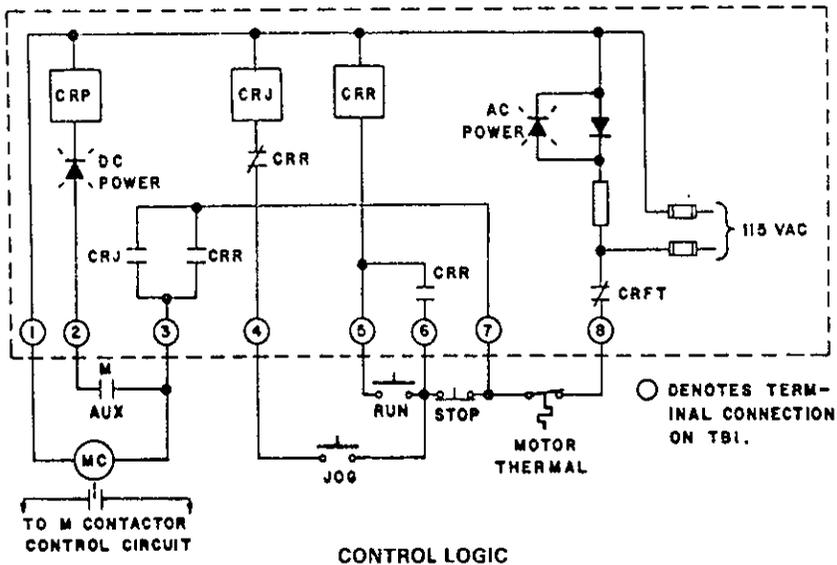
Una secuencia típica del circuito de "Jog" podría ser la misma que la secuencia de arranque excepto que en ese momento el cierre es hecho entre las terminales 4 y 6 y entonces CRJ no es encendido con interlock

Esto también podrá ser mostrado en el modo de arranque no podrá ser energizado "Jog" (Si bien el proceso de arranque no hace caso de la condición del Jog)

Una vez que la máquina inicia su movimiento es tomada una muestra de voltaje a través del tacogenerador o en su defecto de la armadura por medio de un divisor de tensión con sus respectivos diodos de aislamiento, para compararlo en la unidad de regulación de voltaje y velocidad o sea es un sistema de lazo cerrado para supervisar que el motor siempre trabaje a una velocidad constante.

Tomando la muestra del voltaje de referencia del power supply se polariza el potenciómetro de control de velocidad entre positivo y negativo y el centro del cursor del potenciómetro se manda a la entrada del modulo de acel/desacel, para obtener una regulación de velocidad del 100% por medio de nuestro voltaje de referencia.

Finalmente la señal se va procesando por todo el sistema de lazo de corriente y de voltaje como se estudio en el presente capitulo.



VI. 7 ANALISIS DE TENSION DE SALIDA DEL REGULADOR DE VELOCIDAD DE ESTADO SOLIDO

VI. 7.1 POTENCIA PARA EL MOTOR DE C.C.

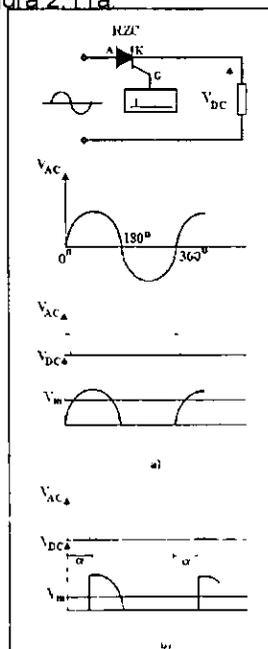
La transformación de la tensión trifásica de la red " R.S.T" (tensión alterna) se transforma en una tensión continua V_{dc} que va alimentar la armadura del motor, en función del ángulo de activación de los SCR

El SCR es un transformador de silicio, modificado para bloquear el paso de corriente en sentido normal de conducción, hasta que una pequeña señal aplicada al electrodo de control (gate) permita el comienzo para la conducción directa (del ánodo al cátodo) similar a la de un transformador normal.

Después del comienzo de la conducción, el electrodo de control ya no tiene ninguna influencia y la corriente puede ser interrumpida solamente aplicando una tensión en sentido contrario (interdicción automática) o abriendo el circuito anódico.

Se obtiene la máxima conducción cuando el ángulo α de activación es igual a cero y entonces el máximo valor medio de la tensión transformada.

Si se aplica a un SCR una tensión alternada y si los pulsos aplicados al gate están sincronizados con el pasaje a través de cero de dicha tensión. El sobredicho valor, en un periodo es igual al área equivalente a la semionda transformada. Esta situación se representa en la figura 2.11a



Circuito a SCR
Figura 2.11

Si los pulsos para el gate están retrasados respecto al paso a través de cero de la red, el valor medio de la tensión transformada disminuye proporcionalmente ver figura 2.11 b.

Si α máximo = 180 grados, la tensión de salida será nula.

Alimentando la armadura de un motor de c.c. por medio de un puente SCR se puede comprender como es posible controlar su velocidad.

En efecto para la máquina de c.c. hay una proporcionalidad directa entre la tensión de armadura y el número de vueltas.

$$I' = \frac{I' - Rla}{K1}$$

I' = Tensión de armadura.

Rla = Reacción de armadura.

$K1$ = Constante que depende del flujo y las características del bobinado del motor.

El grupo de transformación que alimenta al motor de c.c. es constituido por un puente transformador trifásico enteramente controlado figura 2.12 a

Los SCR, conectados al cátodo en común, transforman las semiondas positivas de la tensión de alimentación; los SCR, conectados al ánodo en común transforman las semiondas negativas.

Los pulsos para la activación tienen que ser aplicados a los gates de los SCR RZC1 y RZC5 si en el instante cero la tensión positiva más alta se obtiene por

medio de la línea de alimentación R y la más negativa por medio de la línea de alimentación S.

En el intervalo entre cero y uno la semionda negativa de la línea S crece hasta que sea, en el instante 1, más negativa la semionda de la línea T y por eso tendrá que ser conectado el diodo RZC6 quedando en conducción el diodo RZC4 también.

En el intervalo 1-2 decrece la semionda positiva de la línea R y en el instante dos prevalece la línea S tendrá que ser conectado el diodo RZC2 quedando en conducción el diodo RZC6.

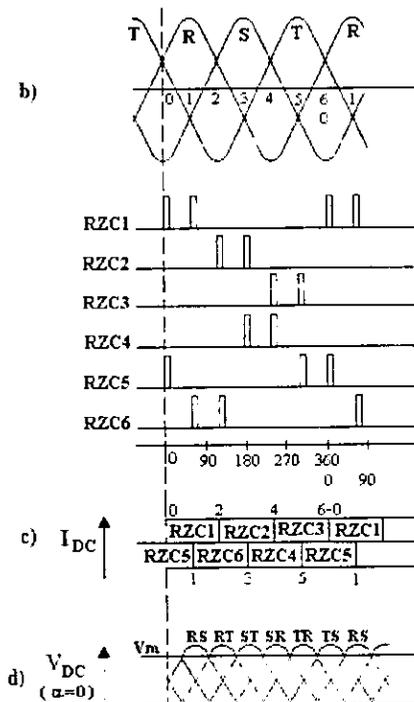
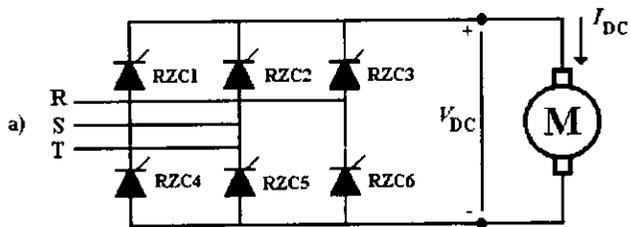
La tensión continua V_{DC} en los bornes del motor lo pondrá en marcha con una tensión como la muestra la figura 2.12 d que refleja las variaciones de tensión de las líneas de alimentación (RS-RT-SR-TR-TS-RS).

En la figura 2.12 c es representada la corriente que hay en la armadura cada instante, por medio de la conducción de cada SCR.

Comparando las figuras 2.11 a y 2.12 d se comprende la razón por la cual el motor es alimentado por medio de un puente trifásico.

Así retrasando el instante de aplicación de los pulsos $\alpha = 0$, se reduce el ángulo de conducción de los SCR con consiguiente disminución de la tensión V_{DC} en los lados de la armadura y por ende disminuye la velocidad del motor

El valor máximo que el ángulo puede tener es de 90 grados eléctricos es decir cuando la tensión V_{DC} es cero.



Transformador de potencia

Figura 2.12

C O N C L U S I O N E S.

Espero que la presente investigación sirva como un estímulo a Ingenieros estudiantes y Profesores, para el desarrollo de proyectos de tecnología nacional. Llevar a cabo una investigación de este tipo para mi es algo muy satisfactorio puesto que reúne la experiencia de varios ingenieros mexicanos comprometidos con la industria del polietileno.

Este tipo de experiencias prácticas la gente que trabaja con este tipo de maquinaria para mi son muy valiosas por que nos define de fondo y de una manera muy práctica como funciona ésta máquina y aplicando, tanto la ingeniería mecánica como la eléctrica y la electrónica, tal vez, podríamos nosotros diseñar un prototipo real de una máquina de este tipo.

Sería interesante la realización de un prototipo real con partes mecánicas eléctricas y electrónicas y por que no también un control electrónico por medio del PLC (Controlador Lógico Programable). Efectivamente yo concluyo que si se puede generar tecnología nacional; introduciéndonos al mundo de las máquinas, descubrimos sin número de secretos y claves para el diseño de maquinaria de éste o cualquier otro tipo.

Esta investigación fué fruto de varios años para descubrir los funcionamientos de las máquinas de extrusión con el apoyo de personas (supervisores y obreros) que a diario viven en el mundo de las máquinas.

Es algo que parece muy simple que es muy significativo y con un gran mensaje Sabemos su funcionamiento; la aplicación de las máquinas de c c en las máquinas de extusión. Contamos también con un esbozo en un plano, y así como un prototipo de la máquina de una maqueta, que si fuere real en tamaño esta tendría aplicaciones en empaques diversos por citar un ejemplo en gelatinas, aguas, etc.

B I B L I O G R A F I A

I. MANUAL DE OPERACIONES DE RESINAS

CAPRON

RESINAS DE NYLON PARA PELICULAS

ENGINEERING PLASTICS

ALLIED SIGNAN (1991)

II.A FONDO: ROBOTICA Y SISTEMAS AUTOMATICOS

NEIL M. SCHMITT, ROBERT F FARWELL

EDICIONES ANAYA MULTIMEDIA 1988

III. ELECTRÓNICA: TEORÍA DE CIRCUITOS

ROBERT BOYLESTAD

LOUIS NASHESKY

4ª EDICIÓN EDITORIAL PRETICE HALL HISPANOAMERICANA

IV MAQUINAS ELECTRICAS 1ª Y 2ª EDICIÓN

STEPHEN J. CHAPMAN

EDITORIAL MC. GRAW HILL

MEXICO 1992

V. KAMPF (OPERATING AND MAINTENENCE INSTRUCTION)

ERWIN KAMPF GmbH & Co. MASCHINERIFABRIK

POSTFACH 1240, D5276 WIEHL (MÜHLEN)

TELEFON. (02262) 81-1 TELEX 884213 KMPF

WEST GERMANY.

VI. LEMO. DIERKING

M. LEHMACHER & SOHN GmbH

N. MASCHINENFABRIK. RHEIDTER STRATE D-5216
NIEDER KASSEL-MANDORF
TELFON 02 28 / 4 59 10
TELEX 886513 LEMOND

VII. MANUALES DE MAQUINARIA DE ESTRUSION
REIFENHÄUSER
REIFENHÄUSER GmbH Co. MASCHINEN FABRIK
POSTFACH 1345 D 510
TRORS DORF SIEGLAR GERMANY

VIII EMERSON (INDUSTRIAL CONTROLS)
SPECTRUM
ADJUSTABLE VOLTAJE DC DRIVE
INSTALLATION, OPERATION, MANTENENCE.

IX. EXPERIENCIAS PERSONALES DE PERSONAL
DE ING., TECNICOS Y OBREROS DE LAS COMPAÑIAS DE
P.E.M.S.A. (POLIENVASES DE MEXICO)
PROPIFLEX.
POLILAM.
Y OTRAS MENORES.