

112



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**SERVOMOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE DIRECTA,
SUSTITUTOS DE MÁQUINAS DE COMBUSTIÓN INTERNA**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A:

ALBERTO VÁZQUEZ RECILLAS

ASESOR: ING. ESTEBAN CORONA ESCAMILLA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Servomotores Eléctricos de Corriente Directa,
Sustitutos de Máquinas de Combustión Interna.

que presenta El pasante: Alberto Vázquez Recillas
con número de cuenta: 08909981-4 para obtener el título de :
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 7 de Enero de 2002

PRESIDENTE

Ing. Carlos Orozco Ferreira

[Firma] 12/15/02

VOCAL

Ing. Aquiles Reyes Flores

[Firma] 07-01-02

SECRETARIO

Ing. Esteban Corona Escamilla

[Firma] 07-01-02

PRIMER SUPLENTE

Ing. José Luis Rivera Lopez

[Firma] 22-01-02

SEGUNDO SUPLENTE

Ing. Alfredo Monroy León

[Firma] 07-02-02

DEDICATORIAS

A mis padres:

Que les prometí seguir siempre adelante, por su apoyo, por su paciencia, y la oportunidad de realizar libremente una profesión, les dedico este trabajo.

A mis hermanos:

Que me han ayudado y aconsejado para bien, en lo personal y en lo profesional, en diversas maneras.

RECONOCIMIENTOS.

A mis cuñados:

Por el apoyo y amistad que me han brindado, les hago un reconocimiento.

A mis profesores:

Que me enseñaron y dedicaron tanto tiempo a mi formación académica, y a la calma con que tomaron mis dudas.

A mi asesor:

Ing. Esteban Corona Escamilla, por su orientación y condescendencia en la realización de mi tesis.

A mi coasesor:

Ing. Juan González Vega, reconozco que sin su asesoría no hubiera podido terminar mi trabajo de tesis.

A mi amigo:

Lic. José Luis Estrada Salinas, por su amistad sincera para conmigo y mi familia, así como por su respaldo.

A mis compañeros:

Me enl. Víctor Hugo Hernández Gómez, e Ing. Carlos Ernesto Pineda García, por su incondicional amistad y soporte para con mi trabajo de tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México:

Por brindarme conocimientos amplios y concisos.

INTRODUCCIÓN.

Para sustituir una maquina de combustión interna, es necesario encontrar una máquina que nos proporcione potencia mecánica primordialmente, pero además es indispensable que no contamine para considerarle como sustituto, ya que esa es una de las principales razones adversas para pretender sustituirlo, así que se puede pensar en obtener algunas otras ventajas que la hagan mas atractiva en varios aspectos, como economía, rentabilidad, mas eficiente, entre algunos otros.

Los conocimientos en máquinas eléctricas nos entregan como la mejor posibilidad, un sistema donde el actuador es un servomotor, que se les encuentra en aplicaciones de potencia desde fraccionarios y hasta enteros de 1000 Hp, su precisión de velocidad y variación de la misma del régimen cero hasta la máxima, así como la diferencia con relación al peso, dimensión por unidad de potencia, resulta ventajoso con respecto a los motores de CD convencionales, es decir, sin servo control. Es sabido que generalmente la mejor opción en cuanto a motores eléctricos, para la aplicación de potencia, son los motores CD, razón por la cual, se utilizará como única aplicación teórica para el sistema compuesto. El costo puede ser mayor en su manufactura, acondicionamiento o construcción en un inicio, pero a futuro parece ser práctico y rentable (aunque no necesariamente se mencione o estudie a fondo los costos del proyecto).

Lo segundo mas importante es considerar la energía de alimentación o suministro para el actuador, y haciendo investigación bibliográfica nos encontramos en un principio, como una opción, un doble banco de baterías, pero esto significaría un sistema auto sustentable. Por otra parte al indagar mas en la bibliografía disponible se encontró con mayores ventajas en todos sentidos, a las pilas de combustible que aunque también son mas caras en la primera inversión, a largo o mediano plazo resulta favorable el empleo de estas (se considera también los costos relativamente, pero no son la base para el diseño o acoplamiento del sistema sustituto).

El resto del equipo es tal vez necesario incluirlo en el equipo completo, de tal forma que constituya al equipo sustituto, es por esta razón que se justifica el orden de los capítulos así como su contenido, pues son importantes para considerar el equipo integrado, pero a la vez, se trata de hacerlo sencillo, no muy complicado.

Es necesario recalcar que esta tesis no se considera como un proyecto fisico o real para pruebas por el momento, ya que es posible que se realice en un futuro.

La información bibliográfica puede parecer vana o no necesaria, pero solo con un conocimiento general de lo aplicable, podemos sustraer lo necesario para armar el sistema con algo de cada capítulo.

Una vez justificado como surgió la idea, y como se seleccionaron dichas máquinas y elementos, lo siguiente es establecer que es y como se desempeña un servomotor con toda la teoría necesaria.

En este campo de ingeniería tan vasto, hay muchas opciones para aprovechar los conocimientos e interés, para desarrollar proyectos, donde hay que investigar y encontrar lo que se requiere para lograr el objetivo que uno se propone, exista o no la bibliografía actualizada, aunque es cierto que hay un soporte científico y técnico para cada principio aplicable en un sistema.

La idea de utilizar un servomotor como actuador principal, se originó con el conocimiento básico de estos, donde se describen las ventajas sobre el peso / potencia, respuesta / precisión, y la alta eficiencia propia de las máquinas eléctricas, así que, si se ha de diseñar o armar una máquina que pueda sustituir los motores de combustión interna por razones ecológicas, el conocimiento sobre la variedad de sistemas, aparatos, máquinas, y principios científicos, determinan lo que se ha de utilizar.

El elemento de suministro de energía que se seleccionó para formar parte del sistema, es por casualidad un elemento poco usado y conocido que se encontró haciendo investigación bibliográfica acerca de baterías y acumuladores, donde inmediatamente se tomo la decisión de incluirlo en el proyecto de tesis actual, y se trata nada menos que de una "pila de combustible" o "celda de hidrógeno", que se describe de manera práctica mas adelante como el otro elemento conformante del sistema sustituyente del que se ha hablado antes.

Los dispositivos eléctricos y electrónicos que sea necesario utilizar, se determinarán cuando se haga la integración de todo el sistema, incluyendo las modificaciones o acondicionamientos técnicos que se requieran en la máquina, esto es, si no se encuentran comercialmente los elementos con las especificaciones requeridas, fijándose como partida una cierta potencia de la máquina, de donde, se calcula o determina el resto.

De acuerdo con los avances se determinará si se agrega o se modifica el plan original, si así se presenta la situación en el desarrollo del tema de tesis, pero solo lo que sea necesario cambiar, siempre que se tenga la misma base de desarrollo, esto es, no cambiar de elementos por completo, sino variar o agregar lo que sea indispensable.

OBJETIVO DE TESIS.

El objetivo primordial en esta tesis es conjuntar todos los conocimientos necesarios aprendidos en ingeniería para lograr teóricamente, un prototipo constituido de una máquina eléctrica y algunos elementos eléctricos y electrónicos, integrados de tal manera que la máquina pueda entregar potencia mecánica con una mayor eficiencia, sin contaminar el ambiente, y con recargas de combustible en un tiempo mas prolongado, esto significa que si requiere materia para producir energía y aprovecharla como movimiento, pero que no tiene ningún tipo de emisión que dañe o contamine al medio ambiente, entre otras cosas.

El objetivo secundario más general de esta tesis es poder aplicarlo directamente en la sustitución parcial, y si es posible, total de todos los motores de combustión interna, y todas aquellas maquinarias donde se requiera de un movimiento o fuerza mecánica a través de una flecha y sus variantes, logrando con esto terminar con el impacto ecológico tan maligno que producen dichas máquinas, así como el alto costo de operación y mantenimiento de los sistemas adyacentes necesarios para su operación, a su vez podemos tratar de sustituir algunos motores eléctricos por uno de estos sistemas para prescindir también, de la instalación eléctrica implícita.

De acuerdo con los resultados de esta tesis, podremos determinar si algunas variantes o condiciones técnicas pueden ser modificadas para acondicionar la máquina a las necesidades de demanda de fuerza mecánica tan diversa que existe actualmente.

Si el objetivo primordial y el secundario se logra satisfactoriamente, automáticamente se cumple un objetivo propio de todo diseño de prototipos, como es la economía, practicidad, rentabilidad, entre otros, de las que se puede describir mas adelante.

Con estas primicias, podemos hacer el índice a seguir, para establecer con claridad lo que necesita y debe contener el equipo sustituto de máquinas de combustión interna.

ÍNDICE GENERAL.

PÁGINA

Capítulo 1. Principios básicos importantes.	1
1.1 Conversión de energía electromagnética.	1
1.2 Relación entre inducción y fuerza.	1
1.3 Valor nominal de voltaje, corriente y potencia de una dinamo.	2
1.4 Relación entre par y fuerza.	3
1.5 Ecuación fundamental de par en una dinamo.	3
1.6 Velocidad del motor como función de la fuerza contraelectromotriz y flujo.	4
1.7 Fuerza contraelectromotriz y potencia mecánica desarrollada por un motor.	4
1.8 Efecto de flujo sobre corriente de armadura.	5
1.9 Características de par electromagnético en motores de CD.	5
1.10 Características de velocidad en motores de CD.	5
1.11 Regulación de velocidad.	6
1.12 Par externo, potencia y velocidad.	6
1.13 Principios de funcionamiento de un motor de CD.	6
1.14 Motor CD sin escobillas.	7
1.15 Capacidad, selección y mantenimiento en dinamos de CD.	10
Capítulo 2. Preliminares de un servomotor.	13
2.1 Servomotores de CD.	13
2.2 Servomotores de CD campo controlado.	13
2.3 Servomotores de CD armadura controlada.	13
2.4 Servomotores de CD imán permanente de armadura controlada.	14
2.5 Servomotores serie de CD campo dividido.	15
2.6 Sistemas de control de realimentación automática.	17
2.7 Servomecanismo generalizado.	17
2.8 Elementos del servomecanismo.	18
2.9 Precisión del servomecanismo.	19
2.10 Inestabilidad del servomecanismo.	20
2.11 El servomecanismo amortiguado.	21
2.12 Tipos de amortiguamiento.	21
2.13 Transductores.	22

Capítulo 3. Elementos de control para un servomotor.	24
3.1 Sincros, magslips y selsins.	24
3.2 Sumador estrella	24
3.3 Rozamiento.	25
3.4 Amortiguamiento viscoso.	25
3.5 Avance de fase.	25
3.6 Amplificadores electromecánicos.	26
3.7 Metadina y amplidina.	26
3.8 Excitación propia.	27
3.9 Auto excitación.	28
3.10 Amplificadores de CD.	29
3.11 Amplificador operacional.	30
3.12 Circuito SCR Troceador.	35
3.13 Función de transferencia de los servomecanismos.	35
3.14 Orden del servo, constantes de error y ganancia.	37
Capítulo 4. Dispositivos de suministro de energía.	39
4.1 Constitución y funcionamiento de las pilas de combustible.	39
4.2 Transformación de energía.	39
4.3 Elementos primarios, secundarios, y pilas de combustible.	39
4.4 Reacción de la pila de combustible	40
4.5 Reacciones de cátodo y ánodo.	41
4.6 Electrodo porosos.	41
4.7 Tensión de salida.	42
4.8 Rendimiento termodinámico en la pila de combustible.	43
4.9 Toma o cesión de calor.	43
4.10 Velocidad de reacción y temperatura.	44
4.11 Electrodo de hidrógeno	44
4.12 Electrodo de oxígeno.	45
4.13 Rendimiento de tensión.	45
4.14 Medición de sobre tensión.	46
4.15 Electrolitos y catalizadores.	46
4.16 Algunos electrodos empleados.	47
4.17 Interfase binaria.	48
4.18 Pila de combustible hidracina-oxígeno.	48
4.19 Pila de combustible en la navegación espacial.	49
4.20 Pila de alta temperatura.	49
4.21 Obtención de tensión elevada.	50
4.22 Unidades grandes.	51
4.23 Ventajas e inconvenientes.	51
4.24 Esquemas ilustrativos.	52
4.25 Nuevas investigaciones sobre pilas de combustible.	54
4.26 *Dossier.	54
4.27 *Pilas de combustible, características y aplicaciones.	56
4.28 *Pilas de combustible.	56

4.29 *Ciemat.	58
4.30 *Prototipos e instalaciones numerosas, pero no competitivas	60
4.31 *Instalaciones de pilas de combustible.	61
Capítulo 5. Sistemas de protección y accionamientos.	64
5.1 Dispositivos de relés de máxima y de protección.	64
5.2 Fusibles.	64
5.3 Combinación de fusible y relé de sobrecarga	66
5.4 Relé de sobrecarga magnética, acción instantánea.	67
5.5 Relé de sobrecarga magnética, acción retardada.	67
5.6 Relé de sobrecarga térmico, de aleación fusible.	68
5.7 Relé de sobrecarga térmico bimetálico	68
5.8 Relé de sobrecarga térmico inductivo, de aleación fusible.	69
5.9 Dispositivos térmicos auxiliares.	69
5.10 Disyuntor de máxima y mínima tensión.	70
5.11 Disyuntores de sobrecarga.	70
5.12 Protección contra la inversión de polaridad.	71
5.13 Relé de frecuencia.	71
5.14 Protección contra el arco de descarga.	71
5.15 Protección contra rotor bloqueado durante el funcionamiento.	72
5.16 Protección contra rotor bloqueado durante el arranque.	72
5.17 Protección por detección de temperatura.	72
5.18 Detectores de temperatura bimetálicos.	73
5.19 Detectores de temperatura tipo termopar.	74
5.20 Detectores de temperatura tipo resistencia, dependiente de la temperatura.	74
5.21 Arranques sucesivos rápidos.	74
Capítulo 6. Integración del sistema.	78
RESULTADOS TEÓRICOS.	83
CONCLUSIONES.	86
MATERIALES BIBLIOGRAFICOS.	87

CAPITULO 1

1. PRINCIPIOS BÁSICOS.

1.1 CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

El primer registro que pudiera dar lugar al intercambio de energía mecánica y eléctrica se le acredita a Michael Faraday en 1831, descubrimiento que dio lugar al generador y motor eléctrico, entre otros.

La conversión de energía electromagnética es la relación entre fuerzas magnéticas y eléctricas de los átomos con la fuerza mecánica aplicable al movimiento y materia. La energía mecánica puede convertirse en energía eléctrica e igualmente lo contrario mediante los dinamos, pero también se producen otras manifestaciones eléctricas como luz y calor, que se mantienen al mínimo como pérdidas a un dinamo, logrando una conversión relativamente directa en las dos direcciones.

1.2 RELACIÓN ENTRE INDUCCIÓN Y FUERZA ELECTROMAGNÉTICA.

La facilidad con que se pretende lograr la conversión de energía se atribuye al conocimiento de dichas relaciones, y para fines prácticos se considera que el cambio de energía mecánica a eléctrica y viceversa es una reacción reversible, pero el grado con el que no se considera así, es debido a las pérdidas indeseadas de calor, luz y químicas aplicables al sistema electromecánico.

Por mencionar los efectos electromecánicos mas importantes, se dice de aquellos que se relacionan con la fuerza mecánica, como el principio de reluctancia que se describe como una fuerza mecánica que se ejerce sobre una muestra de material magnético ubicado en un campo magnético, donde la fuerza tiende a la actuación sobre el material de tal manera que lo lleva al campo magnético en la parte donde la densidad es máxima, y si la muestra tiene una forma irregular, tendera a alinearse de tal forma que produzca una reluctancia mínima y como consecuencia una densidad de flujo máxima, es por esta razón que las limaduras de hierro se alinean en forma paralela al campo y su dirección.

En una máquina eléctrica rotatoria el cambio de flujo que enlaza cada vuelta en un giro, no se puede definir fácilmente, como principio básico, tanto en la armadura o en el campo, por lo que, para medirla es más fácil expresar la velocidad de cambio como una densidad de flujo promedio, que se presuma constante.

La FEM¹ inducida instantánea se expresa entonces, como una "e" igual a la densidad de flujo "B" en [Wb/m²] por la longitud "L" activa en el conductor en [m] por la velocidad relativa y lineal "v" entre conductor y campo en [m/s] por una constante de

¹ Fuerza Electro Motriz

(10⁸ V-S/ línea), teniendo "e" su unidad en volts. Si "B" y "v" son uniformes y constantes, el voltaje instantáneo "e" y el valor promedio de "E" de la FEM son los mismos.

La mayoría de los dinamos, para fines prácticos, se diseñan de tal forma que se cumpla que "B" tiene una densidad uniforme y así mismo la fuerza aplicada para mover el campo, el conductor o ambos producen un movimiento relativo uniforme entre ellos, aún cuando hay una variación en la condición de la carga. una vez que se sucede el cambio, se supone que la densidad y velocidad permanecerán constantes siempre y cuando la carga sea constante.

1.3 VALOR NOMINAL DE VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA DE UNA DINAMO.

La capacidad de volts de una dinamo, únicamente se determina por el número de bobinas conectadas en serie por trayectoria que son aproximadamente iguales en número.

El factor principal que afecta la capacidad de corriente de una dinamo es la capacidad de conducción de cada espira o grupo de espiras en serie. a medida que aumentamos el número de trayectorias, la capacidad de corriente aumenta en la dinamo, pero es importante tomar en cuenta el número de trayectorias y la capacidad de corriente en una dinamo, donde solo se puede aumentar a expensas de la capacidad de voltaje, y que el número de espiras o conductores es fijo para cierta armadura.

Lo mismo que sucede con respecto a voltaje, corriente, y potencia de pilas y baterías, se aplica a conductores y devanados de una armadura, la capacidad de potencia para una armadura, está dada por la capacidad de corriente y voltaje de las bobinas en lo individual en cada trayectoria.

La única forma en que podemos aumentar la potencia de una dinamo, es construir una armadura mas grande que contenga mas conductores y bobinas de mayor diámetro. Así, el tamaño físico es un índice aproximado de la capacidad de potencia de la máquina eléctrica.

Se expresa como una fuerza contraelectromotriz como "Ec" igual al voltaje aplicado "Va" menos la caída de voltaje en la armadura debido al paso de la corriente de armadura con una resistencia "Ra", menor al voltaje aplicado que origina flujo de la corriente de armadura "Ia", y en términos de corriente de armadura para cierto voltaje y cierta carga podemos expresar:

$$Ia = \frac{Va - Ec}{Ra}$$

Y los factores determinantes de magnitud y condiciones para producir fuerza electromagnética en un conductor esta dada por:

$$F = B I L \text{ [N]}$$

De valores ya conocidos.

1.4 RELACIÓN ENTRE PAR Y FUERZA.

Frecuentemente se utilizan los términos de par y fuerza electromagnética. es determinante saber que no significan lo mismo, pero se relacionan, la fuerza se expresó anteriormente y se define como par, como la tendencia de un acoplamiento mecánico de una fuerza y su distancia radial al eje de rotación para producir un giro expresado en unidades de Fuerza por distancia.

Una dinamo de CD puede considerarse como motor cuando cumple las tres condiciones mencionadas anteriormente, y la necesidad de una conmutación para invertir corriente en un conductor cuando se mueve bajo otro lado de polaridad invertida, es fundamental para un motor como para un generador de CD.

1.5 ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE PAR EN UNA DINAMO DE CD.

Es sugerible que el par total desarrollado por la armadura de cualquier dinamo dada, puede calcularse en términos de la densidad de flujo, el número de polos, número de trayectorias, conductores totales de armadura, y longitud activa por conductor pudiendo expresarlo como:

$$T_c \text{ (par por conductor)} = \frac{B l r}{1.13 \times 10^7} \quad \text{y} \quad l a = \frac{I a}{a}$$

Pero para la armadura que tiene un número total de conductores Z se puede escribir con el par total medio:

$$T = \left(\frac{B l a Z r}{a} \right) x (\% S.A.) \quad \text{[N}\cdot\text{m]}$$

Donde se especifica a "B" como la densidad de flujo en [Wb/m²], a "l" como longitud activa de cada conductor en [m], a "r" como la distancia radial al eje en [m], a "la" que es la corriente total de armadura que entra o sale en [Amperes], a "Z" como el número total de conductores de armadura, "a" es el número de trayectorias en el devanado de armadura y finalmente "% S.A." que es el porcentaje de superficie de armadura que cubren los polos.

Para el par electromagnético total que se desarrolla en una dinamo, tenemos:

$$T = K \phi I_a \quad \text{en } [N \cdot m]$$

Siendo K el factor constante de la ecuación anterior a esta, y el significado de esta ecuación es que para aumentar el par de una dinamo es necesario aumentar corriente, flujo del campo o ambos.

Se debe notar que el par electromagnético desarrollado en la armadura, se llama normalmente par desarrollado y es un tanto análogo a la FEM generada E_g , ya que se desarrolla internamente.

1.6 VELOCIDAD DEL MOTOR COMO FUNCIÓN DE LA FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ Y FLUJO.

Existe una llamada ecuación fundamental de la velocidad del motor de CD expresada como S ó W:

$$S = \frac{V_a - (I_a R_a + BD)}{K \phi}$$

Donde ya conocemos las variables, y BD significa Brush Drop o caída de escobilla.

1.7 FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ Y POTENCIA MECÁNICA DESARROLLADA POR UN MOTOR.

Podemos notar que la fuerza contraelectromotriz a plena carga es menor que la fuerza a una carga menor, en función del voltaje de armadura, entre las terminales, varía a plena carga, aproximadamente 80% en pequeñas dinamos y 95% como máximo del voltaje aplicado en grandes motores de CD.

Esta fuerza E_c como porcentaje de V_a constituye una relación importante para determinar la eficiencia relativa y potencia mecánica de una armadura. La caída de voltaje sin contar la caída de escobillas es:

$$I_a R_a = V_a - E_c$$

Y la potencia perdida en armadura aplicado V_a es:

$$E_c I_a = V_a I_a - I_a^2 R_a \quad \text{en Watts}$$

Lo que significa que cierto ($V_a I_a$) se disipa en los constantes teniendo por nombre pérdidas de cobre, y mientras mayor sea el % de fuerza contraelectromotriz con respecto al voltaje en la armadura, mayor será la eficiencia del motor.

En forma de conclusión se puede decir que cuando la corriente y la carga aumentan, se disminuye la fuerza contraelectromotriz, disminuye la velocidad y aumenta la potencia desarrollada por la armadura.

Los resultados en pruebas muestran que una pequeña reducción de fuerza contraelectromotriz ocasiona un gran aumento en la corriente de armadura, aun cuando la fuerza disminuya con aumentos de carga.

1.8 EFECTO DE FLUJO SOBRE CORRIENTE DE ARMADURA.

Puesto que la velocidad de una máquina eléctrica en movimiento está determinada por el par desarrollado surge entonces la pregunta acerca de si se puede aumentar el flujo de campo y a la vez velocidad, pero solamente si la corriente de armadura se mantiene constante, se logra. Esto es lo que se logra en un servomotor de CD, en el cual (I_a) es constante ya que la armadura esta conectada a una fuente de corriente constante.

1.9 CARACTERÍSTICAS DE PAR ELECTROMAGNÉTICO EN MOTORES DE CD.

La ecuación ($T = K_\phi I_a$) es un medio que predice la manera en que podría variar el par en un motor eléctrico, cuando se les aplica carga, dicho de otra forma, con aumento (I_a), para saber el efecto de aumentar la carga sobre el par de los motores.

En los periodos de arranque y funcionamiento, la corriente en el circuito de campo en derivación es fundamentalmente constante para cierto ajuste del reóstato de campo y consecuentemente el flujo. Conforme la carga aumenta, el motor se desacelera un poco y origina menor fuerza contraelectromotriz y mayor corriente de armadura, por tanto, si el flujo es en esencia constante en el caso de motor derivación se puede expresar en una relación lineal como ($T = K' I_a$).

1.10 CARACTERÍSTICAS DE VELOCIDAD EN MOTORES DE CD.

La ecuación de velocidad S es el medio para predecir la variación de velocidad de cada motor al aplicarle una carga, así como la curva velocidad-carga.

Si suponemos un motor derivación que ha alcanzado la velocidad nominal y trabaja en vacío, como el flujo del campo, sin tomar en cuenta la reacción de armadura, se puede considerar constante y la velocidad se puede expresar en términos de S básica:

$$W \text{ ó } S = \frac{E_c}{k\Phi f} = k \frac{V_a - I_a R_a}{\Phi f}$$

1.11 REGULACIÓN DE VELOCIDAD.

Esta se define como el cambio de velocidad desde el funcionamiento en vacío hasta la plena carga, expresado en % de la velocidad que le corresponde a carga nominal, expresada como:

$$RV = \frac{S_{nl} - S_{fl}}{S_{fl}} \times 100 = \frac{W_{nl} - W_{fl}}{W_{fl}} \times 100$$

1.12 PAR EXTERNO, POTENCIA Y VELOCIDAD.

Dependiendo del tamaño o aplicación particular del motor, su rendimiento se puede especificar en la placa como par o potencia aparte de la velocidad. Si se conocen dos de los tres datos o términos se pueden calcular el tercero, pudiendo escribir así la potencia:

$$HP = \frac{WT}{746} \text{ hp} = \frac{V \cdot i \cdot \text{rad} [\text{rad} / \text{s}] \cdot X_{\text{par}} [N / m]}{746}$$

1.13 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR CD.

Un motor de CD es de velocidad ajustable, y con algún tipo de control, se ha vuelto muy popular. La velocidad de un motor de CD con excitación independiente, puede lograrse mediante la tensión variable de inducido y/o por variación de flujo en el entrehierro. La velocidad es directamente proporcional a la tensión del inducido hasta la velocidad nominal para flujo de entrehierro constante.

La velocidad es inversamente proporcional al flujo de entrehierro, llamado también tensión de inducido constante y el flujo es proporcional a la corriente de campo, o corriente de excitación.

Así es como podemos obtener velocidad mayor a la nominal, al disminuir la corriente de campo o flujo, manteniendo la misma tensión del inducido, pero en dichas condiciones el par electromagnético también disminuye porque la potencia electromagnética sigue constante.

TIPOS DE EXCITACIÓN.

Las características de un motor de CD son afectadas por la clase o el tipo de excitación. Un motor serie es aquel en el que las bobinas de campo quedan en serie con el inducido, así solo hay flujo de entrehierro si la corriente del inducido es diferente a cero (máquina cargada), por esto un motor serie tiende a tener un par bastante elevado con baja velocidad angular y viceversa cuando el motor esté descargado. Se debe tener cuidado en las aplicaciones con estas características, ya que puede tener

una gran tracción si se requiere, o puede destruirse si una banda se rompe en una aplicación con correas de por medio. Estas desventajas pueden eliminarse si se le provee de un arrollamiento de campo independiente, que con un flujo mínimo se resuelve el problema, aún trabajando en vacío. Esto se llama excitación compuesta que se sitúa en medio del motor serie y excitación independiente.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS.

Entre los elementos comunes a todos los motores eléctricos, tenemos las partes estructurales que son: carcasa, tapas laterales, porta cojinetes, cojinetes, eje, chavetas, guías de aire, ventiladores externos o internos, intercambiadores de calor, cajas de empalme, tapas de inspección, bridas, pies de fijación.

Los elementos se construyen con diferentes materiales que generalmente pueden ser: hierro de fundición o chapa de acero para carcasa, porta cojinetes, cajas de empalme y ventiladores, chapa de acero para guías, intercambiadores de calor y tapas de inspección, el aluminio y fibra de vidrio también pueden ser utilizados para estas últimas partes. El acero forjado o laminado suele usarse para ejes y chavetas.

1.14 MOTOR CD SIN ESCOBILLAS.

Existen muchos tipos de motores de CD sin escobillas, pero se han clasificado en 3 categorías generales que son motores de conmutación electrónica de CD, motores CD/CA inversores con suministro de CD, y motores de CD rotación limitada.

Para el propósito de la tesis, después de una revisión, solo son aplicables los de la primera categoría, que aunque no hay un diseño predominante, el de empleo más común, se describirá en seguida.

Todos aquellos que pertenecen a esta clase o categoría, tienen un estator devanado y un rotor de imán permanente, un sensor transductor de posición del rotor en el eje del rotor que funciona como entrada al sistema de conmutación en estado sólido, eliminando así las escobillas y al inherente conmutador.

En la FIGURA 1-1, se muestra un motor con tres interruptores, que son en realidad transistores de estado sólido en serie con los tres devanados del estator que equivale a un motor de escobillas con un conmutador de 3 segmentos, comercialmente se usan de 6 a 12, o más de 100 devanados de estator, e interruptores de transistores de estado sólido, o de rectificador controlado de silicio. Junto al eje del motor hay una pantalla de luz en forma de leva que censa la posición del rotor, y activa el interruptor de transistor desde su estado de corte hasta la saturación, con lo que se consigue excitar el par devanado del estator.

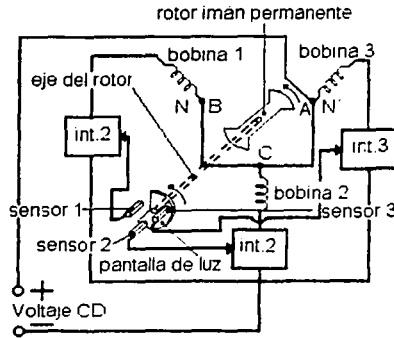


FIGURA 1-1: EJEMPLO DE CONMUTACIÓN ELECTRÓNICA

Otras formas de detección, además de la fotoeléctrica que se muestra en la figura, se usan comercialmente transductores magnéticos de efecto "Hall", sensores electrostáticos y bobinas de inducción electromagnética. Los transductores tienen por función, dar la señal que activa cierto interruptor de transistor desde el estado de corte hasta la saturación, con lo que el transistor cierra el circuito a su bobina de par en el estator.

En el esquema mostrado de la FIGURA 1-2, el fototransistor 1 activa al transistor interruptor 1, en la posición A indicada, los fototransistores 2 y 3 no se activan por el momento, porque la fuente de luz (que no se muestra) se detiene en la pantalla; El interruptor 1 energiza la bobina 1 que se devana en dirección tal que produce polaridad contraria al del imán del rotor, el rotor se atrae de la posición A, hacia B, donde la bobina 1 y el fototransistor 1 se desactivan, y el transistor 2 se activa, e igual que el caso anterior, energiza la bobina 2 que se mueve atraído de la posición B, hacia C; Con esto se logra una secuencia en cada devanado productor de par en el estator y con ello tener un giro continuo del eje en la misma dirección, que es en sentido antihorario en este caso.

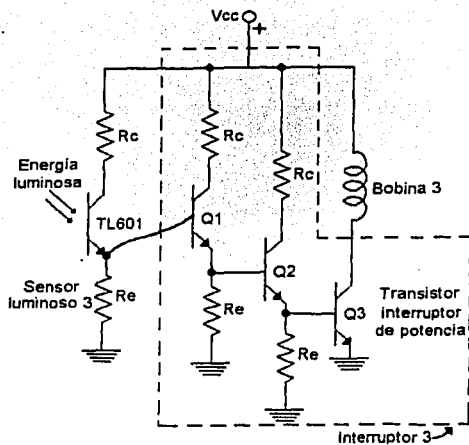


FIGURA 1-2: CIRCUITO SENSOR Y CONMUTACIÓN

Los circuitos de detección con fototransistores y conmutación con transistores utilizan etapas de amplificación de corriente Q1 y Q2 con transistor de potencia Q3, que interrumpe la salida en serie con cada una de las bobinas de par.

Para los transistores, hay una pérdida de potencia mucho menor, ya que solo conducen energía en una fracción de revolución muy pequeña, a diferencia de la conducción continua, por lo que en algunos diseños, el conjunto amplificador y conmutador electrónico de transistores, se puede ubicar a distancia y externamente al motor.

Las ventajas con estos motores, son que requieren de poco o ningún mantenimiento, tienen una vida de trabajo mucho mayor, no tienen arqueo, radiación o radiofrecuencia, no producen partículas ni gases de escobilla, ni subproductos, pueden trabajar sumergidos en fluidos y gases combustibles, y se les puede sellar herméticamente, son mas eficientes que los servomotores con escobillas o los tradicionales de CD, y tienen una respuesta más rápida, con una menor constante de tiempo servo y una curva característica bastante constante de par de salida, contra corriente de entrada, que se presta a las aplicaciones de servomotores.

Difícil de creer o no, hay ciertas desventajas que pueden replicarse como tales y son: tener un tamaño total mayor por el espacio que necesitan los circuitos electrónicos, aunque un motor CD sin escobillas es generalmente mas pequeño que

los convencionales de CD con escobillas de la misma potencia, el costo inicial es mayor pero los costos de mantenimiento son menores, el surtido es limitado y las aplicaciones particulares, requieren un pedido especial.

1.15 CAPACIDAD, SELECCIÓN Y MANTENIMIENTO EN DINAMOS DE CD.

La capacidad de un motor en términos de salida, se debe dar en HP a una velocidad nominal y voltaje nominal. Hablando de eficiencia, una dinamo es muy eficiente si las pérdidas son muy pequeñas en proporción con la salida, es bien sabido que las pérdidas producen calor, que en condiciones normales, una dinamo debe disipar la energía calorífica, sin llegar al aumento indeseado de temperatura, con lo que la vida de la dinamo disminuye por sobrecalentamiento. El tipo de servicio de la máquina también afecta el tiempo de vida, ya que para un motor de servicio intermitente, son de menor tamaño, en contraposición con los de servicio continuo, de mayor tamaño para la misma potencia, debido a que mayor área disipa mejor la temperatura excesiva

Una dinamo semiabierta y enfriada por ventiladores tienen mayores capacidades de salida que aquellas cerradas, y que son del mismo tamaño, así como las de alta velocidad, tienen mayor capacidad que las de baja velocidad, con el armazón del mismo tamaño.

Otro factor que influye en la vida del motor o dinamo, es el tipo de aislamiento para devanado y/o estator, y se dice que la vida de un motor es tan buena como su aislamiento, que se ve afectado por calor o temperatura excesiva, vibraciones mecánicas, impactos, humedad, etc

La capacidad en particular se afecta cuando ciertas características de placa cambian, cuando se hace trabajar al motor. Si las condiciones de placa son las que se suceden el motor no experimentara sobrecalentamientos excesivos.

La norma de temperatura ambiente permisible para dinamos eléctricas se establece a 40°C, por lo que todo aislante se prueba sobre la base de un aumento de temperatura por encima de los 40°C, y todas las placas muestran un aumento de temperatura permisible sobre el ambiente permisible mencionada anteriormente, y va desde 50 a 200°C. Esto se traduce en que si un motor de capacidad evaluada a 40°C, debe funcionar correcta y continuamente a la carga nominal sin daños graves al aislamiento, siempre y cuando la temperatura no sea mayor a la permisible, la altitud no sea mayor a 1000 m, las condiciones del medio no inhiban la ventilación, el voltaje no varíe $\pm 10\%$, la frecuencia (si es CA) no varíe $\pm 5\%$, y se hayan seguido los procedimientos y condiciones de instalación por la norma NEMA² o del fabricante.

Un motor con aumento permisible de 40°C debe soportar sobrecargas de 150% momentáneamente, y que no sean frecuentes en lapsos de 30 min, pero la mayor

² National Electrical Manufacturers Association

parte de motores con este aumento deben funcionar continuamente con una carga de 115% a una temperatura ambiente de 40°C a la frecuencia y voltaje nominales. a este valor de 115% se le llama factor de servicio. y con aumentos mayores de temperatura permisibles no se permite factor de servicio.

Si fuera necesario para la selección del motor, la temperatura límite del lugar más caliente, se consultaría una tabla de temperatura límite de materiales aislantes.

Hay ciertas consideraciones pertinentes para seleccionar el motor, que son tamaño de armazón en función de velocidad y potencia, donde se ha llegado a la conclusión de que para la misma potencia, a medida que aumenta la velocidad nominal de un motor disminuye el tamaño de armazón; otra es que el tamaño de cualquier máquina no esta determinado por la capacidad de potencia, sino el par; y finalmente, si la capacidad de un motor produce mas temperatura de la permisible, a la carga y condiciones nominales, se puede reducir la potencia, o cambiar el tipo de aislamiento, con lo que el motor ya no sería de la misma potencia, sino menor a la calculada o determinada.

Hay otro factor que afecta la capacidad, esta es el ciclo de trabajo, donde actualmente se fabrican las máquinas eléctricas especificando el tipo de trabajo como continuo, intermitente, periódico o variable, ya que en este caso de motores, para los mismos HP nominales, tendremos en trabajo continuo el motor será físicamente mas grande que uno de trabajo intermitente, porque los conductores son de mayor diámetro, y el aislante más resistente, para poder disipar mas calor.

Así como el aumento de calor produce reducción de potencia nominal y el ciclo de trabajo, también aumentan si la temperatura ambiente disminuye drásticamente.

En resumen la NEMA dice que los ciclos de trabajo son: Trabajo continuo, donde el motor trabaja a carga constante en periodos razonablemente largos; Trabajo periódico, donde las necesidades de carga se presentan con regularidad a intervalos periódicos en periodos razonablemente largos; Trabajo intermitente, presenta necesidades irregulares de carga, incluyendo periodos bastante largos de reposo sin carga; Trabajo variable en donde carga e intervalos de tiempo, están sujetos a una variación amplia, sin reposo en un periodo razonablemente largo sin regularidad.

De manera general la capacidad debe seleccionarse de tal forma que el motor trabajará entre la carga nominal y 3/4 de ella, así como determinar los periodos de descanso y el tiempo de los niveles de potencia demandada del motor.

La NEMA define también los tipos de envolventes o carcasas, donde los motores cerrados son de mayor costo, dimensión, elevación de temperatura y ciclo de trabajo, y en general mencionaremos solo los tipos, y al hacer la selección explicaremos si se eligen para los ejemplos, entonces son: Carcasas a prueba de agua, a prueba de

ignición de polvos, a prueba de explosión, totalmente cerrada, protegida al temporal, protegida, a prueba de salpicaduras, a prueba de goteo, y abierta

De manera similar, se clasifican los diseños de máquinas eléctricas para la velocidad, y reversibilidad, por lo que mencionaremos solo los tipos como se hizo anteriormente, y son: Motor de velocidad constante, de velocidad variable, velocidad ajustable, velocidad ajustable variable, de varias velocidades, no reversibles, reversibles, e invertible.

En el sistema SI, se acostumbra expresar la potencia de los motores en kilowatts, dividiendo los HP entre 0.746.

Por último el mantenimiento de los motores y todas las máquinas eléctricas, sabemos que en su mayoría requieren un mínimo de mantenimiento que se restringe a la limpieza regular y lubricación como prevención, también en anillos rozantes y escobillas, aunque muchos tipos de motores necesitan mantenimiento si tiene interruptores centrifugos, pero no es necesario si las máquinas tienen arreglos o piezas diseñadas para funcionar por largo tiempo o toda la vida del motor.

CAPITULO 2

2. PRELIMINARES DE UN SERVOMOTOR.

2.1 SERVOMOTORES DE CD.

Un servomotor de CD se impulsa por una corriente suministrada por un amplificador electrónico con demulador que puede ser externo o interno. también con reactores saturables, tiratrones o amplificadores rectificadores controlados de silicio, y tiristores SCR (troceadores). Los servomotores de CD se encuentran desde 0.05 HP y hasta 1000 HP, y en algunas ocasiones mas. Las características principales en un servomotor son que el par de salida sea aproximadamente proporcional al voltaje de control, desarrollada por el amplificador en respuesta a una señal de error, y que la dirección del par se determine por la polaridad instantánea del voltaje de control.

En CD existen los siguientes cuatro tipos de servomotores, que a continuación se describen, cuando se utilizan amplificadores de CD.

2.2 SERVOMOTORES DE CD CAMPO CONTROLADO.

El par producido por este tipo de motor es cero cuando el amplificador de error de CD no le suministra excitación de campo. Como la corriente en armadura es siempre constante, el par varía directamente en acorde con el flujo del campo y de acuerdo con la corriente de campo hasta la saturación. La dirección del motor se invierte si se realiza la inversión de polaridad del campo. El control de corriente de campo por éste método solo se utiliza en pequeños servomotores porque no se desea suministrar una corriente grande de armadura, y fija como se necesita en los grandes servos de CD, y también porque la respuesta dinámica es mas lenta que la del motor de armadura controlada, debido a la mayor constante de tiempo del circuito altamente inductivo del campo, como se muestra en la FIGURA 2-1.

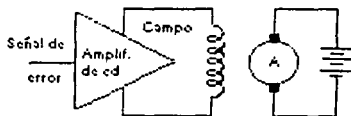


FIGURA 2-1: SERVOMOTOR DE CD CAMPO CONTROLADO

2.3 SERVOMOTORES DE CD ARMADURA CONTROLADA.

Esta clase de motor utiliza una excitación fija de campo, que suministra una corriente constante, teniendo en cuenta ciertas ventajas dinámicas que no tiene el método de controlar el campo, como se muestra en la FIGURA 2-2.

Un cambio grande o pequeño, pero súbito, en el voltaje de armadura provocado por una señal error, ocasionará una respuesta casi instantánea en el par, por la simple razón de que el circuito de armadura es esencialmente resistivo en comparación con el circuito de campo, que es altamente inductivo.

El campo de este motor se puede trabajar mas allá del punto de saturación de la curva, para mantener el par menos sensible a pequeños cambios de voltaje de la fuente constante de corriente. además, un flujo alto en el campo aumenta la sensibilidad del par para el mismo cambio en la corriente de armadura.

Un motor de CD de 1000 HP se impulsa de esta manera mediante el control de voltaje de armadura, y si la señal error y la polaridad del voltaje en la armadura se invierten, el motor hará lo mismo.

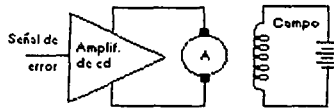


FIGURA 2-2: SERVOMOTOR DE CD ARMADURA CONTROLADA

2.4 SERVOMOTORES DE CD IMÁN PERMANENTE DE ARMADURA CONTROLADA.

Este tipo emplea imanes permanentes de Alnico o Cerámica para tener excitación constante en el campo en oposición a la fuente constante de corriente de campo.

Para tamaños fraccionarios se fabrican para 6 y 28 volts, y de 150 V para motor integral de hasta 2 HP. La estructura de campo para estos servomotores consiste en una aleación Alnico VI, generalmente, fabricada en forma de anillo circular que rodea completamente la armadura, dando un flujo constante y fuerte. Un motor de imán permanente se compensa mediante devanados de conmutación para evitar la desmagnetización de los imanes del campo por si se invierte súbitamente el voltaje de CD de armadura.

Generalmente se desprecian las corrientes parásitas y los efectos de histéresis en estos servomotores. Las zapatas polares, son laminadas para reducir arqueo en las escobillas siempre que se tiene un cambio rápido del voltaje de la señal. Estos dispositivos también se controlan regulando el voltaje de armadura, tal como el motor derivación de armadura controlada.

El servomotor de imán permanente de CD se usa en dos modos: Controlando la posición y controlando la velocidad. Los que controlan la posición son llamados motores de par, debido al desarrollo de potencia a baja velocidad, o en reposo, que es extremadamente alto, y a la inversa, a altas velocidades desarrolla pares muy bajos o extremadamente pequeños. El par también es función del voltaje aplicado en la armadura.

Cuando se controla la velocidad con estos servomotores, se trabaja en forma continua para mantener determinada velocidad, ya que ($P=KTS$), la potencia que se desarrolla y la que se disipa son pequeñas, siempre y cuando las velocidades y los pares sean relativamente pequeñas.

Dichos servomotores son generalmente herméticos o cerrados por completo, y sus armazones grandes para permitir la disipación de calor de manera adecuada. Puede requerir de un ventilador inter construido, dependiendo de la carga y la velocidad, un ejemplo esquemático, se muestra en la FIGURA 2-3.

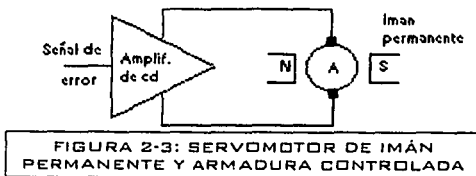
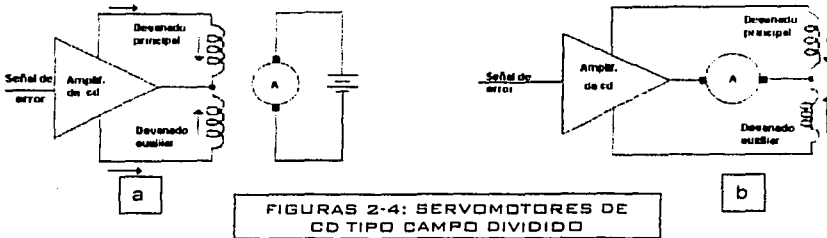


FIGURA 2-3: SERVMOTOR DE IMÁN PERMANENTE Y ARMADURA CONTROLADA

2.5 SERVMOTOR SERIE DE CD CAMPO DIVIDIDO.

Los motores de potencia fraccionaria de CD y campo dividido, que se representa en dos configuraciones (a y b), en la FIGURA 2-4, se pueden hacer trabajar como motores con excitación separada y de campo controlado. Se llaman devanado principal y devanado auxiliar aunque esto no significa que la fuerza magnetomotriz sea diferente en ellos. Están devanados alrededor de los polos de campo en tal dirección que producen inversión de rotación entre sí, los motores pueden excitarse por separado y se puede abastecer la armadura con una corriente constante.

El control de campo dividido, presenta dos ventajas que son, primero la respuesta dinámica de la armadura es mejorada, porque los campos siempre están excitados y no hay demora debida a la constante inductiva de tiempo, segundo, se tiene un grado mas exacto de control debido a la dirección de rotación que responde mas a las diferencias extremadamente pequeñas de corriente entre devanados principal y auxiliar.



En los motores serie es difícil obtener excitación separada de armadura utilizando corrientes grandes y constantes, en este caso la corriente de armadura del motor serie de campo dividido es la suma de corrientes en devanados principales y auxiliares. Cuando las corrientes en serie del campo son iguales y opuestas, no hay par, y un pequeño aumento o disminución de corriente en el auxiliar, produce un par al instante en la dirección correspondiente.

Estos servomotores serie entregan altos pares de arranque y rápida respuesta a mínimas señales error. Aunque no tienen muy buena regulación de velocidad, ya que en este caso es mala, no se considera importante en un servo sistema, si la carga es fija. El empleo de los devanados en oposición es causa de la reducción de eficiencia, pero con los pequeños motores no hay problema.

Por lo general los motores de CD derivación y los serie tienen mayor inercia en el rotor que los motores de CA, para cierta potencia, a causa de sus devanados más robustos. Esta característica y la resistencia por escobillas hace disminuir el empleo de motores de CD en servo sistemas extremadamente pequeños y de instrumentos sensibles.

Las pequeñas armaduras se disponen en diagonal para reducir un fenómeno llamado amarre de armadura, que se sucede a bajas velocidades. Otro problema con los servomotores de CD es la conmutación, que se corrige con la ayuda de interpolos y devanados de compensación, pero a grandes altitudes, se acumula una capa de óxido entre delgas, debido al oxígeno enrarecido, ocasionando así, fallas de conmutación, para esto se han desarrollado pequeños servos sellados para superar este problema en especial.

Hay otros problemas de conmutación debido a que los motores trabajan desde posiciones cero o casi reposo la mayoría de las veces, con lo que se produce un arqueo y picaduras del conmutador, además de que genera radiación y radio interferencia, así como la necesidad de constante mantenimiento de las escobillas

Por estas razones antes mencionadas, la mayoría de los servomotores pequeños, son casi siempre del tipo de inducción de CA . bifásico o de polo sombreado, de CD sin escobillas o del tipo pasos.

2.6 SISTEMAS DE CONTROL DE REALIMENTACIÓN AUTOMÁTICA.

Los dispositivos de bucle cerrado, como un medio para proporcionar información de realimentación para controlar automáticamente la velocidad, proporcionan un control o regulación de la tensión, corriente y velocidad por medio de la comparación con un señal de referencia, con la señal de salida real que se realimenta en los enrollamientos del amplificador utilizado.

Algunos de los amplificadores como los rotativos emplean el principio del flujo diferencial para controlar la FEM de la excitatriz, presentando así la diferencia entre la señal que se desea y la real, la cual responde a cualquier variación en la entrada de la señal referente o señal deseada, también responde a la modificación en la carga o las condiciones de salida, produciendo un cambio en la señal realimentada, y por último, lo hace al cambio en la velocidad del motor primario, produciendo una variación en las señales de salida de referencia.

Si las señales son constantes, la salida será igual, pero cuando varía una de las señales, variaría la salida del amplificador para que reestablezca el sistema a la salida deseada, o a la condición nula.

2.7 SERVOMECANISMO GENERALIZADO.

En cualquier sistema bucle cerrado existen ciertos elementos comunes que regulan y controlan elevaciones, traslados, constantes de velocidad, regulación de temperatura, etc., además de las señales eléctricas propias de los motores eléctricos, con lo que determinamos que un servomecanismo no se refiere solo a máquinas eléctricas, o específicamente a motores eléctricos.

En general un servomecanismo se emplea para controlar magnitudes físicas, eléctricas, o ambas según sea el caso, pero siempre por medio de un transductor que definiremos mas adelante.

Un amplificador realimentado es en concreto un caso de un servomecanismo general y la función primordial es mantener una tensión constante de salida para una

cierta entrada que prescinde de la temperatura interna y variable de carga. esto a través de la realimentación negativa.

En términos de ecuación se dice que la señal de error de salida E. se amplifica por medio de un regulador con ganancia G. donde el regulador amplifica la señal de error para producir la energía suficiente para accionar un actuador. la carga se controla mediante un desplazamiento o modificación de tal manera que el actuador tiende a reducir el error entre las señales de entrada e_{in} y la salida Be_{sal} y es así que el bucle cerrado tiene una ganancia H.

$$H = \frac{e_{sal}}{e_{in}}$$

La ganancia para el regulador es:

$$G = \frac{\text{salida reg}}{\text{entrada reg}} = \frac{e_0}{\varepsilon} = \frac{e_0}{e_{en} - \beta e_{sal}}$$

Donde e_0 significa la salida del amplificador regulador y Be_{sal} es la salida transducida.

Otra forma de representar la ganancia H es:

$$H = G \frac{1}{1 + \beta G}$$

En donde BG es la ganancia del bucle abierto, ya que atraviesa el regulador, el actuador, y transductor sin realimentarse en el detector de error.

Por tanto, la ganancia del bucle abierto, es el factor que determina la sensibilidad de todo el bucle cerrado a las variantes, tanto internas como externas.

La realimentación negativa tiende a reducir el error en el sistema y estabiliza cuando la salida del regulador es cero pero por otro lado, la realimentación positiva se suma a la señal de entrada incrementando el error, que mas tarde se traducirá en inestabilidad. Es así como la ganancia del bucle debe estar entre 0 y 1.

2.8 ELEMENTOS DEL SERVOMECANISMO.

Un servomecanismo completo puede armarse con diversos elementos de diferentes fabricantes. para controlar así, las variantes físicas, pero primero hay que identificar los componentes en forma general por su función, antes de poner un servomecanismo en servicio.

Los elementos generales del servomecanismo son: un detector de error que mide las variaciones de la cantidad física controlada a través de transductores para convertir a cantidades eléctricas, que compara entre las magnitudes y sentidos de fase de las cantidades a la entrada, esto es la señal referencia, y la salida controlada, también que genera el error de una señal de error de cierta magnitud y sentido para que manifieste la diferencia entre las entradas en todo instante. El regulador que consiste en un amplificador de potencia que sirve para aumentar la señal de error producida por el detector de error. El actuador o elemento accionador que responde a la señal amplificada producida por el regulador, también acciona el mecanismo actuador de salida, donde produce una modificación en la variable controlable en respuesta a la señal de mando. Un amortiguador para reducir la oscilación o inestabilidad que se genera en la respuesta del servomecanismo a la señal de entrada; Y por último, el bucle de realimentación, que contiene los elementos para convertir las variaciones de la salida o variable controlada, a cantidades apropiadas para la entrada y comparación en el detector de error, y se acostumbra sensibilizar la salida por medio de transductores que convierten la variación de salida, a una señal eléctrica adecuada.

En algunos casos estas cinco funciones se pueden combinar en una sola pieza, como el caso de la amplidina donde tres de los cinco elementos se combinan en la excitatriz de múltiple excitación, operando bajo el principio de flujo diferencial, o como el amplificador de potencia rotativo de campo transversal, que sirve como regulador, y el amortiguamiento que se logra mediante redes estabilizadoras utilizadas en las amplidinas comerciales.

Solamente el actuador o motor CD accionado por amplidina, y la red de realimentación son externas al aparato que une las tres funciones antes descritas.

Un servomecanismo detecta y compara la entrada en función de la salida, genera una señal error amplificada para corregir dicho error, y así, producir un cero o correspondencia entre entrada y salida.

2.9 PRECISIÓN DEL SERVOMECANISMO.

Para que halla un control automático y preciso, el servomecanismo deberá responder a cualquier variante de la entrada por débil que esta sea, es por esto que los errores del servomecanismo deben ser encontrados y reducidos al mínimo.

Describiendo por partes, estos errores tenemos primero, el espacio muerto, que se sucede cuando un actuador lleva la carga mas allá del punto cero, y se le llama efecto sobre impulso, debido a la inercia de carga. En un transductor proporcional y no "todo-nada", en una señal muy débil, llamado sub impulso, no puede permitir que el actuador venza la resistencia de carga, esto, por efecto del sobre impulso, donde los contactos nunca cierran.

El ruido eléctrico, se da cuando amplificadores electrónicos, magnéticos o rotativos, usados en reguladores, tienden a generar pequeñas señales parásitas que se llaman ruido eléctrico, y que también puede ser producido por los transductores y detectores de error, pudiendo contrarrestar la señal de entrada. El error de lectura o del transductor, que, dependiendo de su sensibilidad y exactitud, afectan la linealidad del detector de error y los amplificadores del regulador, y aún a los transductores. El movimiento perdido, que se da cuando se usan ejes mecánicos diferenciales, engranajes, discos, donde hay la posibilidad de errores resultando holguras, siendo de tal forma, que una pequeña señal no produzca variación a la salida, hasta que dicho movimiento se compense. El retardo de velocidad, donde la inercia, la fricción y amortiguadores, tienden a generar el retardo, y si se desea una respuesta casi instantánea a las variaciones, es importante considerar estos factores. El retardo de aceleración, que se sucede cuando hay aceleración o desaceleración rápida de las señales de entrada y la salida controlada puede retardarse tras la entrada, (este error varía con la 2a. derivada de la señal de error).

El régimen máximo de velocidad controlada del servomecanismo, es básicamente el que la velocidad de entrada se acelere continuamente, pudiendo alcanzar un régimen de velocidad, en donde la salida no puede seguir a la entrada, produciendo un error entre salida y entrada: También se dará esta diferencia con una velocidad excesiva.

En el servomecanismo un error grande en los factores anteriores, reduce seriamente la exactitud global del sistema en ciertas condiciones, es por esto, que se debe seleccionar, o diseñar los elementos con cuidado, dentro de los límites prácticos.

2.10 INESTABILIDAD DEL SERVOMECANISMO.

Si suponemos que los factores antes descritos, no presentan error, y no hay rozamientos, el sistema puede responder instantáneamente, pero al no tener pérdidas por un error de fricción, tiene por tanto, una ganancia elevada en el regulador y en el bucle cerrado, generando entonces, un sobre impulso, haciendo que el actuador llegue a un punto donde actúa al inverso.

Un servomecanismo que está exento de error y no amortiguado, es relativamente imposibilitado para estabilizarse al cero referido anteriormente. Este fenómeno se denomina como sobre impulso sucesivo, oscilación, inestabilidad u oscilación pendular.

Esto no significa que la reducción del error del sistema esté de sobra, es solo que debe considerarse un adecuado amortiguamiento.

2.11 EL SERVOMECANISMO AMORTIGUADO.

Existen algunas curvas producto de ciertas pruebas que demuestran que se requiere de una cantidad crítica de amortiguamiento para dar estabilidad, para producir un cero en el tiempo mas corto que sea posible con la máxima velocidad de respuesta

El grado de amortiguación que se requiere para obtener el valor crítico se determina por medio del valor δ o factor de amortiguamiento, que varía según los elementos utilizados en el sistema.

Quando se analiza el sistema encontramos una ecuación que relaciona el par de salida K , ángulos de entrada y salida θ_1 , θ_0 , el momento de inercia J , y el par de rozamiento por velocidad F , como los elementos de inercia y rozamiento, y es:

$$K\theta_1 = J \frac{d^2\theta_0}{dt^2} + F \frac{d\theta_0}{dt} + K\theta_0$$

Que se determina y resuelve con los métodos que se emplean en el estudio de los sistemas electromecánicos, donde, si se sabe acerca de lo que se expresa, se entiende con mayor facilidad.

Aunque pudiera creerse ridículo utilizar amplificadores de ganancia elevada, y a la vez, agregar el retardo de fricción, diseñado para reducir la energía útil, no es así, como se ha venido describiendo hasta ahora.

Necesitamos entonces cierto tipo de amortiguamiento que traiga estabilidad, y a la vez, una propiedad viscosa sin excesivas pérdidas energéticas o retardos entre el eje de salida y entrada, que se le nombra como error de régimen permanente.

2.12 TIPOS DE AMORTIGUAMIENTO.

Las dos grandes clases de amortiguamientos son el viscoso y el amortiguamiento por variación de error. En el primer tipo, se reduce la amplitud y duración de la oscilación transitoria.

Para fines prácticos referentes al estudio, describimos solamente lo concerniente, de donde hacemos la referencia a los dispositivos de fricción electromagnética, que consta de frenos magnéticos, frenos de corrientes parásitas, y fluidos que contienen partículas magnéticas. Tienen la propiedad del ajuste eléctrico por variación de la excitación de CD.

El amortiguamiento sin fricción es aquel en el que no hay excesiva pérdida en la línea, ni excesiva pérdida de calor que requieren de reguladores mas grandes, pudiendo obtener dicho amortiguamiento produciendo la señal eléctrica amortiguadora,

que procede de un transductor adecuado, para realimentarla al bucle cerrado para que aparezca un error más pequeño en disminución.

Los dos amortiguadores típicos de este tipo son:

Amortiguamiento por generador-tacómetro, en la FIGURA 2-5. que se acopla al eje actuator, obteniendo una señal de velocidad proporcional al ritmo de variación de la salida, se aplica al amplificador de error en oposición a la señal de error normal. amortiguando de manera efectiva, como uno de fricción, y Amortiguamiento por F.C.E.M³, generada por el inducido de un servomotor de CD, como en la FIGURA 2-6. que puede usarse en forma directa como medida de variación de la velocidad, y puesto que la F.C.E.M. es proporcional a la velocidad, no se requiere de un generador tacómetro, si se utiliza servomotores de CD como actuador.

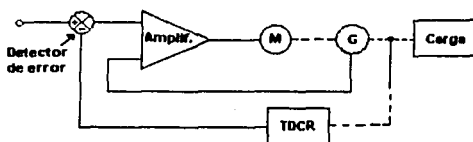


FIGURA 2-5: AMORTIGUAMIENTO POR GENERADOR-TACÓMETRO

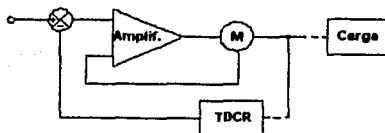


FIGURA 2-6: AMORTIGUAMIENTO POR F.C.E.M.

En el caso del amortiguamiento por variación de error, se hace necesario su implementación cuando se desea que el régimen permanente se reduzca a un mínimo, pero implica el empleo de componentes o dispositivos cuya salida varía según el régimen de error (aceleración o desaceleración), como con un tacómetro generador, pero se acostumbra más el implemento de redes de cuatro terminales cuyas salidas son proporcionales al ritmo de variación de la entrada. Estas redes son más pequeñas

³ Fuerza Contra Electro Motriz

y modificables, y de menor costo, (se le conoce como R-C o L-R). Si el servomecanismo es de CD se le denomina red de avance de fase de CD.

2.13 TRANSDUCTORES.

Un transductor puede definirse como un dispositivo mediante el cual la energía se convierte de una forma en otra, o bien, un sistema de energía que va ligado con otro. Para los sistemas a controlar, realimentados y de instrumentos electrónicos tenemos primero, aquella clase de transductores que permiten cambiar una cantidad no eléctrica en señal eléctrica de aquellas variables físicas como aceleración, desplazamiento, flujo, fuerza, temperatura, viscosidad, etc., con las ventajas de telemedición, variedad de amplificadores y actuadores, precisión y facilidad de almacenamiento de información. Los transductores poseen las características de respuesta de frecuencia, sensibilidad, linealidad, precisión, sensibilidad de fase, entre otras.

Cuando se desea controlar un proceso de manera automática de acuerdo con ciertos pasos, entonces, se utiliza el bucle cerrado. Dado el proceso, pueden elegirse el o los transductores y elementos de control, así como dispositivos de salida de aparatos de medición.

Son muchos los tipos de transductores utilizados para el control, sus principios son básicamente la utilización de diferentes resistencias, variando dichos valores de resistencia, inductancia, o capacidades originadas por variaciones de entradas y salidas.

CAPITULO 3

3. ELEMENTOS DE CONTROL PARA UN SERVOMOTOR.

En los grandes servos de CD se aplica al circuito de inducido, donde la excitación es independiente y constante, se utilizan amplificadores magnéticos, tiratrones o rotatorios, según el tamaño y el tipo.

3.1 SINCROS, MAGSLIPS Y SELSINS.

Estos tres nombres son como sinónimos de transductor y son ampliamente utilizados en los servomecanismos. La acción de un magslips (magnetic slip ring), depende de la variación debida a un cambio en la posición relativa de dos devanados donde cada unidad se compone de un estator con tres arrollamientos conectados en estrella, aunque a veces por conveniencia se utiliza una conexión delta. estos arrollamientos están distribuidos tal que cuando se excitan, producen un flujo senoidal, y sus ejes están a 120° uno del otro, tal como los arrollamientos de una máquina trifásica.

El rotor tiene solo un arrollamiento, que se embobina en dos polos, o puede arrollarse en una placa de forma H, y dichas conexiones del rotor se hacen por medio de escobillas y anillos rozantes, que se fabrican de metales preciosos para evitar efectos de fricción y caídas de tensión.

3.2 SUMADOR DE ESTRELLA.

Cualquier número de tensiones puede combinarse mediante un cierto número de resistencias, denominado sumador, como se muestra en la FIGURA 3-1. siempre que las resistencias sean grandes en comparación con las impedancias de las fuentes de tensión, despreciando los efectos de carga y realimentación. En la mayoría de los casos se puede considerar una relación de 10 a 1, como suficiente.

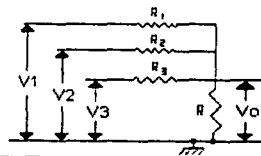
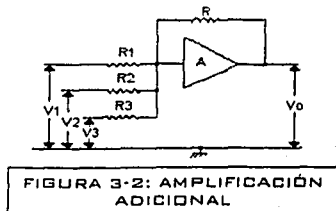


FIGURA 3-1: SUMADOR ESTRELLA

La tensión de la rejilla sería la mitad de la tensión de error; la pérdida o ganancia puede ser compensada por medio de una amplificación adicional, como se muestra en

la FIGURA 3-2, y si las resistencias son iguales a la resistencia R de realimentación, la salida será la sumatoria de voltajes.



3.3 ROZAMIENTO.

Para estudiar el fenómeno de efectos de rozamiento en los servos podemos dividir en: a) el par ejercido por el motor debe exceder un valor umbral antes de que pueda arrastrar la carga, y b) cuando el movimiento ha comenzado, el par de rozamiento es proporcional a la velocidad, donde se introduce una no linealidad en las características del servo, pero dará un seguimiento irregular para bajas velocidades, efecto que se llama esticción, el efecto "b" se conoce como rozamiento viscoso que se expresa como par de rozamiento igual al factor de amortiguamiento F por la velocidad angular.

3.4 AMORTIGUAMIENTO VISCOSO.

Existe el llamado error de velocidad del servo, que se sucede cuando el motor se lleva hasta una velocidad constante, donde la fricción viscosa hace que la aceleración igual a cero desarrolle el par antes mencionado $F \cdot \omega_0$. Como se necesita de un error para producir el par a través del amplificador, suponemos que el par en el servo es proporcional al error ($T=K\theta$), entonces el error permanente será f/k veces la salida, que es la velocidad de salida y de entrada.

3.5 AVANCE DE FASE.

Un método para compensar los efectos de inercia y retardo, es utilizando un control anticipado. Una forma de conseguirlo, es agregar a la señal de error, una señal proporcional a la variación de error. Cuando la carga se mueve a una nueva posición la velocidad de error es negativo o de frenado. El par total se anulará antes del equilibrio, estabilizando al servo. Este método se denomina avance de fase.

3.6 AMPLIFICADORES ELECTROMECA'NICOS.

Cualquier generador de CD de excitación separada puede ser utilizado como un amplificador. La linealidad de esta conversión depende de las características de magnetización del generador, y es posible alcanzar una buena linealidad por debajo de la saturación del núcleo. El servo, que tiene una excitación constante y su armadura, forman la carga del amplificador, los motores de excitación dividida no son apropiados, por la disipación continua de calor de armadura e inductancia

El principio básico de los amplificadores rotativos es el sistema Ward-Leonard de dos pasos con realimentación negativa como la metadina y amplidina.

3.7 METADINA Y AMPLIDINA.

Utilizando una armadura, se obtiene una gran reducción en la inductancia del circuito, y se puede eliminar como una excitación, y la realimentación resulta inherente en el funcionamiento.

La forma básica, que se muestra en la FIGURA 3-3, utiliza un juego adicional de escobillas sobre un eje que forma 90° eléctricos con respecto a los principales. La corriente de control produce un flujo a lo largo del eje variador, las escobillas son cortocircuitadas y por consiguiente fluye una corriente grande que produce una acción de flujo cruzado Φ_1 a lo largo del eje, dicho flujo genera una tensión entre las escobillas C y D. Si se conecta una carga entre las escobillas C y D, fluye una corriente de carga, que produce otro flujo de reacción Φ_2 , y este flujo es la realimentación inherente. Esta realimentación limita la corriente entre las escobillas cortocircuitadas.

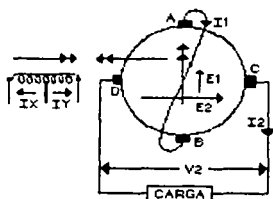


FIGURA 3-3: DISPOSICIÓN DE ARMADURA EN 90° ELÉCTRICOS

Para conseguir una zona de conmutación y mantener los diversos arrollamientos, la estructura del campo es diferente a la de un generador normal de CD, la modificación es la partición de los polos o alternadamente utilizar estatores

ranurados en vez de polo saliente. Es así como a la metadina le podemos nombrar meta dinamo.

Cuando un servomotor se conecta como carga, su característica de velocidad-par será similar a las características de tensión-corriente.

Se puede reducir el tamaño de la armadura, añadiendo algunos amperios al eje por medio de un arrollamiento de excitación adicional, conocido como arrollamiento amplificador.

La realimentación negativa en la metadina se puede suprimir parcial o totalmente, cuando se hace pasar corriente de carga a través de un arrollamiento adicional en el eje CD, que se llama bobina compensadora. El flujo que produce esta bobina refuerza el flujo del variador y se opone a la realimentación, y si esta oposición es total, de tal manera, que cancela el flujo, entonces tenemos la amplidina.

En una comparación entre metadinas y amplidinas de igual salida, el tamaño de los meta dinamos es mayor, y tiende a anular cualquier ventaja de las consideraciones, por lo que su uso se deja a decisión de quien considere viable o necesario su empleo.

3.8 EXCITACIÓN PROPIA.

Si la corriente de carga se rectifica y realimenta por medio de un arrollamiento adicional, o arrollamiento de autoexcitación, se obtendrá realimentación positiva o negativa según la polaridad del circuito de control.

Al considerar la tensión inversa de un rectificador separado encontramos que casi siempre es lo que se utiliza.

El control de picos de corriente, resulta una ganancia mucho mas alta y, a la vez, una acción sensible a la polaridad consiguiendo con esto la estabilidad, aún para el 100% de polaridades, ya sea 100% positiva o 100% negativa. La corriente permanente se mantiene y la corriente mínima se aparece para un valor negativo, puesto que la pequeña corriente de carga que fluye, es rectificadas y realimentada como un entrada virtual.

La característica corriente de entrada / corriente de salida se puede desplazar hacia la izquierda o derecha, por medio de arrollamientos de polarización que llevan una corriente continua fija. En esta operación "push-pull", la polarización será tal que corresponderá una corriente cero en el punto medio de la linealidad.

Estas discusiones son válidas para entradas de corriente alterna, siempre que la frecuencia de la señal sea baja en comparación con la de alimentación. Es conveniente emplear frecuencias de alimentación mucho mas de 50 c/s, hasta el límite de pérdidas del núcleo de aproximadamente 2 Kc/s. Si se utiliza la realimentación positiva, la

constante de tiempo empeorara, pero para eso se puede utilizar el amplificador autoexcitado.

3.9 AUTO EXCITACIÓN.

Los siguientes circuitos rectificadores (FIGURA 3-4), solo permiten que la corriente fluya en cada arrollamiento durante los semiciclos alternados de la tensión de alimentación, con lo cual se elimina la realimentación negativa del amplificador antes mencionado (excitación propia).

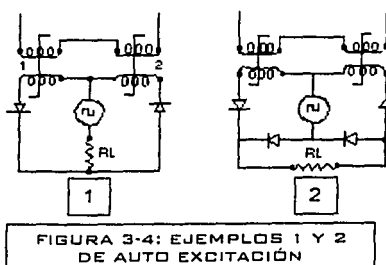


FIGURA 3-4: EJEMPLOS 1 Y 2 DE AUTO EXCITACIÓN

Este circuito puede tener una alta impedancia, ya que no es necesaria la condición de corto circuito en el núcleo no saturado. En el siguiente circuito de la FIGURA 3-5, da una salida unidireccional de la resistencia de carga.

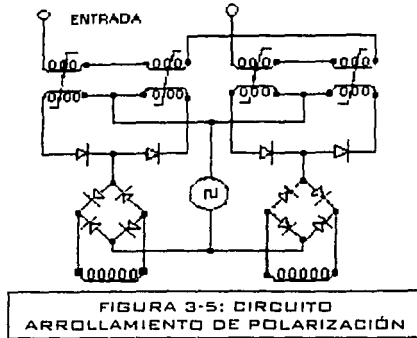
Con el semiciclo de conducción del núcleo 1, una señal de corriente cero en el núcleo debe haber saturación, cualquiera que sea su estado magnético inicialmente, ya sea en el primer o segundo semiciclo conductor. Una vez que el núcleo llega a saturarse, debe permanecer saturado, ya que esta desconectado de la alimentación por la acción del rectificador, en el siguiente semiciclo negativo.

La magnetización del núcleo, solo puede reducir si se aplica una tensión negativa, por eso, la tensión de alimentación aparece a través de la carga, potencia y corriente de salida, que alcanzan valores máximos.

Cuando se aplica tensión en el circuito de control, no ocurre ningún cambio en el estado de máxima salida. Con la polaridad opuesta en el semiciclo no conductor, se reduce el flujo en el núcleo, dependiendo del valor de corriente de control.

Para desplazar a la izquierda o derecha se puede utilizar arrollamientos de polarización, dando el efecto equivalente de realimentación positiva 100%. La cantidad

de realimentación en este tipo de amplificadores, se modifica por medio de resistencias en derivación con los rectificadores. El flujo en los semiciclos no conductores de los rectificadores cae, y a un valor inferior, el ángulo de encendido aumenta



El funcionamiento de estos circuitos esta muy influenciado por la naturaleza de la impedancia del circuito de carga. Se puede considerar un retraso de tiempo, que varía con la amplitud de la señal.

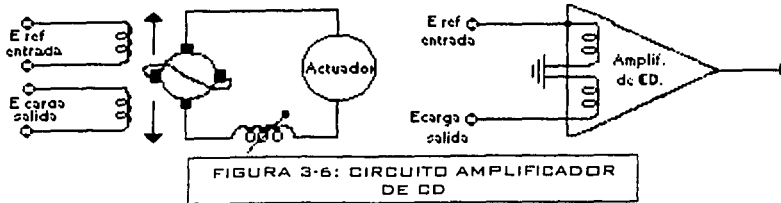
3.10 AMPLIFICADORES DE CD.

Si el actuador es un motor de CD para controlar el proceso es sencillo agregar un rectificador de semionda o de onda completa en el circuito de salida de un amplificador magnético, así, un amplificador magnético puede utilizarse como amplificador (modulador) de CD o CA, o amplificador con rectificadores en el circuito de salida, ver FIGURA 3-6.

Los amplificadores rotativos como amplidina, Ward-Leonard o regulex, son amplificadores de CD a CD, que se prestan a aplicaciones de alta y media potencia. Si se necesita una pequeña cantidad de energía, pueden emplearse amplificadores electrónicos diferenciales de CD transistorizados muy sensibles.

Esto que a veces se les nombra detectores de cero de CD, son electrómetros capaces de detectar diferencias que son relativamente pequeñas, entre la referencia de CD y los potenciales.

La naturaleza del proceso que se controla y los transductores que sensibilizan el proceso determinan mayormente, el tipo de amplificadores y actuadores que deben usarse.



3.11 AMPLIFICADOR OPERACIONAL.

Un circuito como estos como muchas otras teorías, tiene, características ideales, que prácticamente no aparecen en la realidad, pero así es como se hacen los cálculos que se basan en la forma ideal. Estas variaciones, también llamadas corrimientos, son las señales considerables en forma aplicada.

La función del amplificador, es tomar la información de voltaje en las terminales de entrada, y multiplicarlo por la ganancia de voltaje. Las características ideales son: ganancia infinita, resistencia de entrada infinita, resistencia de salida nula, voltajes y corrientes de compensación nulos, y ancho de banda infinito.

Un amplificador es un dispositivo semiconductor que se acopla directamente, teniendo una estructura interior de tres partes: entrada, intermedia o ganancia de voltaje, y salida con resistencia baja.

ESPECIFICACIONES Y PARÁMETROS.

Los parámetros mas importantes para un amplificador operacional se componen de tolerancias máximas, que son los valores que el amplificador soporta sin destruirse, y estos son: Los voltajes de alimentación, tanto positivo como negativo; Potencia interna de disipación P_d , que es la máxima disipable en ciertas condiciones de temperatura ambiente; Voltaje diferencial de entrada V_d , aplicable a través de las entradas; Voltaje de entrada, o el aplicable simultaneo entre las entradas y la tierra, o bien el voltaje de la fuente de alimentación; Temperatura de operación T_a , es la tolerancia de temperatura ambiente, y en los de tipo militares, esta es mayor que las comerciales e industriales; Temperatura de almacenamiento, que llega a limites extremos solo almacenado, como por ejemplo de -65°C a 150°C ; Duración de corto circuito a la salida, que significa el tiempo que resiste un corto al conectar la salida a tierra o a la fuente de alimentación, Y temperatura en terminales, que se refiere a la temperatura alcanzada en el proceso de la soldadura, que es aproximadamente de 300°C . durante 10 segundos generalmente.

Segundo, tenemos las características eléctricas que definen condiciones como voltaje de fuente, temperatura ambiente, resistencia de carga, voltaje de salida, resistencia de la etapa anterior, entre otros, y a menudo, los parámetros tienen un máximo y un mínimo característico.

Con respecto a los parámetros, vemos primero, los referidos a la entrada y que son: Voltaje de compensación (V_{io}), este es el voltaje que se aplica a una de las terminales para que la salida sea idealmente cero; La tolerancia de ajuste del voltaje de compensación, que es el voltaje límite necesario para subsanar el voltaje de compensación de entrada; Corriente de polarización de entrada (I_{ib}), que significa el promedio de corriente circulante entre las dos entradas; La corriente de compensación de entrada (I_o), es la diferencia entre las corrientes de polarización de entrada cuando el voltaje a la salida es cero; La tolerancia de voltaje de entrada (V_{mc}), o intervalo de voltaje de entrada con respecto a tierra; Resistencia de entrada (R_i o Z_i), que significa la resistencia desde cualquier terminal de entrada hacia adentro, con la otra terminal conectada a tierra; Y capacitancia de entrada, que es la misma, entre terminales de entrada en pF.

En segundo término los parámetros de salida, que son tres: La resistencia de salida R_o , vista desde la terminal de salida y tierra hacia adentro; La corriente de salida en corto circuito (I_{osc}), que significa la máxima corriente de salida entregada por el amplificador a una carga; Y la variación de voltaje de salida $\pm V_o$ máximo, que es el voltaje máximo de salida que pueda entregar a la carga sin distorsión o corte, dependiendo de la fuente y la resistencia de carga.

Tenemos ahora los parámetros dinámicos, que son los siguientes: Ganancia de voltaje en lazo abierto (A_o), y que es la razón de voltaje de salida al de entrada en lazo abierto, cuando no hay retroalimentación externa; Ganancia de voltaje para señales grandes, que se define como la razón de variación máxima de voltaje de salida cuando cambia el voltaje de entrada necesario para generar un voltaje en la salida que varíe de cero a un valor específico; Por último, la rapidez de respuesta de velocidad de cambio (S_r), y se dice que es la razón de cambio del voltaje máximo de salida con respecto al tiempo.

Algunos otros parámetros específicos son: Consumo de corriente, que es la que se toma de la fuente o polarizador; La razón de rechazo de modo común, que es la medida de capacidad para rechazar señales simultáneas en las dos entradas; Y la separación de canal, que se refiere a la interferencia o interacción de información o señal en otro amplificador dentro de la misma pastilla o chip.

CONFIGURACIONES BÁSICAS.

Por lo general todos los circuitos amplificadores operacionales son basados en configuración inversor y no inversor, (FIGURA 3-7 y 3-8 respectivamente), ya que uno solo de estos circuitos tiene como función entregar voltaje proporcional al producto de

ganancia de lazo abierto, con la diferencia de potencial de terminal no inversora a la inversora.

Cuando aplicamos retroalimentación negativa al amplificador ideal, el voltaje de entrada diferencial se aproxima a cero, y la corriente es cero en cualquiera de las terminales de entrada.

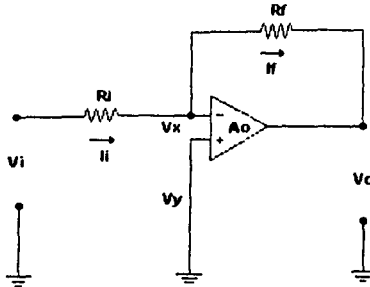


FIGURA 3-7: CONFIGURACIÓN BÁSICA DE AMPLIFICADOR INVERSOR

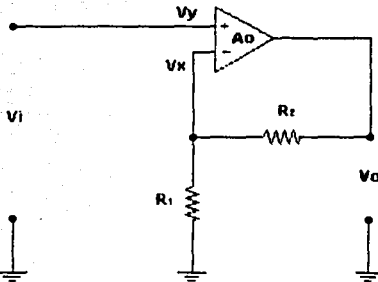


FIGURA 3-8: CONFIGURACIÓN BÁSICA DE AMPLIFICADOR NO INVERSOR

En el circuito sumador inversor, mostrado en la FIGURA 3-9, se llama así por la configuración modificada de un inversor, se pretende lograr una suma lineal con la finalidad de lograr una señal de salida proporcional a la suma de entradas con una inversión de fase adicional de 180 grados eléctricos.

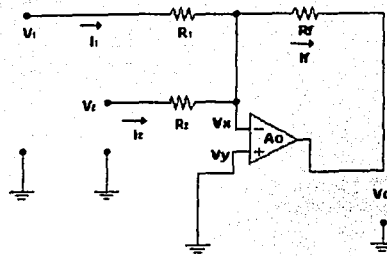


FIGURA 3-9: SUMADOR INVERSOR

Un tipo de circuito muy interesante y muy conocido como amplificador de CD, es el amplificador de instrumentación, llamado de varias maneras, es uno de los más útiles, precisos y versátiles por sus características similares a las antes mencionadas como comportamiento ideal, (FIGURA 3-10).

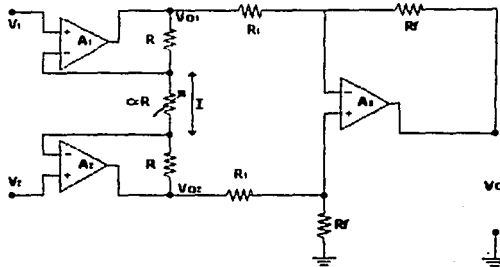


FIGURA 3-10: AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN

RETROALIMENTACIÓN.

Un sistema cualquiera de control que necesite que se le vigile la salida para encontrar estabilidad, debe ser retroalimentado, y esto significa que se regresa parte de la información para compararla con la entrada y corregirla, a esto se le conoce como

señal de error, corrigiendo así, cualquier desviación de la variable de salida mejorando en conjunto el sistema.

Los dos tipos de retroalimentación existentes son la positiva que incrementa la variable de salida por efecto de la fase que es igual, y acelera el tiempo de respuesta. y la otra realimentación es la negativa que tiene fase opuesta a la señal de entrada con lo que se consigue estabilidad de la función de transferencia, mejora las impedancias de entrada y salida, reduce la distorsión no lineal, disminuye el voltaje de compensación a la salida, se reduce el ruido y aumenta el ancho de banda. por mencionar varias buenas características. El propósito fundamental de la retroalimentación negativa es lograr que la entrada tenga mas influencia y controle con mayor precisión las variables de salida, esto es voltaje o corriente, sin que dependa de parámetros entre dispositivos u otros elementos del sistema.

Cuando se usan amplificadores operacionales en el bloque retroalimentado, no es necesario utilizar un circuito adicional como comparador.

Existen cuatro tipos o configuraciones de realimentación negativa que se muestran y resumen en la siguiente FIGURA 3-11 y la TABLA 3-1.

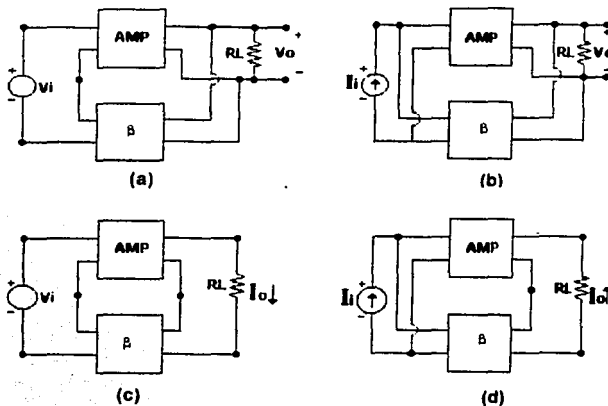


FIGURA 3-11: CONFIGURACIONES DE RETROALIMENTACIÓN
A) S-P, B) P-P, C) S-S, D) P-S

TABLA 3-1: LOS CUATRO TIPOS DE REALIMENTACIÓN NEGATIVA

	S-P	P-P	S-S	P-S
Conexión de entrada	serie	paralelo	serie	paralelo
Señal de entrada	V_i	I_i	V_i	I_i
Conexión de salida	Paralelo	Paralelo	Serie	Serie
Señal de salida	V_o	V_o	I_o	I_o
Razón de estabilización	V_o / V_i	V_o / V_i	I_o / V_i	I_o / I_i

3.12 CIRCUITO SCR TROCEADOR.

El principal componente del circuito electrónico de potencia es el tiristor, que consta de un semiconductor de conmutación rápida, y su función es la de modular potencia en los sistemas de corriente alterna y continua.

El grupo de tiristores se constituye de dispositivos de silicio de cuatro capas consistentes de cierto número de diodos, triodos y tetodos.

La tensión en bornes es el parámetro más comúnmente ajustable en un motor eléctrico, donde la característica más importante pudiera ser la velocidad. Previo a la llegada del tiristor, el método más común para ajustar la velocidad era adicionar resistencias en la línea o utilizar grupos de motor-generador.

El funcionamiento en general del tiristor, es que conmuta a los estados de conducción y corte rápidamente, para "trocear" o interrumpir intermitentemente la tensión, con lo que una serie de impulsos a la salida, provee una tensión media menor a la entrada, y los tiempos en que el tiristor conduce o está bloqueado, es constante y pueden ser incrementados en sentido positivo o negativo.

Precisamente ahí donde las pilas de combustible o baterías proporcionan el suministro, se utilizan también, circuitos troceadores. La conmutación de alta velocidad se traduce en rápidas conexiones-desconexiones, por lo que se requiere de tiristores especiales, y para lograr el estado de corte con alimentación continua entre sus electrodos, es necesario incorporar circuitos auxiliares (como elementos de disparo), y estos pueden ser incluso, un tema de tesis. En resumen, el control por troceador es un tanto más complicado, sin embargo se utiliza

3.13 FUNCIONES DE TRANSFERENCIA DE LOS SERVOMECANISMOS.

Dichas funciones de transferencia y diagramas de bloque, se han utilizado para determinar la conducta del servo la función por un lado, permite encontrar las propiedades útiles del sistema como el error permanente, y se le conoce como el método algebraico. Las funciones de transferencia que se usan en un servo sistema es:

1. Función de transferencia lazo abierto θ_o/θ que se denomina $KG(\rho)$, donde k es un factor independiente, $G(\rho)$ es función de ρ , y esta es el operador funcional de Laplace, esto es lo siguiente:

$$\frac{\theta_o}{\theta} = \frac{JWn^2(1 + \rho T)}{F\rho(1 + \rho \frac{J}{F})} = KG(\rho)$$

$$K \text{ es: } K = \frac{JWn^2}{F} \text{ y } G(\rho) = \frac{1 + \rho T}{\rho(1 + \rho \frac{J}{F})}$$

2. La función de transferencia del error θ/θ_o , y se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{\theta}{\theta_o} = \frac{1}{1 + \frac{\theta}{\theta_o}} = \frac{1}{1 + KG(\rho)}$$

3. La función de transferencia en lazo abierto, función del servo o función total θ_o/θ , que se expresa como sigue:

$$\frac{\theta_o}{\theta} = \frac{\theta_o}{1 + \frac{\theta}{\theta_o}} = \frac{KG(\rho)}{1 + KG(\rho)}$$

La solución para θ_o y θ se obtienen a partir de las dos últimas funciones, respectivamente.

las funciones de transferencia en lazo abierto, consiste en el cociente de dos polinomios en ρ , siempre que se den los retrasos de tiempo de tipo exponencial solamente. Así $KG(\rho)$ puede generalizarse como sigue:

$$KG(\rho) = \frac{KnQ(\rho)}{\rho^n R(\rho)}$$

Donde Kn es la constante numérica, no siempre adimensional, n es un entero positivo y $Q(\rho)$ y $R(\rho)$ son polinomios de ρ , que tienen términos independientes iguales a la unidad, por ello pueden expresarse así:

$$1 + a_1\rho + a_2\rho^2 + a_3\rho^3 + \dots$$

Como "a", es el coeficiente, por lo que en forma general se pueden expresar los valores de la siguiente manera:

$$n=1; K1 = \frac{JWn^2}{F}; Q(\rho) = 1 + \rho T; R(\rho) = 1 - \rho \frac{J}{F}$$

pero debe saberse que cuando $p \rightarrow 0$, Q y $R \rightarrow 1$

3.14 ORDEN DEL SERVO, CONSTANTES DE ERROR Y GANANCIA.

Como la forma generalizada anterior de $KG(\rho)$, la función de error es de la siguiente forma:

$$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{1}{1 + KG(\rho)} = \frac{1}{1 + \frac{Kn Q(\rho)}{\rho^n R(\rho)}} = \frac{\rho^n R(\rho)}{\rho^n R(\rho) + Kn Q(\rho)}$$

Y para la entrada unidad de orden r^2 , tenemos:

$$\theta_i = \frac{1}{\rho^r}$$

Y entonces la transformada error es:

$$\theta = \frac{\rho^n R(\rho)}{\rho^n R(\rho) + Kn Q(\rho)} \cdot \frac{1}{\rho^r}$$

Con la aplicación del teorema de valor final tenemos lo siguiente, donde el valor límite depende de r y n :

$$\theta_{ss} = \begin{cases} \frac{1}{1 + K_v} & \text{para } n=0 \\ r > n+1 & \theta_{ss} = \infty \end{cases}$$

Las constantes K se consideran como las constantes de ganancia en lazo abierto que determinan la magnitud de los errores permanentes, dichas constantes pueden definirse como sigue:

$\frac{1}{1 + K_v}$ Es la constante de error de desplazamiento de un sistema orden cero

$\frac{1}{K_1}$ La constante de error de velocidad de un servo primer orden.

$\frac{1}{K_2}$ La constante de error de aceleración de un servo de segundo orden.

Las constantes de error y ganancia son recíprocas entre sí, excepto para la constante de orden cero, que no se considera como servo.

CAPITULO 4

4. DISPOSITIVOS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA.

4.1 CONSTITUCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE.

Así como en los acumuladores de plomo y pilas de cinc-carbón conocidos desde hace mas de un siglo, en las pilas de combustible tienen lugar fenómenos de transporte de partículas cargadas.

El principio de estas se descubrió en 1839 por Sir William Grove y se desarrollo en 1894 por Wilhelm Ostwald, pero hasta estas ultimas décadas se han vuelto tema de interés nuevamente. Los satélites y naves espaciales utilizan este tipo de pilas para abastecerse de energía eléctrica. Las pilas ya han probado ser exitosas en el proyecto géminis y el programa Apolo en vuelos a la luna.

4.2 TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA.

Cuando un combustible se quema en aire se sucede una afinidad química o bien, la tendencia a reaccionar con el oxígeno. En una combustión normal, la energía que resulta de la oxidación de combustible se libera como calor, proceso que también se emplea para generar energía eléctrica en centrales de vapor o central térmica, donde a través del vapor se obtiene energía mecánica, que luego se transforma en energía eléctrica. Pero también es posible obtener energía eléctrica de un proceso directo de liberación o transformación de energía; El dispositivo que puede llevar a cabo esta forma de transformación es la pila de combustible.

Se entiende por pila de combustible a un dispositivo electroquímico que transforma directamente la energía química que resulta de una reacción de oxidación de un combustible en energía eléctrica, sin tener que convertirla en energía térmica. En dichas pilas, los reactivos de combustible y agente oxidante se guían hacia los electrodos de forma continua.

4.3 ELEMENTOS PRIMARIOS, SECUNDARIOS, Y PILAS DE COMBUSTIBLE.

Los elementos primarios galvánicos o pilas, así como los secundarios o acumuladores se diferencian en los reactivos que vienen definidos en los electrodos elegidos por lo que la potencia y cantidad, está limitada. En un acumulador, (FIGURA 4-1), el producto que se genera durante la descarga, puede convertirse en la sustancia inicial por medio de una electrólisis, pero en las pilas primarias (FIGURA 4-2), ya que parte de los procesos químicos no son reversibles, no es posible cargar y descargar repetidamente.

Una pila de combustible puede dar el suministro de energía mientras sea alimentada con el oxidante y combustible, y aunque la tensión de salida de la pila es pequeña, la intensidad de corriente y rendimiento son por demás favorables

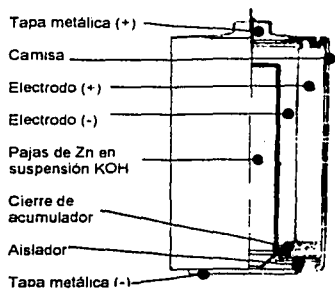


FIGURA 4-1: PILA ALCALINA DE DIÓXIDO DE MANGANESO

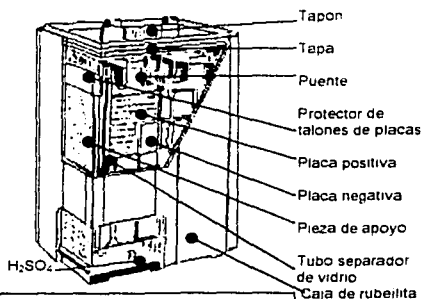
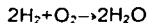


FIGURA 4-2: ACUMULADOR PLOMO-ÁCIDO

4.4 REACCIÓN DE LA PILA DE COMBUSTIBLE.

Físicamente una pila se compone de dos electrodos separados por un electrolito. El hidrógeno, que sirve como un combustible se conduce en forma continua por el ánodo, y las bases, ácidos y sales se emplean como conductores iónicos o electrolito.

Si por ejemplo tenemos una célula de hidrógeno-oxígeno con electrolito alcalino, la reacción de oxidación del hidrógeno es:



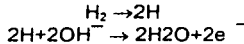
De forma simple y conocida

Esta forma o arreglo de pila de combustible se conoce como pila de gas detonante, ya que toda esta reacción puede detonar si se calentara o se pusiera en contacto con una chispa, mezclando ambos reactivos, y en tal caso, esta reacción se dispararía como calor, pero en una pila de combustible se regula esta reacción para que se lleve a cabo lentamente y controlada sin que se ceda calor prácticamente, ya que la reacción exotérmica es reversible en una pila de este tipo.

4.5 REACCIONES DE CÁTODO Y ÁNODO.

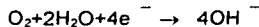
Las reacciones antes descritas se subdivide realmente en dos reacciones parciales; tomando como ejemplo una pila H_2-O_2 mostrada en la FIGURA 4-3.

Primero, el material activo catalíticamente, o uno de los electrodos (ánodo), se oxida cediendo electrones que circulan hacia el ánodo por el circuito externo:



Correspondiente a la reacción anódica.

Segundo, el cátodo, puesto a cierta distancia reduce el oxígeno con el agregado de los electrones cedidos por el ánodo:



Correspondiente a la reacción catódica.

El electrolito para este caso es una solución concentrada de potasa cáustica (KOH), transporta las cargas o iones hidroxilo negativos formados en el electrodo oxígeno hacia el ánodo, esta vez por el interior de la pila. Al conectar ánodo y cátodo a través de una resistencia externa la pila suministra energía eléctrica (U·I·t).

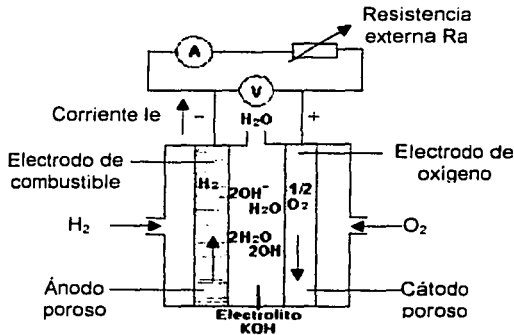


FIGURA 4-3: EJEMPLO DE REACCIONES EN CÁTODO Y ÁNODO

4.6 ELECTRODOS POROSOS.

Los electrodos que se emplean en las pilas de combustible hidrógeno-oxígeno, son del tipo difusión gaseosa de tal forma que se tiene una interacción y contacto de la terna de elementos.

En una parte de cada poro se logra un equilibrio entre fuerza capilar y la presión del gas, donde se genera la reacción que genera corriente y tensión.

Un poro muy estrecho, se llena de electrolito por el efecto capilar y no se produce ninguna reacción, y por el contrario, un poro demasiado ancho permitiría que el gas circulara libremente sin reaccionar.

Para conseguir que el gas se transforme completamente, o lo mas posible, se construyen los electrodos porosos con una estructura de doble capa: capa cubierta con poros finos dispuesta por el lado del electrolito, y la capa activa con poros gruesos que queda en el lado del gas.

4.7 TENSIÓN DE SALIDA.

Dicha tensión de salida en una pila de combustible depende de la tendencia o afinidad de ambos reactivos para reaccionar entre sí. A temperatura constante y condiciones reversibles a presión constante la oxidación de hidrógeno se desarrolla aprovechando al máximo la entalpía libre de reacción ΔG , o bien, el trabajo de reacción correspondiente al proceso generador de energía eléctrica.

$$A = -\Delta G$$

Esta magnitud se relaciona termodinámicamente con la entalpía de reacción ΔH y la entalpía ΔS :

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta H - T \cdot \Delta S \\ \Delta G &= -n \cdot F \cdot E\end{aligned}$$

Donde : n es número de equivalentes químicos.

F constante de Faraday (96487 A s mol⁻¹)

E fuerza electromotriz.

T temperatura absoluta en Kelvin.

El signo menos es por conveniencia. Se evalúa el intercambio de energía, donde, ΔG es negativo si la reacción conduce a un estado final de menor energía.

En esta ecuación E representa fuerza electromotriz y $-T \cdot \Delta S$ la ganancia o pérdida de energía que resulta al calentar o enfriar la pila.

Como $E = -U$, coincide, salvo el signo, con la tensión de salida de la pila sin carga, la tensión U teórica correspondiente a la oxidación de hidrógeno en un proceso reversible e isotérmico, es calculado de acuerdo con la expresión:

$$U = \frac{\Delta G}{n \cdot f} = \frac{237400 \text{ Jmol}^{-1}}{2.96487 \text{ Jmol}^{-1} \text{V}^{-1}} = 1.229 \text{ V}$$

En caso de que se forme agua en estado líquido como producto final, la tensión de salida es aproximadamente de 1 Volt.

4.8 RENDIMIENTO TERMODINÁMICO EN LA PILA DE COMBUSTIBLE.

El rendimiento termodinámico que puede alcanzar una pila, en condiciones favorables es mayor:

$$\eta_{\text{term}} = \frac{\Delta G}{\Delta H} = \frac{n \cdot F \cdot E}{\Delta H}$$

Si el resultado de la reacción hidrógeno- oxígeno, resulta agua líquida, el rendimiento llega a ser hasta del 83%.

Si el producto de reacción es agua en estado gaseoso, el rendimiento alcanza el 94.5%.

Cuando el carbono se oxida para dar monóxido de carbono (CO), el rendimiento puede ser incluso de 124%. la energía adicional se toma del ambiente como calor y se cede como electricidad

4.9 TOMA O CESIÓN DE CALOR.

ΔG y ΔH son negativas cuando en las reacciones se genera energía y el rendimiento termodinámico se influncia por ΔS de la siguiente manera.

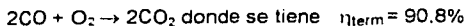
Primero cuando $\Delta S > 0$ aumenta la entropía y el rendimiento térmico es mayor a 1. En este caso la pila produce mas energía eléctrica que la equivalente a la energía térmica resultado de la reacción. En la pila que opera isotérmicamente, la energía adicional $T \cdot \Delta S$ se toma del ambiente como calor en la reacción:



Segundo, si $\Delta S = 0$ el rendimiento es 100% y en esta reacción no se toma ni cede calor, por lo que la tensión de salida no varía con la temperatura:



Tercero, si $\Delta S < 0$ la eficiencia térmica es menor a 1. Entonces la pila genera además de energía eléctrica, una cantidad de calor $-T \cdot \Delta S$. Durante la reacción debe extraerse el calor producido en la pila. En el caso contrario, aumentaría la temperatura en ella y caería la tensión de salida, por ejemplo:



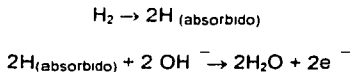
4.10 VELOCIDAD DE REACCIÓN Y TEMPERATURA.

El rendimiento de una pila es mayor o menor al 100%, dependiendo de si la tensión U aumenta o disminuye con la temperatura. ΔG puede determinarse a partir de datos calorímetros para una cierta temperatura. Aún en condiciones de reacciones isotérmicas y reversibles no se puede convertir la totalidad de energía en energía eléctrica, ya que siempre existe una pequeña pérdida de calor. Es por esto que es conveniente que las pilas de hidrógeno-oxígeno, operen a una temperatura reducida para obtener de ella, una tensión elevada y alto rendimiento.

Para lograr densidades de corriente favorables hay que operar con pilas de combustible a una temperatura elevada, ya que la velocidad de reacción aumenta con la temperatura. Además, el agua obtenida de la reacción de pilas de combustible H_2-O_2 puede evacuarse con mayor facilidad a temperaturas elevadas por evaporación.

4.11 ELECTRODO DE HIDRÓGENO.

La tensión de salida de las pilas que se calcula con ΔG , repetidamente no coinciden con los valores experimentales, y la razón está en el desarrollo de las reacciones que son incompletas al no poder tenerlas en cuenta al cálculo de esta tensión. En el electrodo hidrógeno se puede establecer fácilmente el potencial reversible de dicho elemento. Es esencial que el material del electrodo sea capaz de disociar la molécula de hidrógeno, es decir, que la divida en dos átomos H, para lo cual se emplean catalizadores. Esas reacciones se llevan a cabo en los puntos activos catalíticamente del electrodo y podemos representarlo así:



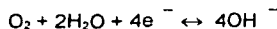
Con los electrolitos alcalinos, se han catalogado como catalizadores, los metales nobles finamente divididos, como el negro de platino y catalizadores de Raney que corresponden al grupo hierro y platino.

Con los electrolitos ácidos, se utilizan, además de los metales nobles tal como carburo de wolframio, al fosforo de cobalto (CoP_3) o al bisulfuro de molibdeno.

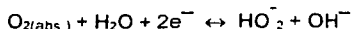
4.12 ELECTRODO DE OXÍGENO.

El potencial de este, se establece mas lentamente y resulta más difícil reproducirlo, y generalmente es de 100 a 150 mV menor al potencial teórico de oxígeno.

Podemos suponer la siguiente reacción para un electrolito alcalino:

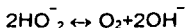


Aunque en realidad es mas complicada, se ha podido determinar que esto se debe a que en el electrodo oxígeno se forman iones de peróxido de hidrógeno que afectan de manera considerable el potencial. Por eso, se cumple que:



Al disminuir el peróxido concentrado se cumple que los electrodos funcionan correctamente. La disociación del peróxido se cataliza por acción de plata, platino y por espinelas, o compuestos $\text{Co Al}_2 \text{O}_4$ ó Fe Mn Ag incorporados en carbones de alta actividad.

De esta manera, la reacción queda sustituida por la disociación catalítica en el mecanismo de reacción. Entonces los iones HO_2^- que se forman se disocian dando oxígeno e iones OH^- esto es:



4.13 RENDIMIENTO DE TENSIÓN.

Como ya se ha dicho, el electrodo oxígeno no funciona como reversible en su totalidad, es por esto que la pila de combustible hidrógeno-oxígeno, suministra una tensión en vacío o reposo, V_0 , diferente a la tensión U_t que se calcula termodinámicamente.

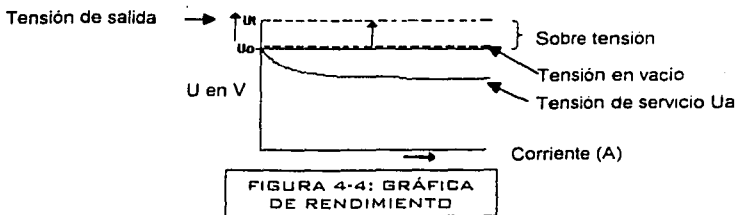
Esta diferencia o divergencia se llama sobre tensión o polarización.

El rendimiento electroquímico o de tensión η_u se deriva de la tensión de servicio V_a que depende de la carga de la pila y de la tensión teórica U_t o bien, ΔG . Como ejemplo, para una pila de combustible hidrógeno-oxígeno, tenemos:

$$V_a = 1.15\text{V} ; U_t = 1.23\text{V}$$

$$\eta_u = \frac{U_a \cdot n \cdot F}{\Delta G} = \frac{U_a}{U_t} = \frac{1.151}{1.231} = 93.5\%$$

Uno de los principales retos, cuando se diseña una pila de combustible, es reducir al mínimo la sobre tensión, (FIGURA 4-4), que puede lograrse en parte, utilizando catalizadores adecuados.



4.14 MEDICIÓN DE SOBRE TENSION.

Podemos medir la sobre tensión de un electrodo colocando una semipila y otros aditamentos, donde, al circular corriente entre electrodo y contra electrodo, se observa el potencial utilizando un electrodo de referencia. Para eliminar al máximo la caída de tensión del electrolito se usa un capilar de Haber-Luggin, en donde se introduce el electrodo referencia.

Ya que se trata de un electrodo de referencia, puede emplearse para medir los potenciales de la serie electromotriz, un electrodo normalizado de hidrógeno, o uno de segunda clase (calomelano)⁴. La sobre tensión es función de la densidad de corriente.

4.15 ELECTROLITOS Y CATALIZADORES.

Si deseamos reducir al máximo la resistencia interna de dicha pila, se debe utilizar un electrolito con conductividad específica elevada. El espeso de la capa de electrolito debe ser lo menor posible. Bases, ácidos y las sales fundidas, son buenos como conductivos, ya que permiten el uso de electrodos de metales relativamente nobles, debido a que la corrosión es mínima.

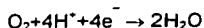
La dificultad radica en el uso de electrolitos ácidos pues excepto los metales nobles de alto precio, hay muy pocas sustancias para emplearse como catalizadores.

Últimamente se ensaya con carburo de wolframio, fosfuro de cobalto (CoP_3) y bisulfuro de molibdeno, como catalizadores para oxidar el combustible. Para reducir el oxígeno se emplea ftalocianinas⁵ polimerizadas sobre estructuras de carbón y

⁴ Cloruro de Mercurio

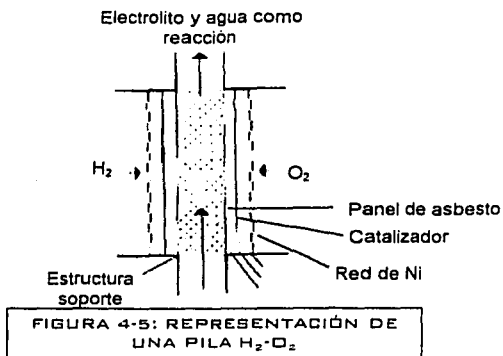
⁵ Colorantes azul o verdes

carbones activados. En medio ácido, la reducción del oxígeno se lleva a cabo incorporando cuatro electrones de la siguiente forma:



4.16 ALGUNOS ELECTRODOS EMPLEADOS.

Las pilas de combustible hidrógeno-oxígeno (FIGURA 4-5), son las que han alcanzado mas desarrollo tan solo porque el hidrógeno y el oxígeno son los más estudiados a detalle en este tipo de arreglos.



Las ventajas de este arreglo se deriva en la reactividad tan elevada, y que da como resultado agua, que se evacua fácilmente. Aunque esta el inconveniente de que el hidrógeno es un combustible caro que solo puede almacenarse difícilmente.

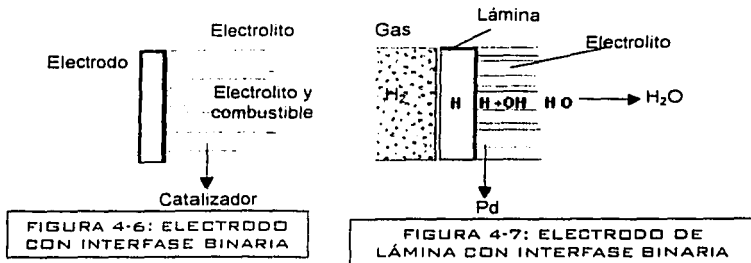
En la Republica Federal Alemana se desarrollo un tipo de electrodos para electrolitos alcalinos conocidos como electrodos con catalizador de doble esqueleto, y está formado por níquel de Raney ó plata de Raney con níquel-carbonilo. Disolviendo el aluminio de la aleación, se obtiene un electrodo con una estructura de níquel o plata muy desordenada, con una actividad formidable.

Se desarrollaron electrodos no aglomerados o electrodos soportados, con una gran superficie formada por catalizadores de Raney no sinterizados de alta actividad y capa porosa de asbesto impregnada de electrolito. Dichos electrodos pueden ser muy delgados y trabajar con presiones de gas relativamente pequeñas.

4.17 INTERFASE BINARIA.

En los electrodos con interfase binaria (FIGURA 4-6), puede reaccionar combustible o agentes oxidantes líquidos disueltos directamente en el electrolito. La reacción se produce en la interfase formada con material catalizador del electrodo y electrolito que incluye disolución de combustible o agente oxidante.

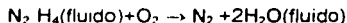
Existen otros electrodos de interfase binaria, como los metálicos no porosos de lámina Pd o Pd-Ag⁶, mostrado en la FIGURA 4-7. El hidrógeno solo llega al electrolito por difusión a nivel atómico a través de la estructura del metal, y reacciona después de ionizarse con iones OH⁻. Ya que no es necesario establecer una interfase ternaria, es posible elegir libremente la presión y composición de los gases.



4.18 PILA DE COMBUSTIBLE HIDRACINA-OXÍGENO.

Este sistema consta de un electrodo de red de níquel platinado como ánodo, dispuesto en el lado del combustible con interfase binaria, y un electrodo poroso de carbón con algo de plata como cátodo, con interfase ternaria.

El combustible hidracina, se mezcla con el electrolito y circula por el interior de la pila. El oxígeno se lleva al cátodo con una presión de 14 N/cm². La oxidación de hidracina con el oxígeno se realiza de acuerdo con la siguiente reacción:



En teoría, se puede obtener, de esta pila una tensión de salida $U=1.16\text{V}$, aunque en la realidad no es así, ya que la hidracina trabaja esencialmente como el hidrógeno.

⁶ Paladio-Plata

4.19 PILA DE COMBUSTIBLE EN LA NAVEGACIÓN ESPACIAL.

Para el proyecto Géminis, se desarrolló una batería H_2-O_2 de 1 KW con membranas intercambiadoras de iones. El electrolito fue una membrana intercambiadora de cationes formada por un macro polímero sulfonado. Los electrodos constaban de redes finas de alambre con catalizadores incorporados de metal noble que presionaba por ambos lados contra la membrana. La corriente se transportaba en la membrana por iones H^+ . El agua, era parcialmente absorbida por la membrana y evacuada del cátodo a través de un sistema de drenaje por mecha, que se utilizaba como agua potable para los astronautas.

Hablando de pilas de media temperatura, Bacon impulsó el desarrollo de electrodos y baterías. Él desarrolló una pila con electrodos de doble capa sinterizados de níquel carbonilo (FIGURA 4-B), en donde los ánodos de hidrógeno de estas pilas se impregnaban de sales de níquel y se reducían bajo una corriente de hidrógeno, hasta que alcanzaron la actividad catalítica buscada.

Los cátodos de oxígeno se dopaban con litio y se preoxidaron, y como resultado de ello se obtenía un óxido de níquel semiconductor caracterizado por una actividad elevada de catalizador y buena resistencia a la corrosión.

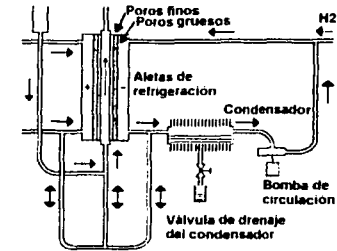


FIGURA 4-B: PILA DE BACON

4.20 PILA DE ALTA TEMPERATURA.

La conversión directa de hidrocarburos en energía eléctrica en estaciones de gran potencia, ofrecen buenas ventajas. Las altas temperaturas permiten que las reacciones en electrodos, inhibidas cinéticamente por las reducidas temperaturas, se lleva a cabo a mayor velocidad, además se disminuye de manera considerable la propensión del envenenamiento de los catalizadores. A las temperaturas de entre 550 y 750 °C se trabaja con electrolitos formados por carbonatos fundidos.

Como se muestra en la FIGURA 4-9, a temperaturas de entre 800 y 1000 °C se utilizan electrolitos sólidos de dióxido de circonio-óxido de calcio, porque presentan una buena conductividad iónica a altas temperaturas.

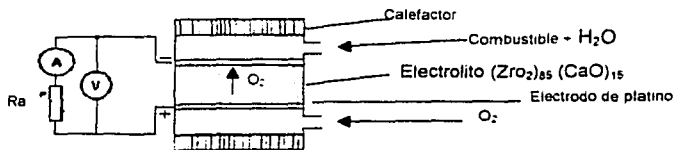


FIGURA 4-9: ESQUEMA DE UNA PILA DE ALTA TEMPERATURA

4.21 OBTENCIÓN DE TENSIÓN ELEVADA.

Desarrollar un buen electrodo es solo un paso para la conformación de una pila independiente. Los problemas se presentan cuando se pasa de la pila a la batería con la gestión del agua, control de temperatura y evacuación de gases inertes, en los electrodos porosos no se transforman gases como el nitrógeno o gases nobles, por lo que deben eliminarse periódicamente.

Un inconveniente de las pilas de combustión es que solo puede suministrar una tensión aproximada de 1V y una corriente que depende del tamaño de los electrodos, y de la calidad de los catalizadores.

Aunque ya se alcanzan los 250 y hasta 400 mA/cm² con electrodos no aglomerados, obtenidos por sedimentación.

Para obtener una tensión elevada deben conectarse las pilas en serie, y para conseguir una intensidad mayor de corriente, se conectan en paralelo. Representado en las siguientes FIGURAS 4-10 y 4-11.

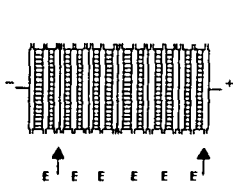


FIGURA 4-10: CONEXIÓN EN SERIE

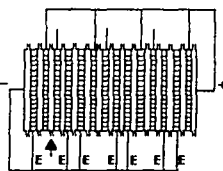


FIGURA 4-11: CONEXIÓN EN PARALELO

4.22 UNIDADES GRANDES.

En la industria, se consideran las aplicaciones de suministro de energía eléctrica de emergencia, redes de abastecimiento, sistemas de abastecimiento de energía para aplicaciones e instalaciones de telecomunicación o de medida.

Ya se han concebido unidades compactas con una relación de peso / potencia de 10 Kg/Kw y una favorable relación volumen potencia.

4.23 VENTAJAS E INCONVENIENTES.

Respecto a otras fuentes de energía tenemos las siguientes ventajas e inconvenientes.

VENTAJAS:

- *Rendimiento elevado \approx 50%.
- *Alta densidad de potencia en cuanto a peso y volumen.
- *Comportamiento favorable a carga parcial.
- *Sobrecargables por breve tiempo.
- *Ausencia de piezas móviles.
- *Costos de mantenimiento reducido.
- *Larga vida útil.
- *Manejo sencillo.
- *Automatización total.
- *No contaminante.
- *Funcionamiento silencioso.

LOS INCONVENIENTES:

- *La tensión de salida por unidad.
- *Elevadas inversiones.
- *Acondicionamiento de combustible.

Como se ha leído, según algunas pruebas, las ventajas son predominantes y prometedoras en comparación con las desventajas que aunque todavía son modificables por las posibilidades de las nuevas investigaciones, son muy importantes como para pasarlas por alto, ya que las inversiones, por un lado, son determinantes cuando se realiza un proyecto, y el acondicionamiento del combustible puede resultar complicado y hasta físicamente peligroso, y son ya dos desventajas de la tres mencionadas.

Si no comparamos la pila de combustible con otras fuentes de energía, no sabríamos que ventajas resultan, pero la pila por si misma, puede alcanzar eficiencias de mas del 100%, como se explica brevemente en el texto sobre el tema. Esto es una clase de aclaratoria, por aquello de 50% aproximado de rendimiento, que considera no solo al funcionamiento o entrega de energía, sino el total de proceso, mantenimiento, inversión, etc., para dar dicho porcentaje.

4.24 ESQUEMAS ILUSTRATIVOS

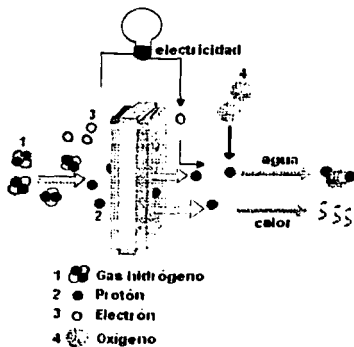
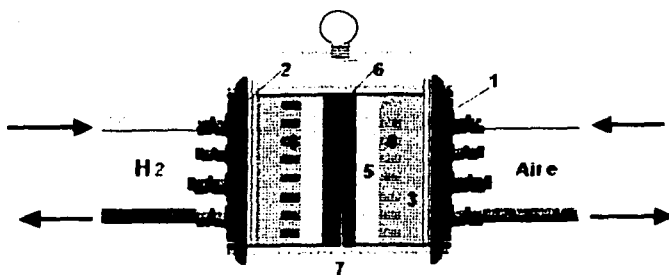


FIGURA 4-12: REPRESENTACIÓN SIMPLE DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA PILA DE COMBUSTIBLE



- 1 ● Plato final
 2 ○ Colector de electricidad
 3 ○ Plato bipolar
 4 ■ Campos de flujo
 5 ■ Capa de difusión de Gas
 6 ● Catalizador
 7 ● Membrana
- Carga

FIGURA 4-13: ARREGLO SIMPLE DE UNA PILA DE COMBUSTIBLE

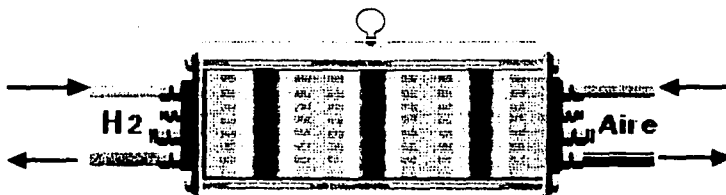


FIGURA 4-14: ARREGLO MÚLTIPLE DE UNA PILA DE COMBUSTIBLE

El arreglo de varias celdas conforman una pila de combustible o celdas de hidrógeno como se les llama actualmente, y son capaces de producir kilo watts de potencia.

4.25 NUEVAS INVESTIGACIONES SOBRE PILAS DE COMBUSTIBLE.

Estas son solo algunas de las diversas investigaciones que se realizan actualmente, acerca de pilas de combustible ó celdas de hidrógeno.

4.26 DOSSIER.

Pilas de Combustible, motores del futuro

El INTA investiga la utilización del hidrógeno como energía del siglo XXI

El Área de Sistemas Energéticos del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), viene realizando desde hace varios años una intensa actividad de investigación y desarrollo en sectores de vanguardia relacionados con la tecnología del hidrógeno. El objetivo es lograr su producción, almacenamiento y utilización para generar electricidad por medio de **Pilas de Combustible**. Esta Área de investigación del INTA, concentra la mayor parte de sus equipos humanos y técnicos en las instalaciones de energías alternativas que el Instituto posee en el Centro de El Arenosillo, en la provincia de Huelva. Las pilas como sistemas de generación de energía no contaminante, entran de lleno en el programa de trabajo de este importante grupo de investigadores. Pretenden, mediante una reacción electroquímica, lograr la producción de electricidad en un sólo paso, sin partes móviles, de forma silenciosa, fácilmente transportable y con un tamaño ajustable a cualquier necesidad. "Las pilas se alimentan con hidrógeno, y a diferencia de las baterías, no hay que recargarlas", señala Antonio González García-Conde, responsable de este Área energética del INTA. "Constituyen un generador continuo, siempre que se les inyecte hidrógeno y oxígeno", añade. "Permite trasvasar directamente la energía química que hay almacenada en el combustible (hidrógeno), a electricidad en un sólo paso. En los motores convencionales, para llegar a producir electricidad es necesario quemar previamente el combustible -energía térmica-, transformarlo en energía mecánica y finalmente, obtener electricidad mediante un generador. La eficiencia de todo este proceso de transformaciones está limitada por el rendimiento del "famoso" ciclo de Carnot. La utilización de las pilas de combustible no tienen este límite y, por tanto, permiten obtener una mayor eficacia en el uso del combustible, siendo menos contaminantes".

DOS PROYECTOS COMPLEMENTARIOS.

Las investigaciones que lleva a cabo el INTA en este campo se concentran en dos proyectos complementarios y, sin embargo, de gran futuro en sus aplicaciones cotidianas: HISPANIA y SIEMPRE.

El Proyecto **HISPANIA** (Hidrógeno Solar para Automóviles de Nulo Impacto Ambiental), es el más importante que se realiza en el Instituto en este ámbito. Se trata de integrar una pila de combustible comercial en un vehículo, sustituyendo el motor convencional y convirtiendo la tracción del vehículo en eléctrica. "Introduciríamos las pilas de combustible, dice García Conde, en un coche todo terreno, tipo VITARA,

cambiando el motor de combustión interna por una pila. Además, habría que cambiar el tanque de gasoil por tanque de hidrógeno". En este proyecto, que tendrá su campo de experimentación en el Parque Natural de Doñana, participarán con el INTA diversas empresas e instituciones andaluzas como Santana, la Universidad de Sevilla, el Politécnico de Linares, Air Liquid, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, CIEMAT e Isofotón.

Estas investigaciones contemplan además de la utilización de la pila de combustible, la obtención de hidrógeno totalmente limpio mediante energía solar fotovoltaica y electrolisis. En este sentido está prevista también la construcción de una planta de producción para el llenado de tanques de vehículos. El proyecto HISPANIA se desarrolla con fondos FEDER

El Proyecto **SIEMPRE** (Sistema Integrado Electroquímico Móvil para la Producción de Electricidad), constituye la otra gran apuesta energética de este Área del INTA. Las investigaciones se encaminan al desarrollo de una pila de combustible totalmente española aunque, en este caso, el combustible a utilizar en el vehículo sería metanol. Los primeros estudios se centrarán en la construcción de una pila de 1 Kw., para aumentar sensiblemente su capacidad en etapas posteriores, teniendo en cuenta que las necesidades de un vehículo de tipo medio rondan los 15 Kw. En este programa colaboran otras empresas y centros de investigación, con apoyo financiero del Ministerio de Industria y Energía a través de ATYCA. Están involucrados en el proyecto, además del INTA, el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CIEMAT, el Instituto de Cerámica y Vidrio, el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, ARIES y el Centro de Tecnología (CETEMA)

MOTORES DEL SIGLO XXI

El grupo de expertos del INTA en energías alternativas tiene claro su objetivo sobre las pilas de combustible: desarrollar la pila, seleccionarla y probarla. Claro que su máximo responsable Antonio González, nos apunta unos cuantos datos complementarios que hacen la apuesta un poco más complicada. "Tenemos, añade, que preparar sus subsistemas de operación, realizar el tratamiento de la corriente eléctrica para desarrollar un inversor que cambiaría la corriente continua y alterna, la cual alimenta los motores eléctricos. Además, debemos efectuar el estudio de integración de los depósitos de hidrógeno" Aunque ya fueron utilizadas en los años 60, proporcionando electricidad a proyectos espaciales como GEMINIS y APOLO, todavía quedan aspectos que requieren su desarrollo respecto a los materiales de la propia pila. Es el caso de los catalizadores de los electrodos -actualmente de platino- que por su elevado coste se intenta sustituirlos por otros más baratos. Así pues, las perspectivas de conseguir que las pilas sean los motores del futuro son claras. La Unión Europea, USA y Japón tienen los objetivos bien definidos en el horizonte de la próxima década: introducirlas de forma generalizada en el transporte público urbano. Actualmente, se realizan demostraciones de esta tecnología con prototipos, comprobándose la posibilidad de su utilización en los vehículos. Aunque lo importante

en este desarrollo es la construcción de la propia pila. *Gabinete de Comunicación, INTA Abril.*

4.27 PILAS DE COMBUSTIBLE. CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES.

Dr. D. Francisco Cerisola Fernández
Departamento de Combustibles Fósiles
Unidad de Pilas de Combustible
CIEMAT

Las pilas de combustible son generadores de potencia que pueden operar de forma continua siempre que sean alimentadas con el combustible y oxidante que requieran. Su capacidad de potencia es modular y varía desde el rango de vatios hasta niveles del MW.

Producen energía eléctrica a través de un proceso electroquímico en vez de por ciclo térmico, de modo que su rendimiento no está sujeto a la limitación del ciclo de Carnot de las máquinas térmicas, lo que les potencia para una conversión más eficaz de la energía química en energía eléctrica. Su eficacia es esencialmente independiente del tamaño, de forma tal que sistemas de baja potencia operan tan eficazmente como sistemas de alta potencia y naturalmente de mayor volumen. Se trata de sistemas sin partes móviles y "limpios", siendo vapor de agua y dióxido de carbono sus principales emisiones, por lo que serán de gran aplicación allí donde las contaminaciones nocivas (químicas, sonoras, etc.) Supongan ya un problema importante de impacto social y ambiental, pudiendo ser implantadas in situ donde vayan a ser utilizadas, y no en lugar remoto.

4.28 PILAS DE COMBUSTIBLE.

Datos Generales Responsable : Loreto Daza Bertrand
http://daxp.ciemat.es/sisinfo/ic1_datos?mat=4669

Previsión de dedicación de personal titulado: **5,25** Presupuesto de gastos (M. Pts): **15,24** **Objetivo** Diseño y desarrollo de prototipos de pilas de combustible como un sistema de generación de energía competitivo con los actuales, desde aspectos tales como eficiencia eléctrica, impacto ambiental, flexibilidad y modularidad. El estudio se aborda desde dos aspectos complementarios: Operación de las pilas en función de las variables físico-químicas temperatura, presión, caudales, etc. con vistas a estudios de mejora de procesos electro catalíticos, desarrollo de membranas, matrices, electrodos, y propiedades de transporte. Modelización dinámica de los sistemas que simulen todos los componentes del sistema y que faciliten una optimización del mismo desde el punto de vista fluidodinámico, térmico y electroquímico, con validación experimental. **Situación** A través de financiación externa y propia del Centro, se está trabajando en dos sistemas de pilas de

combustible: poliméricas para su aplicación en transporte y telecomunicación integradas en un escenario de energías renovables, y pilas de carbonatos fundidos como fuente de energía estacionaria. El principal objetivo, en la línea de pilas poliméricas, es la construcción de un stack de 1 Kw. de potencia y con alimentación directa de metanol con sustitución de los materiales comúnmente utilizados por otros alternativos de mejores prestaciones y menor coste. En colaboración con otros centros de investigación, se está abordando tanto la búsqueda de nuevos catalizadores con alta actividad electro catalítica como la de polímeros con formulaciones adecuadas que presenten una alta conductividad iónica y puedan ser sustitutivos del Nafion. Partiendo de estudios de simulación con el código de dinámica de fluidos computacional FLUENT, se está trabajando en el diseño de placas bipolares para conseguir una óptima distribución de gases, de tal manera que se maximice el aprovechamiento de combustibles y oxidantes en los compartimentos anódico y catódico, respectivamente. Para la validación experimental de componentes y simulaciones, se cuenta con una estación de control diseñada y desarrollada a tal efecto. En colaboración con el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC) y la Agrupación de interés económica formada por Iberdrola, Enesa y Babcock Wilcox, se está trabajando en el desarrollo de nuevos materiales catódicos que puedan sustituir al óxido de níquel normalmente utilizado en las pilas de combustible de carbonatos fundidos. Con financiación propia y de la industria, se abordará la fabricación de componentes porosos. Tras una caracterización físico-química y electroquímica de los materiales, éstos son finalmente evaluados en condiciones reales de operación. Se dispone de dos estaciones de micro celdas (8 cm²) para estudio de componentes, y dos estaciones de 100 cm², una para trabajar a presión atmosférica y otra para presiones superiores, ambas para ensayos con pila de diez celdas. Los sistemas están alimentados con una estación de gases simulando condiciones de reformado de gas natural, biomasa, etc., así como los adecuados sistemas de control para dicha operación.

RESULTADOS DESTACABLES

Continúan los estudios de caracterización de componentes tras la operación de una pila de carbonatos fundidos de 100 W. Se están evaluando las prestaciones de los componentes, así como de los sistemas auxiliares, para disminuir la corrosión y aumentar la eficiencia. La construcción de un sistema de control de desarrollo propio para el estudio de pilas de combustible poliméricas, en el marco de un proyecto JOULE, ha supuesto un gran avance. Se han operado monoceldas y stack de potencia variable en diferentes condiciones para poner de manifiesto la influencia de la temperatura, caudal y composición de gas combustible / oxidante, humedad, presión etc. El conjunto de resultados ha permitido establecer un patrón de referencia en diversas condiciones de trabajo para la evaluación posterior de los nuevos componentes.

4.29 CIEMAT Departamento de Combustibles Fósiles Teléfono: 91 346 61 48 Correo-e: loreto.daza@ciemat.es mailto:loreto.daza@ciemat.es

Las pilas de combustible se perfeccionan para ocupar su lugar en las energías limpias
DAVID ADAM (29-03-00)

La búsqueda de métodos limpios de producción de electricidad se ha acelerado ante el panorama de un planeta que se calienta debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. Las pilas de combustible, imaginadas en 1839 por un abogado británico, y utilizadas ya en algunas aplicaciones, son objeto de amplios programas de investigación que intentan convertirlas en dispositivos más pequeños, eficientes y baratos de forma que puedan generalizarse como plantas productoras de electricidad, propulsores de vehículos eléctricos e incluso como pilas para ordenadores y teléfonos portátiles.

Desde hace mucho tiempo se viene pensando en las pilas de combustible como fuente de energía para el futuro. Obtienen la electricidad de una reacción química entre un combustible y el oxígeno, sin quemar el combustible. El abogado inglés William Grove demostró por primera vez su viabilidad en 1839.

Quemar combustible es una forma sucia y tosca de producir energía eléctrica. Se arrojan calor y contaminación en todas las direcciones. Las pilas de combustible liberan la energía acumulada utilizando un método más limpio y eficaz: la oxidación electroquímica. Combinan el combustible y el oxígeno en una reacción química que produce electricidad.

PRINCIPAL FUENTE

"Estamos avanzando inexorablemente hacia el hidrógeno como principal fuente de energía limpia para el futuro, con las pilas de combustible como mecanismos de conversión electroquímica", afirma Kevin Kendall, químico de la Universidad de Birmingham, del Reino Unido.

Hasta ahora las pilas de combustible no se han utilizado ampliamente porque no pueden acceder directamente a nuestra mejor fuente de hidrógeno actual: las enormes reservas almacenadas en el interior del carbón, el petróleo y el gas. Pero ahora se ha inventado una pila de combustible capaz de hacerlo.

Raymond J. Gorte y sus colaboradores de la Universidad de Pensilvania, describen una pila de combustible que utiliza metano (gas natural) y otros combustibles fósiles, en la edición de *Nature* del 16 de marzo de 2000.

El metano y sus parientes químicos, el etano, el tolueno, el buteno y el butano, son baratos y fáciles de conseguir. La pila de combustible inventada por el equipo de Gorte convierte cualquiera de estos hidrocarburos en electricidad. Kendall cree que esto supone un verdadero avance. "Es fascinante. Solucionan el principal

problema de las pilas de combustible: cómo hacerlas funcionar con verdaderos combustibles", dice.

La mayoría de las pilas de combustible existentes utilizan hidrógeno producido a partir del metano. Mezclando vapor y metano a altas temperaturas se descompone el hidrocarburo. Este proceso consume en sí energía y es una razón por la cual resulta caro mantener las pilas de combustible. Otra es que el hidrógeno gaseoso es difícil de utilizar con seguridad, como demostraron claramente el incendio del dirigible *Hindenburg* en 1936 y el desastre del trasbordador *Challenger*.

La pila construida por el equipo de Gorte es diferente. Utiliza electrodos realizados a partir de una mezcla de cobre y cerámica. Éstos no acumulan hollín, y la pila sigue funcionando mientras haya combustible. Por el momento produce sólo la décima parte de la energía de las pilas alimentadas con hidrógeno, pero el grupo confía en que esto mejorará.

"Lo que hemos presentado era más una demostración del concepto que los resultados para un sistema optimizado", explica Gorte. "Estoy seguro de que podemos hacerlo mucho mejor. No creo que tengamos limitaciones para igualar los resultados de los mejores sistemas"

Pero podría haber problemas para aplicar la tecnología a una escala mayor, según el científico de materiales Brian Steel del Imperial College, del Reino Unido. A altas temperaturas, señala, el metano puede reaccionar con los tubos de acero inoxidable utilizados para suministrar el gas.

Kendall no considera que esto sea un problema. "Creo que las ventajas reales de esta tecnología tienen más que ver con los sistemas de pequeño tamaño, domésticos. Sistemas de energía para coches, ordenadores y teléfonos móviles, por ejemplo", declara.

MUCHOS TIPOS CON PROBLEMAS VARIADOS

Las pilas de combustible alcalinas, utilizadas en aplicaciones espaciales, sólo funcionan con gases muy puros. El dióxido de carbono, una impureza común, degrada el electrolito. Esto les da un precio que pocos, aparte de la NASA, se pueden permitir. Unas versiones más robustas y baratas utilizan el ácido fosfórico (que no se ve afectado por el dióxido de carbono) como electrolito, de forma que pueden funcionar con aire no tratado.

Estas pilas no son tan eficaces, pero pueden generar electricidad suficiente para escuelas y hoteles. Son fiables y su modesta eficacia aumenta si el vapor producido por la pila se aprovecha también como fuente de calor. Desafortunadamente, el electrolito es corrosivo, lo que las hace inadecuadas para aplicaciones portátiles.

Los electrolitos de polímero sólido, no corrosivos, se encuentran en las pilas de membrana de intercambio de protones (MIP). Muchos fabricantes especializados ya

han producido versiones de demostración para ordenadores portátiles y teléfonos móviles. La eficacia de las MIP se dispara si se utiliza metanol líquido como fuente de hidrógeno. El alcohol se convierte en hidrógeno dentro de la pila. Esto produce algo de dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, pero menos que si se quemase el metanol. Las MIP se pueden utilizar para automóviles.

Existen pilas de combustible que funcionan con combustibles más comunes, pero están plagadas de problemas. Por ejemplo, las pilas de carbonato fundido, que tienen un gran potencial como generadores de electricidad a gran escala, utilizan monóxido de carbono como combustible. Su electrolito, una mezcla de sales de carbonato de potasio y litio, corroe los electrodos. Con electrolitos sólidos, a partir de óxidos de metales, el problema es que, al funcionar a alta temperatura, se produce hollín en los electrodos y se interrumpe el circuito eléctrico.

4.30 PROTOTIPOS E INSTALACIONES NUMEROSAS, PERO NO COMPETITIVAS.

J.-F. AUGEREAU /PIERRE LE HIR

Desde el mes de enero, una pila de combustible proporciona a la localidad francesa de Chelles el equivalente a las necesidades en electricidad y calefacción de 200 hogares.

Este generador de 200 kilovatios eléctricos y 220 kilovatios térmicos que funciona con gas natural está conectado a la red eléctrica de la ciudad, a la que suministra una corriente de 400 voltios, así como a la red de calefacción urbana a la que alimenta con agua a 80 grados centígrados.

Para las compañías Électricité de France (EDF) y GAZ de France, asociadas en este experimento a tamaño natural, se trata de recuperar el terreno perdido respecto a Japón, Estados Unidos y Alemania, donde ya están en funcionamiento 200 instalaciones de este tipo, en su mayoría fabricadas por la empresa estadounidense ONSI.

"La pila de combustible es un sistema de producción descentralizada de electricidad y de calor con un elevado rendimiento (en total un 80%), muy poco contaminante (las emisiones de óxido de azufre, nitrógeno y de carbono son nulas o insignificantes y las de gas carbónico reducidas), y casi sin ruido ambiental", pondera EDF.

Además, el problema del tamaño, molesto cuando se trata de equipar un vehículo utilitario, no supone un obstáculo al implantarla en el medio urbano. En cambio, su coste -alrededor de 625.000 pesetas el kilovatio instalado, sigue siendo prohibitivo. Queda por realizar un enorme trabajo de investigación y desarrollo.

PARA VEHÍCULOS

A este mercado de pilas de combustible fijas se añade otro de igual importancia, el de los sistemas portátiles, a los que los fabricantes de automóviles no les quitan ojo, deseosos de reducir sus emisiones contaminantes y cumplir la normativa en este ámbito, cada vez más exigente. Para Gaston Maggetto, presidente de la Asociación Europea del Vehículo Eléctrico de Carretera (AVERE, siglas en francés): "dentro de 15 o 20 años, el 75% del parque automovilístico estará formado por vehículos híbridos en los que la energía eléctrica estará acompañada de una propulsión térmica. Y el 25% restante será completamente eléctrico".

Desde hace ya varios años unos autobuses canadienses equipados por la compañía Ballard ruedan con una pila de combustible por las calles de varias ciudades. Otras iniciativas han visto la luz. Ballard, Daimler Chrysler y Ford, que han creado la DBB Fuel Cell Engines, esperan producir en 2004 vehículos de preserie. Toyota y General Motors tienen el mismo proyecto. Nissan, Honda y Volkswagen también han entrado en esta carrera al igual que Renault y PSA Peugeot Citroën que tienen la intención de comercializar un vehículo en 2010.

Las pilas de combustible, como las baterías, tienen polos positivos y negativos. El polo negativo, o cátodo, de una pila de combustible atrae el oxígeno del aire. Esto cambia la carga eléctrica del átomo de oxígeno y produce un ion. El polo positivo, el ánodo, atrae a estos iones de oxígeno y los combina con el combustible. Esta reacción libera electrones del combustible y de esa forma fluye la electricidad.

Normalmente, las pilas de combustible funcionan con hidrógeno, que es difícil de producir, y su almacenamiento es peligroso; esto hace que sean caras y de limitado atractivo. Hasta el momento, se han utilizado principalmente en la tecnología espacial, aunque también ya mueven autobuses, dan energía a hospitales e incluso calientan piscinas.

4.31 INSTALACIÓN DE PILAS DE COMBUSTIBLE.

Área de Actividad: Pilas de combustible

Campos Científicos: Ciencias tecnológicas, química, física, medio ambiente, materiales

Aplicaciones:

Tratándose de una instalación muy específica, su aplicación, considerada desde una perspectiva global, está dirigida exclusivamente al ensayo de componentes estructurales para sistemas de pilas de combustible, teniendo en cuenta la relación constante de escalado que se mantiene en este tipo de tecnología.

Los equipos asociados a tales sistemas son los adecuados para el control de procesos de evolución electroquímica.

Al tratarse de sistemas de producción de energía eléctrica, el principal sector de aplicación es el eléctrico (producción estacionaria), el de tracción de vehículos, así como el gasista, por el tipo de alimentación que requiere esta tecnología.

Características:

La instalación de pilas de combustible consta de dos zonas diferenciadas: laboratorio y nave.

- Laboratorio

- El laboratorio está estructurado en dos bancos de trabajo uno para operación, ensayos y caracterización de pequeñas pilas o celdas y el segundo para ensayos de componentes para diferentes tipos de pilas, simulando características operativas de las mismas. Se dispone de equipo de control y adquisición de datos, conectado a PC, relativo a las distintas variables de proceso.

El segundo banco de trabajo está compuesto principalmente de potencióstato-galvanostato, como sistema de análisis electroquímicos, fundamentales en ensayos de componentes de materiales para pilas. El sistema dispone de posibilidades de aplicación relativas a voltametrías, métodos electro analíticos, amperometrías, así como potenciometrías con sistema de adquisición de datos con conexión a ordenador.

- Nave

- La nave está ocupada por una instalación de ensayos y operación de pilas de laboratorio de carbonatos fundidos, para estudios y comportamiento de componentes de este tipo de pilas.

Los equipos de operación de pilas para ensayos y comportamiento de componentes, lo constituyen varias estaciones a presión atmosférica o superior, sistemas de control y adquisición de datos con conexión a ordenador y análisis de gases por cromatografía con alimentación automática de ocho corrientes gaseosas.

Los equipos para fabricación de componentes a ensayar en las estaciones anteriores, están constituidos por prensa hidráulica, con capacidad de 120 Tm, troqueles para la fabricación de muelles y placas bipolares, hornos de 4 y 6 Kw, con retorta para trabajar en atmósfera controlada hasta 1.100 °C, estufa para el secado a baja temperatura con ventilación y posibilidad de atmósfera controlada, molino de bolas para la fabricación de pastas, así como diferente material de laboratorio.

ASPECTOS DESTACABLES

Las ventajas principales de las pilas de combustible, se pueden resumir en las siguientes consideraciones:

- Alta eficacia de conversión de combustible a electricidad.
- Construcción modular con menor dependencia de la economía de escala.

- Capaces de utilizar un rango muy amplio de combustibles incluyendo gases derivados del carbón.
- Presentan muy buenas características para cogeneración.
- Reducción del volumen de emisión de contaminantes.
- Silenciosas al carecer de partes móviles.
- Se emplearán en ciclos combinados de potencia y calor, con lo que el rendimiento global del sistema se incrementara aún más.

CAPITULO 5

5.SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y ACCIONAMIENTOS.

5.1 DISPOSITIVOS DE RELÉS DE MÁXIMA Y DE PROTECCIÓN.

Debido a la disposición actual de energía eléctrica, los motores eléctricos son de uso casi universal en todas las industrias para suministrar movimiento, potencia mecánica, control, y accionamiento de diversas máquinas. Toda la maquinaria y los dispositivos tan variados que se utilizan, se les llama apropiadamente cargas de motor, y debido a las diferentes demandas de accionamiento y movimiento, se requieren uno o mas motores accionadores, que se comporten con cierta facilidad y control, para lograr diferentes pasos de velocidad o bien cambios en el sentido de giro.

La energía que se le suministra al motor depende de las condiciones de carga, que al ser programada y controlada, se obtiene en un momento dado, par, velocidad, y sentido, mediante un dispositivo llamado "controller" o regulador, donde un controller puede ser accionado manual o automáticamente. Dependiendo del proceso, se da un grado de automatización

Si la carga no está perturbada por variables externas, o no se requiere control preciso, el regulador puede ser accionado por un sistema llamado "bucle abierto" o controles que permiten un limitado número de ciclos o un corto tiempo de funcionamiento, y cuando se requiere de un buen control mas preciso de velocidad y par, se utiliza el sistema llamado "bucle cerrado".

En gran parte la selección del motor que cumpla con las necesidades, son función de la carga, de la energía disponible y de los reguladores comerciales.

Según las normas establecidas se deben evitar incendios de origen eléctrico en los circuitos y conductores de alimentación, para esto tenemos que la protección para cortocircuito en el interior del motor del circuito auxiliar evita el daño al motor mismo, así como al arrancador, si lo tiene y al equipo de control. Esta protección auxiliar se está proyectado para proteger también, los conductores de alimentación contra sobrecargas continuas, sin embargo, esta protección de línea es mas elevada de la que necesita el motor mismo contra sobrecargas constantes, por lo cual se hacen necesarios los dispositivos especiales que protejan al motor en si.

5.2 FUSIBLES.

Tal vez el fusible es el protector contra sobrecargas eléctricas mas simple, y se subdividen en fusibles de baja tensión, que son todos aquellos de 600 volts o menos, y fusibles de alta tensión, mayores a 600 volts.

Brevemente explicados, tenemos tres diferentes fusibles. el de cartucho o contacto de casquillo (FIGURA 5-1), que es muy útil para las tensiones entre 250 y 600 volts, de los tipos fijo y recambiable, el fijo contiene un polvo aislante orgánico que envuelve el elemento fusible, que en caso de sobrecarga enfría el metal vaporizado, absorbe el vapor metálico condensado y extingue el arco que pueda quedar en el vapor metálico del conductor. Este polvo es el que da el alto poder de ruptura en caso de un corto circuito brusco.

Si el vapor metálico creado cuando el corto circuito sucede se quedará ahí la corriente como arco, dañaría al motor y podría, inclusive, estallar a causa de la corriente.

El tipo intercambiable (FIGURA 5-2), no tiene polvo envolvente pero tiene la ventaja de que es mas costeable donde suceden sobrecargas frecuentes, donde los fusibles deben reemplazarse constantemente o muy a menudo.

El otro tipo de fusible es el llamado fusible tapón (FIGURA 5-3), que funciona a la tensión de 127 volts para bajas corrientes de hasta 30 A, estos poseen base roscada y están diseñados para utilizarse en arrancadores reducidos o cajas de interruptores.

Por lo general, los fusibles protegen contra cortocircuito mas que para una sobrecarga, ya que una corriente de 25 a 30 veces al valor nominal, fundiría los elementos de fusible en un ciclo de 60 hz. y la interrupción de corriente sucederá hasta el siguiente ciclo o bien en 1/30 de segundo.

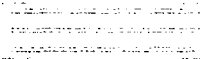


FIGURA 5-1: FUSIBLE
TIPO CARTUCHO



FIGURA 5-2: FUSIBLE
TIPO INTERCAMBIABLE

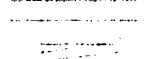


FIGURA 5-3: FUSIBLE
TIPO TAPÓN

Se han hecho ensayos o experimentos para mejorar los fusibles con valores nominales menores que permitan protecciones contra sobrecarga y cortocircuito. El fusible temporizado de tipo cuchilla, cartucho y tapón ofrecen un gran retardo cuando suceden sobrecargas momentáneas o sostenidas, previo a desconectar el circuito. Estos fusibles tienen dos elementos en serie o paralelo, siendo uno de estos un fusible estándar para proteger contra corto circuito de 25 a 50 veces la corriente nominal y un interruptor térmico contra sobrecargas de hasta cinco veces la corriente nominal. Ya que el efecto térmico es el cuadrado de corriente, estos elementos desconectan el circuito entre 10 seg y 3 min., dependiendo de la temperatura. Todo esto es con el propósito de que no se desconecte o se abra el circuito cada que se sucede un paro o

arranque o variación en las condiciones del motor, pero en caso de cambios bruscos, esta el fusible anterior que interrumpe casi inmediatamente.

El fusible tipo de potencia limitador de corriente, tiene elementos fusibles de aleación plata rodeada por cuarzo en polvo, así cuando los elementos son vaporizados, ambos forman un arco de muy alta resistencia que sirve para limitar corriente y su crecimiento antes de que un disyuntor o equipo de protección magnética, interrumpa el circuito.

Por encima de 600 volts, se usan fusibles especiales que agrupan varios órganos para extinguir el arco que podría mantenerse a causa de la alta tensión. Algunos de estos se usan junto a interruptores y disyuntores de baja capacidad de ruptura para aprovecharse de la alta capacidad de ruptura, propia de estos dispositivos.

Los mas comunes utilizados para alta tensión son: los fusibles líquidos, que funcionan según el principio de desionización del vapor de agua producido en la reacción entre el arco y ácido bórico líquido; los fusibles de expulsión de alta tensión, que son mas pequeños, y funcionan según el principio de presión, que se crea por la formación de vapores en el interior del tubo porta fusible, actuando entonces un mecanismo disparador que expelle el vapor para extinguir el arco; los fusibles de material sólido que ocupan elementos de contacto de resorte, que se unen al elemento fusible, aumentan el entrehierro de los contactos cuando el fusible funde, y así, se extingue el arco. A estos últimos mini sistemas se les llama relés.

5.3 COMBINACIÓN DE FUSIBLE Y RELÉ DE SOBRECARGA.

Los propios fusibles tienen dispuesta la protección de corriente máxima de ruptura, pero la protección contra sobrecargas es limitada, por razones descritas anteriormente.

Los relés de máxima se proyectan al funcionamiento que va de 110 a 250% de sobrecarga con corrientes máximas de ruptura normales de hasta 10 veces la corriente nominal.

La función normal del motor está entre el intervalo de vacío a carga nominal, y el relé no se acciona, el tiempo de operación varía inversamente con la sobrecarga, por ejemplo, una sobrecarga de 10 veces la corriente nominal ocasiona un tiempo de operación del relé de máxima de 10 seg. y un cortocircuito de 500 veces la corriente nominal permite un tiempo de operación de aproximadamente 10 ms. La relación y combinación de fusible y relé permite que el motor funcione dentro del régimen normal, y a su vez, permite pequeñas sobrecargas transitorias sin que el motor se detenga. Una sobrecarga de corta duración no es suficiente para sobrecalentar o dañar al motor, si está no sucede con frecuencia. Varios tipos de relés se utilizan en los arrancadores y reguladores de motores, tanto CD como CA.

5.4 RELÉ DE SOBRECARGA MAGNÉTICA, ACCIÓN INSTANTÁNEA.

Este primer tipo de relé, que se muestra en la FIGURA 5-4 se utiliza en circuitos de CD y con una modificación auxiliar en circuitos de CA, los contactos fijos están normalmente cerrados cuando no hay excitación en el relé, y tampoco se modifica con la corriente nominal ó inferior a esta, por contra acción del resorte, pero cuando la corriente se excede en un tanto por ciento predeterminado, se crea la fuerza magnetomotriz suficiente que produce la apertura de los contactos, especialmente en fuertes demandas de carga al motor.



FIGURA 5-4 : RELÉ DE SOBRECARGA MAGNÉTICO DE DISPARO INSTANTÁNEO

5.5 RELÉ DE SOBRECARGA MAGNÉTICA, ACCIÓN RETARDADA.

Estos relés tienen un funcionamiento muy similar al anterior con la diferencia de un amortiguador de aceite o fluido de viscosidad apropiada para producir el retardo deseado, y así cuando la fuerza magnetomotriz se produce el pistón se desplaza lentamente, donde el fluido atraviesa el pistón con agujeros para limitar el movimiento, y cuando la fuerza o sobrecarga aumenta este lapso de abertura se disminuye, pudiendo modificar la velocidad o tiempo de retardo con el diámetro de los orificios del pistón, mostrado en la FIGURA 5-5.

Dependiendo de la posición de los contactos o del entrehierro se produce un movimiento mas lento o mas rápido, y por las características de variación de respuesta debido al entrehierro se les denomina relés variadores.

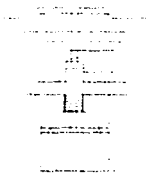


FIGURA 5-5: RELÉ DE SOBRECARGA MAGNÉTICO DE ACCIÓN RETARDADA

Este tipo de relés actúan casi instantáneamente y al mismo tiempo, hacen una desconexión retardada del motor, con lo que el relé se puede reconectar o desconectar automáticamente con ayuda de la gravedad y el resorte, esto se sucede si no se utilizan los llamados enclaves mecánicos que retienen la armadura, y se liberan cuando se oprime un botón disparador que permite a la armadura del relé regresar a la posición adecuada e inicial, antes de que el motor empiece a funcionar de nuevo, siempre y cuando se requiera una desconexión total y no un movimiento que haga peligrar sistema o personal al que se le avisa de una sobrecarga existente.

Sin embargo los relés de máxima se utilizan con mas frecuencia por ciertas razones que a continuación se describen.

5.6 RELÉ DE SOBRECARGA TÉRMICO, DE ALEACIÓN FUSIBLE.

En condiciones de sobrecarga el calor es suficiente para fundir la aleación eutéctica fusible para hacer girar o desplazar el contacto a una posición abierta. Aunque parece mas complicado, es realmente práctico y popular debido a que el dispositivo retorno de relé necesita enfriarse según la sobrecarga, y entonces hay que esperar un tiempo antes de reconectar, también porque la recarga es manual y puede producir descargas a quien lo haga, este relé tanto en CD y CA, ya que el efecto térmico de 1 A de CD y CA es el mismo, por lo que la potencia calorífica es universal para todas las frecuencias, además porque en una determinada gama de calefactores pueden ajustar al relé, cambiando el calibre del mismo, porque trabaja independientemente de la acción de gravedad en cualquier posición y no hay rozamiento si se emplea un resorte adecuado sin depender de gravedad o corriente, porque la precisión y seguridad es bastante alta por la fusión del punto de fusión relativamente constante de la aleación, y también porque posee las características térmicas de tiempo inverso que se necesita para proteger todo tipo de motor.

5.7 RELÉ DE SOBRECARGA TÉRMICO BIMETÁLICO.

La ventaja de un calefactor o resistencia impulsó el desarrollo de otros dispositivos mas sencillos, como este tipo de relé, donde una tira bimetalica se curva al calentarse y como la parte superior tiene un coeficiente muy alto de dilatación, el disco o tira se invierte rápidamente y así abre el circuito que empuja con una especie de biela.

El tiempo de desplazamiento es inversamente proporcional a la magnitud de la corriente de una sobrecarga sostenida, de la misma manera que los otros relés de fusión y de acción tardía, y por ello permite sobrecargas de breve duración sin abrir el circuito.

Similar a la acción de relé fusible, el tiempo de enfriamiento es una espera en función de la sobrecarga, pero es posible modificarlo incluyéndole un mecanismo de

enclave que retiene el contacto cuando se acciona precisando que reenganche o se libere manualmente.

Por la utilización de calefactores o resistencias, estos pueden intercambiar mecanismos con relés aleación fusible, pero tiene dos ventajas sobre ellos que pueden retornar automáticamente y con el elemento compensación, se puede ajustar según las variaciones de temperatura ambiente.

5.8 RELÉ DE SOBRECARGA TÉRMICO INDUCTIVO, DE ALEACIÓN FUSIBLE.

A pesar de las ventajas que presenta el anterior relé y los de aleación fusible, el calefactor separado solo permite ajustes discretos, pero para eso existe este relé térmico o inductotérmico que se acciona según el principio de inducción de corrientes de Foucault⁷ en un cilindro de aleación cobre y el elemento fusible a baja temperatura, por lo tanto solo funciona con corriente alterna y solo se utiliza para sobrecargas en motores de CA.

En forma similar funciona el relé de sobrecarga térmico inductivo bimetalico, con ciertas diferencias que no es necesario conocer por el momento.

5.9 DISPOSITIVOS TÉRMICOS AUXILIARES.

El principio bimetalico se utiliza también en un dispositivo denominado termostático, donde los contactos están normalmente cerrados, y también se puede fijar todo el aparato al soporte del motor, por lo que, a causa de un incremento de temperatura a causa de ventilación deficiente, tensión excesiva, sobrecargas frecuentes o sostenidas, falta de lubricación o arranques muy frecuentes, se abren los contactos, con que se entiende que se éste dispositivo funciona con el calor producido, pero no por exceso de corriente

Estos dispositivos pueden utilizarse como aviso solamente, y de hecho muchos dinamos grandes utilizan los dos sistemas, para mayor seguridad.

Los calefactores térmicos que se usan en todos los relés térmicos, regularmente se ensayan y se determinan los valores nominales a una temperatura ambiente de 40°C, el aumento estándar de temperatura admisible del material eléctrico fabricado comúnmente. Para obtener las características de corriente de tiempo inverso de otra temperatura se usa la ecuación siguiente:

$$I \text{ Temp} = I_{40^{\circ}\text{C}} \cdot \left(\frac{Top - \text{Temp}^{\circ}\text{C}}{Top - 40^{\circ}\text{C}} \right)^{1.2}$$

⁷ León Foucault, físico francés creador de la ley de corrientes de Foucault

Donde $(I_{40^{\circ}\text{C}})$ es la corriente que hará que el elemento se dispare a un tiempo dado, según el fabricante a temperatura de funcionamiento (T_{op}) , el (I_{Temp}) es la corriente que hará el disparo en el mismo tiempo a una temperatura ambiente inferior, y (T_{op}) es la temperatura de funcionamiento del elemento térmico en $^{\circ}\text{C}$ y puede ser el punto de fusión de un elemento de aleación o la temperatura de flexión de un disco bimetálico.

5.10 DISYUNTOR DE MÁXIMA Y MÍNIMA TENSIÓN.

Generalmente el disparo por máxima tensión no es tan común como por baja tensión, es por eso que el disparo por alta no tiene inclusión en arrancadores y reguladores debido a que las tensiones superiores a la nominal, ocurre pocas veces, y porque los pequeños incrementos de la tensión en máquinas de CD y CA se traducen en un incremento del par y consecuentemente la reducción de corriente del inducido.

Este tipo de relé es utilizable en CD y CA, y los contactos permanecerán abiertos durante la duración de la sobre tensión y se reconectarán automáticamente cuando la tensión se torne normal.

El disparo por mínima tensión se emplea casi siempre en arrancadores y reguladores de CD y de CA en dos formas o modos: primero la desconexión por mínima tensión en la cual dispositivo es ajustado a la disminución o falta de tensión, que ocasiona la interrupción, pero permitirá que se reestablezca cuando la tensión vuelva al valor nominal o normal; y segundo la protección contra tensión mínima en la que el efecto de disminución o falta de dicha tensión ocasiona la interrupción de potencia del circuito principal.

La baja tensión es mas temida, ya que la apreciable reducción de ésta origina que el inducido del motor de CD o CA se incremente, provocando las conocidas fallas o fenómenos adversos.

5.11 DISYUNTORES DE SOBRECARGA.

El disyuntor es un dispositivo de sobrecarga que interrumpe un circuito al igual que el fusible, pero sin deteriorarse, y cumple con otras propiedades del fusible.

Los pequeños de baja tensión emplean elementos calefactores bimetálicos, con el principio de relé bimetálico de sobrecarga; los disyuntores de baja tensión grandes, emplean combinaciones de elementos del disparo, ya sea magnéticos y térmicos, donde los magnéticos dan la característica de disparo instantáneo y lo térmico el de tiempo inverso para sobrecargas sostenidas.

5.12 PROTECCIÓN CONTRA LA INVERSIÓN DE POLARIDAD.

En un generador de cc que carga una batería, una inversión en la corriente o polaridad, provocara que el generador trate de funcionar como motor, pero la fuerza electromotriz puede seguir funcionando y el generador se atascaría.

Un sencillo relé contra la inversión utiliza una armadura de imán permanente que puede utilizarse normalmente abierto o cerrado de tal manera que si las polaridades N-N y S-S cambia en la armadura, por efecto de atracción y repulsión pasa de un circuito a-b a uno a'-b' que está dispuesto en el otro sentido de polaridad.

5.13 RELÉ DE FRECUENCIA.

Dos relés pueden utilizarse para detectar tanto un incremento como una disminución de frecuencia, esto es que a la frecuencia deseada la corriente de un relé se ajusta con un potenciómetro para mantener abierto los dos pares de contactos.

En tanto la frecuencia se mantenga entre terminales la armadura se mantiene quieta, pero un incremento hará aumentar la impedancia de una bobina de reactancia y que disminuya la corriente en el relé número dos, coaccionando el cierre de dos contactos a-b, entonces, la disminución de la frecuencia se traduce en un incremento de corriente en el relé dos cerrando los contactos a'-b', donde el relé uno sirve como equilibrante y el potenciómetro no se afecta por la variación de frecuencia; la bobina de reactancia es el transductor de frecuencias.

5.14 PROTECCIÓN CONTRA EL ARCO DE DESCARGA.

En la protección contra descargas de arco, los disyuntores y relés, utilizan algún método para evitar los daños provocados por este fenómeno, que se crea cuando un circuito altamente inductivo se interrumpe. La combinación entre calor que aumenta y una rápida acción de contacto elástico que sostiene la punta móvil de cebado de arco, sirve para que se interrumpa la corriente en los contactos principales.

En un disyuntor mayor, se utiliza un campo magnético que se oponga a la acción de las partículas ionizadas de aire que mantienen el arco, y otro campo hace al arco ascender hasta que se extingue. Este proceso se denomina desionización, el campo oponente y guía es producido por un imán permanente, o por un electroimán, que se denomina bobina de excitación, la desionización y la extinción se delimita en un espacio aislado.

Utilizando una bobina de extinción de alta impedancia, conectada en paralelo con el circuito de excitación en bornes del inducido, o un imán permanente alnico, colocado justamente debajo de los contactos, crea el campo que extingue al arco en la llamada caja de soplado.

5.15 PROTECCIÓN CONTRA ROTOR BLOQUEADO, DURANTE EL FUNCIONAMIENTO.

Si el rotor llegara a bloquearse durante su funcionamiento, podría lograr que el rotor se calentara tan rápido, que la protección contra sobrecarga no funcionaría antes de provocar daños irreversibles, y aún cuando el calor generado no dañe el rotor, puede transmitirse al estator y sobrepasar los valores de resistencia del aislante, y esto aumenta en gravedad si se trata de un motor cerrado, donde el calor se disipa a través de la estructura, y no tiene ventilación como un motor abierto.

La protección para rotor bloqueado en el funcionamiento consiste en un relé de sobre corriente que se desactiva al arranque y normalmente ajustado para trabajar a un valor nominal muy inferior al valor de rotor bloqueado. Por otro lado se debe temporizar a dicho relé para permitir que pequeñas cargas breves no interrumpen la alimentación.

5.16 PROTECCIÓN CONTRA ROTOR BLOQUEADO DURANTE EL ARRANQUE.

Además del sistema de protección contra bloqueo antes mencionado, hay que instalar un relé que tenga en cuenta la cantidad de corriente al arranque, igual al tiempo de aceleración de la carga.

Se debe pensar que estos relés son relativamente sencillos de controlar, pero sucede que puede tornarse bastante complejo, si el tiempo de aceleración que necesita la carga es igual o mayor al tiempo soportable para la corriente con el rotor bloqueado. En un caso crítico, en máquinas de alta demanda, se puede preferir por la protección de relés a distancia, los cuales supervisan las variaciones de impedancia del motor en el proceso de arranque.

5.17 PROTECCIÓN POR DETECCIÓN DE TEMPERATURA.

Hay ciertas situaciones, en donde partes del motor presentan elevaciones anormales de temperatura sin sobre corriente de por medio, como en el caso de obstrucción de ventilación o sistema de refrigeración, o tal vez una inusual forma de elevación de temperatura por condiciones ambientales o exposición directa al sol.

Un detector de temperatura instalado depende del trabajo y prestación del motor, y por supuesto el tipo de detector depende del nivel de tensión y el lugar donde se desea censar o medir la temperatura. Además de los arrollamientos hay otros puntos de supervisión, como los cojinetes para prevenir daños, o para detectar obstrucciones a lo largo del sistema de ventilación.

El empleo de estos detectores es muy útil para proteger eficazmente los motores que se someten a regímenes intermitentes, continuos con carga intermitente, en los cuales un relé de sobre corriente es ineficiente por la dificultad de ajuste de las diferentes corrientes en los intervalos de trabajo.

Es muy difícil conseguir un buen contacto térmico del detector y el arrollamiento, o con los cojinetes, además, en algunas ocasiones no se pueden instalar para que midan el punto más caliente, debido al mismo problema mencionado, y como consecuencia, en la mayor parte de los casos, los detectores no pueden actuar rápidamente cuando se sucede una elevación de temperatura a una velocidad alta

Para disminuir al máximo estas fallas de contacto térmico, se debe pedir a los fabricantes que se instale antes de impregnar el arrollamiento y no después, pero solo para arrollamientos, porque en el caso de los cojinetes no es pertinente hacerlo, y se debe asegurar que el detector solicitado sea compatible con los sistemas de medición.

Si se desea proteger efectivamente los arrollamientos, hay que colocar por lo menos un detector por fase si son polifásicos, si se trata de arrollamientos múltiples se debe prever cada fase de cada arrollamiento. No es recomendable utilizar detectores de arrollamientos giratorios, porque ocasiona problemas de construcción, y por la necesidad de contactos deslizantes. En este caso, para los motores CD donde se puede supervisar indirectamente la temperatura del rotor por medio de un detector colocado entre interpolo, que son atravesados por la corriente de inducido.

5.18 DETECTORES DE TEMPERATURA BIMETALICOS.

Estos consisten de dos metales con diferentes coeficientes de dilatación, soldados en la superficie de contacto, donde se dilata para abrir o cerrar mediante la flexión de un elemento, el circuito eléctrico. En un motor fraccionario puede pasar la corriente de alimentación por el detector.

Los detectores bimetalicos son normalmente cerrados y se utilizan para desconectar el motor, y cuando son normalmente abiertos para cerrarse a determinada temperatura, se usan para accionar un sistema de alarma. Para los primeros, se conectan en serie para activar la desconexión, y en el segundo caso, los dispositivos se conectan en paralelo, para que el cierre de cualquiera, accione el sistema.

Se instalan en las cabezas de bobina, lo que implica que en un motor abierto, la temperatura del detector puede ser sensiblemente menor con respecto al centro de la bobina, y por esto, la configuración física común del detector, su utilización en arrollamientos con bobinas preformadas, no es viable.

Si fuera necesario, por las condiciones explosivas del ambiente, el detector bimetalico es seguro solo si la cubierta es del tipo a prueba de explosión, porque este dispositivo tiene arcos en varias ocasiones, tal vez cada que funciona.

5.19 DETECTOR DE TEMPERATURA TIPO TERMOPAR.

Este tipo de dispositivo, funciona con el principio de la diferencia de potencial generada entre dos metales adecuados, y soldados entre si, cuando son sometidos a cierto valor de temperatura, como la tensión es baja, se deben utilizar amplificadores de alta ganancia para accionar la alarma, de cualquier clase usada

5.20 DETECTORES DE TEMPERATURA TIPO RESISTENCIA, DEPENDIENTE DE LA TEMPERATURA.

Estos detectores conocidos como RTD (Resistance Temperature Dependent), tiene como condición, una dependencia lineal resistiva del material hecho y la temperatura a la que esta expuesto. Los dos mas comunes son los llamados de platina y de cobre, con resistencias a 0°C de 100 y 10 ohmios respectivamente

Por la configuración de estos, que es una pequeña barra de 1x4x50 mm aproximadamente se emplean en motores de arrollamientos con bobinas preformadas, y no son instalados en arrollamientos tipo bobina de hilos redondos. Por sus cualidades se colocan al interior de ranuras en la parte central del estator.

Debido a la resistencia variable con la temperatura, es posible usar al detector para alarma o desconexión, ajustando el instrumento de medición para funcionar a una temperatura, y si la temperatura continúa subiendo, llegado un segundo valor, desconecte el motor.

Estos detectores poseen una alta exactitud, pero en contraste, su precio es el mas elevado de todos los detectores de temperatura empleados en motores.

Por último como dato adicional, la medición de resistencia del RTD, se hace normalmente mediante un puente que permite compensar la resistencia de los cables del detector.

5.21 ARRANQUES SUCESIVOS RÁPIDOS.

Un freno magnético combinado con arranques sucesivos rápidos, funciona eficazmente en motores de baja potencia, esto es, que si necesitamos de impulsos o arranques una y otra vez, podemos utilizar este tipo de arreglo, de la FIGURA 5-6.

En este caso debe existir un botón o interruptor de impulso (jog) de contacto momentáneo y el circuito de control opera entonces de tal forma, que al mantener el interruptor encendido, el motor se moverá lentamente, y se detendrá casi de inmediato si se le suelta, por acción de un freno magnético, y así se consiguen pequeños giros pulsando el interruptor o botón.

Cuando necesitamos alineación o posicionamiento, tenemos esta opción para conseguirla. Siendo un poco más técnicos, para un motor de CD al pulsar el interruptor o botón, desexcita los relés de aceleración (así está dispuesto el sistema de control), que sirven para quitar la resistencia de la protección serie, logrando que se excite solamente un contactor M, y cuando se suelta el botón, se desexcita M y el freno se acciona simultáneamente.

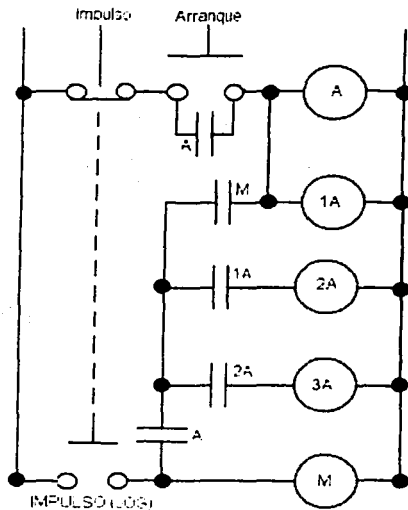


FIGURA 5-6: IMPULSOS
SUCESIVOS RÁPIDOS

El siguiente circuito de las FIGURAS 5-7 y 5-8, son arreglos básicos que sirven para todas esas aplicaciones donde se requiere de impulsos para ambos sentidos, utilizando controles separados en contactos de sentido directo e inverso.

Si fuera necesario un posicionamiento sucesivo o repetido, podemos considerar el Jog, que por cierto siempre debe tener un freno magnético del tipo serie o derivación, como el que se ejemplifica a continuación en las FIGURAS 5-9 y 5-10.

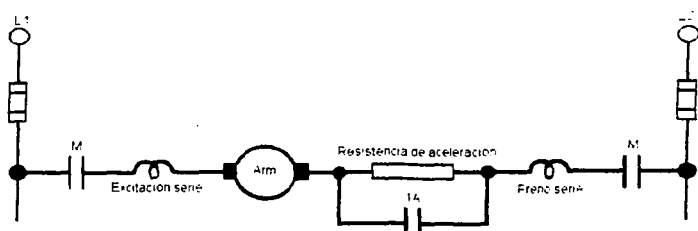


FIGURA 5-9: FRENO SERIE

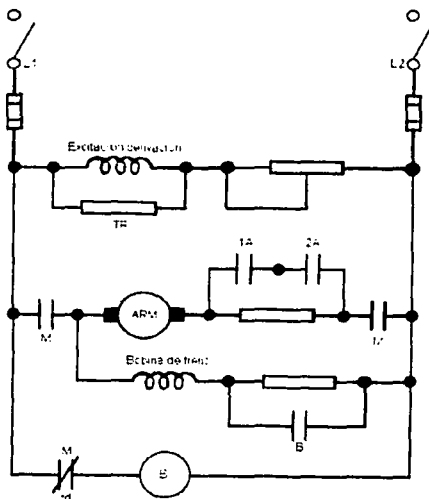


FIGURA 5-10: FRENO DERIVACIÓN

CAPITULO 6

6. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA.

Habremos de considerar ahora ciertos aspectos que nos guían para plantear un ejemplo con toda la información de los capítulos anteriores, para utilizar lo que se considera aprovechable para el equipo sustituto, sin perder de vista que toda la información esta resumida y enfocada a aportar una parte a la integración del equipo, contando con que se decide a partir de un conocimiento general de ciertos temas, necesarios para armar el sustituto ya mencionado. Los principios sobre motores eléctricos no son aplicables a este capítulo, ya que son solo la base de comprensión para poder analizar y decidir en el preciso momento.

Considerando al conjunto sustituto, como ya se describió consta de un servomotor como actuador, una pila de combustible como suministro de energía eléctrica de CD, el amplificador o control, y algún sistema de protección contra inversión de polaridad, contra sobrevoltaje, o lo que resulte necesario, dependiendo de las condiciones de trabajo a sustituir.

Vamos a pensar que la sustitución de una M. C. I.⁸ se enfoca en ciclos Otto o a gasolina, o bien, ciclos diésel, así como cualquier variante que se cubra en el concepto de una máquina de sistema de potencia por la ignición interna de combustible, aunque no precisamente algún sistema que utilice combustible no fósil, que resulta bastante ineficiente y contaminante, ambientalmente hablando, pero si se considera a este proyecto como una alternativa con muy alta preferencia por sus características generales. Existen M. C. I. Con potencia fraccionaria, hasta de cientos de caballos de fuerza en maquinaria pesada o de transportes, y sin contemplar todavía con máquinas como las que mueven embarcaciones, cada necesidad puede ser o no, objeto de sustituto, si el espacio, costo de operación o rendimiento, entre otros, lo permiten. Otra M.C.I. no considerada todavía como sustituto son las turbinas de reacción, debido a que éstas no están dispuestas para entregar potencia mecánica propiamente y el proceso de impulso es llevado cabo desde afuera en las tres etapas generales de funcionamiento, esto, aunque podría considerarse a dichos turborreactores como M.C.I., y en su lugar puede ser adaptada una disposición diferente, pero hay que analizar cuidadosamente las especificaciones para que resulte sustituible, y las aplicaciones generales en este proyecto de tesis podrían ser otro tema de investigación y discusión.

Para realizar el objetivo, se va a proponer teóricamente dos ejemplos de sustitución que manifiesten ciertas condiciones generales aplicadas a las M.C.I., y que son, velocidad variable con o sin inversión de giro y velocidad fija. De estas dos generalidades se desprenden una variante mas que puede ser requerida, y es la potencia necesaria. Con estas consideraciones se pretende abarcar las posibilidades

⁸ Máquina de Combustión Interna

que existen en cuanto a necesidades de aplicación a los sustitutos, que se pueden vislumbrar como elementos o variables separadas y que pueden unirse en combinación libre para lograr el propósito de sustitución, así como tratar de mejorar algún aspecto de desempeño.

Entonces pensemos en sustituir un motor de 250 HP con velocidad variable, y no invertible en su dirección, para el desarrollo de velocidad; y otro de 5 HP de velocidad fija y con inversión de giro.

A partir de aquí vamos a discernir todo el conjunto para cada sustituto en el siguiente orden:

1. Selección del motor de CD.
2. Tipo de amplificador o control electrónico.
3. Características de la celda de combustible.
4. Elementos de acondicionamiento y protección.

Según la siguiente TABLA 6-1, de la NEC (Código Nacional Eléctrico), para voltajes nominales normales en motores CD, y más, para potencias mayores a 200 HP, estas son las corrientes a plena carga a velocidad base.

TABLA 6-1: CORRIENTES A PLENA CARGA EN MOTORES DE CD

HP	VOLTAJE NOMINAL DE ARMADURA					
	90 V	120 V	180 V	240 V	500 V	550 V
1/4	4.0 A	3.1 A	2.0 A	1.6 A		
1/3	5.2	4.1	2.6	2.0		
1/2	6.8	5.3	3.4	2.7		
1/4	9.6	7.6	4.8	3.8		
1	12.2 A	9.5 A	6.1 A	4.7 A		
1 1/2		13.2	8.3	6.6		
2		17	10.8	8.5		
3		25	16	12.2		
5		40	27	20	13.6 A	12.2 A
7 1/2		58		29	18	16
10		76		38	27	24
15				55 A	34 A	31 A
20				72	43	38
25				89	51	46
30				106	67	61
40				140	83	75
50				173	99	90
60				206	123	111
75				255 A	164 A	148 A
100				341	205	185
125				425	246	222
150				506	330	291
200				675		

Aunque resulte mas costoso, elegiremos todos aquellos componentes y máquinas que ofrecen mayores ventajas de todo tipo, como se describió anteriormente en los capitulos, ya que por el momento no importa lo material. Entonces para el ejemplo 1, en el paso 1 vamos a elegir un motor de CD sin escobillas y ventilado (abierto); tipo de trabajo variable, no reversible, y de velocidad variable, paso 2 el control será un circuito tiristor SCR, paso 3, la pila de combustible adecuada, que se ejemplifica mas adelante y paso 4, uno o algunos elementos de protección adecuados. Para el ejemplo 2, paso 1, utilizamos un motor CD sin escobillas ventilado, tipo de trabajo continuo, reversible, y de velocidad constante, paso 2. Un amplificador de CD, paso 3, otra pila de combustible específica para este ejemplo, y paso 4, algún conjunto de protección.

A partir de la potencia en demanda (es un ejemplo), con la formula de potencia por la conversión de 746 W/HP, y todo esto entre el voltaje elegido, obtenemos el consumo nominal en Amperes de cada motor, con lo que refiriendonos a un manual adecuado, encontraremos un modelo preciso con las necesidades de demanda, que en el primer ejemplo son tales que no es necesario multiplicar el amperaje por 6 veces, que en todos los motores eléctricos que trabajan a plena carga y tensión se sucede un fenómeno propio, y para el segundo ejemplo si, porque trabajará a las condiciones nominales de plena tensión y carga, tenemos entonces:

$$\frac{Hp \times 746 \text{ W/HP}}{V} = \text{Amperes}$$

Para cualquier demanda de potencia

El control electrónico se localiza en general en un catálogo específico, pero por el momento no debemos centrarnos en encontrar uno específico para aplicarlo, por las razones antes mencionadas.

Las pilas o celdas tienen algo así como 0.4 Amperes por cada centímetro cuadrado, y cada unidad tiene 4 celdas o arreglos de voltaje (FIGURA 6-1), es decir 4 Volts. Los sistemas de protección necesarios para estos ejemplos serán, en forma práctica, para el primero, "combinación de relé y fusible de sobrecarga magnética", y un "dispositivo termostático", y de igual forma para el segundo en este caso, con lo cuál, no se intenta repetir sino simplificar y ejemplificarlos.

FIGURA 6-1
UNIDAD BÁSICA (4 CELDILLAS)

FIGURA 6-1: UNIDAD BÁSICA (4 CELDILLAS)

A manera de cálculo rápido, y con ciertas conveniencias, tenemos

1. Motor de 250 HP, 800 V, Representado en la FIGURA 6-2a.

$$\frac{250(746)}{800} = 233,12 \text{ A} + 10\% = 257 \text{ A}$$

El área de la pila es:

$$\frac{800 \text{ V}}{4 \text{ V/celda}} = 200 \text{ cm}^2$$

Con un poco mas de área para proteger la pila, en general.(con al menos 1 centimetro de altura) es de:

$$20\text{cm} \times 12\text{cm} = 240 \text{ cm}^2$$

Según datos del capítulo 4, con una altura de 1cm cada pila tiene 0.4 A /cm² y cada unidad simple tiene 4 pilas individuales (relativamente):

$$4\text{mA} (4) = 1.6 \text{ A en un centimetro de altura.}$$

Cada unidad por el área superficial total de la pila:

$$1.6 \times 240 = 384 \text{ A (sobrado de corriente)}$$

A manera de ejemplo sencillo, la caja o pila de combustible con el mínimo de requerimientos es de 20cm X 12 cm y 1 cm de altura, representada en la siguiente FIGURA 6-2b. En la FIGURA 6-3, el SCR esta aumentado, no esta representado en proporción:

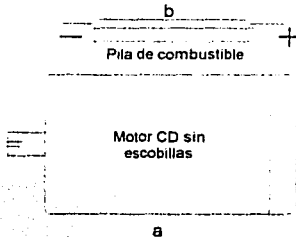
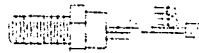


FIGURA 6-3: TIRISTOR SCR (TROCEADOR)



FIGURAS 6-2a, 6-2b: REPRESENTACIÓN DE PILA DE COMBUSTIBLE Y SERVOMOTOR

2. Motor de 5 HP, 400 V , representado en la FIGURA 6-4a.

$$\frac{5 (746)}{400} = 9.32 \text{ A} + 10\% = 10.25 \text{ A (6 veces al arranque)} = 61.51 \text{ A}$$

El área de la pila:

$$\frac{400 \text{ V}}{4 \text{ V/celda}} = 100 \text{ cm}^2$$

El área general es:

$$10 \text{ cm} \times 12 \text{ cm} = 120 \text{ cm}^2$$

Y el amperaje total es de:

$$1.6 \times 120 = 192 \text{ A (sobrado de corriente)}$$

La pila es entonces de 10cm X 12cm y 1cm de altura, (FIGURA 6-4b), de igual forma el amplificador esta aumentado en escala en la FIGURA 6-5:

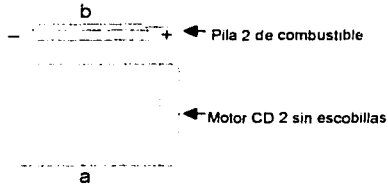


FIGURA 6-4a, 6-4b : REPRESENTACIÓN DE PILA DE COMBUSTIBLE Y SERVOMOTOR

FIGURA 6-5: AMPLIFICADOR DE CD

RESULTADOS TEÓRICOS.

Hablamos de resultados teóricos, porque sería bueno aplicar este proyecto y realizar pruebas a prototipos para ver todas aquellos detalles que hacen el buen funcionamiento de equipos y máquinas, siempre desde el punto de vista de la ingeniería. Sabemos que la ciencia y la ingeniería, están formadas de teorías entre otras cosas, que si bien no son tangibles, son aplicables y realizables en forma real, por esta razón podemos suponer que los ejemplos funcionan, pero las pruebas arrojan todo aquello que no se puede calcular ni predecir, porque los ejemplos contemplan lo mejor de lo mejor en funcionamiento y tecnología, por las ventajas que nos ofrece cada sistema o máquina, pero puede parecer una suposición que todo en conjunto trabaja con las condiciones de los otros sistemas, y a la perfección.

Teóricamente, resultaron ciertas constantes para analizar cualquier tipo de necesidad en potencia mecánica, y son que a partir de la demanda en HP, se selecciona el tipo de motor que se intenta, será un motor CD sin escobillas, pero si el costo es muy elevado en comparación con dos motores o más, comprados en el mismo tiempo de vida del motor sin escobillas, o las prestaciones del mismo no son aprovechables, entonces hay que buscar otra alternativa. El sistema de alimentación puede ser tan grande o tan pesado, que no conviene usarlo, y así, el dispositivo de control, y los sistemas de protección, pueden no ser viables, principalmente por el costo, pero también por espacio, por no estar disponible comercialmente, fuera de rango, entre otras cosas, por lo que cada necesidad o motor objeto de sustitución, debe ser estudiado, aún cuando trataremos de aplicar los mismos criterios y equipos acondicionados para cada necesidad, pero adaptarse si fuera necesario, a otras formas de constituir el sustituto, o incluso a desecharlo como sustituable, por la demasía de desventajas principalmente. Siendo optimistas, todo motor objeto de sustituto, puede serlo con un mínimo de variantes.

¿Cada cuanto tiempo se recargan de combustible las pilas construidas o diseñadas?, ¿tienen un depósito de descarga de agua interno o externo?, son algunas de las preguntas que solo armando y haciendo pruebas podemos responder ya que solo así sabríamos si aumentar o disminuir el voltaje de nominal y aumentar el amperaje, como se hizo en la industria Siemens, donde construyeron un prototipo en el área de investigación, con carcaza, medidores de voltaje y amperaje, sistema de drenado, etc., pero para mala fortuna no hay datos específicos en la tecnología empleada, con todos sus detalles. Otro aspecto teórico es que podríamos arreglar celdas lineales de varios centímetros de largo y otros tantos de altura de tal forma que no hubiera celdas individuales de 1cm^3 , y el llenado de combustible sería mas fácil con un arreglo de pilas H - O y O - H, o viceversa y así sucesivamente hasta llenar el área con finos elementos, como se hizo en la pila de navegación espacial. El área real o altura es otra interrogante que si bien, en los ejemplos es solo el espacio necesario o indispensable, no se sabe a ciencia cierta cuantas horas duraría la alimentación, y por consiguiente, cada cuanto se rellena de combustible, entre otras cosas, aunque existen

investigaciones que tratan de hacer mas eficiente a las pilas de combustible. pero son solo eso, a lo mas prototipos exclusivos y casi secretos. de ciertas areas de industria.

Derivado de las ventajas que nos da un proyecto de estos encontramos también que los motores eléctricos. o algunos de ellos también pueden ser sustituidos en lo integral o solo la alimentación eléctrica. que evitaría el tendido de cableado. todo esto. en diferentes disposiciones. si no necesita mejoras que sobren en el motor eléctrico. Las pilas como alimentación eléctrica de CD, puede acondicionarse ahí. donde haya una necesidad de electricidad de este tipo.

Ya que estas pilas necesitan hidrógeno y oxígeno. hay ciertos sectores de la industria que se beneficiarían con la demanda de combustible. si se produjeran en serie, así como se incrementaría la demanda de investigación con todas sus ramas inherentes a ella.

Como se mencionó en algún punto de esta tesis. parece que hay temas de objetos descritos que nada tienen que ver con la parte de la integración del sistema. pero desde que este proyecto o trabajo es personal y propuesto por el sustentante. la búsqueda que se encierra en el objetivo. lleva a considerar todo aquello que pueda ser empleado. o bien. que pueda ser descartado por comparación o conveniencia. es así que todos los capitulos son producto de la recopilación seleccionada de un mundo de conocimientos que pueden ser objeto de otras tantas tesis. algunos o todos ellos. y entonces resulta que debemos saber de lo que se habla al integrar un sustituto. ya que sin una adecuada información no es posible decidir y seleccionar. pero con la ayuda de un asesor y hasta un coasesor. se hace hincapié en que esta tesis y todo el contenido. el orden y selección de información esta hecha solo por el sustentante.

El resultado también fue que no hubo que elaborar una serie de cálculos. que hace cada industria englobada para realizar en forma tangible dichos proyectos de sustituto. por la simple razón de que no se está construyendo o comprando elementos. porque es muy caro. muy tardado. y no es factible que sea trabajo de una sola persona haciendo el papel de toda una industria. En un futuro se ve que si es necesario. podría realizar proyectos de este tipo como forma de trabajo. de hecho. personalmente es deseable.

Durante varias etapas de este trabajo llegué a toparme con muchos problemas de diferentes tipos. y me di cuenta no solo de la dificultad para encontrar información adecuada. sino de lo incompleto. indiferente y difícil que resulta el encontrar aspectos técnicos o específicos en temas como servomotores. control electrónico. y celdas de hidrógeno. donde ciertas investigaciones. tecnologías o productos. solo son accesibles a alguien que tiene la intención de aportar ganancias monetarias. con el respaldo de un trabajo para una empresa. proyecto o industria a nivel profesión. ya que aún cuando las bibliografías expresan características o condiciones que realmente existen. es dominado solo por aquellos verdaderamente allegados a cada parte constituyente del total del propósito de este proyecto o trabajo de tesis. y es por esto que resulta la

consideración de tratar esta tesis como investigación, porque a la hora de buscar y preguntar, parece que muy pocas personas o bibliografías, tienen realmente una adecuada respuesta, porque en muchos aspectos, este tema no es dominio del público, industrias o literatura como tal, de ahí el interés personal para tratar de realizar proyectos como este, porque puede no solo aportar una fuente de trabajo redituable sino que ofrece empleos y ayuda a un problema ecológico y energético, al menos en este país. En un nivel mas alto, fuera de este propósito teórico, existe la posibilidad de otra barrera inteligible, si se realizara este trabajo como una industria, esto es, lo político y económico como marco de una serie de intereses y preocupaciones para lograr consolidar un simple proyecto o trabajo de tesis, en una fuente de trabajos e industria, o bien, un negocio, si hubiera un legítimo interés por estas ideas

Con lo que se ha leído en las recientes investigaciones sobre pilas, no debemos quedarnos atrás, en México hace falta la investigación de punta, y este puede ser un buen punto para iniciar, además le daríamos una gran ventaja a la ecología y la cada vez mas escasa energía aplicable a la vida diaria.

CONCLUSIONES.

En conclusión este es un trabajo relativamente sencillo con varios propósitos. ser primero, la tesis de titulación. segundo, un propósito a futuro enfocado entre otras cosas al desarrollo de tecnología en nuestro país. que tanta falta nos hace. y tercero una prueba para intentar realizar proyectos en un futuro para alcanzar ciertas metas.

Además. hay muy poco sobre este trabajo en conjunto, por no decir que no hay nada que tenga este objetivo, por lo cual resulta original y aplicable al concepto de tesis, que también dice que se abarca la carrera completa y se extrae todo lo aprendido, o todo lo necesario para realizar un trabajo enfocado como prueba para el futuro profesional, así como tratar de aportar algo a otras generaciones, o a cualquier persona o grupo que tenga inquietudes o necesidades similares

Debe quedar claro que yo no conocía nada de pilas de hidrógeno o servomotores, y tantas otras cosas sobre sistemas de protección por ejemplo. ya que todo eso generalmente se deja para la vida profesional, donde se technifica el ingeniero y aplica sus conocimientos para seguir aprendiendo, porque en la teoría no se nos enseña con catálogos de productos, y no somos investigadores profesionales.

Es bueno saber que se pasa otra etapa de la vida profesional, a pesar de los problemas y barreras encontradas y puestas como limitantes, en la realización de esta tesis, que sinceramente espero no sea tan simple o complicada para no tomarla en cuenta en todos aquellos aspectos generales.

MATERIALES BIBLIOGRÁFICOS.**BIBLIOGRAFÍA:**

Irving L. Kosow
MAQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES.
ED. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
2a. edición.

Irving L. Kosow
CONTROL DE MAQUINAS ELÉCTRICAS.
Ed. Reverté, S.A.

Van Valkenburg, Nooger and Neville
SISTEMAS SINCRONOS Y SERVOMEKANISMOS BÁSICOS.
Ed. Continental.

Wernick E. H.
ELECTRIC MOTOR HANDBOOK.

Fink and Beaty
STANDARD HANDBOOK FOR ELECTRICAL ENGINEERS.

Ogata Katsuhico
INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA.
Ed. Prentice-Hall.

Stockdale, Leonard Alfred
SERVOMEKANISMOS.
Ed. Urmo.

Bulliet L. J.
SERVOMEKANISMOS.
ED. Técnicos Asociados.

Traister, John E.
HANDBOOK OF POWER GENERATION.
Transformadores y generadores.
Ed. Prentice-Hall.

Seguier, Guy
ELECTRÓNICA DE POTENCIA.
ED. G. Gili.

Autores Eléctricos

ELECTRÓNICA DE POTENCIA CONTROLADA POR TIRISTOR.

De. Marcombo.

Siemens, Enseñanza Programada

CONSTITUCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE

LAS PILAS DE COMBUSTIBLE.

ED. Marcombo.

EP 11.

Forcada G. Julio

EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.

ED. Alfa Omega

Lobosco, Orlando Silvio

SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS..

ED. Siemens Aktiengesellschaft & Marcombo S.A.

Si ha de utilizarse un método para el desarrollo de esta tesis, es un conocido modo de diseño para un prototipo cualquiera, que determina también si este es el indicado, o si es necesario incorporar algún cambio. Este método de diseño es visto en el contenido de una de las materias que se imparten en esta facultad, específicamente en ingeniería, y tiene por nombre Diseño de Máquinas. Este método indica los pasos y consideraciones a seguir, pero no se contempló seguirlo, sino que se tomaron decisiones mas libres según el propósito final y las características del proyecto, que además no se pretende realizar físicamente por diversas y casi lógicas razones, por lo cual no se maneja como base, no se escribe, y no se leerá en ningún lugar.