

17.
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA CENTRIFUGA DE MESA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N:

EDGAR BECERRIL LERIN
MARGARITA LUNA CAMACHO

DIRECTOR:

ING. BENJAMIN RAMIREZ H.



MEXICO, D. F.

1991

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

Doy gracias a Dios por el gran milagro que significa la vida, la cual me ha tocado compartir con ustedes.

Estas líneas las dedico a la persona que inicio la historia, la cual cumple hoy uno de sus capítulos.

A ti, de la que una vez fui parte de tu ser cuando la semilla empezó a germinar y ahora gracias a los cuidados y enseñanzas que le brindaste comienza a dar sus primeros frutos.

A ti, con la compartí mis penas y alegrías, la salud y enfermedad, los éxitos y fracasos y el gran cambio de niño a hombre, te expreso la gran admiración que por tí siento.

A ti, de quien aprendí que a los obstáculos de la vida se les debe enfrentar con sencillez, honradez y dignidad.

A ti, que como en el pasado, llegué a ser parte parte tuya, ahora y por siempre serás parte mía, la cual no se extinguirá y seguirá dando frutos en las semillas que llegue a sembrar.

A ti, divino tesoro que dios me dio.

A ti, Nelly con solo dos palabras de agradecimiento, pero que guardan el gran amor que por tí siento, te las dedico en este momento.

Gracias Madre.

Edgar.

Para :

Guadalupe
Enrique
Javier
René
Edna

No siempre el que recibe, es el que tiene más,
de ustedes he obtenido más cosas que las he
pretendido darles.

Gracias hermanos.

A la memoria de mis seres queridos con los
cuales hubiera querido compartir estos tiem-
pos.

A todos mis amigos y maestros, los de la
escuela y de la vida, las personas definen su
carácter gracias a la gente con la que con-
vive, parte de mí se las debo a ustedes.

PARA MIS PADRES ALICIA CAMACHO DE LUNA Y
VICTORICO LUNA VELAZQUEZ, MIS HERMANOS ROSI,
JANA, MAMA LULU, VICTORICO, NENA Y LICHO, Y A
MIS HERMANOS POSTIZOS ANGEL Y AGUSTIN TODO MI
AMOR Y AGRADECIMIENTO POR SU APOYO

A LA MEMORIA DE MI ABUELITA URSULA, CUYO
RECUERDO NOS INSPIRA Y RECONFORTA EN TODO
MOMENTO.

PARA MI TIA CRISTINA Y MI HERMANA ASTRID
MI CARÍO Y AGRADECIMIENTO PORQUE SIEMPRE
ESTAN CON NOSOTROS.

A MIS SOBRINOS SIGRID, COSETTE, MICKY, PATY,
SAMY LU, BECKY, SEBASTIAN, EDLE, TEENI,
ANGEL ALEJANDRO, NAYBI Y AL BEBE ALATRISTE
LUNA, GRACIAS POR LOS TODOS LOS LINDOS
MOMENTOS QUE NOS HAN DADO, CON LOS QUE HAN
ILUMINADO LA VIDA DE TODOS NOSOTROS.

MI AGRADECIMIENTO Y AMISTAD PARA MIS
PROFESORES Y AMIGOS DE LA PREPARATORIA 5 Y DE
LA FACULTAD DE INGENIERIA POR SU APOYO A LO
LARGO DE LA CARRERA, ASI COMO PARA PODER
TERMINAR ESTE TRABAJO.

NO QUISE NOMBRARLOS POR TENER A OLVIDAR
ALGUNO, PERO:

" GRACIAS A TODOS POR TODO " .

PARA MI OSO:

M A, M A, M P L , MI AGRADECIMIENTO POR
TODA SU AYUDA Y POR HABERME DADO A PELUSA.

Hagamos un trato.

Si alguna vez adviertes
que te miro a los ojos,
y una veta de amor
reconoces en los míos,
no piense que deliro,
piensa simplemente que puedes
contar conmigo.

Si otras veces me encuentras
huraño sin motivo,
no pienses que es flojera,
igual puedes contar conmigo.

Pero hagamos un trato:
yo quisiera contar contigo,
es tan lindo saber que existes,
uno se siente vivo, y cuando
digo esto, no es para que vengas
corriendo en mi auxilio,
sino para que sepas que tú
siempre puedes contar conmigo.

Mario Benedetti.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
Descripción del equipo	5
CAPITULO II	
Métodos de centrifugación	11
CAPITULO III	
Tipos de centrifugas	29
CAPITULO IV	
Implementación del sistema	42
Conclusiones	101
Lista de componentes	104
Bibliografía	114

I N T R O D U C C I O N

La bioquímica intenta explicar cómo funcionan los organismos en términos de los procesos que se llevan a cabo en el interior de sus células, éstas se encuentran en un estado de actividad dinámico y son afectadas por factores internos y externos que se presentan en forma de flujos. La actividad de cualquier célula altera las actividades de sus vecinas y también puede afectar a las actividades de células situadas a alguna distancia. El estudio de las células aisladas, teniendo en cuenta sus actividades modifican y pueden ser modificadas por otros procesos que tienen lugar en los organismos, es por tanto, bastante restrictivo. Las investigaciones de los fisiólogos, farmacobiólogos, microbiólogos, patólogos, etc. sirven para proporcionar un contexto y un nivel adicional de comprensión de la multitud de otros procesos e interrelaciones implicados en los organismos vivos. Aunque el bioquímico pueda estar en primer lugar interesado en estudiar los procesos a nivel celular y subcelular, sus hallazgos deben ser relacionados e interpretados a nivel del órgano, del tejido y del

organismo entero, así como de las relaciones entre el organismo y su entorno.

Para estudiar cualquier serie de procesos relacionados entre sí, dentro de un sistema, normalmente es necesario estudiar las partes componentes del sistema. Ello requiere generalmente el aislamiento de sus elementos y un análisis de éstos para establecer sus papeles individuales, seguido de una apreciación de como estos papeles encajan en el sistema funcional global.

Los procesos que tienen lugar en el interior de las células pueden ocurrir dentro de partículas y orgánulos presentes en éstas. Si un proceso está asociado a un orgánulo o partícula, el proceso y sus componentes pueden estudiarse una vez aislada ésta. Las partículas celulares pueden separarse de las células mediante una técnica de fraccionamiento que normalmente comprende dos etapas. Primero se rompen las células utilizando técnicas de desintegración. Enseguida, de la suspensión de partículas y orgánulos celulares resultante, se puede aislar una determinada partícula u orgánulo mediante técnicas de centrifugación, o bien se estudian las propiedades de la partícula o del orgánulo, y/o los componentes pueden separarse unos de otros empleando distintas técnicas de separación, tales como la centrifugación, la cromatografía o la electroforesis. Dado que el estudio de las actividades celulares necesita generalmente del fraccionamiento de las

organismo entero, así como de las relaciones entre el organismo y su entorno.

Para estudiar cualquier serie de procesos relacionados entre sí, dentro de un sistema, normalmente es necesario estudiar las partes componentes del sistema. Ello requiere generalmente el aislamiento de sus elementos y un análisis de éstos para establecer sus papeles individuales, seguido de una apreciación de como estos papeles encajan en el sistema funcional global.

Los procesos que tienen lugar en el interior de las células pueden ocurrir dentro de partículas y orgánulos presentes en éstas. Si un proceso está asociado a un orgánulo o partícula, el proceso y sus componentes pueden estudiarse una vez aislada ésta. Las partículas celulares pueden separarse de las células mediante una técnica de fraccionamiento que normalmente comprende dos etapas. Primero se rompen las células utilizando técnicas de desintegración. Enseguida, de la suspensión de partículas y orgánulos celulares resultante, se puede aislar una determinada partícula u orgánulo mediante técnicas de centrifugación, o bien se estudian las propiedades de la partícula o del orgánulo, y/o los componentes pueden separarse unos de otros empleando distintas técnicas de separación, tales como la centrifugación, la cromatografía o la electrofóresis. Dado que el estudio de las actividades celulares necesita generalmente del fraccionamiento de las

células, es evidente que el proceso de fraccionamiento puede tener un efecto profundo sobre las actividades que llevan a cabo las células en condiciones normales. Debido a esto, es importante contar en los laboratorios con un equipo que permita minimizar en lo posible los efectos que pudiera tener el proceso de separación en las células, y así mantener las condiciones tan próximas como sea posible a las que se cree existen dentro de ellas.

La centrifugación es uno de los métodos de separación más utilizados en los laboratorios, la cual se fundamenta, en que debido a su densidad los elementos de una sustancia se pueden separar por el simple efecto de la gravedad, pero este puede ser miles de veces acelerado aplicando una fuerza centrífuga al sistema. Esta fuerza crece de manera proporcional al número de revoluciones con la que gira el motor, de aquí, que una centrifuga requiera un sistema que proporcione eficazmente el control de la velocidad en un amplio rango.

Hoy en día existen en el mercado nacional una gran variedad de tipos y marcas de centrifugas, todas ellas con una alta calidad, pero la gran mayoría es equipo extranjero. Actualmente dado las políticas de comercio que rigen al país, es necesario cada día más el diseñar equipo con tecnología nacional que utilice material que pueda ser encontrado en México.

Es por esto que la finalidad de este trabajo, es la de diseñar e implementar (en su parte electrónica) una centrifuga de mesa, la cual pueda proporcionar, por las razones arriba mencionadas, eficiencia y confiabilidad al usuario, además de utilizar la nueva tecnología que está surgiendo en el campo de los dispositivos de estado sólido en el área de electrónica de potencia.

El siguiente reporte consta de cinco capítulos: en el capítulo I se da una descripción sencilla del trabajo que se desarrolló, en el capítulo II se comenta qué es y en qué se basa el método de centrifugación, así como técnicas empleadas en éste, en el capítulo III se hace referencia a características de algunos tipos de centrifugas, en el capítulo IV se explica en forma detallada el diseño del sistema, así como los criterios que se siguieron para la selección de las técnicas y elementos utilizados, por último en el capítulo V se presentan las conclusiones.

C A P I T U L O I

DESCRIPCION DEL EQUIPO

1.1 Aspectos generales

El propósito de este trabajo es el diseñar e implementar una centrífuga de mesa. Entre las características principales de este tipo de equipo se encuentran que son compactas y ligeras, lo que hace que puedan ser transportadas fácilmente, son de manejo sencillo, pueden alcanzar velocidades hasta de 10, 000 R.P.M., cuentan con un elemento que permite medir las revoluciones de trabajo, tienen un dispositivo de paro automático y no necesitan de sistema de refrigeración.

En la descripción del sistema a implementar se mencionan las características mecánicas que debe satisfacer el equipo diseñado, pero el desarrollo de estos, no está dentro de los objetivos de este trabajo. La parte fundamental consiste en el diseño e imple-

mentación de los elementos electrónicos básicos que forman una centrífuga de mesa, siendo estos:

- Control de velocidad.
- Tacómetro.
- Control de tiempo de trabajo.

1.2 Control de Velocidad.

El proceso de separación de sustancias empleando la centrifugación consiste, en el empleo de una fuerza centrífuga (generada por el giro controlado de un motor) aplicada sobre los compuestos contenidos en las probetas del equipo. Debido a que éstos están formados por componentes de diferentes y distintivas características, tales como densidad, peso específico, coeficiente de fricción, etc., también la centrifugación dispone de diferentes parámetros para realizar su tarea, entre ellos están: el tiempo de centrifugación, magnitud de la fuerza centrífuga y temperatura de trabajo; en base a éstos se han diseñado cartas de centrifugación las cuales con las características del compuesto permiten determinar el tiempo y velocidad de centrifugación requeridas para la descomposición de la sustancia. Los parámetros que se pueden variar utilizando una centrífuga son la velocidad y el tiempo de trabajo.

Según normas establecidas para centrifugas de mesa utilizadas por el Instituto Mexicano del Seguro Social, el rango de velocidades a la cual debe operar este equipo es de 100 a 8 000 R.P.M.; las que deben de ser constantes durante el tiempo fijado por el operador.

La variación de la velocidad del motor se hizo en base a controlar el voltaje suministrado a éste por medio una fuente conmutada. La cual utiliza como dispositivo de conmutación transistores de potencia. Los criterios de selección en base a los cuales se eligió esta técnica se comentan en el capítulo IV.

1.3 Tacómetro.

Como el efecto centrífugo depende de la velocidad de trabajo, resulta primordial que el operador pueda disponer de un dispositivo que le permita conocer las revoluciones a las que está girando el motor. El tacómetro diseñado es del tipo de despliegue numérico con una resolución de 10 r.p.m.

1.4 Control de Tiempo.

Para permitir que el usuario realice otras tareas, sin la

necesidad de estar supervisando el tiempo de trabajo del equipo, se debe integrar a éste un dispositivo que detenga el funcionamiento del motor, una vez transcurrido el periodo establecido por el operador.

Según las normas antes mencionadas, el control de tiempo, debe permitir seleccionar el periodo de centrifugación, con resolución de 1 minuto y una exactitud de ± 0.5 minutos en su rango total.

Otras especificaciones establecidas por las normas técnicas para estos equipos son:

Cámara de centrifugado. Debe ser diseñada de tal manera que permita el libre movimiento del rotor y del cabezal, así como tener la suficiente resistencia para contener las partículas producidas por la rotura de los tubos o del mismo cabezal, servir como barrera de protección para el usuario y ser de fácil limpieza y desinfección.

En el marco de acceso a la cámara debe instalarse un empaque de silicón, que sea fácilmente intercambiable.

Tapa de la cámara de centrifugación. Debe ser diseñada de tal manera que cubra cualquier acceso a la cámara de centrifugación

por parte del usuario; instalada con bisagras o un mecanismo similar que permita el alineamiento automático con el marco de acceso a la cámara. Debe estar equipada con un mecanismo de seguridad que impida el funcionamiento del equipo si la tapa está abierta.

Cabezal. Debe ser diseñado de tal manera que este perfectamente nivelado, balanceado y que no produzca vibraciones al girar.

Rotor. Debe estar diseñado de tal manera que no tenga ninguna oscilación al ser impulsado por el motor; su montaje debe permitir la fijación segura del cabezal.

Tablero de control. Localizado al frente del equipo y que contenga:

- Interruptor general. Para uso rudo que admita el 125% sobre el valor de la corriente, con posición de encendido-apagado.

- Interruptor arrancador. Para uso rudo que admita el 125% sobre el valor de la corriente con apagado operado por el control de tiempo.

- Lámpara de encendido. De color rojo, que puede estar incorporada al interruptor general.

Fusible. Para protección contra sobrecorriente, de la capacidad adecuada al consumo de corriente eléctrica del equipo.

Motor eléctrico. Motor eléctrico de 127 volts, 60 Hz, con la potencia necesaria para hacer girar el cabezal a plena carga, a la velocidad para la que fue diseñado el equipo; debe estar perfectamente balanceado para no producir vibraciones u oscilaciones.

Acabado del gabinete. Superficies libres de salientes cortantes y de rugosidades que pueden causar daño al personal, al material a centrifugar, a sus accesorios o impedir la limpieza adecuada.

Las superficies de los materiales expuestos a corrosión y que no sea resistente a ésta, debe tener un recubrimiento anticorrosivo, resistente a las condiciones de trabajo del equipo, a golpes y rozamientos.

C A P I T U L O I I

METODOS DE CENTRIFUGACION

2.1 Aspectos Teóricos.

Se conoce con el nombre de centrifugación, a la operación consistente en la separación de cuerpos sólidos en mezcla con líquidos inmiscibles (substancias que no se mezclan) y de diferente densidad, con el auxilio de la fuerza centrífuga.

Si se deja en reposo una suspensión de partículas muy finas de un sólido, la separación por sedimentación de las mismas se realiza en forma lenta por el simple efecto de la gravedad, pero este efecto puede ser acelerado miles de veces si se recurre a la centrifugación. De ahí que esta operación ha pasado a remplazar, tanto en la industria como en los laboratorios a otras, tales como la filtración y la decantación, usándose cuando por la finura de los precipitados, la poca diferencia de densidades entre las

partes involucradas, o por el hecho de estar formado el sistema por fases líquidas, la separación se torna lenta o complicada.

Por aplicación de las leyes de la física, la fuerza centrífuga generada sobre un cuerpo de masa "m" que gira a una distancia "r" con respecto a un eje normal al plano, dependerá, además de los factores antes considerados, de la velocidad de rotación del cuerpo "v"

$$F_c = mv^2/r \quad (\text{ec. 2.1})$$

Esta fuerza tenderá a alejar a la masa considerada de su centro de giro (figura 2.1).

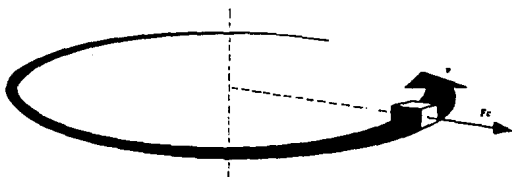


figura 2.1

Siendo la masa la relación entre el peso del cuerpo y la aceleración de la gravedad

$$m = G / g$$

y considerando que la velocidad tangencial "v" puede ser expresada en función del número de revoluciones por minuto "n" del cuerpo rotante por la ecuación:

$$v = 2\pi rn / 60$$

entonces la ecuación de la fuerza centrífuga (Fc) será:

$$F_c = 4Gr^2rn^2 / (g \cdot 3600)$$

$$F_c \approx Grn^2 / 900 \quad [\text{Kgm/seg}^2] \quad (\text{ec. 2.2})$$

simplificación que puede efectuarse, ya que $\pi^2 = 9.87$ y $g = 9.81$.

De la ecuación 2.2 se puede deducir que la fuerza centrífuga crece sólo linealmente con el aumento del radio de giro (o diámetro del tambor) pero lo hace de manera proporcional al cuadrado del número de revoluciones.

La velocidad de sedimentación de una partícula esférica depende, no sólo de la fuerza centrífuga, sino también del radio y la densidad de la partícula y de la viscosidad del medio de suspensión.

El tiempo que tarda (inversamente relacionado con la veloci-

dad de sedimentación), una partícula esférica en sedimentarse en el seno de un determinado medio desde el menisco del líquido hasta el fondo del tubo de la centrifuga es:

$$t = 9\beta / ([2\omega^2 r_p^2 (\alpha_p - \alpha)]) \ln r_b / r_t \quad (\text{ec. 2.3})$$

donde:

- t = tiempo de sedimentación en segundos
- β = viscosidad del medio de suspensión
- r_p = radio de la partícula
- α_p = densidad de la partícula
- α = densidad del medio
- r_t = distancia radial desde el centro de rotación al menisco del líquido
- r_b = distancia radial desde el centro de rotación al fondo del tubo

Se deduce de la ecuación 2.3 que, a una velocidad del cabezal dada, el tiempo requerido para sedimentar una mezcla de partículas esféricas homogénea es inversamente proporcional tanto al cuadrado de su radio, como a la diferencia entre su densidad y la del líquido medio de suspensión, y directamente proporcional a la viscosidad del medio. Por lo tanto, queda claro que una mezcla heterogénea de partículas prácticamente esféricas puede ser separada por centrifugación a base de sus densidades y/o de su tamaño, bien con el tiempo requerido para su sedimentación com-

pleta en un determinado campo centrifugo, o bien por el grado de su sedimentación después de un cierto tiempo en un campo gravitatorio dado.

El poder separador (S) de una centrifuga es la relación existente entre la velocidad de separación de una partícula de peso unitario por efecto de la fuerza centrifuga generada y la velocidad de separación que hubiera correspondido, de ser la gravedad la única fuerza actuante, siempre en el seno del mismo fluido

$$S = v_c / v_g$$

donde v_c y v_g son las velocidades de separación por la fuerza centrifuga y por la gravedad, respectivamente.

Debido a la finura de tamaño de las partículas, que por lo general se someten a la centrifugación, las velocidades que adoptan las mismas, serán prácticamente uniformes y respondiendo a la ley de Newton del movimiento en el seno de un fluido. Entonces:

$$S = [F/G]^{1/2}$$

y por lo tanto:

$$S = n(r)^{1/2}/30$$

Se denomina rendimiento de una centrifugación, a la relación existente entre la fuerza centrífuga necesaria para separar el material que se considera (F_C) y aquella fuerza necesaria para hacer funcionar el equipo (F_t)

$$F_C / (F_C + F_t)$$

Lógicamente, para un rendimiento elevado, es conveniente que F_t sea despreciable y ello se consigue fabricando un sistema giratorio lo más pequeño y liviano posible. Este objetivo se contrapone, por otra parte, con el espesor del material necesario para ser capaz de resistir mecánicamente las enormes tensiones generadas por la fuerza centrífuga actuante sobre el mismo equipo.

Es por esto que se utilizan para la construcción de los elementos móviles en la centrífuga, materiales de reducido peso específico y alta resistencia mecánica, tales como aleaciones ligeras (duraluminio) o estructuras semejantes a las desarrolladas para usos aeronáuticos.

El efecto centrífugo relativo o ECR es la relación que existe entre la fuerza centrífuga que se ejerce sobre un material y el efecto de la gravedad terrestre. Siendo:

$$ECR = F_C / G$$

y su valor será igual al cuadrado del poder separador, o sea:

$$ECR = 4\pi^2 r n^2 / (981 \times 3600)$$

$$ECR = 1.1178 \times 10^{-5} n^2 r \quad (\text{ec. 2.4})$$

para "r" expresado en centímetros.

Este parámetro es importante para conseguir la repetición de resultados cuando, para un mismo trabajo o investigación, se utilizan diferentes centrifugas. En este caso, ya que muy probablemente ha variado el valor del radio de giro entre uno y otro equipo, el operador ha de modificar la velocidad de manera conveniente, a fin de que el ECR se mantenga constante.

2.2 Efectos de la fuerza centrífuga.

Al aplicar a un sistema el efecto separador de una fuerza centrífuga, debe tenerse en cuenta, que este se ejerce sobre todos los componentes del sistema; en consecuencia, el efecto se ejercerá sobre la partícula y el medio que la rodea, y la sedimentación será igual al peso de la partícula multiplicado por ECR, menos el peso del volumen de líquido desalojado, multiplicado también por ECR. Es por esto, que en el caso de líquidos inmiscibles, una vez rota la emulsión y separados los componentes,

éstos se disponen en relación a sus densidades, flotando el menos denso sobre el de mayor densidad, es decir, más cerca del eje de rotación (figura 2.2).

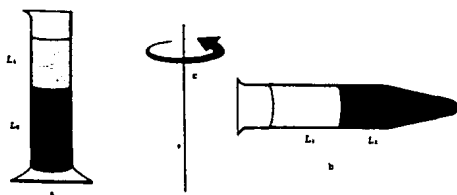


figura 2.2

La presión ejercida por los líquidos o sólidos que se están separando sobre las paredes del tambor o fondo de los tubos que los contienen, se suma a las tensiones propias de estos elementos, obligando a un mayor refuerzo de la estructura. Especial importancia adquieren estas presiones en el caso de una centrifuga de laboratorio, donde normalmente se utilizan recipientes de vidrio, y la fragilidad de este material limita el ECR que se puede aplicar.

En la figura 2.3 se representa una vista en planta de un tubo de centrifuga de laboratorio. Este tubo gira alrededor del eje "E" (normal a la superficie de la página), siendo r_1 y r_2 la distancia que separa dicho eje de la superficie libre del líquido (de forma

cilíndrica) y del fondo del tubo, respectivamente.

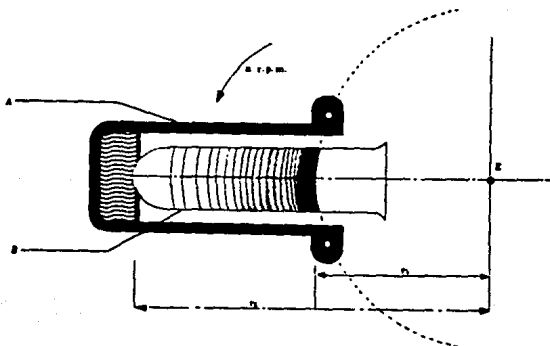


figura 2.3

La fuerza centrífuga que se genera por la rotación de una cierta masa de líquido contenida en un tubo en torno al eje "E", a una velocidad "n" (en revoluciones por minuto), genera presiones en las paredes y fondo de éste, las cuales, no deben exceder la resistencia mecánica del material del tubo a fin de evitar su rotura.

En la figura 2.3, el radio medio de rotación de la masa del líquido, contenida en el recipiente estará aplicada en el centro de gravedad de la misma. Considerando para simplificar que el tubo fuese perfectamente cilíndrico, el centro de gravedad estará

ubicado en el centro geométrico de la masa del líquido, es decir el radio medio de rotación será:

$$(r_1 + r_2) / 2$$

El peso de este líquido, siendo α su densidad y A la sección normal del tubo será:

$$G = (\rho_2 + \rho_1) A \alpha$$

y la fuerza centrífuga generada:

$$F_c = A \alpha n^2 (r_2^2 - r_1^2) / 1800$$

Esta masa de líquido se comporta como un émbolo móvil, no compresible, y transmitirá la fuerza centrífuga generada a las paredes y fondo del contenedor, que a su vez produce una presión cuyo valor máximo corresponderá a la que se ejerce en el fondo del recipiente, es decir, en el punto más alejado del centro de rotación.

$$P_{\text{máx}} = F_c / A = \alpha n (r_2^2 - r_1^2) / 1800$$

Se puede disminuir el inconveniente que representa una elevada presión sobre un material frágil como el vidrio si se coloca entre los tubos recipiente y protector un líquido de

densidad semejante al que se está considerando, de modo que la presión interior sea compensada parcial o totalmente por otra externa. Con una elección adecuada de este líquido, se puede incluso llegar a hacer flotar el tubo recipiente con su contenido.

En el caso de la centrifugación de líquidos o suspensiones en recipientes aislados, se puede considerar la creación de una fuerza aplicada en el centro de gravedad de dicho líquido, y el valor de la misma dependerá de la distancia radial entre dicho centro de gravedad y el de giro del conjunto. Es por esto, que la simple igualdad entre los pesos de dos recipientes opuestos (éste método permite la compensación de las fuerzas con una resultante cero aplicada en el eje de rotación), no es garantía de un funcionamiento tranquilo y sin vibraciones; ya que, variaciones aun pequeñas en la forma o dimensiones de los recipientes provocan desigualdades entre las distancias de los respectivos centros de gravedad y el centro de giro, y por consiguiente, fuerzas resultantes de valores discretos aplicadas sobre el eje de rotación.

Otras veces, en la centrifugación de suspensiones o emulsiones de líquidos, de mucha diferencia entre sus densidades, la acumulación de las partículas sólidas o la separación de líquidos más densos en la zona más alejada del eje de rotación provoca un desplazamiento del centro de gravedad del conjunto que especialmente cuando se sigue la costumbre de equilibrar los recipientes conteniendo el líquido a centrifugar con agua en otro idéntico,

puede llegar a originar fuerzas no compensadas que se manifiestan como cabeceos o vibraciones.

El operador debe, en todo caso, extremar las precauciones para obtener un equilibrio no sólo estático sino también dinámico, entre los tubos que se coloquen en el cabezal de la centrifuga, y en el caso de tener que adoptar una elección, se preferirá el equilibrio dinámico (igualdad de las fuerzas centrifugas generadas en partes opuestas), ya que cualquier desequilibrio es a menudo miles de veces más crítico que la simple diferencia de pesos.

En la aceleración, así como en la desaceleración de una centrifuga, el equipo pasa por una cierta velocidad que puede ser crítica, en la que el número de revoluciones es una armónica de la frecuencia propia de vibración del equipo. En este punto, por fenómeno de resonancia, la amplitud de la vibración aumenta notablemente, llegando algunas veces a destrozarse ciertas partes del aparato o hasta arrancarlo de su base. Esta resonancia no puede evitarse, pero sí reducir sus consecuencias a un mínimo mediante una suspensión elástica capaz de absorber estas vibraciones amplificadas de baja frecuencia, o bien, pasando lo más rápidamente posible por esta zona crítica.

2.3 Técnicas de Centrifugación.

2.3.1 Centrifugación Preparativa.

Es la concerniente al aislamiento real de materiales biológicos para sus investigaciones bioquímicas subsiguientes. Pueden estar implicadas grandes cantidades de material de células vegetales y animales de cultivos de tejidos y de plasma. También pueden aislarse cantidades relativamente grandes de partículas celulares, con objeto de estudiar su morfología, su composición y su actividad biológica. Así mismo es posible aislar macromoléculas biológicas tales como DNA y proteínas a partir de preparados que han recibido una purificación preliminar.

2.3.2 Centrifugación Diferencial.

Este método está basado en las diferencias de velocidades de sedimentación entre partículas de distinto tamaño y densidad. El material que hay que separar se divide por centrifugación en un número de fracciones incrementando el campo centrifugo aplicado. El campo empleado en cada etapa se selecciona de tal modo que durante un tiempo predeterminado de centrifugación sedimente un cierto tipo de material apelmazado en forma de una pastilla, y al final de la etapa, se separan ésta y el "sobrenadante", para lavar

la primera varias veces hasta dar finalmente una fracción de pastilla pura.

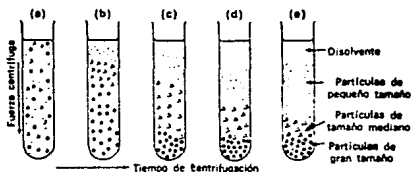


figura 2.4

Inicialmente, todas las partículas del material homogenizado están uniformemente distribuidas por todo el tubo de la centrifuga (figura 2.4a). La centrifugación produce la sedimentación de partículas a sus respectivas velocidades (figura 2.4e). Puesto que al comienzo del proceso, partículas de tamaño y densidades variados se encuentran distribuidas homogéneamente, es evidente que con una sola etapa de centrifugación no se puede obtener preparaciones puras de pastillas. La primera contendrá, principalmente, las partículas más pesadas, pero también una cierta proporción de todas las otras fracciones originalmente presentes. Sin embargo, la repetida suspensión y centrifugación (2 o 3 veces) de la originalmente sedimentada, proporcionará una preparación bastante pura de las partículas más pesadas. La centrifugación del sobrenadante en campos gravitatorios gradualmente crecientes

provocará la sedimentación, primero de las partículas intermedias y finalmente, de las más pequeñas y más ligeras. En la figura 2.5 aparece un esquema del fraccionamiento de una substancia homogenizada en varias fracciones subcelulares. La centrifugación diferencial probablemente es el método más corrientemente utilizado para el aislado de orgánulos celulares de un tejido homogéneo, su desventaja es que hay que formar el gradiente de densidad líquido cuando se necesita, y esto puede llevar tiempo.

2.3.3 Centrifugación de Sedimentación Zonal.

Está técnica también llamada centrifugación zonal "s", implica la formación de una capa de la muestra de un gradiente de densidad líquido continuo. La muestra se somete a centrifugación hasta que se haya efectuado la separación deseada, esto es, antes de su sedimentación completa, pero después del tiempo suficiente para que las partículas se trasladen por el gradiente para formar zonas o bandas discretas (figura 2.6). Este último evita que se mezclen las zonas debido a la convección (corriente de ascenso que se produce en un fluido cuando se caldea en su parte inferior).

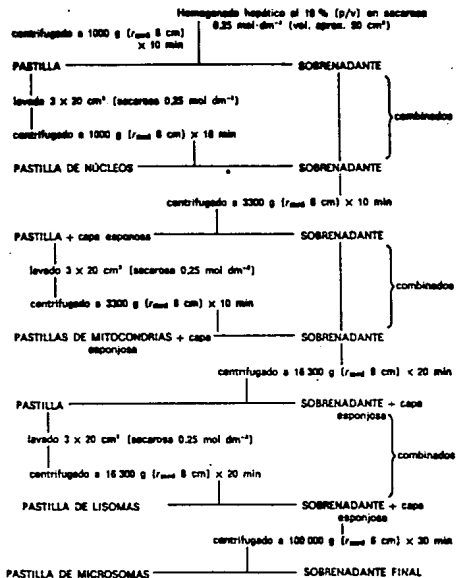


figura 2.5

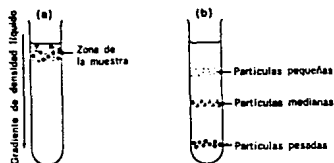


figura 2.6

2.3.4 Centrifugación Isopícnica (de igual densidad).

La separación isopícnica puede practicarse con o sin el empleo de un gradiente de densidad continua, en ausencia de éste, se centrifuga la muestra inicialmente a una velocidad suficiente para que se sedimenten las partículas más pesadas que las que se requieren. Después de separar y desechar las partículas más pesadas, la muestra se suspende en un medio que tenga la misma densidad que la fracción que hay que aislar. La mezcla se centrifuga hasta que el material requerido se sedimente y las partículas de densidad inferior al material deseado hayan flotado hasta el menisco (figura 2.7).

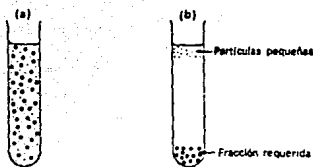


figura 2.7

Alternativamente, se puede depositar una capa de la muestra sobre un gradiente de densidad continua que abarque la gama de densidades de las partículas de interés. Se permite que tenga efecto la sedimentación, hasta que la densidad de flotación de la partícula y la del gradiente sean iguales. En este punto, las partículas se distribuirán formando bandas o zonas. La técnica se ha denominado centrifugación zonal isopícnica o σ_B -zonal, puesto que depende sólo de la densidad de flotación (σ_B) de la partícula y no de su forma o tamaño. La naturaleza del medio de suspensión puede, sin embargo, afectar a la densidad a la cual una partícula formará bandas isopínicamente.

C A P I T U L O I I I

TIPOS DE CENTRIFUGAS.

3.1 Definición de Centrifuga.

Aparato usado en laboratorios clínicos para separar compuestos de diferente densidad o partículas de distinto tamaño que estén suspendidas en un líquido, por medio de la fuerza centrífuga.

3.2 Tipos de Centrifugas.

Existen diferentes clases, pero estas pueden ser clasificadas en seis grandes categorías:

- Centrifugas de Asiento ó Centrifugas de Mesa
- Centrifugas de Gran Capacidad
- Centrifugas de Laboratorio

- Ultracentrifugas
- Centrifugas de Flujo Continuo
- Centrifugas Preparativas

3.2.1 Centrifugas de Mesa.

Tienden a ser compactas y ligeras, con la facilidad adicional de que el cabezal puede ser cambiado para aceptar volúmenes grandes o para operar con ángulo fijo o en el modo balanceo. Un sistema de control de temperatura no es normal encontrarlo en este tipo de centrifugas, lo que da como ventaja que sean portátiles. Las máquinas de este tipo pueden crear solo campos centrifugos bajos (alrededor de 600 g).

3.2.2 Centrifugas de Gran Capacidad.

Como su nombre lo indica son capaces de centrifugar grandes volúmenes de solución (arriba de 6 litros).

El cabezal es intercambiable para que tubos de tamaño diferentes puedan ser aceptados. El máximo campo centrifugo permitido depende del volumen total a ser centrifugado (aproximado de 2000 g). Un sistema de control de temperatura se encuentra en éstas máquinas para trabajar a temperaturas distintas a la del medio

ambiente.

3.2.3 Centrifugas de Laboratorio.

Pueden producir un campo centrífugo en un rango intermedio (aproximadamente 40 000 g). Los factores de seguridad dictaminan que el receptáculo sea lo bastante fuerte para soportar fallas a alta velocidad y en consecuencia se tienen equipos pesados y voluminosos. Cuentan con un sistema de control de temperatura que puede mantener la temperatura estable durante un funcionamiento largo y en algunos casos se cuenta con un sistema de trabajo en vacío. También se dispone de una amplia gama de cabezales intercambiables en estas máquinas.

3.2.4 Ultracentrifugas.

Son similares a las de laboratorio, ya que al igual que éstas cuentan con la capacidad de desarrollar altas velocidades, además de poder aceptar un rango amplio de cabezales. Debido a la resistencia friccional del aire causada por el movimiento del cabezal a altas velocidades, lo cual produce su calentamiento, las ultracentrifugas están equipadas con una bomba difusora de aceite, respaldada por una bomba rotatoria para mantener el vacío. El control de temperatura de éstas es más complejo que los que

utilizan las centrifugas de laboratorio, porque usualmente se emplea un sistema detector de rayos infrarojos. Los campos centrifugos producidos por esta máquina están por arriba de las 500 000 g.

3.2.5 Centrifugas de Flujo Continuo.

Usualmente tienen el cabezal no intercambiable, en cambio requieren de una vasija colectoras rotatoria para que a través de ella se tenga el medio de flujo continuo. Cuando el medio entra en la vasija colectoras, éste es lanzado hacia las paredes por la fuerza centrifuga, las partículas son precipitadas sobre la vasija y el exceso del medio se desborda.

Su mayor aplicación se da para la recolección de células en grandes volúmenes en "medios desarrollados" (20-40 litros).

3.2.6 Centrifugas Preparativas.

Se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Centrifugas de Uso General
- Centrifugas de Alta Velocidad
- Ultracentrifugas Preparativas

Las primeras son aparatos con una velocidad máxima de 6000 r.p.m. y un campo centrífugo próximo a 6000 g. Estas centrifugas difieren de las demás por su capacidad de carga. Todas ellas son capaces de utilizar una gran variedad de cabezales intercambiables de balanceo y angulares, permitiendo efectuar la separación en tubos de 10, 50 y 100 cm³ Existen también grandes centrifugas de uso general, cuya capacidad total es de 4-6 dm³, las cuales, además de poder adaptarles tubos pequeños, pueden admitir botellas de 1.25 dm³ cada una.

Existen centrifugas de alta velocidad con máximas del orden de las 25 000 r.p.m. y campos centrífugos hasta de 89 000 g. La cámara del cabezal está refrigerada para eliminar el calor producido por la fricción entre el aire y el cabezal. Generalmente tiene una capacidad total de hasta 1.5 dm³, y pueden ser usadas con una gran variedad de cabezales angulares y de balanceo. Las ultracentrifugas preparativas desarrollan un campo de 510 000 g. Las cámaras del cabezal están a la vez refrigeradas y evacuadas, para así minimizar la producción de calor por fricción.

3.3 Cabezal.

Anteriormente se ha mencionado en forma constante al cabezal como parte importante de las centrifugas, sin hacer hincapié en él, y es por esto que a continuación se comentarán en forma breve algunas de sus características.

3.3.1 Descripción del cabezal.

El cabezal es un contenedor usado para sostener a los tubos en una determinada posición e inclinación con respecto a su eje. En la figura 3.1 se muestra la posición del cabezal en una centrifuga de mesa.

Muchos de los cabezales comerciales están hechos de aleaciones de aluminio ó de titanio. Los de aluminio son más susceptibles a la fatiga y a la corrosión. Una de las causas que la producen son los altos campos centrífugos, los cuales forzan la estructura cristalina de la aleación.

La corrosión la producen los productos químicos que se centrifugan. Los cabezales de aluminio están normalmente protegidos por una capa de óxido, pero esta protección se puede dañar durante el proceso o por exposición a soluciones salinas.

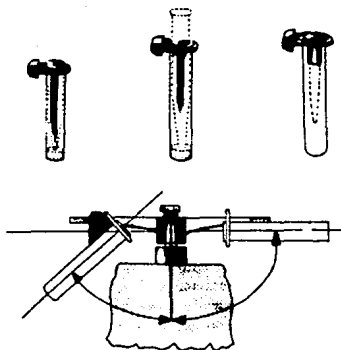


figura 3.1

La corrosión puede agrietar el cabezal rápidamente, haciendo arriesgado su uso, por esto los cabezales deben ser tratados con la atención apropiada.

El titanio resiste mejor la fatiga y la corrosión que el aluminio, además que puede trabajar con campos centrífugos más grandes que éste último.

Su forma óptima se determina por análisis computacional en el cual se minimizan los esfuerzos; esto permite que el exceso de metal sea removido para incrementar la energía del cabezal.

3.4 Tipos de Cabezales.

3.4.1 Cabezales Angulares y de Balanceo.

Los cabezales angulares se denominan así, porque cuando los tubos de la centrífuga están situados en éste, son mantenidos formando un ángulo con el eje de rotación (usualmente de 20' a 35'). Los tubos de la centrífuga, cuando se sitúan en el cabezal de balanceo, ocupan una posición vertical. La aceleración del motor provoca el paso del tubo desde la posición vertical a la horizontal, esto es, inclinado 90' respecto al eje de rotación.

Sin importar la posición en que el cabezal angular se sitúe, las partículas tienen sólo un camino corto que recorrer hasta la pared externa del tubo de la centrífuga, esto proporciona una rápida formación de sedimento. Las partículas al chocar con la pared más externa, resbalan hacia abajo a lo largo de ésta hasta formar una pastilla en el fondo del tubo. Esto, sin embargo, origina fuertes corrientes de convección en la probeta, lo que tiende a producir efectos indeseables cuando se intenta separar partículas que tienen características de sedimentación similares. Tal diseño de cabezal a probado ser, a pesar de lo anterior, valioso para la separación de partículas cuando sus respectivas velocidades de sedimentación difieren significativamente.

También se producen, aunque en menor magnitud, corrientes de convección en los tubos de centrifuga utilizados en un cabezal de balanceo; esto es debido a que las partículas situadas en un campo centrifugo se trasladan radialmente en abanico a partir del centro de rotación, en vez de sedimentar en líneas paralelas. Las partículas, también en este caso, chocan contra la pared del tubo y viajan a lo largo y hacia abajo de la pared de éste hasta su base.

El control de los efectos de convección y de remolinos se ha conseguido, empleando un tubo de centrifuga en forma de sector circular situado en el cabezal de balanceo, también acelerando y desacelerando suavemente al motor y con el empleo de gradientes de densidad.

3.4.2 Cabezales de Acción Continua.

Están diseñados para la separación a alta velocidad de pequeñas cantidades de materiales sólidos de grandes volúmenes de suspensión. Esta última alimenta al cabezal durante la centrifugación de un modo continuo, y los regímenes de trabajo varían con la muestra que hay que aislar. Incorporada al cabezal, hay una cámara cerrada especial que aísla el contenido del mismo de la atmósfera exterior, evitando así contaminaciones o la producción de aerosoles en el interior del cabezal.

3.4.3 Cabezal Zonal o de Anderson.

Está construido de aleaciones de aluminio o titanio capaces de resistir elevados campos centrifugos. Consiste básicamente en una taza rotora y una tapa que se puede separar. Sobre el eje de rotación de la taza hay un núcleo central en el que encajan un conjunto de aspas que la dividen internamente en cuatro compartimientos en forma de sectores circulares. Las aspas o septos tienen unos conductos radiales que permiten el bombeado de el gradiente hacia la periferia del cabezal, partiendo del núcleo central. Los remolinos del contenido del cabezal se reducen a un mínimo por medio del conjunto de septos.

La suspensión se carga mientras el motor girá a unas 3000 r.p.m. aproximadamente. El extremo más ligero del gradiente preformado se bombea al cabezal y emerge en la periferia, formando una capa uniforme que se mantiene verticalmente contra la pared más externa gracias a la fuerza centrifuga (figura 3.2a). Las sucesivas adiciones de el gradiente más denso producen un desplazamiento centrípeto continuo del menos denso hacia el núcleo del cabezal (figura 3.2b). Cuando el gradiente ha sido bombeado al interior, se le introduce un líquido tanto o más denso que el gradiente, al cual se le denomina amortiguador, hasta que se llena completamente, después se introduce la muestra por el tubo que conduce al centro del cabezal (figura 3.2c), del cual enseguida se desplaza por la adición de una sobrecapa de un líquido de baja

densidad (figura 3.2d), con lo que se desaloja de la periferia un volumen igual al del amortiguador. Después de retirar los puntos de gradiente que van al cabezal, se acelera éste hasta la velocidad de operación durante el tiempo requerido para producir una separación de sedimentación zonal (figura 3.2e). Entonces, la recuperación del gradiente y de las partículas separadas se practica desacelerando el motor hasta sus 3000 r.p.m. originales, y su contenido es desplazado, primero por su extremo más ligero, gracias a la introducción de líquido amortiguador adicional.

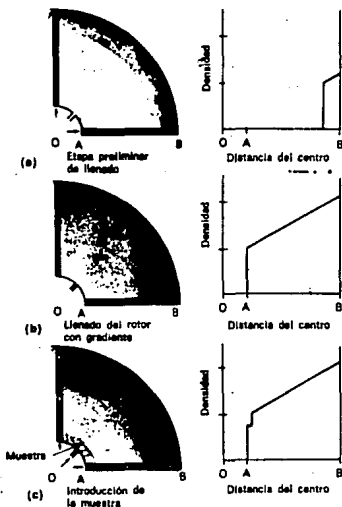


figura 3.2(a,b,c)

El cabezal permite recoger las zonas sin alteración alguna apreciable de la resolución conseguida con la centrifugación. El gradiente que emerge se hace pasar por un dispositivo controlador adecuado, como por ejemplo una célula fotoeléctrica, para determinar el contenido de proteínas por su absorción ultravioleta, y después se recoge fraccionadamente.

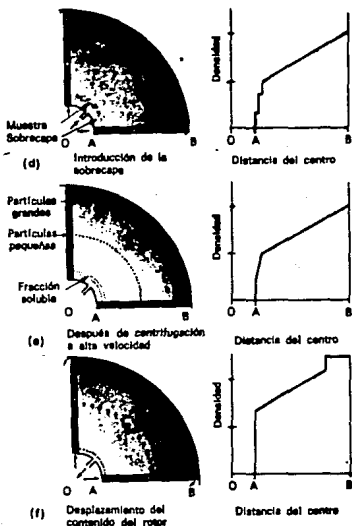


figura 3.2 (d, e, f)

La capacidad de los cabezales de mediana velocidad varía

desde 650 a 1600 centímetros cuadrados, lo que permite recuperar grandes cantidades de muestra (es decir, hasta 100 mg). Los cabezales zonales se utilizan para la eliminación de proteínas contaminantes de varias preparaciones, así como para la separación y aislamiento de mitocondrias, lisosomas, polisomas y proteínas.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION

La forma en la que se planó el diseño fue de tipo modular, dividiendo al prototipo en tres partes de acuerdo a su función, lo que simplifica tanto el diseño de los circuitos, así como su reparación y mantenimiento.

Los módulos en los que se dividió el sistema son:

- 1) Control de Velocidad
 - a) Etapa de Potencia
 - b) Modulador
- 2) Tacómetro
- 3) Reloj de Paro Automático

4.1 Control del Motor.

Como primera parte del proyecto, se selecciono de motor adecuado para las necesidades del equipo. La elección de un motor es de relativa facilidad cuando se trata de un equipo cuya velocidad permanece sensiblemente constante ya que en este caso suele utilizarse un motor de inducción jaula de ardilla o a veces un motor síncrono. La elección se hace más delicada si el motor debe garantizar arranques frecuentes, regulaciones de velocidad y cosa habitual, el frenado de la carga que está arrastrando. En ciertos casos se puede recurrir también a los motores síncronos de inducción, alimentados a frecuencias variables, pero existe preferencia en utilizar motores de corriente continua.

4.1.1 Motores Eléctricos.

Para explicar el principio de funcionamiento del motor se hará referencia primero a como funciona un generador; éste se basa en la ley de Faraday que indica que cualquier conductor que se mueva en el seno del campo magnético se inducirá en éste una diferencia de potencial entre sus extremos, proporcional a la velocidad de desplazamiento y a la intensidad del campo magnético. Si en lugar de un conductor rectilíneo con terminales en circuito abierto se introducen un anillo conductor con los extremos conec-

4.1 Control del Motor.

Como primera parte del proyecto, se selecciono de motor adecuado para las necesidades del equipo. La elección de un motor es de relativa facilidad cuando se trata de un equipo cuya velocidad permanece sensiblemente constante ya que en este caso suele utilizarse un motor de inducción jaula de ardilla o a veces un motor síncrono. La elección se hace más delicada si el motor debe garantizar arranques frecuentes, regulaciones de velocidad y cosa habitual, el frenado de la carga que está arrastrando. En ciertos casos se puede recurrir también a los motores síncronos de inducción, alimentados a frecuencias variables, pero existe preferencia en utilizar motores de corriente continua.

4.1.1 Motores Eléctricos.

Para explicar el principio de funcionamiento del motor se hará referencia primero a como funciona un generador; éste se basa en la ley de Faraday que indica que cualquier conductor que se mueva en el seno del campo magnético se inducirá en éste una diferencia de potencial entre sus extremos, proporcional a la velocidad de desplazamiento y a la intensidad del campo magnético. Si en lugar de un conductor rectilíneo con terminales en circuito abierto se introducen un anillo conductor con los extremos conec-

tados a una determinada resistencia y se le hace girar en el interior del campo, de forma que varie el flujo magnético, se detectará la aparición de una corriente eléctrica que circula por la resistencia y que cesará en el momento en que se detenga el movimiento, o bien, que la variación del campo magnético con respecto al conductor sea nula.

Normalmente en un motor se emplea un cierto número de espiras devanadas sobre un núcleo magnético de forma apropiada y también en algunas ocasiones se sustituye el imán permanente, por un electroimán, el cual produce el mismo efecto cuando se le aplica una corriente de excitación. A este último elemento se le denomina inductor. y el conjunto de espiras y núcleo móviles constituyen el inducido.

Los fenómenos expresados anteriormente corresponden al efecto opuesto al de un motor, es decir, que mediante el sistema descrito se genera una corriente eléctrica a partir de un movimiento mecánico, lo que corresponde al principio de funcionamiento de un generador, sin embargo, al ser dicho efecto reversible, bastará con invertir los papeles y en lugar de extraer corriente del inducido se le aplica una determinada tensión exterior, se producirá la circulación de una corriente por las espiras y éstas comenzarán a girar, debido a que al circular corriente, de forma adecuada por estas, se genera un campo magnético opuesto al primero lo que

resulta en una fuerza que mueve a la espira, completándose así el motor. Es importante considerar que de acuerdo a la ley de Lenz, al girar el inducido (rotor) se creará en él una determinada tensión eléctrica, de sentido contrario a la exterior que se opone al paso de la corriente para compensar así las variaciones de flujo magnético, denominada fuerza contraelectromotriz.

4.1.2 Motores de Corriente Continua.

Para estudiar las características de operación de este tipo de motores, es conveniente hacer una separación entre los cuatro tipos fundamentales de motores de corriente directa, atendiendo a la forma en que se obtiene el campo magnético de los polos principales:

- Motor serie
- Motor en derivación
- Motor compuesto
- Motor de imán permanente

Motor serie. En este caso la bobina que produce el campo se encuentra conectada en serie con la armadura y como el campo es a su vez una función de la corriente y del número de espiras de la bobina, a mayor corriente de armadura se obtendrá un mayor flujo

esto resultará en una velocidad de elevada regulación, es decir, la velocidad se reducirá a medida que el par aumenta.

Motor en derivación. Este motor tiene normalmente el campo conectado en paralelo con la armadura, pero en algunas aplicaciones se conecta a una fuente separada, no obstante el motor se sigue considerando dentro de esta clasificación debido a que sus características de operación siguen siendo básicamente las mismas.

Motor compuesto. Por lo general los motores con excitación compuesta tienen su campo distribuido 50% en serie y 50% en derivación. Reducen su velocidad al aumentar la carga y el campo en derivación tiene la intensidad suficiente para evitar que el motor se desboque al quitar la carga. La proporción de los campos serie y derivación pueden variarse desde luego y esto determinará las características del motor.

Motor de imán permanente. Estos motores obtienen el campo necesario para su operación de imanes hechos de algún material como el ALNICO que puede retener un cierto nivel de magnetización. Las características de estos motores varían un poco de las convencionales y su funcionamiento está sujeto a ciertas limitaciones que deben tomarse en cuenta para su correcta aplicación.

La simbología y notación para el análisis de un motor de corriente continua es la siguiente:

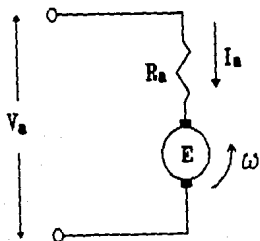


figura 4.1

Donde:

- I_a = corriente de armadura
- V_a = voltaje de armadura
- E_c = fuerza contraelectromotriz
- R_a = resistencia de armadura
- ω = velocidad de armadura
- ϕ_f = flujo de campo

De la figura 4.1 se puede obtener las siguientes expresiones:

$$V_a = E_c + R_a I_a \quad (\text{ec. 4.1})$$

A su vez "Ec" depende de el flujo de campo y de la velocidad de armadura:

$$E_c = k_1 \phi_f w \quad (\text{ec. 4.2})$$

En donde k_1 es una constante propia del motor y esta en función del número de polos en el campo principal y el número de conductores de armadura.

El flujo de campo " ϕ_f " varía con la corriente de campo I_f

$$\phi_f = k_2 I_f \quad (\text{ec. 4.3})$$

por tanto:

$$E_c = k_1 k_2 I_f w \quad (\text{ec. 4.4})$$

$$E_c = K I_f w \quad (\text{ec. 4.5})$$

donde:

$$K = k_1 k_2$$

4.1.3 Selección del Motor.

El motor seleccionado debe tener como primera característica, el permitir variar con facilidad su velocidad, los motores que presentan ésta ventaja son los de corriente continua y siendo los motores serie universal los más comerciales, se decidió utilizar

uno de estos. Son extremadamente flexibles, en sus características de operación, pudiendo obtenerse con ellos una gran variedad de curvas par-velocidad, ya que poseen la capacidad de ajustar su velocidad en una gama sumamente amplia, que puede ser controlada con gran precisión. Además tienen una mayor eficiencia que los motores de corriente alterna en aplicaciones que involucren aceleración y desaceleración frecuente de la carga.

Presentan como desventaja un tamaño y costo mayor que los de corriente alterna, además de que su construcción es más compleja y precisa por lo que requieren mayor mantenimiento.

Generalidades del Motor Serie Universal.

Este tipo de motor puede recibir alimentación tanto alterna como continua y cuentan con un gran número de aplicaciones debido a su sencillez en su funcionamiento y a su reducido costo. En su estructura los devanados del inducido e inductor están conectados en serie.

La forma en que trabaja un motor de corriente continua consiste en aplicar corriente a un electroimán inductor que crea un campo magnético sobre un rotor formado por un embobinado devanado sobre un cilindro de material magnético acoplado a un eje. Las

conexiones de este devanado se realizan a través de un anillo colector dividido en dos partes aisladas, en contacto con dos escobillas enlazadas a los polos positivo y negativo de la alimentación. La corriente se invierte dos veces por cada vuelta para mantener el giro. Si ahora se conectan en serie las escobillas con el devanado del inductor y a los extremos se aplica una tensión alterna, en el semiperiodo en que dicha tensión es positiva la corriente circulará por ambos devanados produciendo las condiciones de campo necesarias para el giro. Al llegar el semiciclo negativo la corriente cambia su sentido de circulación, pero la hará en ambos devanados simultáneamente, no variando, por lo tanto, las condiciones relativas entre ellos con lo que el movimiento del rotor no se altera.

Los motores serie universal se usan extensamente en aparatos electrodomésticos, debido a su alta potencia entregada y bajo costo con relación a su tamaño, además de la alta velocidad que es característica de este tipo de motor.

Un motor serie de baja velocidad y determinada potencia de salida además de resultar más pesado y costoso necesita muchas vueltas en la armadura, su reactancia es alta y por esto el chisporroteo en las escobillas es excesivo. Este siempre ha sido un problema fuerte en este tipo de motores, porque desgasta rápidamente los carbones necesitándose reemplazarlos frecuente-

mente. En estos motores la velocidad no es función de la frecuencia de la línea.

4.2. Controles de Velocidad.

Una vez que se tuvo el motor, el siguiente paso fue estudiar los diferentes métodos que existen para controlar la velocidad de éstos y seleccionar el que se considerará el más apropiado.

Existen diferentes formas de controlar la velocidad en un motor serie universal y cualquiera de éstas se basan en alterar el voltaje aplicado al motor dado que la velocidad se relaciona con este de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\omega = [V_t - (R_f + R_a)I_a] / K I_a$$

Sin embargo se debe de tener en cuenta que si se excede el voltaje aplicado al nominal se excederán también las revoluciones nominales del motor lo que implica una rápida degradación del conmutador o incluso la explosión del rotor. De lo anterior se deduce que el motor puede girar solamente a velocidades menores o iguales a la nominal, en forma segura.

Tomando esto en cuenta, se tiene que los posibles métodos de

variar el voltaje son aquellos que al introducir un elemento entre el motor y la línea de alimentación reduzcan voltaje aplicado.

Dentro de los posibles métodos a usar se tienen los convencionales y los electrónicos. Los convencionales son aquellos que usan algún tipo de reóstato, transformador o inductor que disminuye el voltaje aplicado.

Los métodos electrónicos usan semiconductores ya sea en forma lineal o bien en forma conmutada (encendido-apagado). La tabla de la figura 4.2 muestra un cuadro comparativo de estos tipos de controles con relación a su eficiencia y costo.

METODO	EFICIENCIA	COSTO
REOSTATOS	Muy baja	Alto
TRANSFORMADORES	Alta	Alto
ELECTRONICOS		
LINEALES	Muy baja	Medio
CONMUTADOS	Muy alta	Bajo

figura 4.2

En los métodos convencionales se utilizan únicamente elementos de potencia implicando un alto costo de éstos. En el uso de un potenciómetro se tiene una eficiencia muy baja pues consiste en aumentar la resistencia total, disipando en algunos casos la misma potencia que el motor. En el caso de un transformador variable, en cualquier configuración, la eficiencia es alta lo mismo que el costo debido al alto precio de los materiales usados en el transformador.

Si se usan semiconductores en su región lineal estos se comportan como simples resistencias, por tanto, la potencia disipada en estos es alta y la eficiencia es baja. Sin embargo su control es excelente, pero no es adecuado para manejar potencias grandes pues su costo aumenta. Sin embargo, si se utilizan semiconductores en forma conmutada se puede lograr un control muy bueno y una eficiencia alrededor del 90%, mucho mejor que algunos transformadores.

4.3 Controles Conmutados.

Los controles de velocidad con semiconductores, como ya se indicó, pueden ser de dos tipos: lineales y conmutados. Debido al hecho de que se maneja una potencia de unos 350 watts se requiere que sea conmutado el control de potencia. Además de requerir una

configuración reductora por los puntos antes explicados.

Existen dos grupos básicos de controles conmutados: CONTROLES POR ANGULO DE FASE Y LAS FUENTES DE PODER EN MODO CONMUTADO.

4.3.1 Controles por Angulo de Fase.

Los controles por ángulo de fase funcionan a partir de la línea comercial (señal senoidal) la cual con ayuda de diodos, SCR's o TRIAC's ya sea solos o combinados, entregan trozos de la línea a la carga, como se puede apreciar en la figura 4.3.

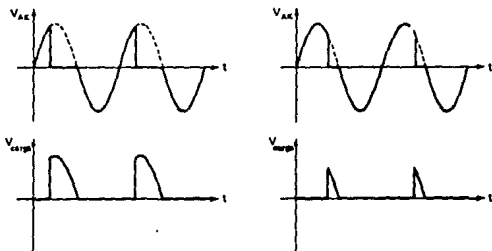


figura 4.3

Entre menor sea el ángulo de retraso en el encendido del elemento (SCR, o TRIAC) la potencia entregada a la carga es mayor,

este ángulo se conoce como de disparo; así mismo entre mayor sea el ángulo de disparo menor será la potencia entregada a la carga, que en el caso de un motor serie girará más rápido entre menor sea dicho ángulo y más lento entre mayor sea.

Existen diversas técnicas para variar el ángulo de disparo, algunas de ellas son muy sencillas y otras son más complejas a continuación se detallan algunas de estas técnicas que pueden ser con elementos discretos o bien con circuitos integrados.

4.3.2 Circuitos de Control Discretos.

El circuito de control discreto más sencillo se muestra en la figura 4.4. Cuando el interruptor está abierto, no circula corriente hacia la compuerta, el SCR no puede conducir de modo que esencialmente es un circuito abierto en serie con la carga. Por lo tanto, la carga está desenergizada.

Cuando se cierra el interruptor, circula una corriente hacia la compuerta cuando el voltaje sea positivo. El ángulo de disparo está determinado por el valor del potenciómetro R_2 . Si el valor es bajo, el ángulo de disparo será pequeño y la magnitud promedio de la corriente por la carga será grande. Si el valor es alto, la fuente de voltaje debe subir a un valor alto para poder entregar

suficiente corriente a la compuerta, esto aumenta el ángulo de disparo y reduce la magnitud promedio de la corriente de carga.

El propósito de R_1 es asegurar que la corriente máxima no tienda a valores altos, que pudieran destruir la compuerta, en el caso de que el valor de R_2 sea cero. Además R_1 determina también el mínimo ángulo de disparo, que generalmente es despreciable.

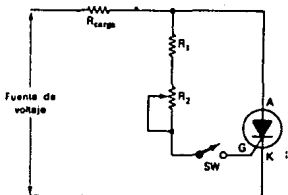


figura 4.4

Una desventaja de este circuito es que el ángulo de disparo puede ajustarse solamente de 0° a 90° . Las formas de onda del voltaje y corriente de la compuerta y de la carga se muestran en la figura 4.5.

La manera más sencilla de mejorar el circuito anterior es adicionando un capacitor como se muestra en la figura 4.6; con lo que el ángulo de disparo puede ser mayor a 90° . La resistencia R_1

y R_2 junto con el capacitor forman un circuito RC el cual causa un retraso en el voltaje de compuerta adicional al proporcionado por la línea y las resistencias, con lo cual se logra que el ángulo de disparo sea mayor a 90° .

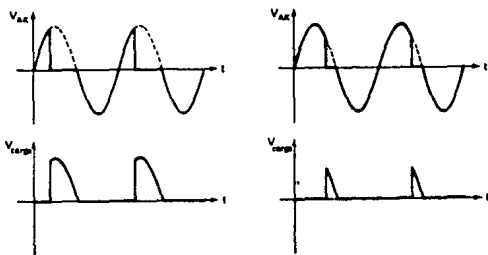


figura 4.5

Es importante hacer notar la función del diodo, que evita una polarización inversa de la compuerta, ya que ésta solo soporta una polarización inversa pequeña.

Un circuito socorrido para disparar un SCR utilizando UJT (transistor de unijuntura), es el que se muestra en la figura 4.7. En él, el diodo zener Z_1 recorta la forma de onda desde el voltaje de la fuente hasta el voltaje zener durante el semiciclo positivo. Durante el semiciclo negativo, Z_1 está polarizado en directa y

mantiene un voltaje aplicado cercano a 0 volts. La forma del voltaje figura 4.8

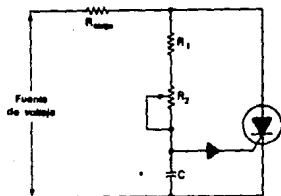


figura 4.6

Cuando el voltaje de A.C. cruza por cero para hacerse positivo, C_E comienza a cargarse a través de R_E . Cuando C_E alcanza el valor pico del UJT se dispara, produciendo un pulso de corriente, que enciende al SCR; de este modo hace que fluya corriente por la carga hasta que se apague de forma natural, las formas de onda en la resistencia R_1 y en la carga se muestran en la figura 4.8.

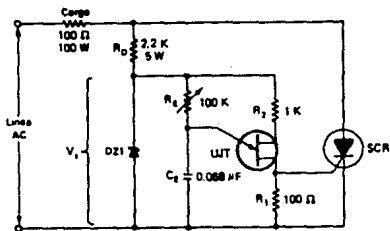
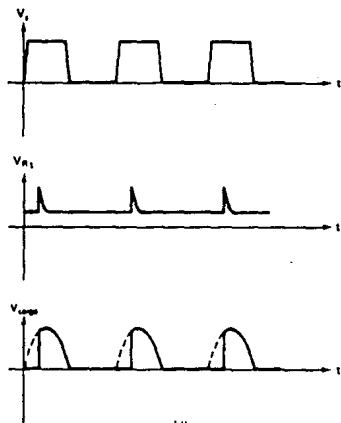


figura 4.7



(d)

figura 4.8

El voltaje en la carga se controla por medio del potenciómetro R_E , ya que cuando R_E tiene un valor bajo C_E se carga rápidamente, lo cual produce un disparo temprano del UJT y por lo tanto en el SCR. Cuando R_E es grande C_E se carga más lentamente, lo cual produce un disparo retardado y en consecuencia un promedio bajo de corriente de carga.

4.3.3 Circuitos de Control Integrados.

Existen en el mercado varios circuitos integrados que permiten controlar el ángulo de disparo para un tiristor. Con ellos se puede construir un circuito de pocos elementos y de gran eficiencia. Ejemplo de algunos de ellos son: TDA1285A, UA1016B y el TDA1185A.

Cualquiera de ellos tiene todas las funciones necesarias para el control de velocidad de un motor universal en configuración de lazo cerrado. Conectados directamente a la línea de A.C., los circuitos generan los pulsos necesarios de disparo para controlar a un TRIAC o SCR, variando el ángulo de disparo según las condiciones de carga.

4.3.4 Fuentes de Poder de Modo Conmutado.

Las fuentes de poder de modo conmutado han ganado mucha popularidad en los años recientes debido a las grandes ventajas que presentan. Las encontramos en computadoras, televisiones, calculadoras, automóviles, y en otros aparatos.

Las ventajas que ofrecen son: bajo peso, tamaño pequeño, alta eficiencia, un rango amplio de voltajes de entrada y salida, y un bajo costo.

- El bajo peso y tamaño pequeño son posibles debido a que su operación es a altas frecuencias (10 KHz a 500 KHz) con lo cual el tamaño de los elementos reactivos es pequeño.

- Tienen una gran eficiencia debido a que los elementos de potencia conmutan entre saturación y corte (pasando rápidamente por la región lineal) con lo cual la potencia disipada es pequeña hecho que contribuye a una reducción de tamaño, volumen y costos.

Normalmente una fuente lineal tiene una eficiencia de un 50% o menor y la de una fuente en modo conmutado es de 80% o más lo que hace que esta última sea mucho más rentable.

- El amplio rango del voltaje de entrada se debe a la

gran flexibilidad de variar las condiciones de conmutación eliminando el uso de adaptadores o transformadores multitap.

Además es posible aumentar, disminuir e invertir el voltaje de salida con respecto al de entrada, con mucha flexibilidad, sin sacrificar la alta eficiencia.

- El menor costo global, así como la reducción de volumen y potencia disipada significan menor cantidad de material y semiconductores menos robustos.

En contraparte presentan unas desventajas ligeras ya que producen interferencia electromagnética y de radiofrecuencia, tienen una baja capacidad de respuesta a las variaciones rápidas de la carga, y también tienen un voltaje de rizo inherente.

El hecho de que su circuitería de control sea más compleja se puede despreciar gracias al uso de circuitos integrados.

Existen diferentes topologías de fuentes de poder de modo conmutado las cuales dependen básicamente de la forma de conexión que se hace entre sus elementos, así se pueden definir dos grupos de fuentes de poder que son: fuentes aisladas y no aisladas.

Las fuentes aisladas usan transformadores en configuración de

fly-back, push-pull, medio puente o puente completo y las fuentes no aisladas usan inductores, diodos y capacitores, con los cuales se generan tres configuraciones básicas, que son: inversora, reductora y elevadora.

Para el control de velocidad de un motor D.C. de baja potencia alimentado directamente de la línea se suele utilizar una configuración reductora la cual se describe a continuación.

Del circuito de la figura 4.9 tenemos que cuando el transistor se encuentra saturado durante t_{on} , el voltaje en el punto V_x es el de entrada V_i y dado que V_o es menor que V_i fluye una corriente a través del inductor (que se comporta como una carga), la cual despreciando la resistencia es una rampa con pendiente positiva según se puede ver en la figura 4.10, cuando el transistor se pone en corte durante t_{off} , el inductor al tratar de mantener la corriente constante, cambia su polaridad (comportándose como una fuente y no como carga) y polariza en directa al diodo, permitiendo que fluya corriente por el diodo hacia la carga, durante este momento la corriente tiene pendiente negativa, pero conserva el sentido. El capacitor sirve en este caso para mantener el voltaje constante disminuyendo el rizo en la carga.

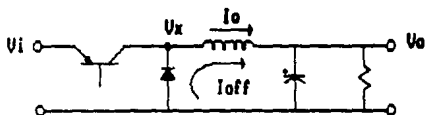


figura 4.9

En esta configuración al igual que en cualquier otra se trata de mantener la corriente en el inductor lo más constante posible, pues así el ruido electromagnético es bajo y los valores del capacitor son bajos pues a través del inductor siempre fluye energía a la carga.

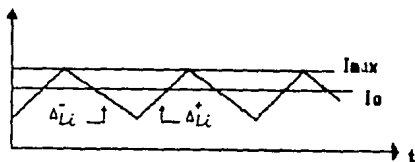


figura 4.10

Del circuito mostrado en la figura 4.9 se puede apreciar que dado el sentido de la corriente y que solamente en V_i el voltaje es prácticamente constante (a diferencia de V_x que cambia de V_i a 0 volts) el transistor a usar debe de ser PNP.

De usar este circuito para el control del motor se debe de

usar un transistor PNP de conmutación de alta corriente y alto voltaje, los cuales no son muy comunes, sin embargo es posible hacer arreglos para usar una transistor NPN que por desgracia complican el circuito de control notablemente.

Afortunadamente existe otra configuración reductora, la cual se muestra en la figura 4.11, en esta el inductor y la resistencia pueden ser elementos de un motor.

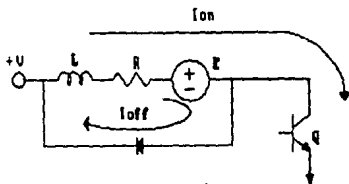


figura 4.11

Al estar saturado el transistor durante t_{on} se tiene una corriente a través del inductor y resistencia, con pendiente positiva, al cortar el transistor durante t_{off} el inductor al tratar de mantener la corriente constante cambia su polaridad, con lo que el diodo se pone en conducción y circula por este la corriente, que ahora tiene pendiente negativa. Durante t_{on} el voltaje aplicado a la carga es V_i (despreciando las caídas colector-emisor), y durante t_{off} el voltaje aplicado es cero (despreciando las caídas ánodo-cátodo). Es posible apreciar que con las condiciones de polarización el transistor ideal en este caso es el

NPN que si es común.

Para este circuito se procura tener también conducción continua pues así la marcha del motor será más suave, y se tendrá menos interferencia electromagnética, sin embargo como las características del circuito RLE del motor depende de las condiciones de carga; la conducción continua no se logra siempre y es necesario analizar ambos casos (conducción continua y discontinua).

4.3.5 Selección del Control de Velocidad.

Después de estudiar las ventajas y desventajas de los diferentes circuitos de control, se eligió la opción de construir una fuente conmutada. Las razones fueron que si bien hasta hace poco tiempo los SCR's y los tiristores eran los elementos de potencia con los que se contaba, hoy en día, gracias a nuevas tecnologías para la fabricación de circuitos integrados, se encuentran en el mercado transistores de potencia que permiten manejar corrientes muy altas siendo sus precios relativamente bajos. Además los nuevos transistores pueden trabajar a frecuencias muy altas lo que los convierte en excelentes conmutadores, cuya circuitería de control es fácil de implementar y además que no presentan la desventaja de los SCR's y tiristores los cuales requieren de circuitería especial para su apagado.

4.3.6 Análisis de la Fuente Conmutada

El análisis de la etapa de potencia, en la fuente que controla el voltaje suministrado al motor, que en nuestro caso como se verá más adelante, se trata de un arreglo de cuatro transistores de potencia en paralelo, que para simplificación del análisis se considera como uno solo y el motor se representa por su resistencia e inductancia interna, con lo que se obtiene el siguiente circuito.

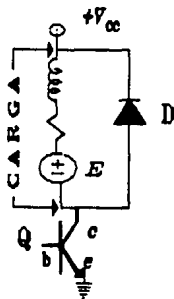


figura 4.12

Cuando el transistor se satura el voltaje en la carga es $V_L = V_{CC}$; y en instante en que Q entra en corte tenemos que el voltaje en el inductor cambia de polaridad e incluso supera a "E" para que la corriente se mantenga constante, con lo que el diodo D

entra en conducción y el voltaje aplicado es igual a cero y por lo tanto el voltaje aplicado en la carga es cero.

Si las características del circuito son tales que se encuentra en conducción continua (figura 4.13) las curvas de voltaje y corriente se comportan de la siguiente manera:

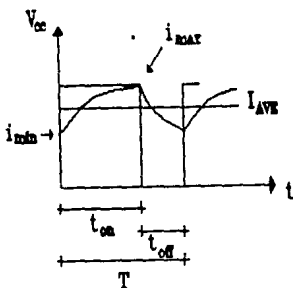


figura 4.13

Para analizar estas curvas se utilizan series de Fourier, obteniéndose las siguientes expresiones:

$$V(t) = V_{AVE} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos 2\pi n f_0 t + b_n \text{ sen } 2\pi n f_0 t]$$

6

$$V(t) = V_{AVE} + \sum_{n=1}^{\infty} [C_n \cos(2\pi n f_0 t - \theta_n)]$$

donde:

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\theta_n = \text{ang tan} \left(\frac{b_n}{a_n} \right)$$

$$V_{AVE} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt \quad (\text{ec. 4.6})$$

$$a_n = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) \cos 2\pi n f_0 t dt \quad (\text{ec. 4.7})$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T V(t) \text{sen } 2\pi n f_0 t dt \quad (\text{ec. 4.8})$$

si $V(t)$ es una onda de forma cuadrada se tiene que:

$$V(t) = \begin{cases} V_c = cte & 0 < t < t_{on} \\ 0 & t_{on} < t < t_{off} + t_{on} \end{cases}$$

sustituyendo estos valores en la ecuación 4.6

$$V_{AVE} = \frac{1}{T} \int_0^{t_{on}} V_c dt = [V_c t]_0^{t_{on}} = \left(\frac{V_c}{T}\right)t_{on}$$

y definiendo a $\delta = \frac{t_{on}}{T}$ (ec. 4.9) como el ciclo de trabajo,

se tiene que:

$$V_{AVE} = V_c \times \delta$$

además que $0 \leq \delta \leq 1$.

Si ahora se sustituyen los valores de $V(t)$ en la ecuación 4.7

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^{t_{on}} V_c \cos 2\pi n f_0 t dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} [(V_c/2\pi n f_0 t) \operatorname{sen}(2\pi n f_0 t)]_0^{t_{on}}$$

$$a_n = (2V_c/2\pi n f_0 T) \operatorname{sen} 2\pi n f_0 t_{on} \quad (\text{ec. 4.10})$$

si se sabe que $f_0 = \frac{1}{T}$ se tiene que $Tf_0 = 1$ y sustituyendo este

valor en la ecuación 4.10 se obtiene la expresión

$$a_n = \left(\frac{V_c}{n\pi}\right) \operatorname{sen}(2\pi n f_0 t_{on})$$

Si ahora se sustituyen los valores de $V(t)$ en la ecuación 4.8

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^{t_{on}} Vc \operatorname{sen} 2\pi n f_0 t \, dt$$

$$b_n = \left(\frac{2Vc}{T}\right) \left[\frac{1}{(2\pi n f_0)} (-\cos 2\pi n f_0 t)\right]_0^{t_{on}}$$

$$b_n = \frac{Vc}{n\pi} [1 - \cos (2\pi n f_0 t_{on})]$$

Si $f_0 = \frac{1}{T}$ se tiene también que $T = \frac{1}{f_0}$ y sustituyendo

este valor de T en la ecuación 4.9 se puede expresar al ciclo de trabajo en función del tiempo de encendido y de la frecuencia, quedando la ecuación 4.9 de la forma

$$\delta = f_0 t_{on}$$

y por lo tanto:

$$a_n = \left(\frac{Vc}{n\pi}\right) [\operatorname{sen} (2\pi n \delta)]$$

y

$$b_n = \frac{Vc}{n\pi} [1 - \cos (2\pi n \delta)]$$

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$c_n = \frac{Vc}{n\pi} [\text{sen}^2(\pi n\delta) + 1 - 2\cos(2\pi n\delta) + \cos^2(2\pi n\delta)]^{1/2}$$

$$c_n = \frac{2Vc}{n\pi} [\text{sen}^2 \pi n\delta]^{1/2}$$

$$c_n = \frac{2Vc}{n\pi} [\text{sen } n\pi\delta]$$

$$\theta_n = \text{ang } \tan \left(\frac{b_n}{a_n} \right)$$

$$\frac{b_n}{a_n} = \frac{1 - \cos 2\pi n\delta}{\text{sen } 2\pi n\delta}$$

$$\frac{b_n}{a_n} = \tan \pi n\delta$$

$$\theta_n = \text{ang } \tan (\tan \pi n\delta)$$

$$\theta_n = \pi n\delta$$

Para conducción discontinua (figura 4.14) el circuito se comporta como se muestra en la figura 4.15

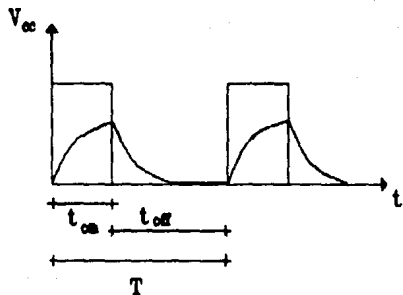


figura 4.14

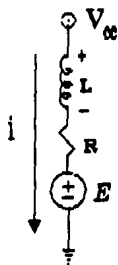


figura 4.15

donde:

$$i_{carga} = i_R = i_L$$

$$V_c = V_R + V_L + E$$

$$V_R = R \times i$$

$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

$$V_c = i_R + L \frac{di}{dt} + E$$

$$\left(D + \frac{R}{L} \right) i = \frac{V_c - E}{L}$$

$$i_{\text{homogénea}} = c e^{-(R/L)t}$$

$$i_{\text{forzada}} = A$$

$$A \frac{R}{L} = \frac{V_c - E}{R}$$

por lo tanto

$$A = \frac{V_c - E}{R}$$

$$i_{\text{carga}}(t) = c e^{-(R/L)t} + \frac{V_c - E}{R}$$

$$i_{\text{carga}}(0) = 0 = c + \frac{V_c - E}{R} = 0$$

$$C = - \frac{V_c - E}{R}$$

$$i_{\text{carga}}^+(t) = \frac{V_c - E}{R} (1 - e^{-(R/L)t}) \quad 0 < t \leq t_{\text{on}}$$

Para $t < t \leq T$

$$V_R + V_L + E = 0$$

$$V_R = R \times i$$

$$V_L = L \frac{di}{dt}$$

$$i_R = i_L = i_E$$

$$i_R + L \frac{di}{dt} + E = 0$$

$$\left(D + \frac{R}{L}\right) i = - \frac{E}{L}$$

$$i_{\text{homogenea}} = C e^{-(R/L)t}$$

$$i_{\text{particular}} = A$$

$$A \frac{R}{L} = - \frac{E}{L}$$

$$A = - \frac{E}{R}$$

$$i_{\text{carga}} = C e^{-(R/L)t} \frac{E}{R} = i_{\text{MAX}}$$

$$C = \left(i_{\text{MAX}} + \frac{E}{R} \right)$$

$$i_{\text{carga}} = \left(i_{\text{MAX}} + \frac{E}{R} \right) e^{-(R/L)t} - \frac{E}{R}$$

$$i_{\text{carga}} = i_{\text{MAX}} e^{-(R/L)t} + \frac{E}{R} (e^{-(R/L)t} - 1)$$

donde $i_{\text{carga}} \geq 0$ y $t_{\text{on}} < t < T$.

4.4. Implementación de la Fuente Conmutada.

Existen muchas formas de construir el control de estas fuentes de poder, que puede ser de forma discreta o con el uso de circuitería integrada.

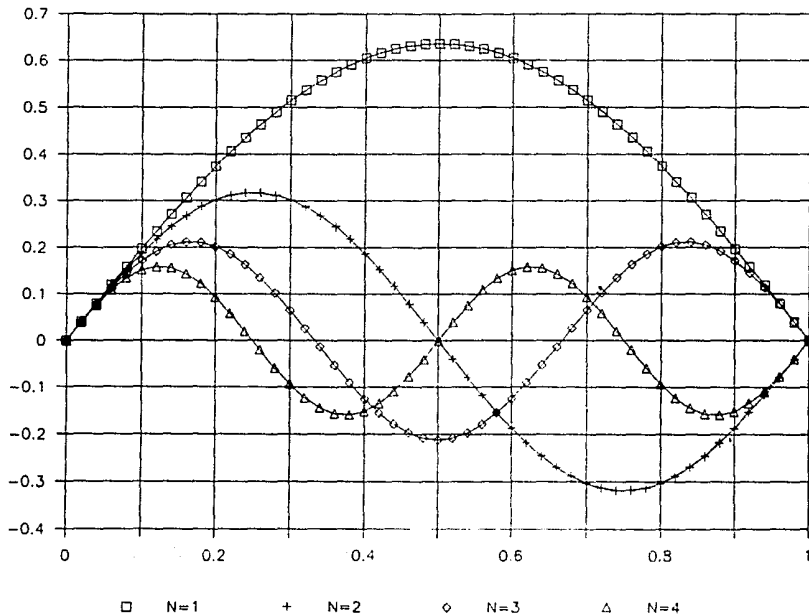
Como corazón del control se usa algún circuito integrado construido exprofeso para control de fuentes conmutadas o bien para moduladores de PWM o PDM.

A continuación se mencionan los principales circuitos existentes en el mercado nacional con sus principales características.

CALCULO DE ARMONICAS

N=0	N=1	tota, N=1	N=2	tota, N=2	N=3	tota, N=3	N=4	tota, N=4	Vrmsor.	Vrms
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.02	0.039973	3.6	0.039094	7.2	0.039763	10.8	0.039580	14.4	0.052751	0.056415
0.04	0.079789	7.2	0.079160	14.4	0.078118	21.6	0.076673	28.8	0.104558	0.111929
0.06	0.119290	10.8	0.117177	21.6	0.113705	32.4	0.108949	43.2	0.154478	0.165718
0.08	0.158320	14.4	0.153346	28.8	0.145265	43.2	0.134378	57.6	0.201827	0.217104
0.1	0.196726	18	0.187097	36	0.171678	54	0.151365	72	0.246066	0.265610
0.12	0.234355	21.6	0.217898	43.2	0.192010	64.8	0.158640	86.4	0.286999	0.310993
0.14	0.271059	25.2	0.245261	50.4	0.205539	75.6	0.156335	100.8	0.324320	0.353277
0.16	0.306693	28.8	0.268757	57.6	0.211787	86.4	0.144007	115.2	0.358492	0.392321
0.18	0.341117	32.4	0.288015	64.8	0.210533	97.2	0.122630	129.6	0.389795	0.429348
0.2	0.374195	36	0.302730	72	0.201820	108	0.093548	144	0.418693	0.464209
0.22	0.405796	39.6	0.312671	79.2	0.185958	118.8	0.058588	158.4	0.445662	0.497908
0.24	0.435796	43.2	0.317681	86.4	0.163507	129.6	0.019947	172.8	0.471096	0.528707
0.26	0.464075	46.8	0.317681	93.6	0.135265	140.4	-0.01994	187.2	0.495247	0.559348
0.28	0.490523	50.4	0.312671	100.8	0.102231	151.2	-0.05858	201.6	0.518194	0.589203
0.3	0.515036	54	0.302730	108	0.065575	162	-0.09354	216	0.539848	0.617805
0.32	0.537515	57.6	0.288015	115.2	0.026596	172.8	-0.12263	230.4	0.559998	0.644979
0.34	0.557874	61.2	0.268757	122.4	-0.01332	183.6	-0.14400	244.8	0.578368	0.670902
0.36	0.576030	64.8	0.245261	129.6	-0.05277	194.4	-0.15633	259.2	0.594690	0.695166
0.38	0.591914	68.4	0.217898	136.8	-0.09035	205.2	-0.15884	273.6	0.608753	0.717621
0.4	0.605461	72	0.187097	144	-0.12473	216	-0.15136	288	0.620445	0.738208
0.42	0.616619	75.6	0.153346	151.2	-0.15469	226.8	-0.13437	302.4	0.629757	0.756984
0.44	0.625363	79.2	0.117177	158.4	-0.17917	237.6	-0.10894	316.8	0.636773	0.774002
0.46	0.631599	82.8	0.079160	165.6	-0.19730	248.4	-0.07667	331.2	0.641628	0.789485
0.48	0.635363	86.4	0.039094	172.8	-0.20844	259.2	-0.03958	345.6	0.644468	0.803378
0.5	0.636619	90	1.1E-19	180	-0.21220	270	-1.1E-19	360	0.645401	0.816420
0.52	0.635363	93.6	-0.039899	187.2	-0.20844	280.8	0.039980	374.4	0.644468	0.828093
0.54	0.631599	97.2	-0.07916	194.4	-0.19730	291.6	0.076673	388.8	0.641628	0.838622
0.56	0.625363	100.8	-0.11717	201.6	-0.17917	302.4	0.108949	403.2	0.636773	0.847985
0.58	0.616619	104.4	-0.15334	208.8	-0.15469	313.2	0.134378	417.6	0.629757	0.856151
0.6	0.605461	108	-0.18709	216	-0.12473	324	0.151365	432	0.620445	0.863106
0.62	0.591914	111.6	-0.21789	223.2	-0.09035	334.8	0.158840	446.4	0.608753	0.868896
0.64	0.576030	115.2	-0.24526	230.4	-0.05277	345.6	0.156335	460.8	0.594690	0.873645
0.66	0.557874	118.8	-0.26875	237.6	-0.01332	356.4	0.144007	475.2	0.578368	0.877559
0.68	0.537515	122.4	-0.28801	244.8	0.026596	367.2	0.122630	489.6	0.559998	0.880707
0.7	0.515036	126	-0.30273	252	0.065575	378	0.093548	504	0.539848	0.883989
0.72	0.490523	129.6	-0.31267	259.2	0.102231	388.8	0.058588	518.4	0.518194	0.887082
0.74	0.464075	133.2	-0.31768	266.4	0.135265	399.6	0.019947	532.8	0.495247	0.889432
0.76	0.435796	136.8	-0.31768	273.6	0.163507	410.4	-0.01994	547.2	0.471096	0.894165
0.78	0.405796	140.4	-0.31267	280.8	0.185958	421.2	-0.05858	561.6	0.445662	0.898340
0.8	0.374195	144	-0.30273	288	0.201820	432	-0.09354	576	0.418693	0.902924
0.82	0.341117	147.6	-0.28801	295.2	0.210533	442.8	-0.12263	590.4	0.389795	0.907931
0.84	0.306693	151.2	-0.26875	302.4	0.211787	453.6	-0.14400	604.8	0.358492	0.913300
0.86	0.271059	154.8	-0.24526	309.6	0.205539	464.4	-0.15633	619.2	0.324320	0.919121
0.88	0.234355	158.4	-0.21789	316.8	0.192010	475.2	-0.15884	633.6	0.286999	0.925590
0.9	0.196726	162	-0.18709	324	0.171678	486	-0.15136	648	0.246066	0.933032
0.92	0.158320	165.6	-0.15334	331.2	0.145265	496.8	-0.13437	662.4	0.201827	0.941878
0.94	0.119290	169.2	-0.11717	338.4	0.113705	507.6	-0.10894	676.8	0.154478	0.952008
0.96	0.079789	172.8	-0.07916	345.6	0.078118	518.4	-0.07667	691.2	0.104558	0.963675
0.98	0.039973	176.4	-0.03989	352.8	0.039763	529.2	-0.03958	705.6	0.052751	0.981818
1	2.2E-19	180	-2.2E-19	360	1.4E-19	540	-2.2E-19	720	2.8E-19	1

ARMONICAS VS CICLO DE TRABAJO



ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

La técnica empleada por los circuitos mencionados es la de Modulación por Ancho de Pulso (PWM), esta se basa en controlar la variación del tiempo de conducción del dispositivo de potencia a una frecuencia fija. Todos ellos cuentan con una referencia de voltaje, uno o dos amplificadores de error para voltaje y corriente, un oscilador y la lógica necesaria para la generación de pulsos de encendido, apagado y de espera.

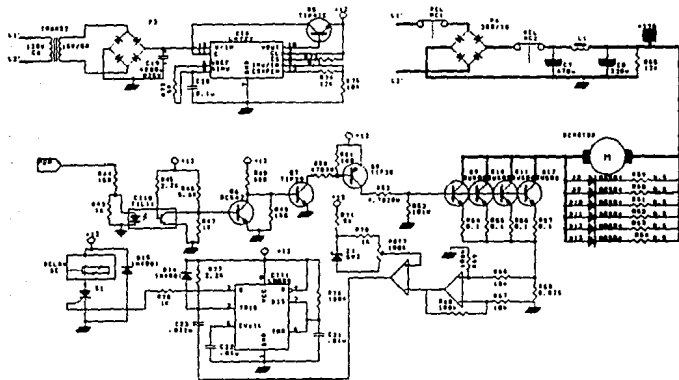
	XR 494	LM 3520	SG 3524	NE 5560
configuración de salida	push-pull	push-pull	push-pull	única
emisor y colector abierto	si	solo colector	si	si
amplificador de error integrado	si	no	si	si
circuito de sobrevoltaje	si	no	si	si
protección de doble pulso	si	si	no	no
circuito de arranque lento	no	no	no	si
circuito de inhibición	si	si	si	si
ajuste de tiempo muerto	0-45% por salida	0-50% por salida	no viable	-98%

4.4 Circuito de control.

4.4.1 Circuito Modulador por Ancho de Pulso.

Como circuito de control (en modulación por ancho de pulso (PWM)) se decidió utilizar un circuito especialmente diseñado para este propósito, disponible en el mercado nacional, con el fin de obtener ahorro en espacio y tener mayor confiabilidad en la circuitería, al contar esta con pocos elementos. El circuito seleccionado fue el XR 494, que posee las características de poder variar del ciclo de trabajo de 0 a 90%, tiene protección para evitar la formación de pulsos dobles e incluye un control de tiempo muerto variable sobre el ciclo de trabajo, con lo que se puede definir el máximo tiempo de encendido proporcionado por los pulsos. El circuito posee además dos amplificadores de error, una referencia de 5 volts y un oscilador en base a un arreglo RC.

El circuito se configuró de manera que se pudiera controlar el ciclo de trabajo variando el voltaje suministrado con ayuda de un potenciómetro de 10 vueltas, esto determina el tiempo de encendido de los pulsos y por consiguiente el del transistor, controlándose con esto el nivel de voltaje promedio de alimentación del motor y así fijar una velocidad estable que generará el campo centrífugo requerido para el proceso de separación.



CONTROL DE VELOCIDAD ·

Para evitar cambios bruscos en la velocidad de giro del motor, se realimenta el circuito utilizando los amplificadores de error, los cuales en base a la comparación del nivel de voltaje de referencia que determina el ciclo de trabajo del sistema y de la toma indirecta de muestras de la velocidad del motor, produce una señal de error que modifica de ser necesario el ciclo de trabajo. El sensado de la velocidad se realizó por medio de un optoacoplador del tipo abierto (H21A3) y un convertidor de frecuencia a voltaje (LM 2907). Al utilizar dicho acoplador se obtiene la señal de salida sin ninguna conexión eléctrica, lográndose un aislamiento eléctrico que evitará las posibles corrientes de retorno por tierra en los lazos de realimentación.

El optoacoplador además de proporcionar el monitoreo para la realimentación, generará la señal de frecuencia necesaria para la entrada del tacómetro.

La señal de PWM se introduce a una compuerta AND de dos entradas implementada con un comparador, la otra señal hacia la compuerta será un voltaje de 12 volts proporcionado por un conmutador de un polo dos tiros el cual limitará el paso de la señal modulada a la etapa de potencia del sistema, las entradas al conmutador serán, la proporcionada a la salida del reloj de paro automático (LM 8560) y una conexión directa a la fuente de 12 volts implementándose así la modalidad de funcionamiento manual o

automático de la centrifuga.

La señal de salida del modulador es la que alimenta al driver de la fuente, nuevamente, aislando los módulos de control y potencia utilizando un acoplamiento óptico con un TIL 111.

La salida del circuito temporizador LM 8560 (circuito de reloj) se utiliza para alimentar al conmutador de dos tiros el cual esta conectado a una de las entradas de la compuerta AND, esta es la que controla el paso de la señal de PWM para el módulo de potencia, de esta manera se implementa de forma análoga la función de un timer comercial para uso específico en motores, para manejo del usuario en el modo automático se proporcionan controles para programar minutos, horas y señal de reinicialización, la visualización del timer se proporciona en forma de despliegue numérico para tener lecturas de 0 a 59 minutos y de 0 a 1 hora.

4.4.2. Etapa de Potencia.

La etapa de potencia es la encargada de suministrar el voltaje al motor, como se mencionó esta formada por una fuente de poder de modo conmutado en configuración reductora.

Para su operación se tiene tres fuentes, dos de bajo voltaje

y una de alto voltaje esta última es la de potencia.

Una de las fuentes lineales de bajo voltaje es de 12 volts limitada en corriente a 6.5 amperes, contruida a partir de un LM 723 y un transistor de potencia 2N 3055 y la segunda es de -11 volts construida con un diodo Zener de 11 volts y una resistencia. La fuente de alto voltaje se describe en el punto siguiente.

4.5.3. Etapa de Entrada.

En nivel de voltaje de D.C. (de potencia) se obtiene directamente de la línea, rectificandose ésta y agregándole un filtro "Pi" a su salida para obtener aproximadamente 160 volts de D.C. con el cual se energizará la fuente conmutada. Es importante hacer notar que esta fuente no está limitada en corriente, y tiene como única protección a su salida y entrada fusibles de acción rápida y lenta respectivamente. Además cuenta con un relevador que abre el circuito en D.C. y en A.C. cuando se presenta alguna sobrecorriente.

4.4.4. Circuitería de Potencia.

A la salida del fototransistor se tiene un transistor BC547 en amplificación con el objeto de recuperar la señal del modulador después se utiliza un TIP 29 y un TIP 30 como fuentes de corriente para excitar al transistor principal que en realidad es un arreglo.

El transistor principal se diseñó utilizando un un arreglo de cuatro transistores BU508-A en paralelo, que soportan la transferencia de energía entre el motor y la fuente de D.C., asegurando un manejo seguro tanto de la corriente como del voltaje. La razón de usar este método es obtener un elemento de alta corriente, que permita manejar los transitorios del motor a un precio relativamente bajo, usando partes comerciales.

Las resistencias de emisor de cada uno de los transistores de potencia, se ponen procurando que la corriente de colector de los cuatro transistores sea la misma y disipen la menor potencia posible, ya que la corriente a través de ellas es alta.

Las resistencias de base se calculan de forma tal que con la corriente inyectada a la base el transistor este entre en saturación. Con la corriente de colector obtenida de las condiciones de carga se procede a buscar la corriente de base, para lo cual se

tomaron en cuenta tres métodos.

El primero se basa en que teniendo como datos la corriente de colector y el voltaje colector-emisor de saturación se busca en gráficas de comportamiento del transistor (elaboradas por el fabricante) la corriente de base.

El segundo consiste en dividir la corriente de colector entre la ganancia mínima (h_{fe}) para las condiciones de corriente de colector. Este dato se obtiene también de gráficas o de tablas.

El tercer método, que es empírico, consiste en inyectar una corriente diez veces menor que la de colector a la base.

Para formar las fuentes de corriente se utilizan resistencias y transistores en corte-saturación junto con una fuente de voltaje constante. Dado que los voltajes de saturación y los de la fuente son constantes las resistencias se calculan restando al voltaje de polarización (fuente) el voltaje colector-emisor y el voltaje base-emisor dividiendo el resultado entre la corriente de base deseada. Es importante notar que al introducir la resistencia de base a tierra o a V_{CC} , para sacar rápidamente de saturación al transistor, deberá incrementarse al valor de la corriente de base obtenida de la gráfica, la corriente que circula a través de estas resistencias.

4.5 Reloj de Paro Automático.

Cuando se estudia un componente de cierta sustancia en forma aislada, se pueden analizar parámetros que lo diferencian de los demás elementos del compuesto tales como el coeficiente de fricción, peso específico, densidad, etc., si se requiere obtener muestras del elemento usando la fuerza centrífuga se disponen de cartas de centrifugación en las cuales se especifican el tiempo y el campo centrífugo que se necesita aplicar al compuesto para lograr el aislamiento de alguno de sus elementos.

Para obtener un control automático del tiempo necesario para que algún mecanismo realice un trabajo específico, se disponen de dispositivos denominados temporizadores, los cuales simplifican la tarea del usuario ya que lo "liberan" del instrumento en el periodo de tiempo en el cual esté trabaja independientemente, y así el personal poder dedicarse a otras labores. En la industria los temporizadores se emplean también como elementos de control para otros dispositivos, sus funciones pueden ser la de una operación de encendido-apagado o la del control de una secuencia elaborada que producen cambios en algún proceso.

Debido a que las aplicaciones de los temporizadores son numerosas, también lo son sus tipos, siendo posible clasificarlos de acuerdo a la técnica utilizada en su construcción en dos tipos:

los analógicos y los digitales. Y en relación a la función que realizan se dividen en: de retraso, temporizadores de periodo de tiempo, de repetición de ciclos y los de reinicialización.

En el modelo de centrifuga a desarrollar se empleará el uso de un temporizador de periodo del tipo digital, en este la carga se activa cuando se inicializa el timer y se desactiva después de alcanzar cierto periodo ajustado con anterioridad. El circuito empleado para realizar dicha función es el LM556 que junto a un relevador hacen la función de un timer industrial para uso en motores. Con el uso de este circuito se obtienen periodos que van de un minuto hasta dos horas con una forma de visualización de despliegue numérico además de lograr un ahorro económico y de espacio.

El circuito integrado LM 5560 se sincroniza con pulsos que se pueden obtener directamente de la línea, eliminándose así el empleo de cristales, su polarización requiere de una fuente única de 12 volts, dispone de dos salidas una de directa y otra en forma de pulsos ambas con una amplitud de 12 volts las cuales permanecen activas durante el periodo seleccionado para el funcionamiento del temporizador, las salidas para el despliegue son multiplexadas reduciéndose así las dimensiones del circuito. El despliegue es de dos para los minutos y dos para visualizar las horas, se puede programar el tiempo de trabajo desde un minuto hasta dos horas.

En comparación con los temporizadores industriales para uso específico de control de motores, la implementación de este, proporciona las ventajas de sus pequeñas dimensiones y peso, el tipo de despliegue numérico (más atractivo para el usuario), bajo consumo de energía, y las ventajas que se presentan al cambiar componentes mecánicos por electrónicos.

4.6 Tacómetro.

Cuando se requiere la elaboración de cualquier instrumento de medición los pasos fundamentales a seguir son: el sensado de variable en cuestión, con el transductor adecuado acondicionar dicha señal, proporcionada por este, y presentar la visualización de ésta. Cada uno de estos pasos se puede realizar de diferentes maneras y es cuestión del diseñador la forma de implantarlas.

En el caso de la variable velocidad al dispositivo de medición se le denomina tacómetro y a continuación se describe como se realizó su diseño.

Para el caso del sensado de la variable las formas clásicas de realizarlo son con el uso de un tacogenerador acoplado a la flecha motor, el cual entrega un voltaje proporcional a la velocidad de giro de la flecha (convertidor de frecuencia a voltaje).

Otro método es el uso de contadores; utilizando dispositivos ópticos de interrupción de un haz luminoso, cada vez que pasa una marca preestablecida en la flecha se produce una cuenta, que en un tiempo finito, produce un número de revoluciones por una unidad de tiempo dado. Para tal efecto se pueden usar contadores mecánicos o electrónicos y en el caso del sensado de la señal, interruptores mecánicos con levas magnéticas o bien algún método óptico

La técnica utilizada en el diseño fué la del empleo de dispositivos de acoplamiento óptico, ya que estos a diferencia de los tacogeneradores o interruptores mecánicos no sufren desgaste debido a la fricción. En estos dispositivos el haz de luz producido por el emisor puede ser interceptado o reflejado por el paso de un objeto, estos módulos pueden ser de interrupción de ranura o los de reflexión, los elementos de salida de estos dispositivos suelen ser fototransistores.

La mayoría de los tacómetros digitales comerciales existentes en el mercado emplean el método de conteo por ventana, en esta técnica una parte de la señal de entrada se introduce en una compuerta, en cierto intervalo de tiempo, la muestra en forma de pulsos se contabiliza en una circuitería digital hasta que se cumple el periodo de tiempo dado.

El diagrama de bloques que representa al tacómetro se muestra en la figura 4.16.

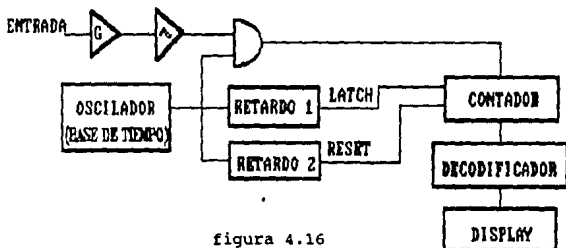


figura 4.16

La señal de entrada se debe de acondicionar a las características de la etapa de procesamiento del medidor, en este caso se requiere una señal cuadrada de 5 volts de amplitud, esto para manejar lógica TTL. Para esto la señal debe introducirse a una etapa amplificadora para elevar su amplitud a un nivel reconocible, esto es frecuente usarlo, cuando la señal de entrada es de niveles bajos, improvisándose así la sensibilidad del instrumento.

La siguiente etapa del circuito proporciona la forma rectangular de cualquier tipo de onda, la cual puede ser fácilmente reconocible por la lógica digital. La señal ya acondicionada alimenta una de las entradas de la compuerta AND. La otra señal se toma del oscilador de referencia o base de tiempo. Esta sirve como derivador para otras dos señales de temporización, estas tres

señales de tiempo deben estar sincronizadas y su relación es fundamental en el funcionamiento del dispositivo.

El diagrama de tiempos de estas señales se muestra en la figura 4.17.

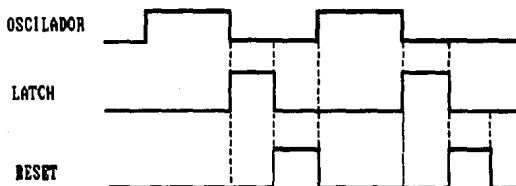


figura 4.17

La señal del oscilador alimenta una entrada de la compuerta AND, abriendo (1 lógico) y cerrando (0 lógico) la ventana que rastrea los pulsos de entrada al ser contados. La segunda señal (LATCH) retardada, un intervalo de tiempo con respecto a la del oscilador, captura la cuenta de los contadores para retener el valor final el tiempo necesario para que el despliegue pueda ser leído hasta que la tercer señal (RESET) reinicialize los contadores a cero para el siguiente ciclo de medición.

Debido a que en los dispositivos de acoplamiento óptico, del

tipo de reflejo, se debe tener control sobre la emisiones de luz externa, el transductor utilizado para sensar la velocidad del motor es el H21A3, éste es un optoacoplador de tipo abierto y posee las características de un rápido tiempo de conmutación y buena relación de transferencia de corriente. Por ser éste del tipo de interrupción se empleó también un disco con seis ranuras (figura 4.18) acoplado a la flecha del motor para interrumpir el paso de la señal.

La señal de entrada a los contadores obtenida del optoacoplador proporciona además la señal de error requerida por el controlador de PWM aislando eléctricamente las partes de potencia, de control y mecánicas del sistema.

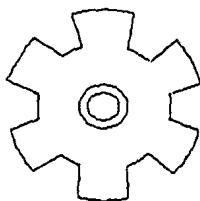


figura 4.18

Para el acondicionamiento de la señal se utilizarón comparadores (LM 339) y amplificadores operacionales (T L 072), para acondicionar la señal producida por el optoacoplador proporcionándole

la ganancia y offset adecuados y así obtener a la salida una señal cuadrada de frecuencia variable proporcional a la velocidad del motor con amplitud de 5 volts que servirá de entrada a la siguiente etapa del medidor.

Para la etapa de conteo se empleó un arreglo de flip-flop's "D", contadores y decodificadores de BCD a siete segmentos con su respectivo despliegue para la adecuada visualización del tacómetro.

En dicha etapa se utilizó el circuito 7443, que cuenta con los contadores y decodificadores adecuados, requiriéndose únicamente conectar un despliegue de siete segmentos, un juego por cada uno de los dígitos deseados, éste despliegue digital es más atractivo al usuario. El tacómetro se diseñó para tener visualización de cuatro dígitos con resolución de 10 R.P.M.

Las señales de la base de tiempos y las de control requeridas para sincronizar al tacómetro se obtienen del circuito LM 555 el cual genera pulsos con periodos de un segundo requeridos para la activación de la compuerta AND, agregando además una etapa de retardo para obtener las señales de captura y reinicialización del circuito 7443.

4.8 Protección Contra Desbocamiento del Motor.

Debido a que la velocidad del motor es variable en un amplio rango, se debe evitar que al activarse se demande al sistema una velocidad elevada que pueda conducir al desbocamiento de éste, por tanto se debe de prevenir que la velocidad de inicialización del sistema sea una diferente a cero.

Debido a que el flujo de corriente hacia la armadura se controla básicamente por medio de un potenciómetro, cuando se activa el sistema se debe evitar que dicho potenciómetro este en una posición diferente a la de un voltaje en la armadura igual a cero. Para implementar el tipo de protección para este fenómeno se emplea un arreglo similar al mencionado para tratar a las sobrecorrientes, cuando se inicializa el sistema se dispone de un comparador que verifica que el cursor del potenciómetro este en la posición de voltaje igual a cero, cuando se cumple esta condición se activa el contacto normalmente abierto de un relevador en serie con la bobina de un contactor que permitirá al energizarse ésta, el paso de energía hacia el motor a través de sus contactos normalmente abiertos.

Además de las precauciones intrínsecas que debe disponer todo dispositivo electrónico, en una centrífuga es de vital importancia que se impida la activación del sistema si este no esta debida-

4.8 Protección Contra Desbocamiento del Motor.

Debido a que la velocidad del motor es variable en un amplio rango, se debe evitar que al activarse se demande al sistema una velocidad elevada que pueda conducir al desbocamiento de éste, por tanto se debe prevenir que la velocidad de inicialización del sistema sea una diferente a cero.

Debido a que el flujo de corriente hacia la armadura se controla básicamente por medio de un potenciómetro, cuando se activa el sistema se debe evitar que dicho potenciómetro este en una posición diferente a la de un voltaje en la armadura igual a cero. Para implementar el tipo de protección para este fenómeno se emplea un arreglo similar al mencionado para tratar a las sobrecorrientes, cuando se inicializa el sistema se dispone de un comparador que verifica que el cursor del potenciómetro este en la posición de voltaje igual a cero, cuando se cumple esta condición se activa el contacto normalmente abierto de un relevador en serie con la bobina de un contactor que permitirá al energizarse ésta, el paso de energía hacia el motor a través de sus contactos normalmente abiertos.

Además de las precauciones intrínsecas que debe disponer todo dispositivo electrónico, en una centrífuga es de vital importancia que se impida la activación del sistema si este no esta debida-

la ganancia y offset adecuados y así obtener a la salida una señal cuadrada de frecuencia variable proporcional a la velocidad del motor con amplitud de 5 volts que servirá de entrada a la siguiente etapa del medidor.

Para la etapa de conteo se empleó un arreglo de flip-flop's "D", contadores y decodificadores de BCD a siete segmentos con su respectivo despliegue para la adecuada visualización del tacómetro.

En dicha etapa se utilizó el circuito 7443, que cuenta con los contadores y decodificadores adecuados, requiriéndose únicamente conectar un despliegue de siete segmentos, un juego por cada uno de los dígitos deseados, éste despliegue digital es más atractivo al usuario. El tacómetro se diseñó para tener visualización de cuatro dígitos con resolución de 10 R.P.M.

Las señales de la base de tiempos y las de control requeridas para sincronizar al tacómetro se obtienen del circuito LM 555 el cual genera pulsos con periodos de un segundo requeridos para la activación de la compuerta AND, agregando además una etapa de retardo para obtener las señales de captura y reinicialización del circuito 7443.

mente aislado del operador para impedir el acceso a sus partes si éste se encuentra trabajando. Dicha protección se implementa con el uso de un conmutador en serie con la bobina del contactor insertado en la línea, el cual si no se cumple la condición de sistema aislado, impedirá la activación del contactor que limita el flujo de energía hacia el motor.

Adicionalmente a las protecciones antes mencionadas se incluyó un control de voltaje máximo que proporciona a la salida de la fuente conmutada un control del ciclo de trabajo del sistema que es el que determina el nivel de D.C. que produce la fuente, este se implementa fácilmente gracias a las características propias del circuito TL 494 empleado para producir la modulación por ancho de pulso (PWM) introduciendo un voltaje variable de cero a dos volts en uno de sus terminales (dead time control).

CONCLUSIONES

Una vez construido y probado el prototipo, se aseguró que se cumplieron los objetivos propuestos al iniciarse el trabajo. Sin embargo, como en cualquier sistema, este se puede mejorar y añadir características adicionales a las ya existentes, en base a proposiciones hechas por el usuario, y a la aparición en el mercado de nuevos y mejores elementos electrónicos y mecánicos.

Cuando se plantearon los objetivos y características que el sistema debía cumplir, se analizaron una serie de alternativas que satisficieran los puntos propuestos. Al comparar los tipos de control que emplean las industrias en sus motores, se encontraron dispositivos muy atractivos, que realizan las mismas funciones básicas de cualquier control de velocidad, pero aplicando tecnología actual. El uso de esta, genera mecanismos más eficientes que minimizan el consumo de energía, indicadores más atractivos para el usuario, mecanismos de control de tiempo más eficientes, mejores y novedosos dispositivos de protección, dando como resul-

tado final sistemas más confiables, económicos, ligeros y compactos.

Se debe considerar que debido a los grandes avances científicos que acontecen en la actualidad algunas de las tecnologías y métodos empleados en el desarrollo de un sistema, en un corto periodo de tiempo son desplazadas, por mejores elementos (en costo y eficiencia) resultado del surgimiento de nuevas tecnologías. Como ejemplo de esto, en lo referente a la conmutación en la electrónica de potencia el primer elemento a considerar era SCR, pero en la actualidad, se cuentan con transistores bipolares de potencia (como por ejemplo el BU508) y transistores de efecto de campo de tecnología MOS que compiten con los SCR's en potencias medianas, además su circuitería de control es más sencilla. Esto se debe a que los TBJ's y los FET's no presentan la desventaja de necesitar circuitería especial para asegurar su apagado.

Los nuevos dispositivos de estado sólido presentan numerosas ventajas en cuanto a rapidez de conmutación y eficiencia en el aprovechamiento de la energía de control aunque, por el momento, la supremacía de los SCR's en los ámbitos de las grandes potencias sigue siendo incuestionable.

La eficiencia de la fuente conmutada se puede incrementar de forma notable al cambiar el tipo de transistor usado, es decir, en

vez de usar transistores bipolares de juntura se pueden utilizar transistores de efecto de campo los cuales se comportan mejor como interruptores y no necesitan corriente de base, a diferencia de los TBJ's, lo que implica pérdidas, aunque si bien en la juntura base-emisor o emisor-base son pequeñas, las resistencias del impulsor son considerables. Por otro lado los FET's tienen capacitancias parásitas más pequeñas por lo cual se pueden operar a frecuencias muy altas (hasta de megahertz), lo que permite el uso de elementos reactivos pequeños. '

LISTA DE COMPONENTES PARA LA ETAPA DE MODULACION EN PWM Y
RELOJ DE PARO AUTOMATICO.

DESCRIPCION	CANTIDAD	NOMBRE DE LOS COMPONENTE
	1	SW1
1k	1	R18
	9	CI9, P1, P2, REG1, REG2, REG3, SW2, SW4, TRANS1.
	1	SW3
.01 μ	1	C6
.1 μ	3	C13, C14, C15
.47 μ	1	C2
.47 μ	1	C3
1 M	1	R6
1.2K	1	R22
1A	1	F1
1K	1	R42
1N007	1	D1
1N4001	4	D2, D3, D6, D7
1nF	1	C1
2.2K	1	R34
2K	1	POT3
3.3K	3	R14, R26, R40
3.9K	1	R24
4.3K	1	R20
5K	2	POT5, POT6

6.9K	1	R35
10 Ω	1	R27
10K	11	POT1, R3, R4, R8, R9 R10, R11, R12, R13, R19, R41
10 μ	1	C18
10K	3	POT4, R23, R28
12K	3	R30, R31, R32
15K	1	R29
27K	1	R36
33 Ω	1	R39
33K	1	R1
47 μ	1	C17
50 Ω	1	R21
100 Ω	2	R15, R25
100K	4	POT2, R5, R7, R37
100 μ	1	C16
150 Ω	1	R33
220 Ω	1	R16
220K	1	R38
470 Ω	1	R2
500 Ω	1	R17
4000 μ	3	C10, C11, C12
BC547	4	Q1, Q2, Q3, Q4
CI1	1	LM339
CI3	1	TIL 111

CI4	1	TL072
DISPLAY	1	TIMER
CI2	1	H21A3
CI7	7	LM2907J
CI8	1	TL081
CI5	1	TL494
CI6	1	LM8560

LISTA DE COMPONENTES PARA LA ETAPA DE POTENCIA

DESCRIPCION	CANTIDAD	NOMBRE DEL COMPONENTE
	2	P3, TRANS2
	1	L1
	1	DC MOTOR SERIE 127V 60 Hz @ 5A
	1	S1
.022 μ	1	C23
.01 μ	2	C21, C22
0.1 Ω	5	R54, R55, R56, R57, R73
0.1 μ	1	C20
0.5 Ω	6	R59, R60, R61, R62, R63, R64
0.025 Ω	1	R58
1 Ω @ 1W	1	R53
1K	4	R43, R47, R70, R78
1N4001	2	D14, D15
2.2K	2	R45, R77
4.7 Ω @ 20W	1	R52
5.6K	1	R46
5K	2	R71, R72
5.2 V	1	Z1
10K	1	R75
10K	2	R66, R67
12K	2	R65, R74

47Ω @ 3W	1	R50
100Ω	1	R51
100K	2	POT7, R76
100K	2	R68, R69
150Ω	2	R44, R49
220μ	1	C8
300V/10A	1	P4
470μ	1	C7
680Ω	1	R48
4000μ	1	C19
BC547	1	Q6
BU508	4	Q9, Q10, Q11, Q12
LM555	1	CI11
LM723	1	CI6
MR504	6	D8, D9, D10, D11, D12, D13
NC2	1	RELEVADOR
NC1	1	RELEVADOR
SC	1	RELEVADOR
CI10	1	TIL111
Q7	1	TIP29
Q8	1	TIP30
Q5	1	TIP41C
	1	CONTACTOR
	3	RELEVADOR1, RELEVADOR2, SW
1N4001	2	D4, D5

NA-C1	1	
NA-P1	1	
NA-P2	1	
NEON	1	N1
	1	PUSH BOTTON NORMALMENTE ABIERTO
	1	PUSH BOTTON NORMALMENTE CERRADO

LISTA DE COMPONENTES PARA EL TACOMETRO

DESCRIPCION	CANTIDAD	NOMBRE DEL COMPONENTE
330Ω	28	R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10 R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27, R28, R29
.01μ	1	C2
1M	1	POT1
1μ	1	C1
100K	1	R1
7414	1	CI6
7432	1	CI5
74143	4	CI1, CI2, CI3, CI4
LM555	1	CI7
	2	DISPLAY

DATOS TECNICOS DEL TRANSISTOR BU 508

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
 TECHNICAL DATA

NPN Silicon Power Transistors
Horizontal Deflection

... specifically designed for use in large screen color deflection circuits

- Glass Passivated (Patented Photoglass)
- Triple Diffused Mesa Technology for Long Term Stability
- Collector-Emitter Voltage — $V_{CE} = 1500$ Vdc
- Collector-Emitter Sustaining Voltage — $V_{CE}(sust) = 700$ Vdc
- Switching Times with Inductive Loads, $t_r = 0.5 \mu s$ (Typ) for $I_C = 4.5$ A
- Optimum Drive Condition Curves
- Glass Base-Collector Junction
- TO-218 Package for Low Cost Mounting
- Available with Internal Flyback Diode, "D" Suffix



BU508
BU508D
BU508A
BU508AD

POWER TRANSISTORS
8 AMPERES
1000 VOLTS



MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	All Parts	Limit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE}(O_{max})$	700	Vdc
Collector-Emitter Voltage	$V_{CE(S)}$	1500	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5	Vdc
Collector Current — Continuous Puls ⁽¹⁾	I_C I_{CM}	8 15	Adc
Base Current — Continuous Puls ⁽¹⁾	I_B I_{BM}	4 6	Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	P_D	125 1	Watts $W/^\circ C$
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ C$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	R_{JC}	1	$^\circ C/W$
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/8" from Case for 5 seconds	T_L	275	$^\circ C$

(1) Pulse Test: Pulse Width = 5 ms, Duty Cycle = 10%

DATOS TECNICOS DEL TL494

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for Switchmode power supply control. This device features:

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator With Master Or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5 Volt Reference
- Adjustable Dead-Time Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source Or Sink
- Output Control For Push-Pull Or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS

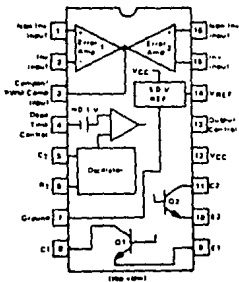
SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUITS



16 PIN DIP
CERAMIC PACKAGE
CASE 620-10



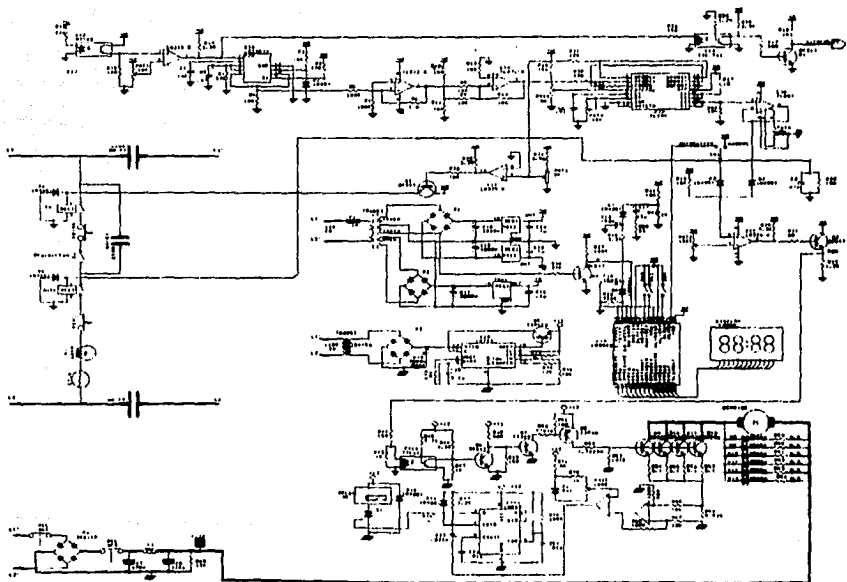
16 PIN
PLASTIC PACKAGE
CASE 648-05



The TL494C is specified over the commercial operating range of 0°C to 70°C. The TL494J is specified over the industrial range of -25°C to 85°C. The TL494M is specified over the full military range of -55°C to 125°C.

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
TL494C	0° to +70°C	Plastic DIP
TL494C	0° to +70°C	Ceramic DIP
TL494J	-25° to +85°C	Plastic DIP
TL494J	-25° to +85°C	Ceramic DIP
TL494M	-55° to +125°C	Ceramic DIP



BIBLIOGRAFIA

FARMACOTECNIA TEORICA Y PRACTICA TOMO II

Dr. José Helman

Editorial CECSA

PRINCIPIOS Y TECNICAS DE BIOQUIMICA EXPERIMENTAL

Bryan L. Williams y Keith Wilson

Editorial Omega S.A.

ELECTRONICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS

Timothy J. Maloney

Editorial Prentice Hall

POWER ELECTRONICS FOR THE MICROPROCESSOR AGE

Takashi Kenjo

Editorial Oxford Science Publications

CONTROL ELECTRONICO DE LOS MOTORES DE

CORRIENTE CONTINUA

R. Chauprade

Editorial Gustavo Gili S.A.

ELECTRONICA DE POTENCIA

G. Séguier

Editorial Gustavo Gili S.A.

DESIGN OF SOLID - STATE POWER SUPPLIES

Eugene R. Hnatek

Editorial Van Nostrand R. Company

POWER ELECTRONICS

CIRCUITS, DIVICES, AND APLICATIONS

Muhammad Harunur Rashid

Editorial Prentice Hall