

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UN CONTROL DIGITAL PARA
UNA CENTRIFUGA DE ANÁLISIS CLÍNICO**



PROYECTO DE TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

DÁVILA OCHOA, HENRY FABIO

LIMA – PERÚ

2007

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 2. LA DENTRIFUGA DIGITAL	22
CAPITULO 3. DISEÑO Y HARDWARE ELECTRÓNICO	28
CAPITULO 4. LA PROGRAMACIÓN	57
CAPITULO 5. EL CONTROLADOR DIGITAL	82
CAPITULO 6. CONDICIONES DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y NORMAS DE SEGURIDAD DEL EQUIPO	98
CAPITULO 7. ANÁLISIS DE COSTO	113
CAPITULO 8. APORTES Y CONCLUSIONES	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
APÉNDICES	121

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, Ana Bertha Ochoa y Demetrio Fabio Dávila por el apoyo incondicional que me dieron para realizarme como persona y profesional, por la confianza que depositaron en mi y por su motivación para superarme; a mi novia Ana Maria Palomino por su comprensión y apoyo en estos años, a mis compañeros de estudio Benjamín Gaspar, Fernando Raymundo y Percy Benavente con quienes empezamos el centro de investigación CIDIB por sus ideas, dedicación y esfuerzos hacia la investigación y por su apoyo en este trabajo, también deseo agradecer a mi amigo el Ing. Gustavo Reselló por sus consejos y su gran apoyo como persona e investigador.

RESUMEN

El presente informe favorecerá a los estudiantes y egresado de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Ricardo Palma y otras Universidades sobre las instalaciones de equipamiento de la Televisión del Estado y operatividad de equipos en un canal de televisión, como es Control Técnico de la señal, Estudios de Televisión, Control de Estudios, Plantas transmisoras y otros así mismo ampliar los conocimientos de todos los alumnos que programan visitas a las instalaciones del Instituto Nacional de Radio y Televisión del Perú (Canal 7). Da a conocer el uso de sistemas de recepción de señal digital a nivel nacional. En la contingencia el IRTP ahorro una cantidad considerable en la adquisición de 180 estaciones satelitales y 180 transmisores de TV con sistemas irradiantes y torre metálica gracias al convenio del IRTP y el proyecto de apoyo a la comunicación comunal del MTC equipamiento valorizado en \$1,260.000 dólares americanos. El canal del estado ha ampliado su cobertura a 272 estaciones de televisión siendo el canal con mayor número de estaciones. El canal del estado utiliza equipamiento profesional Utilización de sistemas virtuales. Uso de cámaras digitales. Uso de sistemas satelitales FlyAway. Proyecto de repotenciación y ampliación de cobertura de los equipos de Televisión del IRTP

Capitulo 1

1.INTRODUCCION

La separación de líquidos y partículas insolubles se ha venido realizando en varios procesos que contribuyen a la ciencia desde sus inicios. La aplicación de una fuerza centrífuga ayuda a la separación de las partículas. La separación de partículas por medio de la centrifugación tuvo en sus inicios aplicaciones industriales esto hace aproximadamente 100 años. Las primeras separaciones de partículas usando centrifugación fueron inventadas en 1878 por el ingeniero sueco Carl Gustaf Patrik DeLaval el invento la separadora centrífuga Fig.1, entonces el estaba empleado en Kloster Works en Dalecarlia, un importante estado industrial para ingenieros mecánicos sus primeros trabajos en centrifugación estaban relacionados con la crema de leche, estas centrífugas funcionaban a velocidades de hasta 3000RPM.



Figura 1. -Gustaf DeLaval y la separadora centrífuga

Posteriores desarrollos mejoraron el prototipo creado por DeLaval y ya en el campo de la química se obtuvo un notable desarrollo con la ultracentrífuga cuya construcción se le atribuye a Svedberg entre los años de 1920 y 1930, el estudiaba las estructuras de las proteínas que en ese entonces eran consideradas coloides; mediante el uso de la ultracentrífuga el pudo determinar el peso molecular modificando la idea de la estructura concebida hasta ese momento.

SPINCO en 1940 produjo la primera centrífuga comercial desde entonces las centrífugas fueron utilizadas en diferentes campos de la investigación y encontraron aplicaciones en la medicina, biología, e industria. Una de las técnicas más comúnmente utilizadas en la actualidad para caracterizar las macromoléculas es la sedimentación. Utilizando las variantes adecuadas de esta técnica, se pueden obtener el peso molecular, la densidad y la forma general de la macromolécula; además, se puede detectar cambios en estos parámetros y cualquiera de ellos se puede aprovechar como base para la separación de los componentes de una mezcla con propósitos preparativos o analíticos. Debido a la facilidad con la que se obtienen los resultados en los modernos instrumentos automáticos, hacen de la ultracentrifugación una técnica muy útil.

1.1.La Centrifugación

1.1.1 Aspectos Físicos

En un proceso de sedimentación la velocidad a la cual sedimentan las partículas en una suspensión, no sólo depende de su naturaleza, sino también del medio en el cual están suspendidas así como, de la fuerza aplicada a las partículas.

Intuitivamente, sabemos que las partículas más grandes sedimentarán más rápido que las más pequeñas. Para efectos prácticos asumimos que la partícula es una pequeña esfera, entonces si pensamos que esta sometida a un efecto gravitacional mostrado en la Fig.2 podemos realizar el siguiente análisis.

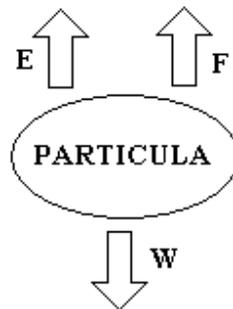


Figura 2. - Fuerzas sobre una partícula en sedimentación gravitacional

En una partícula sumergida están actuando tres fuerzas, que permitirán o no el proceso de sedimentación. En la Fig.1 se muestra el diagrama de fuerzas donde se tiene lo siguiente:

$$W = mg \rightarrow W = \rho gV \quad 1.1$$

$$F = f V_s \quad 1.2$$

$$E = mg \rightarrow E = \rho_0 gV_s \quad 1.3$$

Donde:

m: masa de la partícula.

g: aceleración de la gravedad.

ρ : densidad de la partícula.

ρ_0 : densidad del disolvente.

V: volumen del cuerpo y del fluido desplazado.

f: coeficiente de fricción.

V_s: velocidad de sedimentación.

W: Peso de la partícula

F: Fuerza de resistencia al avance

E: Empuje

Por tanto, para que se produzca la sedimentación por gravedad se debe cumplir que $W > E + F$. Usando las ecuaciones 1.1 y 1.2 y despreciando el efecto de la fuerza de resistencia tenemos:

$$F = W - E = (\rho - \rho_0)gV > 0 \quad 1.4$$
$$\rho > \rho_0$$

Entonces para que exista sedimentación por gravedad, debe cumplirse que $\rho > \rho_0$. Un factor que afecta la sedimentación de las partículas es la viscosidad del medio. La ley Stokes hace referencia a este hecho, la fuerza friccional, F_r , que actúa en una partícula esférica de radio r es relacionada a la viscosidad, n , y a la velocidad v por la siguiente ecuación:

$$F_r = 6\pi r \eta v \quad 1.5$$

Si las partículas están cayendo verticalmente en un fluido viscoso debido a su propio peso puede calcularse su velocidad de caída o sedimentación igualando la fuerza de fricción con la fuerza de gravedad. Debido a que consideramos las partículas esféricas deducimos la ecuación 1.6

$$W = mg = \frac{\rho 4\pi r^3 g}{3} \quad 1.6$$

Y la fuerza de empuje E será:

$$E = \frac{\rho_0 4\pi r^3 g}{3} \quad 1.7$$

Si las partículas son sometidas a una fuerza centrífuga tenemos lo siguiente según la ley de Newton:

$$W - E = Fr = 6\pi r\eta v$$

$$v = \frac{2r^2 g(\rho - \rho_0)}{9\eta} \quad 1.8$$

De la ecuación 1.8 podemos deducir lo siguiente:

- La velocidad de sedimentación de cada partícula es proporcional a su tamaño, (r)
- La velocidad de sedimentación es proporcional a la densidad de la partícula y a la del medio.
- La velocidad de sedimentación es nula cuando ambas densidades se igualan.
- La velocidad de sedimentación disminuye al aumentar la viscosidad del medio.
- La velocidad de sedimentación aumenta al aumentar el campo de fuerza.

Las velocidades de sedimentación que se dan en condiciones naturales son muy bajas. A veces nos interesa incrementar esa velocidad de sedimentación, para lo cual se utiliza la técnica de la Centrifugación. La centrifugación es un proceso por el cual se separan las partículas sumergidas en un medio acuoso, mediante una centrifugadora que imprime a la mezcla un movimiento rotatorio, desarrollando una fuerza centrípeta de mayor intensidad que la gravedad, provocando así la sedimentación del sólido o de las partículas de mayor densidad.

Cuando se centrifuga una solución, se rompe la homogeneidad y se produce la separación del soluto y del disolvente. Las primeras partículas en sedimentar son las de mayor masa.

En la Fig.3 se muestra las fuerzas que actúan sobre una partícula, entre ellas tenemos la fuerza centrífuga (F_c), fuerza de resistencia (F_d), peso de partícula (W), la fuerza efectiva total (F_e) y el empuje (E)

La F_e es la fuerza resultante entre la fuerza centrífuga y el peso de la partícula y es la que realmente produce la sedimentación y llevara a la partícula al fondo del tubo.

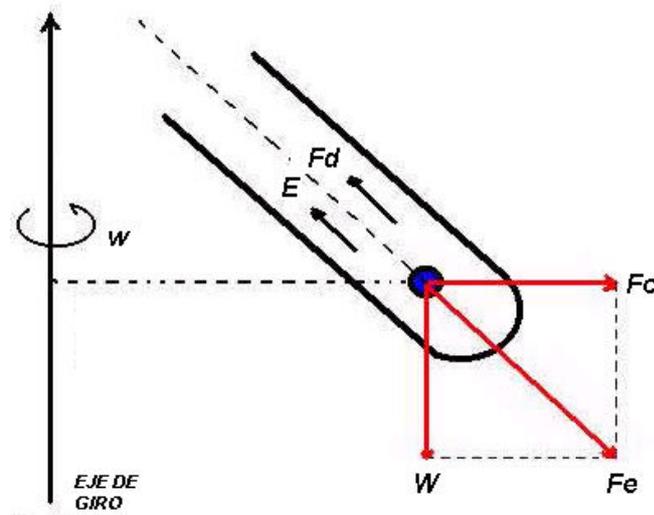


Figura 3. - Fuerzas sobre una partícula en rotación

Del diagrama de fuerzas obtenemos las siguientes ecuaciones

$$\begin{aligned}\vec{F}_e &= \vec{W} + \vec{F}_c = m(\vec{g} + \vec{a}_c) \\ \vec{F}_e &= m\vec{g}_e\end{aligned}\tag{1.9}$$

La Fuerza centrífuga es dependiente de la velocidad la cual es expresada en revoluciones por minuto (RPM) un factor que es usado constantemente en diferentes centrífugas es la Fuerza centrífuga relativa (*F.C.R*) la cual es dependiente de la velocidad de rotación (*N*) en RPM. y de la distancia de la partícula (*r*) en cm al centro de rotación el cual es expresado por la siguiente igualdad

$$F.C.R = 1.18r \left(\frac{N}{1000} \right)^2\tag{1.10}$$

La fuerza centrífuga relativa esta expresada en gravedades (*g*), y es una forma de indicar la fuerza a la que se somete la muestra, la ecuación 1.10 representa una aproximación de una tabla mostrada en la sección de anexos.

De la ecuación 1.9 obtenemos que la magnitud de la g_e es:

$$|g_e| = \sqrt{g^2 + (wr^2)^2}\tag{1.11}$$

Si consideramos que para altas velocidades $g \lll wr^2$ entonces se puede despreciar el término más pequeño por tanto:

$$|g_e| = wr^2 \quad 1.12$$

Trabajando en este sistema simplificado tenemos que el Empuje efectivo (E_e) será:

$$E_e = \rho_0 g_e V = \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right) m g_e \quad 1.13$$

Y la Fuerza de resistencia al avance (F_d) será:

$$F_d = \text{Fuerza efectiva } (F_e) - \text{Empuje efectivo } (E_e)$$

$$F_d = f V_s = m g_e - \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right) m g_e$$

$$V_s = m g_e \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) / f \quad 1.14$$

Donde V_s es la velocidad de sedimentación y f es el coeficiente de fricción, de la expresión 1.14 observamos que la velocidad de sedimentación es directamente proporcional a la masa de la partícula (m) y la gravedad efectiva (g_e) los otros

términos se mantienen invariables para condiciones estables de temperatura por lo tanto para realizar una sedimentación forzada debemos aumentar la velocidad angular (w) que es el componente principal de la gravedad efectiva en la expresión 1.12. La velocidad de sedimentación es útil para caracterizar partículas, en Bioquímica se emplea otra unidad de medida, el coeficiente de sedimentación.

Utilizando las siguientes definiciones podemos obtener la expresión que corresponde al coeficiente de sedimentación

$$V = \frac{1}{\rho} \quad 1.15$$

$$S = \frac{V_s}{r w^2} = \frac{m (1 - V \rho_0)}{f} \quad 1.16$$

En la expresión 1.15 (V) es el volumen específico y luego de sustituir en la expresión 1.14 despejamos, ordenamos y obtenemos el coeficiente de sedimentación (S) cuya unidad de medida es en segundos, pero siempre tiene un valor muy bajo, por lo que para medir el coeficiente de sedimentación se usa como unidad el Svedber (1 Svedber (S) = 10^{-13} segundos). El conocer el coeficiente de sedimentación nos facilita caracterizar la partícula y obtener información sobre su tamaño, densidad y forma.

1.2 La Centrifuga

Independientemente del tipo de centrifugación que se vaya a llevar a realizar, el elemento necesario es la centrifuga mostrada en la Fig.4.

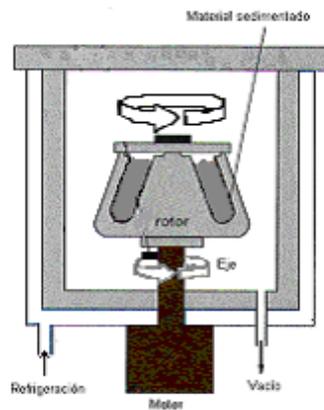


Figura 4. – Modelo de una centrifuga

Las centrifugas son equipos que en la actualidad se han ido difundiendo cada vez mas en diferentes campos de la ciencia, debido a esto encontramos diversas funciones desarrolladas por los fabricantes, que satisfacen los análisis a que son sometidas las muestras. Por su constitución de sus componentes electrónicos las centrifugas pueden ser analógicas o digitales Fig. 5.



(a)



(b)

Figura 5. – Centrifuga Analógica(a), Centrifuga Digital(b)

1.2.1 Partes principales de una centrifuga

Una centrifuga consta principalmente de las siguientes partes:

- Un motor de inducción de acero inoxidable con eje el cual es hecho en diferentes variantes de velocidad máxima.
- Un cabezal con rotores los cuales sirven como envases donde se ubican los tubos de muestra a sedimentar.
- Una carcasa la cual es de acero y recubre completamente el motor con los rotores.
- Un panel de mando que consta de botones o perillas para el ingreso de los valores de tiempo y velocidad de rotación, asimismo una etapa de visualización que puede estar hecha de displays o una pantalla Lcd todo esto es situado generalmente al frente del aparato.
- Una tapa con seguridad para la detección de puerta abierta.

De los puntos ya citados los rotores desempeñan una importante función en la centrifugación, pueden ser clasificados en cuatro tipos, rotores flotantes, rotores de ángulo fijo y rotores verticales.

Los rotores flotantes (Fig.6) llevan de tres a seis tubos fijados a un soporte de metal que esta libremente suspendido, la suspensión libre sirve solo para fijar la posición de inicio del tubo con la muestra, cuando el rotor comienza a girar, el bucket(deposito o cestilla) se pone de forma horizontal. Todos los buckets de un rotor son de igual masa por lo que sólo se necesita balancear los tubos con la muestra. La superficie de los buckets debe de estar seca y limpia para usarlos.

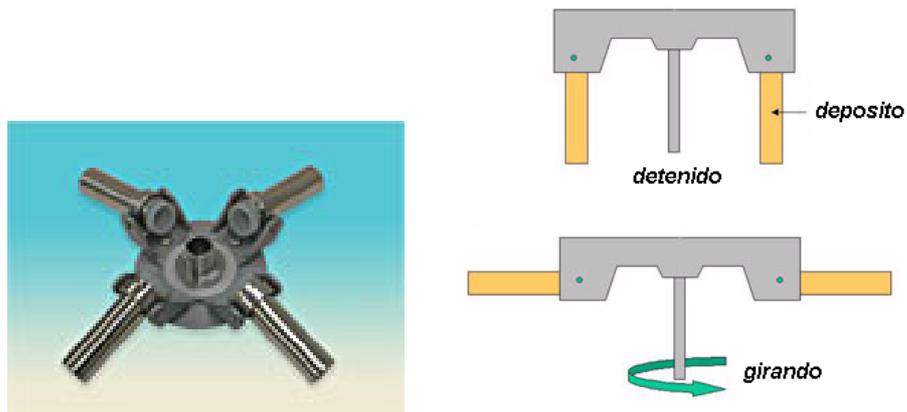


Figura 6. – Rotor flotante

Los rotores de ángulo fijo (Fig.7) poseen un ángulo que puede variar de 14° a 55° en los modelos comerciales existe una gran variedad de capacidades, rango de velocidades y ángulos de inclinación. Los rotores con bajo ángulo son más eficientes para sedimentación porque el trayecto de las partículas que sedimentan

es corto. Los rotores de ángulo fijo están diseñados para soportar altas fuerzas centrífugas, por arriba de 600000g.



Figura 7. – Rotor de ángulo fijo

Los rotores verticales (Fig.8) podrían considerarse como una forma extrema de un rotor ángulo fijo, sin embargo, las características del rotor vertical es diferente cuando el rotor gira la solución se reorienta 90° esta reorientación se lleva cabo debajo de las 1000 RPM, la característica importante de estos rotores, es la corta trayectoria de la sedimentación de sus partículas ella equivale al diámetro del tubo. Estos rotores se utilizan en la mayoría de centrífugas de alta velocidad y ultracentrífugas el diseño de los rotores verticales permite muy altas fuerza centrífugas.

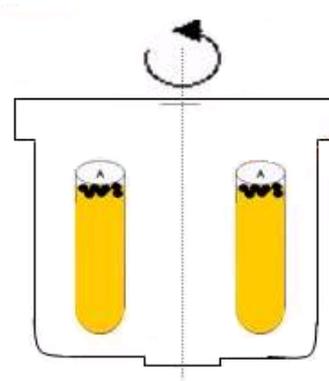


Figura 8. – Rotor de ángulo vertical

Adicionalmente y dependiendo de la aplicación de la centrifuga se puede encontrar en ellas sistemas de refrigeración, termostatos análogos o digitales, seguro de desbalanceo que interrumpe la corrida ante variaciones de desplazamiento en la rotación.

1.2.2 Tipos de centrifugación

Los diferentes tipos de centrifugación dependen esencialmente de la velocidad y el modelo de los rotores que conforman la centrífuga, existen dos tipos de procesos de centrifugación, la centrifugación preparativa y la centrifugación analítica.

La centrifugación preparativa, tiene el propósito de aislar partículas específicas, esta se divide a su vez en dos métodos de separación

- Centrifugación diferencial.
- Centrifugación en gradiente de densidad.

La Centrifugación diferencial es el método más usado de separación de muestras, en este método, el tubo de la centrífuga se llena con una mezcla uniforme.

Tras la centrifugación se obtienen dos fracciones el material sedimentado llamado pellet y una muestra líquida que no contiene material sedimentado llamado sobrenadante, el método es bastante empírico, y a priori no se puede saber si la partícula buscada quedará en el sobrenadante, en el pellet o repartido entre ambos; sin embargo es una técnica muy útil, sobre todo para el aislamiento de células y orgánulos subcelulares como se muestra en la Fig. 9.

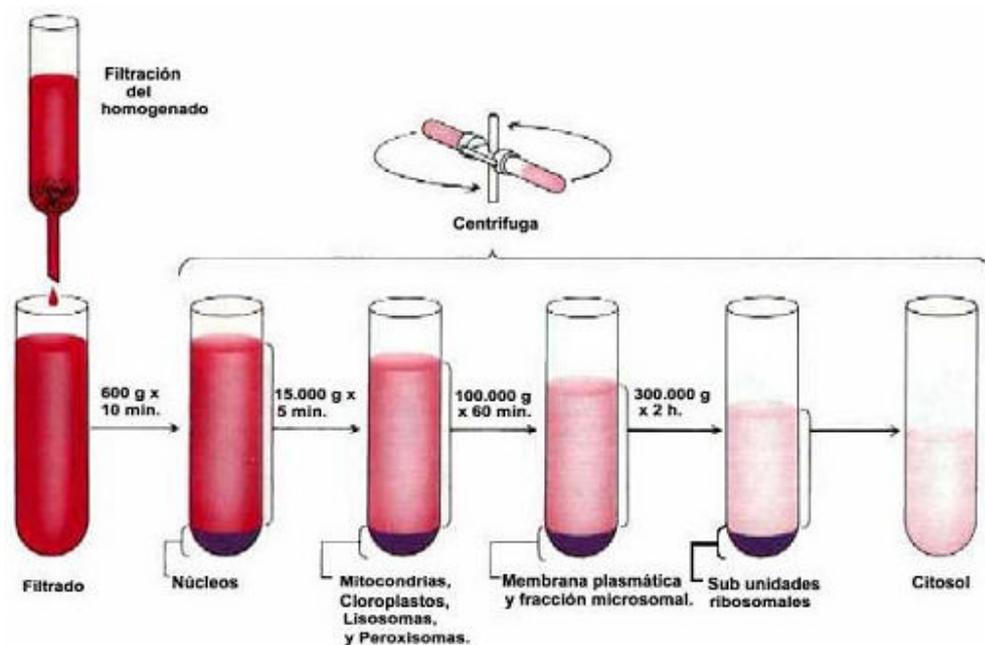


Figura 9. – Centrifugación diferencial aplicado a nivel celular

La centrifugación en gradiente de densidad es un método más largo que el usado en la centrifugación diferencial, sin embargo, presenta algunas ventajas la técnica no solo permite la separación de varios, si no todos, los componentes de la muestra, sino que también permite realizar medidas analíticas.

El método de gradiente de densidad implica la utilización de un fluido, cuya densidad aumenta desde la zona superior a la inferior. El gradiente se consigue con un soluto preferiblemente de baja masa molecular en un solvente en el que la muestra a analizar pueda ser suspendida. La muestra se sitúa en la parte superior del gradiente como una fina banda. La separación de los componentes de la muestra se presenta como diferentes bandas o zonas. Existen dos variaciones dentro de la centrifugación en gradiente de densidad:

- Centrifugación zonal.
- Centrifugación de equilibrio en gradiente o isopícnica.

En la Centrifugación Zonal (Fig.10), la muestra se aplica en una capa delgada sobre el medio en el cual se va centrifugar que es un gradiente de densidad; bajo la acción de la fuerza centrífuga las partículas sedimentan a través del gradiente concentrándose en bandas o zonas muy estrechas, la velocidad con que se desplazan las partículas depende de su densidad, la centrifugación debe terminar antes que las partículas lleguen al fondo del tubo.

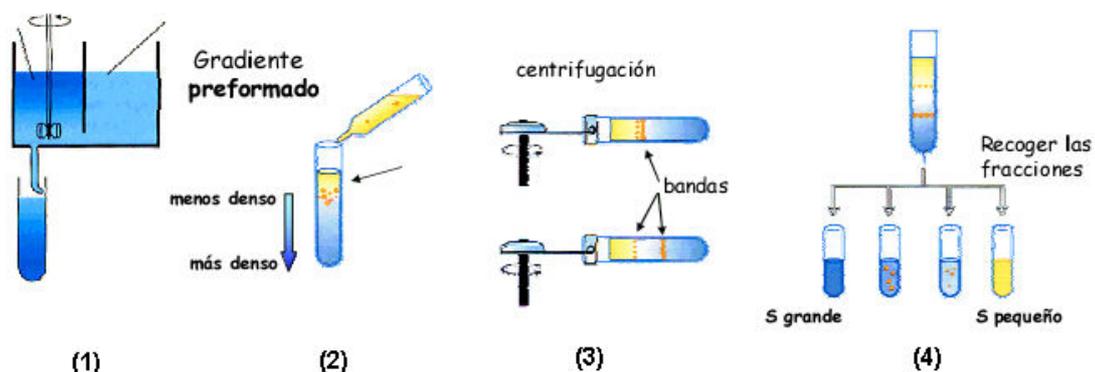


Figura 10. – Centrifugación en gradiente de densidad tipo zonal

Existen varias formas de preparar los gradientes de densidad; se puede realizar mezclando varias soluciones de distinto porcentaje de concentración y así crear un gradiente discontinuo, otra forma seria usando un dispositivo formador de gradientes, y así crear un gradiente continuo, también es posible que mediante la misma centrifugación una muestra de disolución ya preparada en el tubo forme un gradiente de densidad llamado gradiente autoformado, lo dicho se resume en la Fig. 11.

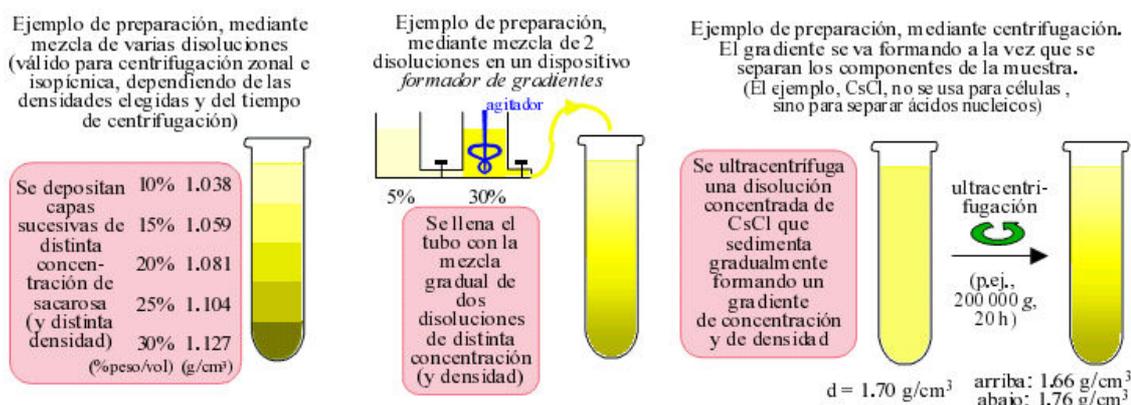


Figura 11. – Preparación de los gradientes de densidad

En la centrifugación de tipo isopícnica (Fig.12) se usa también un gradiente de densidad pero en este caso el tiempo de centrifugación es largo, hasta 2 días, además, las muestras se separan en la posición donde el gradiente tiene la misma densidad de la muestra. Para la centrifugación se usan el gradiente continuo y el gradiente autoformado, este último usado con más frecuencia, las velocidades son altas y son llevadas a cabo por las ultracentrífugas.

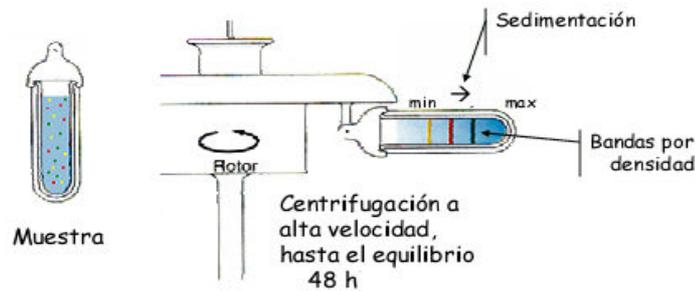


Figura 12. – Centrifugación en gradiente de densidad tipo isopícnica

La centrifugación Analítica (Fig.13) involucra la medición de las propiedades físicas de las partículas sedimentadas como el coeficiente de sedimentación o peso molecular. Los métodos óptimos se emplean en la ultracentrifugación analítica. Las moléculas se observan en un sistema óptico durante la centrifugación, para detectar las macromoléculas en solución a medida que se mueven en el campo gravitacional. Las muestras se centrifugan en celdas con ventanas que se disponen en el plano paralelo al sentido de giro del rotor. A medida que el rotor gira, las imágenes de la celda, se proyectan en un sistema óptico sobre un film o una computadora. La concentración de la solución en varios puntos en la celda se determina por la absorción de luz de la longitud de onda apropiada la cual será proporcional a la concentración en la muestra.

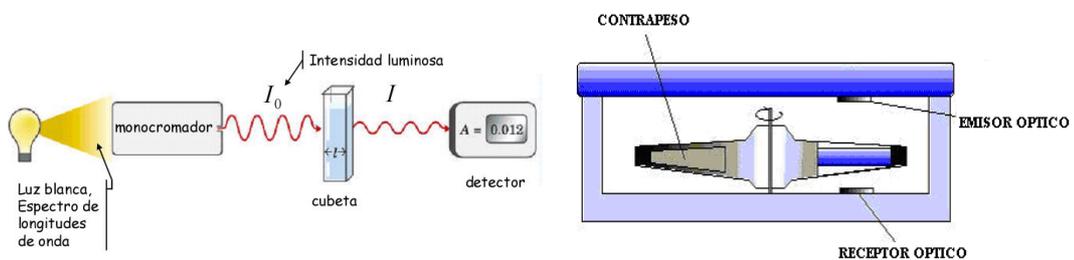


Figura 13. – Centrifugación Analítica

1.2.3 Clasificación de las centrifugas

Como se cito en párrafos anteriores, los diferentes tipos de centrifugación son desarrollados por centrífugas que alcanzan diversas velocidades, de acuerdo a esto las centrífugas son clasificadas como:

1.-Centrifugas de sobremesa o clínicas: Estas Centrifugas poseen las siguientes características:

- Pequeño tamaño.
- Sin refrigeración.
- Máxima velocidad: 5000 RPM.
- Útil para partículas grandes (células, precipitados de sales insolubles...)

2.-Centrifugas Microfugas: Estas se caracterizan por :

- Velocidades altas de 10000 RPM y tubos cortos.
- Volúmenes muy pequeños.
- Útiles en Biología Molecular

3.-Centrifugas de Alta velocidad: Estas se caracterizan por:

- Velocidad entre 18000 y 25000 RPM.
- Refrigeradas, algunas con sistema de vacío.

- Útiles en la separación de fracciones celulares.
- Insuficientes para la separación de ribosomas, virus o macromoléculas.

4.-Ultracentrífugas: Estas se caracterizan por:

- Velocidad: a partir de 50000 RPM.
- Presentan sistemas auxiliares: sistemas de refrigeración, sistemas de alto vacío.
- Útiles para la obtención de datos precisos de propiedades de sedimentación (s, PM).

Capítulo 2

2. LA CENTRIFUGA DIGITAL

Durante décadas, la sociedad ha empleado diversas tecnologías analógicas y digitales, que poco a poco han ido evolucionando. Tal es el caso de la televisión, primero de baja calidad, blanco y negro con pocos cuadros por segundo, hasta las transmisiones a todo color, en estéreo y vía satélite, aparatos de medición, audio casetes, videocasetes y servicios telefónicos son sólo algunos ejemplos de las tecnologías analógicas que aparecieron por primera vez en el siglo XX. Con la tecnología digital la señal analógica se convierte en datos de unos y ceros, esto permite un mejor procesamiento y transmisión de la data.

La tendencia actual de la tecnología en la industria a buscado el desarrollo de nuevos dispositivos que puedan desempeñar mejoras que sus similares en el pasado, esto a llevado al cambio de algunas tecnologías analógicas con la finalidad de satisfacer las necesidades de los usuarios.

2.1.Introducción y características

Las centrifugas digitales poseen una tarjeta electrónica con un componente principal como un microprocesador o un microcontrolador, el cual le permite realizar las siguientes funciones:

- Panel de comando Digital, que ofrece funciones como ingreso y lectura de tiempo, velocidad, temperatura poseen una pantalla LCD de programación y diagnostico
- Memoria con posibilidad de grabar programas de centrifugación
- El ingreso de cualquier parámetro de la velocidad, calcula de inmediato la F.C.R (fuerza centrifuga relativa) el cual mostrado en la pantalla LCD
- Funciones de desplazamiento inferior, superior y lateral del cursor
- Función de bloqueo de programa para la personalización del uso de la maquina
- Sistema de refrigeración controlada para centrifugas de producción de hemoderivados, es decir, centrifugación de la sangre
- Taquímetro digital para el control de la velocidad
- Sistema de protección de tapa abierta

2.2.Partes Principales

Una centrífuga digital (Fig.14) es un aparato de rotación para sedimentación forzada el cual como hemos dicho esta diseñado en su mayoría por dispositivos

electrónicos digitales como microprocesadores o microcontroladores que realizan operaciones de entrada de datos y control.



Figura 14. – Centrífuga Digital

La centrífuga digital, tiene como parte principal a un motor de inducción o de tipo universal de acero inoxidable, el cual es fabricado en diversos modelos con un límite de velocidad de hasta 50000RPM; en la parte superior del motor se ubica un cabezal donde están los rotores los cuales sirven como envases, donde se depositan los tubos de muestra a sedimentar. Una carcasa la cual es de acero, recubre completamente el motor y los rotores; esta carcasa le da forma a la centrífuga, en la parte frontal de ella se ubica el panel de mando para el ingreso de datos como tiempo, velocidad de rotación, y en algunos casos temperatura de la cámara (Fig.15 números del 1 al 7) datos ingresados por botones (Fig.15

números del 8 al 15) todo esto es mostrado mediante displays o una pantalla LCD, (Fig.15 numero 16) que se halla enfrente.

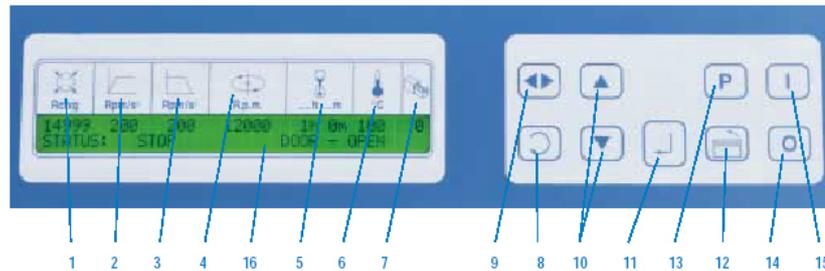


Figura 15. – Panel de una Centrífuga Digital

Asimismo también encontramos funciones como bloqueo de la apertura de la tapa estando el rotor en movimiento, bloqueo de la puesta en marcha estando la tapa abierta, paro automático en caso de desbalance de rotor, todo estos procesos son controlados por el microprocesador o microcontrolador.

2.3.Centrífugas Digitales Comerciales

Existen en la actualidad diferentes empresas que fabrican, centrífugas digitales cada una de ellas ofrecen diversas funcionalidades tanto como para el manejo y el proceso de datos de la centrifugación.

Dependiendo de la aplicación de la centrifugación las empresas ofrecen diversas características en sus centrífugas, a manera de análisis se mostrara aquí las características más saltantes en las centrífugas digitales.

- *Controlada por microprocesador con alta capacidad de repetición de resultados*, esta característica se refiere a que esta centrífuga posee un controlador con microprocesador el cual permite brindar las mismas características de velocidad de rotación.
- *Identificación automática de rotores*.,esto se refiere a una detección del rotor
- *Reloj digital de 0 a 99 Minutos*, esto indica que posee un ingreso digital para el tiempo el cual dura hasta 99 minutos
- *Freno electrónico*, esto permite realizar alguna parada de emergencia en el motor como por ejemplo cuando la tapa de seguridad esta abierta.
- *Sistema de seguridad en tapa que no permite la puesta en funcionamiento cuando esta abierta o mal cerrada*. Esta seguridad es activada por un switch en la puerta, y evita que se realice la centrifugación hasta que la tapa este cerrada correctamente
- *Ventilación forzada para evitar altas temperaturas en las muestras*. Esta característica permite que las muestras a analizar sean afectadas por la temperatura en este caso particular esta centrífuga esta diseñada para centrifugar muestras de sangre.
- *Dotada de diferentes rotores angulares de hasta 24 tubos de 10ml. y Rotor Horizontal estándar para 24 tubos capilares 50 l(1,5x75mm)*. Como fue explicado (capitulo1 sección La centrifugación), los rotores permiten realizar la

sedimentación de maneras diferentes en este caso debido a la velocidad de rotación con el rotor angular se puede realizar la centrifugación diferencial y con el rotor horizontal la centrifugación en gradiente de densidad.

- *Máx. RPM 1300 / 16900 xg.* Esto muestra que la máxima velocidad con carga es de 1300rpm, y que realiza una fuerza centrífuga de 16900 gravedades.
- *Dimensiones: Ancho (355), Alto(270), Fondo(435)mm.* Estas son características que dan idea del tamaño, notar que las centrífugas de tipo clínica son las mas pequeñas.

Capítulo 3

3. DISEÑO Y HARDWARE ELECTRÓNICO

3.1. Introducción

En este proyecto se desarrolla un control digital para una centrifuga de tubos. Las centrífugas son instrumentos que permiten someter a las muestras a intensas fuerzas para producir la sedimentación en poco tiempo de las partículas que tienen una densidad mayor que la del medio en que se encuentran. La centrífuga utilizada en este trabajo, es del tipo clínica, las cuales se utilizan para separar plasma sanguíneo, y usar el suero para diversos análisis clínicos. En la mayoría de los casos estos aparatos pierden el control de su velocidad, debido al constante uso y a su manipulación; en este trabajo se cambio el control electrónico analógico de una centrífuga de mesa, a un control digital, con un panel de mando digital.

El prototipo experimental desarrollado, posee un control que da seguridad y precisión en la velocidad de rotación, para ello se utiliza un sensor óptico que permite tener las lecturas de las revoluciones, esta señal de realimentación es procesada en un circuito con microcontrolador, el cual tomara acción sobre el

motor instantáneamente mediante un algoritmo de control PID digital, controlando así su velocidad.

Algunas otras características importantes en este diseño, son el sistema de seguridad luminoso y sonoro de puerta abierta, el indicador programable de velocidad numérico y en barra, el indicador programable de tiempo de 0 a 99 minutos, y el sistema de freno electrónico; estas características permiten que este diseño presente altas prestaciones de servicio a un bajo costo de fabricación, en comparación a sus similares en el mercado, con un alto desempeño de operación. El tiempo de desarrollo de este trabajo así como un cronograma de su fabricación están indicados en la sección de anexos.

3.2 Problemática del diseño analógico

Para el diseño y desarrollo de la centrífuga digital, se analizó el funcionamiento de una centrífuga de mesa con controlador analógico, en esta sección se hará una descripción de las características principales de la centrífuga con electrónica analógica que se utilizó para el desarrollo de este trabajo, también se consideró algunas características de otras centrífugas con hardware analógico. La centrífuga de mesa utilizada posee las siguientes características de operación:

- Motor de tipo universal de acero, con el eje adaptado al rotor
- Velocidades escalonadas por un selector, de tipo perilla, de 500 en 500, en un rango de 1000 a 5000RPM

- Selector de tipo perilla para el ingreso de tiempo en un rango de 1 minuto a 99 minutos
- Sistema de seguridad sonoro de puerta abierta
- Rotor de tipo flotante, con capacidad para 8 tubos
- Carcasa de metal de dimensiones()

Como podemos pensar el ingreso de datos que se produce a través de estas perillas no es preciso. En la Fig.16 se muestra un diseño comúnmente utilizado para el control de motores de tipo universal; en este circuito analógico, tenemos como componente principal el Triac, el cual por el momento diremos que es un dispositivo de potencia encargado de transmitir el paso de energía de una línea de alimentación de 220vac hacia la carga, que en nuestro caso es el motor universal; observamos también que el circuito esta compuesto por 3 partes fundamentales que han sido enmarcadas y numeradas para una mejor explicación.

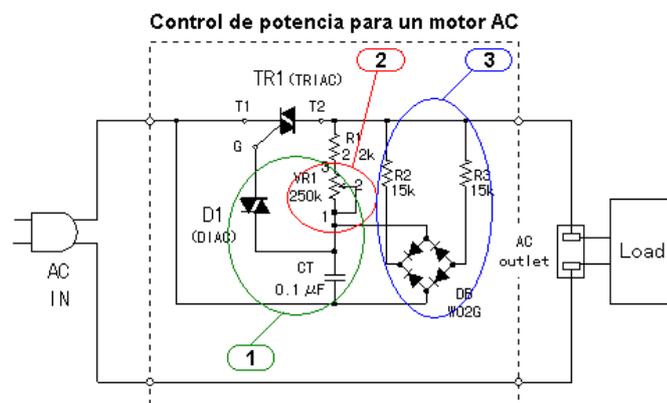


Figura 16. – Circuito de una centrífuga de mesa analógica

La zona con el numero 1 corresponde al circuito de disparo del Triac, esta etapa permite que el Triac sea activado en las comas positivas y negativas de la alimentación (V_m) de 220vac, existen diversos circuitos de disparo, en este caso se a utilizado un diac, resistencias y un condensador. El circulo marcado con el numero 2 corresponde al circuito variador de velocidad, y esta compuesto por un potenciómetro, el cual es colocado en el panel frontal, al realizar una variación de resistencia el pulso del disparo cambia, este puede variar de 0° a 180° , de tal modo que al realizar el disparo el ángulo que resta a 180° corresponde a la conducción en el Triac, ver Fig.17, de esta forma se permite entregar mas o menos energía al motor.

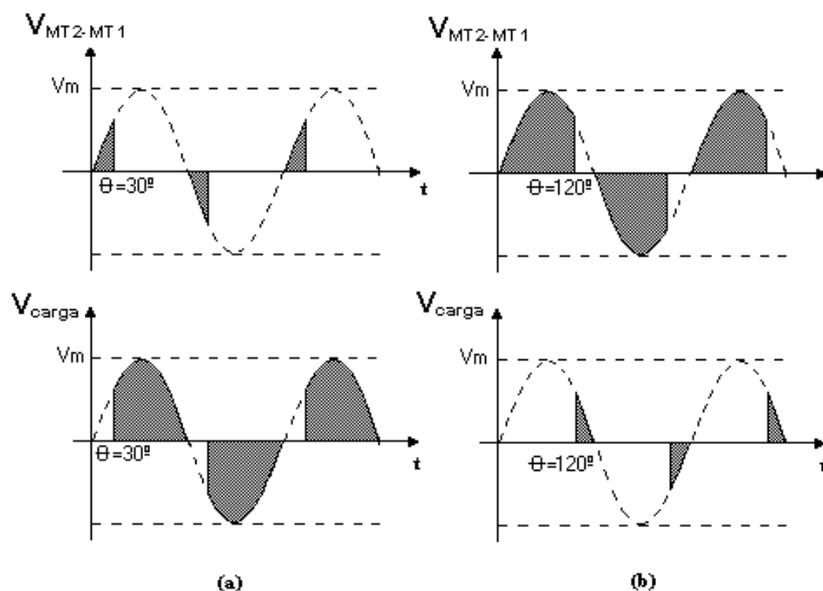


Figura 17. – Diagrama de voltajes para la señal de disparo
y salida en el motor (a) con ángulo de disparo de 30°
(b) de 120°

La parte señalada con el numero 3 corresponde al circuito de señal de sincronismo dicha señal permite que el disparo sea desarrollado cuando se realice el cruce por cero de la línea de alimentación, esto es importante debido a que con esto se asegura que el disparo en el Triac sea repetitivo.

Como parte adicional a este circuito la centrífuga analógica consta de un temporizador analógico que permite el ingreso del tiempo de operación, y se encarga de activar o desactivar la alimentación del circuito, el valor del tiempo es ingresado por una perilla ubicada en el panel frontal.

En la Fig.18 y Fig.19 se muestra la centrífuga que se utilizo para el desarrollo de este trabajo, notar que en esta centrífuga, el circuito de control es un arreglo simple de división de tensión de entrada, la cual alimenta directamente al motor, en la actualidad esto ya no es usado y se prefiere que exista un circuito de mando



Figura 18. – Centrífuga utilizada



Figura 19. – Centrífuga utilizada circuito

Como fue descrito, la centrífuga con electrónica analógica posee un diseño simple y económico, pero posee dos principales problemas, debido al constante uso, las perillas llegan a desgastarse, produciendo entradas de datos erróneos tanto como para la velocidad y el tiempo de operación, esta situación es indeseable ya que en el proceso de centrifugación existen diversos análisis (como fue detallado en el capítulo 1 sección 1.2), en donde cada uno de ellos es sometido a determinadas velocidades y tiempos, de no ser así en la muestra no se produce la sedimentación forzada de sus componentes o en todo caso en la muestra ya no es posible observar a sus componentes sedimentados.

El diseño analógico descrito, además, posee un control de velocidad sin realimentación de la señal, esto se puede observar en la [Fig.-16] donde solo el potenciómetro determina la velocidad del motor; esta situación no garantiza que la velocidad de ingreso sea la velocidad real en el motor, al mismo tiempo que no existe nada que controle la estabilidad en la velocidad.

La centrífuga digital desarrollada posee un diseño electrónico que supera las principales desventajas de la centrífuga analógica; para ello se utilizó entrada de datos digitales mediante pulsadores, una pantalla GLCD para visualización, y un control digital mediante un microcontrolador que permite leer y controlar la velocidad a través de un taquímetro.

La centrífuga digital de mesa está compuesta por las siguientes partes:

- Un motor de tipo universal de acero con el eje adaptado al rotor
- Ingreso digital mediante teclas de la velocidad en escalas de 500 con un rango de 1000 a 5000 RPM
- Ingreso digital mediante teclas del tiempo en un rango de 1 a 99 minutos
- Panel digital con pantalla GLCD para la visualización de datos
- Controlador de velocidad por microcontrolador con taquímetro
- Sistema de seguridad sonoro de puerta abierta con paro de motor
- Sistema de freno de motor

- Rotor de tipo flotante, con capacidad para 8 tubos

- Carcasa de metal de dimensiones()

Cada una de estas partes será descrita en mayor detalle en los siguientes subíndices

3.3.Partes de la Centrífuga Digital

3.3.1 El Panel Digital

El panel digital esta ubicado en la parte frontal de la centrífuga y sirve para el ingreso y la visualización de los valores de velocidad y tiempo. El panel digital fue desarrollado en una primera versión (Fig.20) mediante seis pulsadores, ocho displays, una barra de leds, leds de encendido de operación y sonido para las teclas o la alarma.

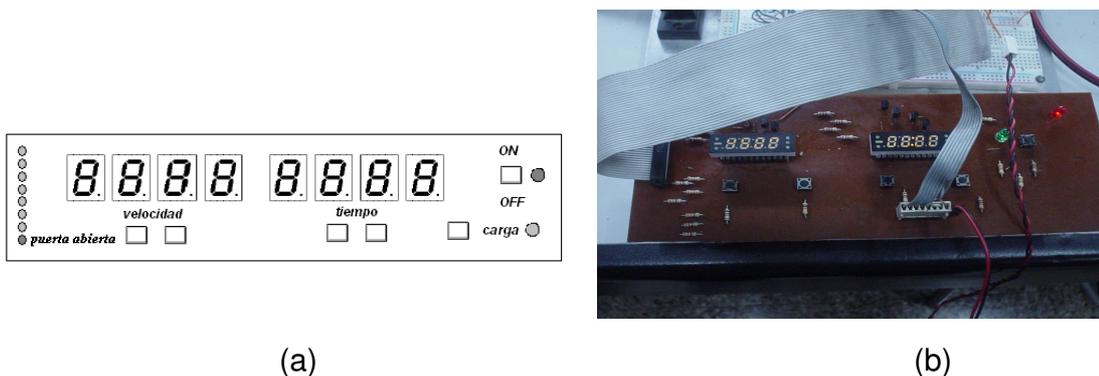


Figura 20. – Panel digital en primera versión (a), (b) foto

La supervisión de los datos del panel lo realiza el microcontrolador PIC16F877 mediante su programación se detecta la pulsación de las teclas y de acuerdo a esto se incrementan o decrementan los valores de velocidad en RPM (en un rango de 1000 a 5000 RPM con saltos de 500RPM) y tiempo en minutos(en un rango de 1 a 99 minutos); el microcontrolador se encarga también de la visualización en los displays, del switch detector de puerta abierta, la temporización y el sonido para la

alarma o las teclas pulsadas, todo esto esta descrito en el circuito esquemático de la Fig.21. Para poner en marcha la centrifuga, luego del encendido, se selecciona mediante un par de botones el valor deseado de velocidad y tiempo de operación; antes de iniciar la carga de datos se debe tener cerrada la puerta de otra forma se impedirá el inicio del proceso, luego de la carga, mediante su botón se da inicio a la centrifugación; instantáneamente la barra de leds se enciende dándonos idea de la velocidad de rotación en una escala de siete luces, en caso que se abre la puerta se detiene el proceso parando el motor, a su vez una alarma sonora indica esta falla al operador.

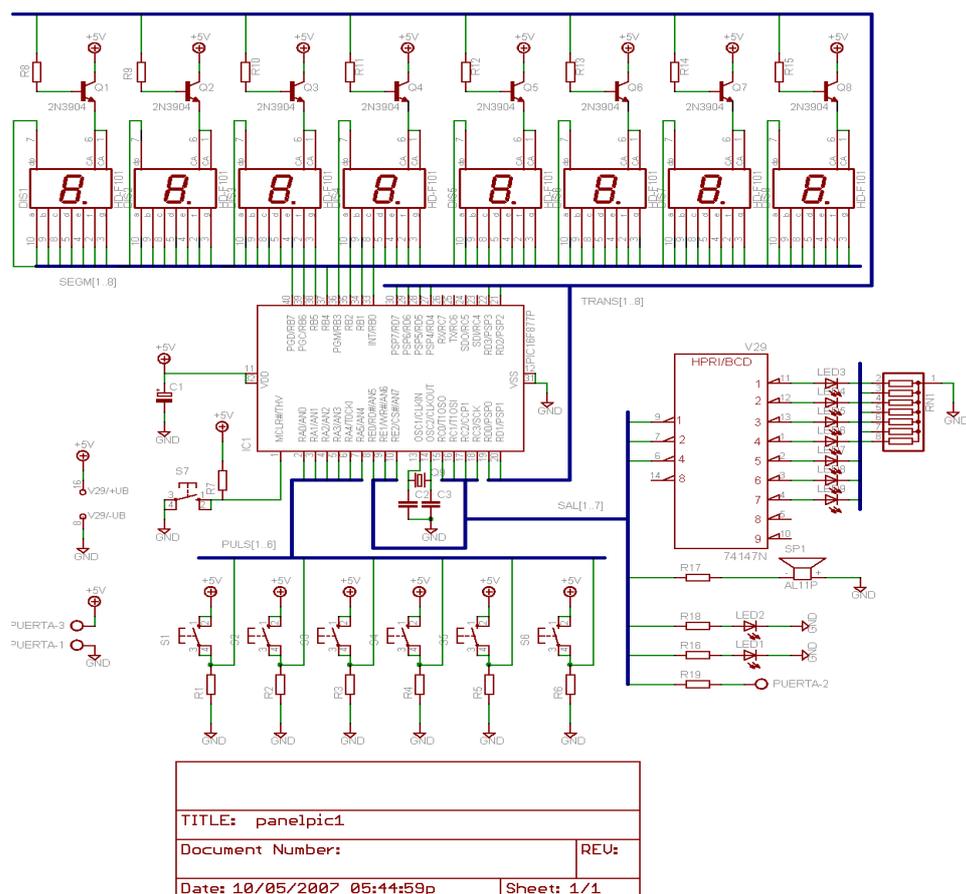


Figura 21. – Circuito del panel digital en primera versión

En la segunda versión, el panel digital cambio en su presentación (ver Fig.22 Fig. 23 y Fig.24) se realizo mejoras para la selección con los botones, utilizándose cinco botones, además, se reemplazo el uso de displays por una pantalla LCD grafica(GLCD). En esta versión también se utilizo el microcontrolador PIC16F877, el cual esta encargado de la detección de las teclas, del control del GLCD, del switch detector de puerta abierta, la temporizacion y el sonido para la alarma o las teclas pulsadas.

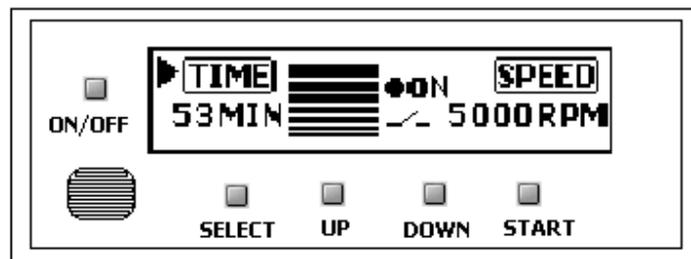


Figura 22. –Panel digital en segunda versión

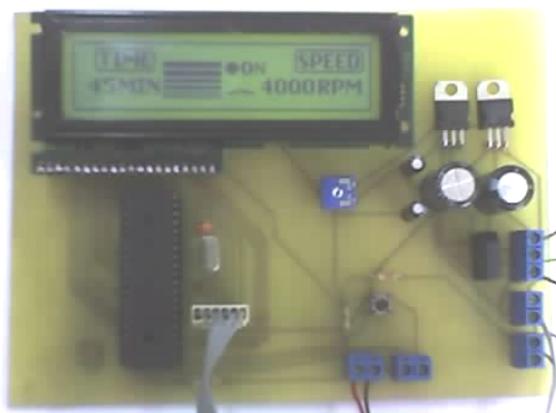


Figura 23. –Hardware del panel digital en segunda versión



Figura 24. –Hardware del panel digital y teclado en segunda versión

El modo como opera este modelo, es como sigue, después de haber encendido la maquina con el botón ON/OFF utilizamos el botón SELECT , al presionar este botón instantáneamente el cursor se desplaza para el ingreso de la velocidad o el tiempo, si se selecciona la variable tiempo con los botones UP y DOWN establecemos el valor del tiempo de centrifugación en minutos, para evitar pulsar repetidas veces, para el incremento o decremento, la programación en el microcontrolador permite que al mantener pulsada la tecla el valor del tiempo cambia rápidamente. El ingreso de la velocidad es realizado también con los botones UP y DOWN con incrementos de 500, para un rango de velocidades de 1000 a 5000RPM.

Este sistema impide iniciar con la puerta abierta emitiendo un sonido de alarma, de la misma forma el sistema se detiene y emite un sonido ante una inesperada interrupción por puerta abierta cuando el proceso de centrifugación se lleva a cabo.

El esquema de conexiones es mostrado en la Fig.25 en este circuito los pulsadores forman una tarjeta independiente, que se conecta con el circuito principal, el botón de encendido cierra la alimentación para el circuito y es montado directamente sobre la máscara en el panel frontal.

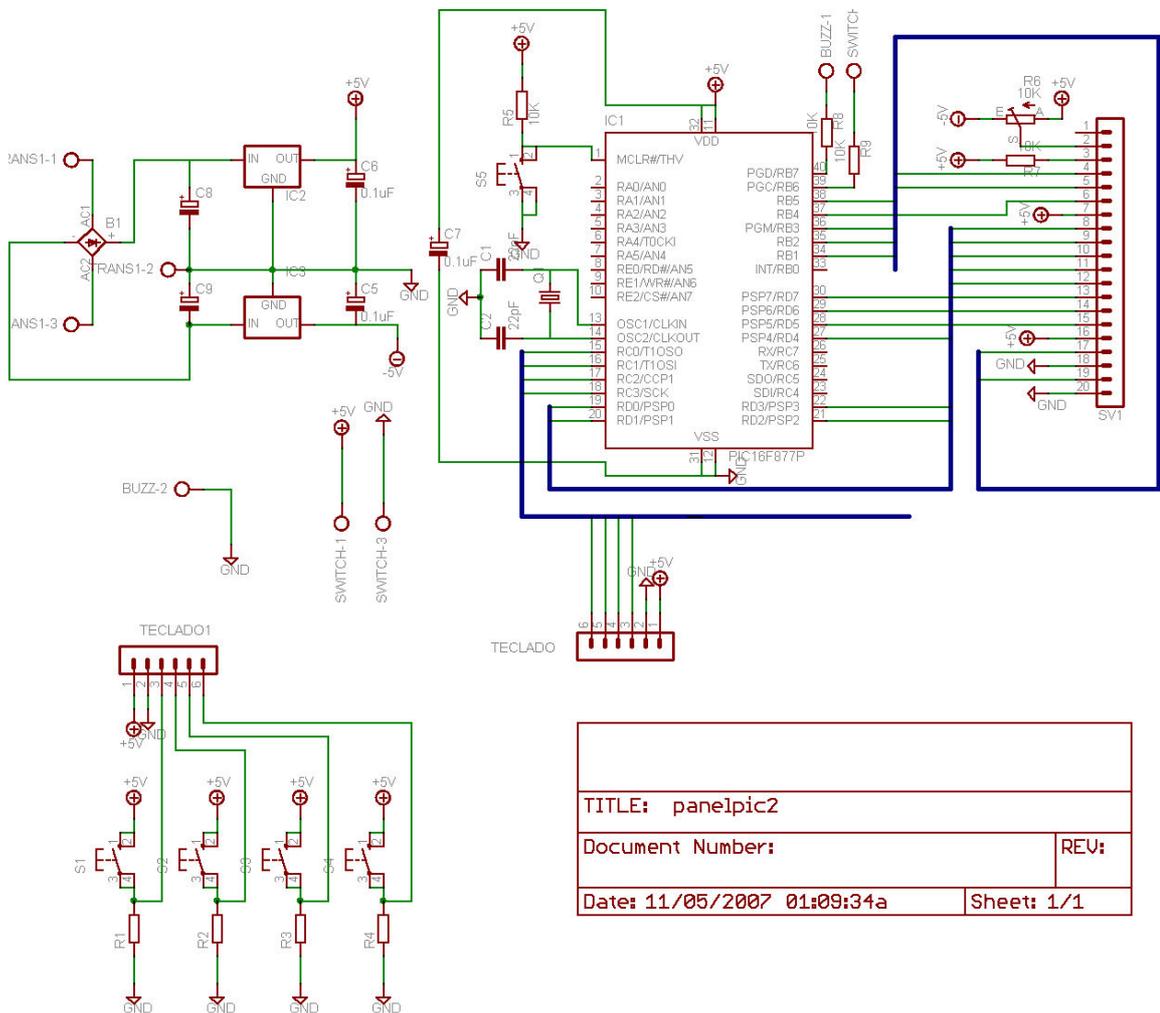


Figura 25. –Circuito panel digital en segunda versión

En esta segunda versión como se menciona, se utilizó una pantalla gráfica esto facilitó el diseño del hardware, además de que mejoró la presentación en el panel.

La pantalla gráfica utilizada es el modelo LM7222SGLU de la empresa Solomon que utiliza el controlador Toshiba T7932 dicha pantalla es de 150x32 píxeles y cuenta con luz de fondo. Esta pantalla divide la zona de trabajo en tres secciones reconocidas por los pines CS1,CS2,CS3, cada sección a su vez se subdivide en 4 páginas (ver Fig. 26) las cuales son controladas por programa mediante los pines de datos D7 y D6

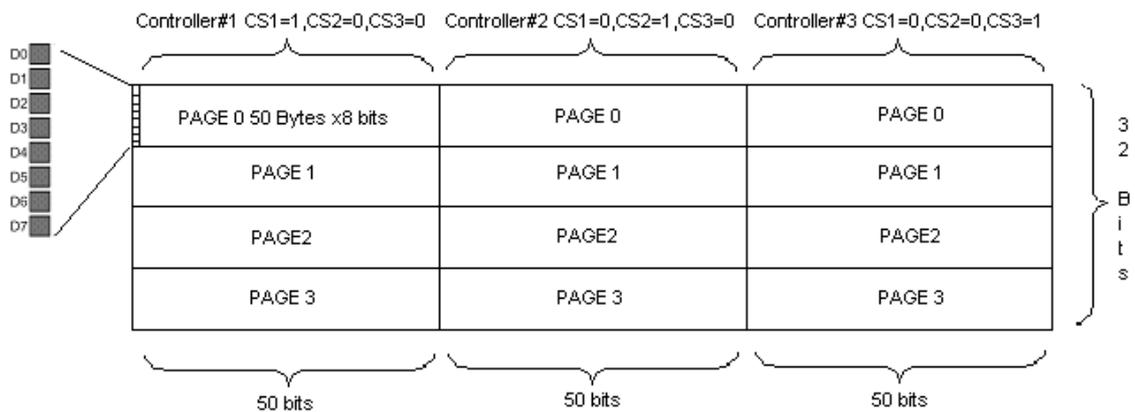


Figura 26. –División de la pantalla gráfica

El pin D/I indica si las líneas D0-D7 son interpretadas como dato o como comando; para hacer uso de la pantalla se debe seguir la siguiente secuencia mostrada en los diagramas de flujo de la Fig. 27 y Fig. 28

PROGRAMA PRINCIPAL

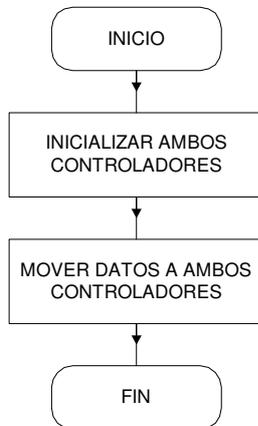


Figura 27. –Diagrama de flujo principal para el manejo de la pantalla GLCD

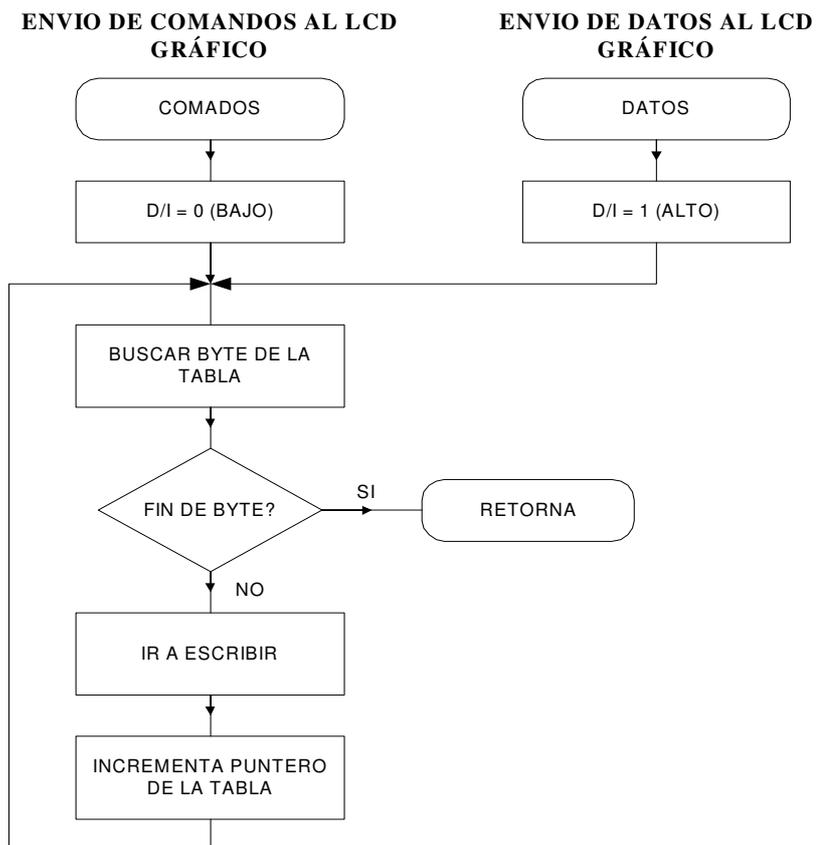


Figura 28. –Diagrama de flujo para el envío de comandos y datos

Para inicializar la pantalla se pone D/I=0 (modo comando), y se ingresa los siguientes comandos:

- \$3E puntero en la pagina 0
- \$00 puntero al inicio de la pagina 0
- \$3B contador de direcciones en modo ascendente
- \$39 encendido del Lcd

Luego de esto se envían los comandos para posicionar y los datos que se grafican sobre la pantalla, de 8 bits en 8bits, para realizar este proceso de escritura el tiempo PWEH mínimo es de 220ns esto se observa en el diagrama de tiempos en la Fig.29

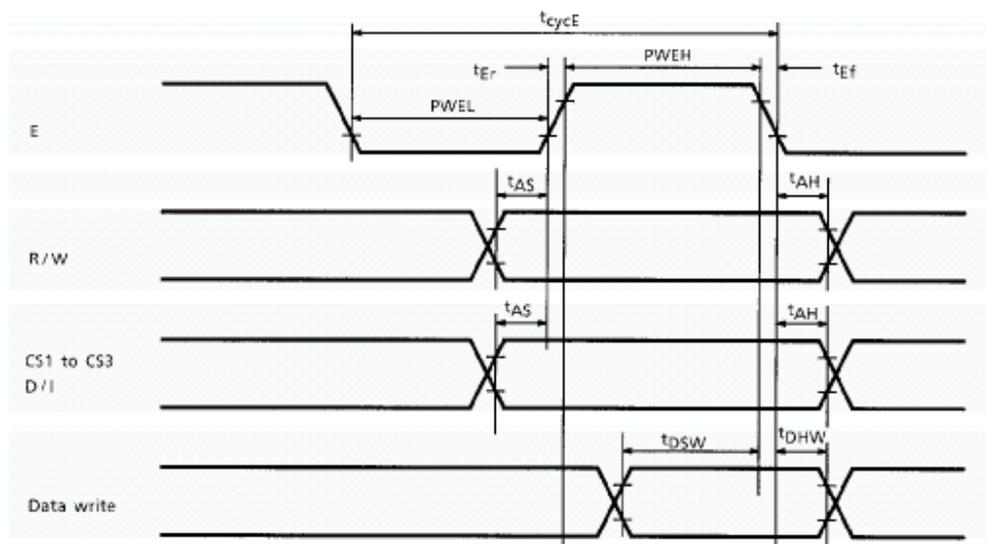


Figura 29. –Diagrama de tiempos para escritura en la pantalla Lcd grafica

Para poder realizar algún grafico o carácter en la pantalla se hizo uso del programa FastLcd, (Fig. 30) este programa nos da como resultado los valores hexadecimales correspondientes a las posiciones de memoria en la pantalla; entonces estos valores son cargados en el microcontrolador para que sean leídos como dato por la pantalla GLCD

Los detalles de la programación son descritos en el siguiente capítulo.

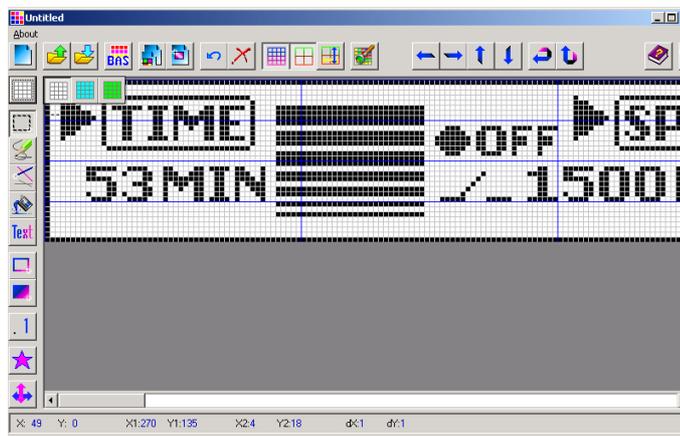


Figura 30. –Programa FastLcd

3.3.2 La Etapa de Control

Como se comento en la parte introductoria las centrifugas con circuito analógico, poseen un control de velocidad establecido por el valor de resistencia de su potenciómetro; no poseen una señal de realimentación para el control del motor, además, no existe en este sistema algún elemento del circuito que verifique la velocidad. Para una mejor comprensión, ambos sistemas están descritos mediante diagramas de bloques en la Fig. 31 y Fig. 32. Los inconvenientes del sistema

analógico fueron superados al colocar un controlador, en nuestro caso se utilizó un control de tipo PID digital.

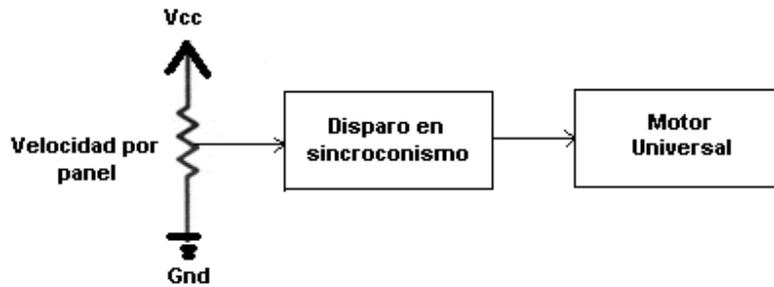


Figura 31. –Diagrama de bloques del circuito analógico

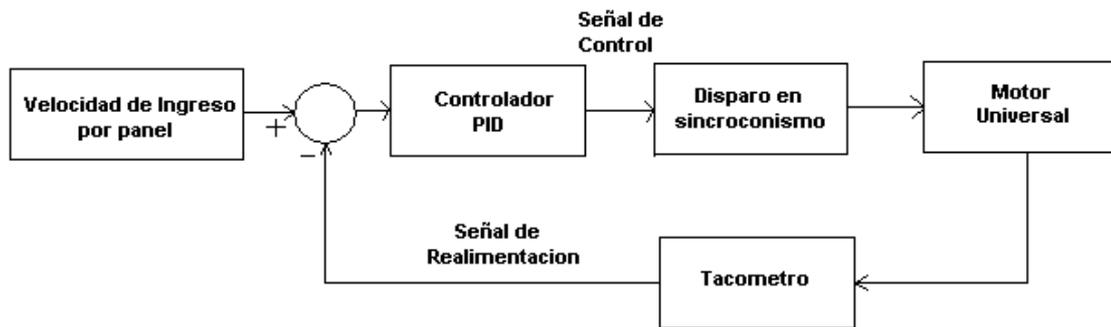


Figura 32. –Diagrama de bloques del circuito con control digital

El control digital fue desarrollado mediante algoritmos de programación en el entorno del compilador PICBASIC PLUS, y se utilizó el microcontrolador PIC16F876 debido a sus recursos y características de memoria.

La señal de realimentación fue entregada por un tacómetro mediante la línea SENSOR-2 esta se encarga de sensar las revoluciones del motor. La señal de control se entrega a una etapa de potencia en forma de pulsos en la línea DISP,

también fue necesario una señal SINCR, de entrada de sincronismo esto para determinar el cruce por cero de la línea de alimentación, necesario para el circuito disparo en la etapa de potencia. El diagrama esquemático de esta etapa se observa en la Fig. 33 notar que el microcontrolador PIC16F876 recibe datos del PIC16F877 mediante las líneas INTERR y TX, la primera de ellas se encarga de realizar una interrupción, esto con la finalidad de poner en modo recepción el pin que corresponde a TX.

En la línea TX se encuentran los datos los que indican el inicio de la operación de centrifugación, la parada por puerta abierta, y parada por termino de centrifugación.

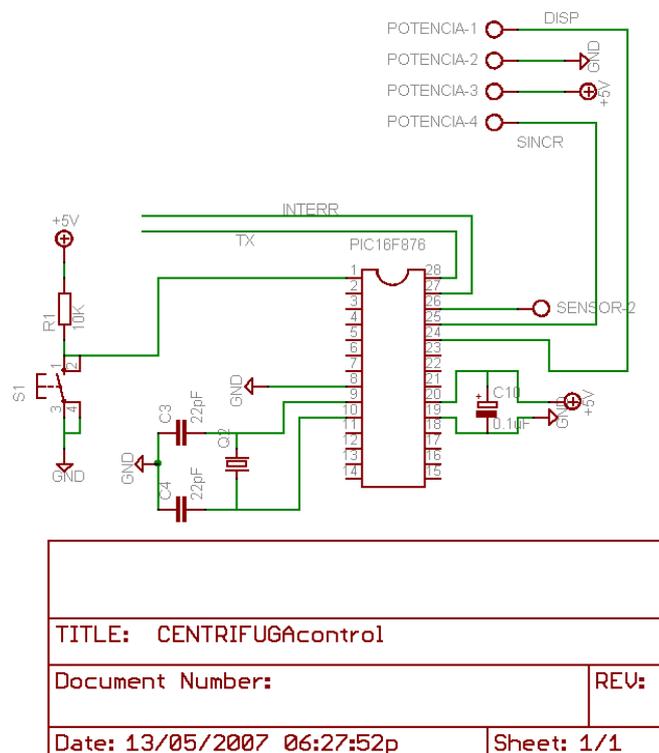


Figura 33. –Circuito con control digital

La secuencia de eventos esta descrita en los flujogramas de las Fig.34 y Fig. 35. Tanto el programa de interrupción como el programa principal son realizados por el PIC16F876. El circulo 1 indica la entrada de interrupción esta se activa al poner en 1 logico el pin INTERR. Una interrupción hace de que el programa principal detenga por un momento la secuencia de comandos que realiza para atender a los comandos descritos por la rutina de interrupción.

Dependiendo del valor que adquiere el dato en la rutina se toma una de las 3 acciones, el circulo 2 indica que la interrupción esta activa en todo momento en el programa principal pudiendo detener el proceso de control.

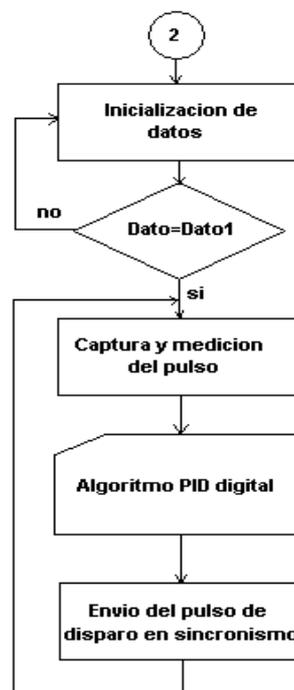


Figura 34. –Diagrama de bloques del programa principal en el PIC16F876

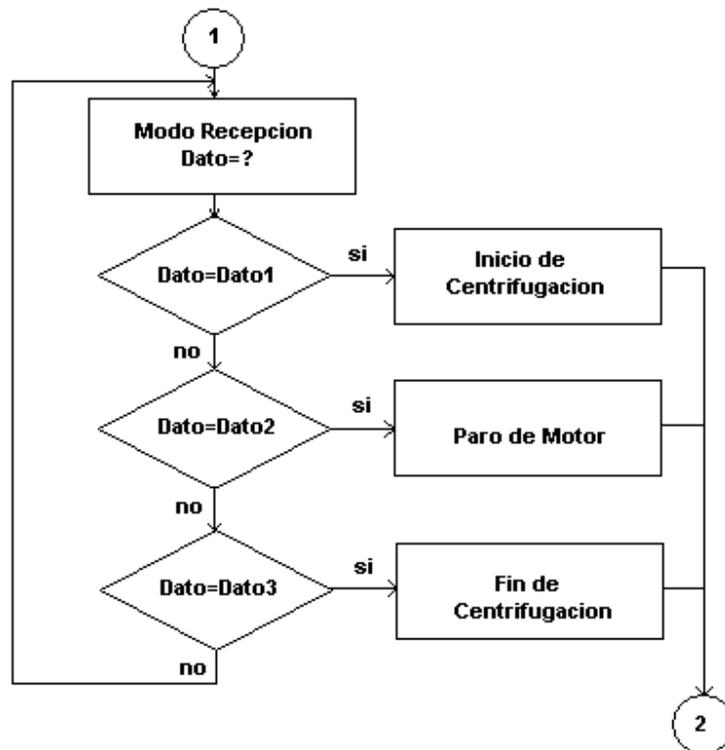


Figura 35. –Diagrama de bloques de la rutina de interrupción

3.3.3 La Etapa de Potencia

Esta etapa esta formada por un circuito que se encarga de accionar o frenar el motor de tipo universal.

El motor universal es un motor que funciona en aplicaciones de continua y alterna debido a que posee un estator que esta puesto en serie con el bobinado del rotor (Fig. 36)

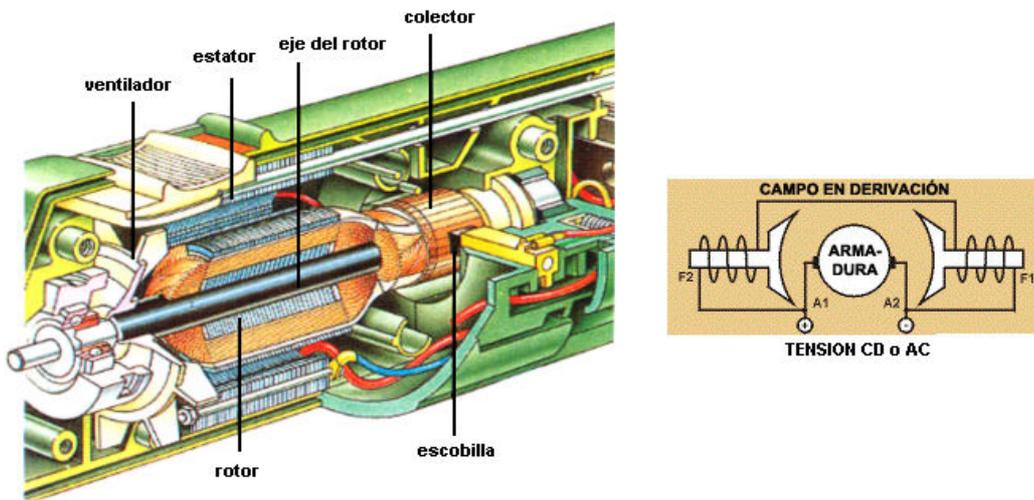


Figura 36. –Estructura del motor universal

Al ser un motor de continua su velocidad de giro depende de la tensión que apliquemos, esto hace que controlar su velocidad de giro sea muy simple, basta con controlar la tensión que se le aplique al motor, esto puede hacerse variándose el ángulo de fase de la alimentación AC. Frente a otros motores de alterna que tienen bajos regímenes de revoluciones, en el motor universal se pueden conseguir altas velocidades entre 3000 a 10000 RPM. Este motor es ampliamente usado en aparatos electrodomésticos.

El componente principal para controlar el motor en esta etapa es el Triac (ver Fig. 37); el cual es un dispositivo de estado sólido de tres terminales 2 ánodos (MT2,MT1) y una compuerta (G) que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, este dispositivo conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado por inversión de la tensión o al disminuir la corriente por debajo del valor de mantenimiento.

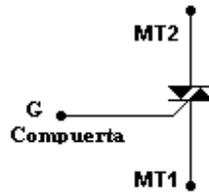


Figura 37. –El Triac

El Triac puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa.

Cuando el Triac conduce, hay una trayectoria de flujo de corriente de muy baja resistencia de una terminal a la otra, dependiendo de la dirección de flujo de la polaridad del voltaje externo aplicado. Cuando el voltaje es más positivo en MT2, la corriente fluye de MT2 a MT1 en caso contrario fluye de MT1 a MT2. En ambos casos el Triac se comporta como un interruptor cerrado. Cuando el Triac deja de conducir no puede fluir corriente entre las terminales principales sin importar la polaridad del voltaje externo aplicado, por tanto, actúa como un interruptor abierto. Para que funcione el Triac se utiliza un circuito de disparo (Fig. 38) en nuestro caso hacemos que la tensión del ánodo MT2 y la tensión de la compuerta sean positivas con respecto al ánodo MT1 y este es el modo mas común de disparo.

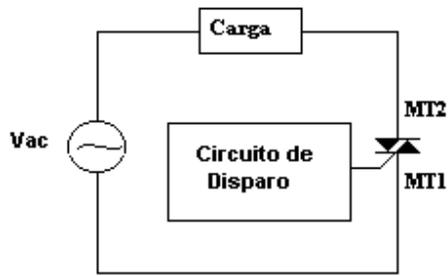


Figura 38. –Disparo en el Triac

La corriente promedio entregada a la carga puede variarse alterando la cantidad de tiempo por ciclo que el Triac permanece en el estado encendido. Si permanece una parte pequeña del tiempo en el estado encendido, el flujo de corriente promedio a través de muchos ciclos será pequeño, en cambio si permanece durante una parte grande del ciclo de tiempo encendido, la corriente promedio será alta. Un Triac no está limitado a 180° de conducción por ciclo. Con un arreglo adecuado del disparador, puede conducir durante el total de los 360° del ciclo por tanto proporciona un control de corriente de onda completa.

En la Fig. 39 las formas de onda muestran el encendido del Triac para ángulos de disparo de 40° (Fig.38-a) y 160° (Fig.38-b); para los primeros 40° de ángulo disparo de cada semiciclo, 140° corresponde al valor de ángulo de conducción en la carga, por tanto hay flujo de corriente a través del Triac y la carga.

Después de transcurrido el disparo el Triac se vuelve como un interruptor cerrado y comienza a conducir corriente a la carga, esto lo realiza durante el resto del semiciclo.

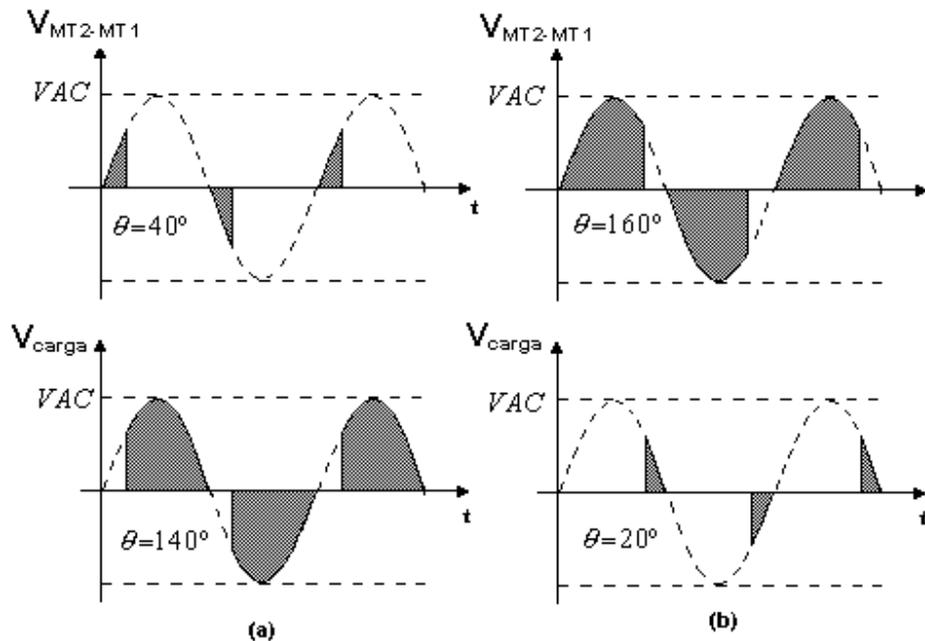
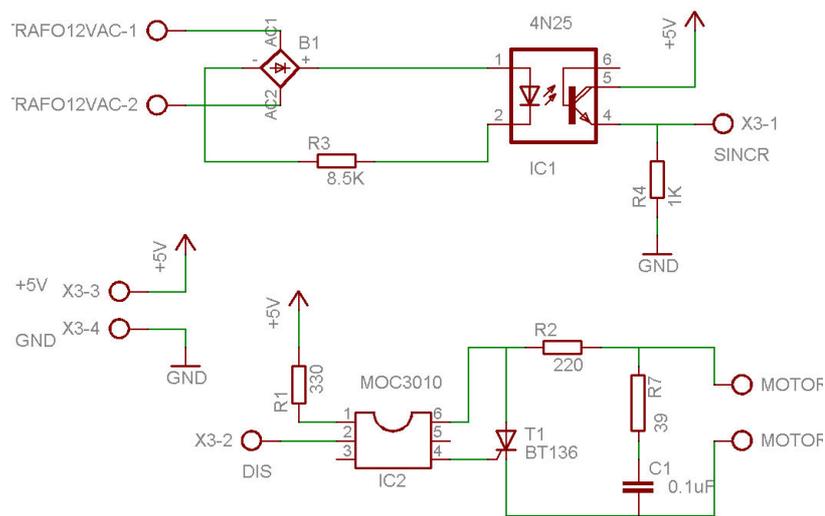


Figura 39. –Formas de onda en el Triac

Como en esta etapa se realizo mediante una activación digital, en el diseño se utilizo opto acopladores que permiten el aislamiento de las tensiones alternas con la etapa digital, el circuito esquemático se muestra en la Fig. 40 y la placa impresa en la Fig. 40. En el circuito la señal de sincronismo la entrega un transformador de 12VAC por la línea SINCR esto permite que el microcontrolador PIC16F876 controle el disparo y lo realice después de que se detecta el cruce por cero de la alimentación de 220vac. La señal de disparo se hace a través de la línea DIS, se utilizo el MOC3010 como circuito de disparo y mediante la programación se controla el ángulo de conducción, que permite variar la corriente que entrega el Triac al motor, para evitar los falsos disparos que pueda ocasionar una carga

inductiva se utiliza una red snubber que esta compuesta por una resistencia (R7) y un condensador (C1).



TITLE: POTENCIA	
Document Number:	REV:
Date: 14/05/2007 01:21:20p	Sheet: 1/1

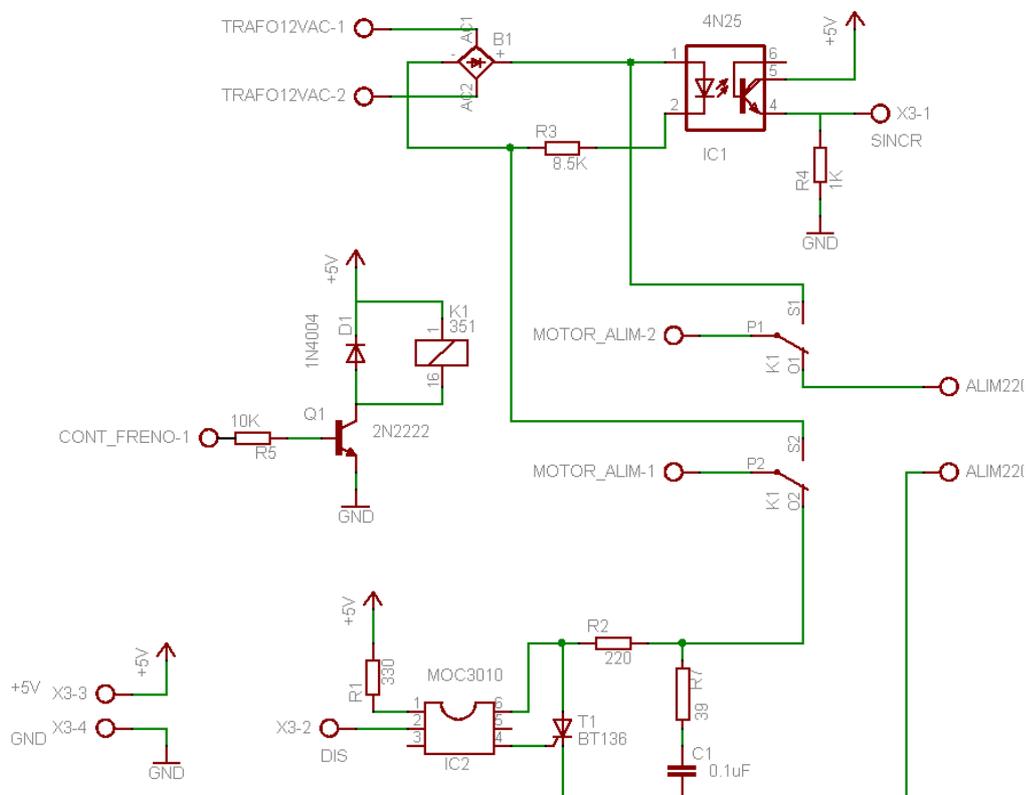
Figura 40. –Circuito de potencia



Figura 41. –Circuito impreso de la etapa de potencia

Adicionalmente a este circuito de potencia se incluye el sistema de freno electrónico, el cual es activado por una señal del microcontrolador por la línea CONT_FRENO, que permite realizar la parada del motor, esto se logra inyectando una corriente DC al estator luego de haber desconectado completamente al motor de la alimentación de 220VAC. Esta acción se realiza por un periodo de cuatro segundos luego de la cual se desactiva los pulsos de disparo. El sentido de la corriente debe ser tal que produzca un torque opuesto al sentido de rotación de trabajo de la centrífuga.

Para un desarrollo sencillo en el diseño se aprovecho la señal rectificada, la cual es suficiente para producir una corriente DC promedio. En la Fig. 42 se muestra el circuito completo de potencia.



TITLE: POTENCIA2	
Document Number:	REV:
Date: 31/05/2007 01:14:06a	Sheet: 1/1

Figura 42. –Circuito esquemático de la etapa de potencia con sistema de freno

3.3.4 La Etapa de Sensado

En esta etapa se realiza el sensado de las revoluciones del motor. Los pulsos sensados por este tacómetro digital son utilizados como una realimentación en el sistema, para controlar la velocidad del motor.

El tacómetro esta compuesto por un diodo emisor infrarrojo (cod) y un transistor receptor infrarrojo (cod), ambos están dispuesto en modo reflexivo, es decir que la detección se realiza cuando el haz que emite el emisor, le llega al receptor cuando choca sobre el objeto sensado.

Debido a que el receptor usado es más sensible a la detección de objetos blancos que opacos, se utilizo una marca blanca sobre el eje del motor, para indicar una revolución (Fig. 43).

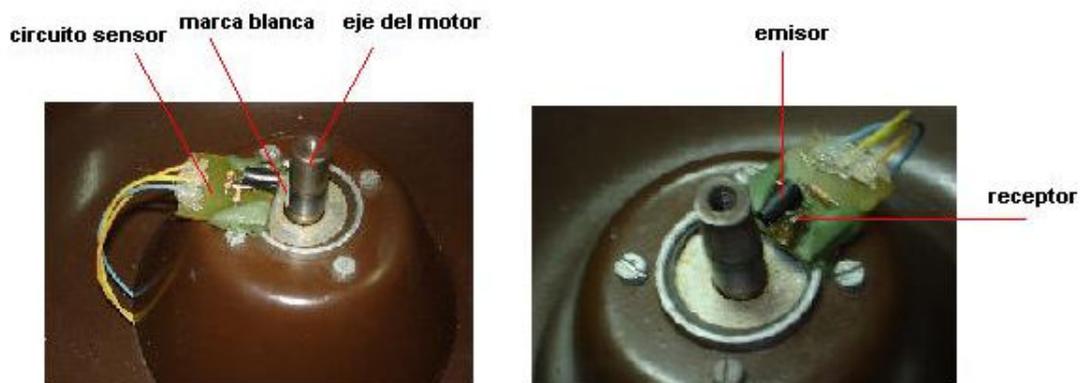


Figura 43. –Posición del circuito sensor

Para evitar problemas de ruido en la señal se utilizo un condensador en la salida de pulsos que actúa como filtro.

El circuito esquemático se muestra en la Fig. 44, la alimentación es entregada por la etapa de control, y los pulsos son transmitidos al PIC16F876 por la línea SENSOR-2.

Para el proceso de análisis de la señal se realizaron ensayos utilizando este sensor, mediante una interfaz para la PC se obtuvo la señal de velocidad.

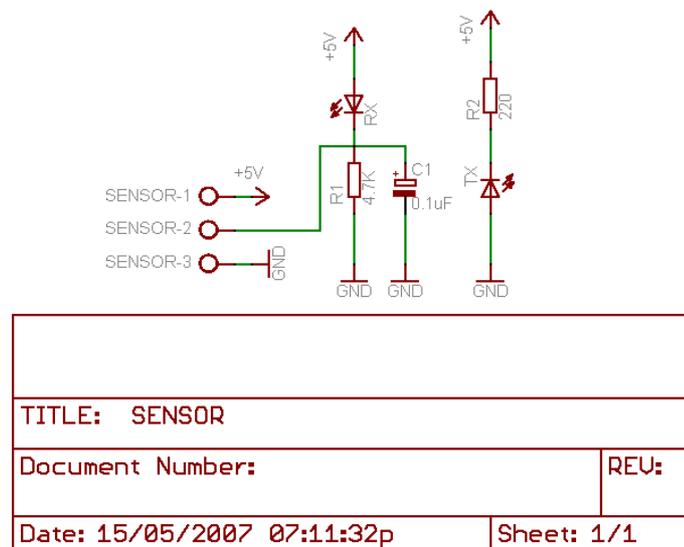


Figura 44. –Circuito esquemático de la etapa de sensado

Capitulo 4

4. LA PROGRAMACIÓN

4.1 Introducción

La electrónica ha evolucionado mucho. Casi todo lo que hasta hace unos años se hacía mediante un grupo a veces muy numeroso de circuitos integrados, hoy se puede realizar utilizando un microcontrolador y unos pocos componentes adicionales. Un microcontrolador es un sistema complejo con determinadas prestaciones el cual puede llevar acabo tareas específicas ya que obedece a una programación.

Existen diversos fabricantes de microcontroladores, en este trabajo se ha utilizado dos microcontroladores de la empresa Microchip, el PIC16F877 y el PIC16F876.

Los microcontroladores PIC utilizan el lenguaje ensamblador (comúnmente llamado assembler) el cual es un lenguaje de bajo nivel (las instrucciones involucran directamente la arquitectura del microcontrolador).

Gracias a la miniaturización que permite incorporar cada vez más memoria dentro de un microcontrolador sin aumentar prácticamente su costo, han surgido compiladores de lenguajes de alto nivel (las instrucciones están hechas para el entendimiento del programador). Entre ellos tenemos el PICBASIC PLUS.

Un microcontrolador dispone de una memoria donde se guardan los programas, una memoria para almacenar datos, dispone de puertos de entrada y salida, también se incluyen otros recursos como puertos seriales (RS-232), conversores analógico/digital, generadores de pulsos PWM, bus I2C, y otras cosas más.

En general, por cada cuatro ciclos de reloj del microcontrolador se ejecuta una instrucción en assembler (una instrucción en PICBASIC PLUS consta generalmente de mas de una instrucción assembler). Esto significa que un PIC funcionando a 20MHz puede ejecutar 5 millones de instrucciones por segundo. Los pines del PIC se dedican casi en su totalidad a los puertos que mencionábamos anteriormente. El resto (2 o más) son los encargados de proporcionar la alimentación al chip, y a veces, un sistema de RESET o reinicio del programa. En esta introducción mencionaremos de una manera sencilla, las características más resaltantes de ambos microcontroladores.

El microcontrolador PIC16F877 y PIC16F876 de Microchip pertenece a una gran familia de microcontroladores de 8 bits (bus de datos) que tienen las siguientes características generales que los distinguen de otras familias:

- Arquitectura Harvard
- Tecnología RISC
- Tecnología CMOS

Estas características se conjugan para lograr un dispositivo altamente eficiente en el uso de la memoria de datos y programa y por lo tanto en la velocidad de ejecución.

Aunque cada empaquetado tiene variantes, especialmente en lo relativo a las dimensiones del espesor del paquete, en general se pueden encontrar paquetes tipo PDIP (Plastic Dual In Line Package), PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier), QFP (Quad Flat Package) y SOIC (Small Outline I.C.)

La siguiente es una lista de las características que comparte tanto el PIC16F877 como el PIC16F876.

CPU:

- Tecnología RISC
- Sólo 35 instrucciones
- Todas las instrucciones se ejecutan en un ciclo de reloj, excepto los saltos que requieren dos
- Frecuencia de operación de 0 a 20 MHz (200 nseg de ciclo de instrucción)
- Opciones de selección del oscilador

Memoria:

- Hasta 8k x 14 bits de memoria Flash de programa
- Hasta 368 bytes de memoria de datos (RAM)
- Hasta 256 bytes de memoria de datos EEPROM
- Lectura/escritura de la CPU a la memoria flash de programa
- Protección programable de código
- Stack de hardware de 8 niveles

Reset e interrupciones:

- Hasta 14 fuentes de interrupción
- Reset de encendido
- Timer de encendido (PWRT)
- Timer de arranque del oscilador (OST)
- Sistema de vigilancia Watchdog timer.

Otros:

- Modo SLEEP de bajo consumo de energía
- Programación y depuración serie "In-Circuit" (ICSP) a través de dos patitas
- Rango de voltaje de operación de 2.0 a 5.5 volts
- Alta disipación de corriente de la fuente: 25mA
- Rangos de temperatura: Comercial, Industrial y Extendido

- Bajo consumo de potencia: Menos de 0.6mA a 3V o menos de 1µA corriente de standby (modo SLEEP).

Los periféricos están resumidos en la Fig. 45

Periférico	PIC16F873 PIC16F876	RC16F874 RC16F877	Características
3 a 5 Puertos paralelos	PortA,B,C	PortA, B,C,D,E	con líneas digitales programables individualmente
3 Timers	Timer0	Timer0	Contador/Temporizador de 8 bits con pre-escalador de 8 bits
	Timer1	Timer1	Contador/Temporizador de 16 bits con pre-escalador
	Timer2	Timer2	Contador/Temporizador de 8 bits con pre-escalador y post-escalador de 8 bits y registro de periodo
2 módulos CCP	Captura	Captura	16 bits, 1.5 nseg de resolución máxima
	Comparación	Comparación	16 bits, 200 nseg de resolución máxima
	PWM	PWM	10 bits
1 Convertidor A/D	AN0,...,AN4	AN0,...,AN7	de 10 bits, hasta 8 canales
Puertos Serie	SSP	SSP	Puerto Serie Sincrono
	USART/SCI	USART/SCI	Puerto Serie Universal
	ICSP	ICSP	Puerto serie para programación y depuración "in circuit"
Puerto Paralelo Esclavo	PSP	PSP	Puerto de 8 bits con líneas de protocolo

Figura 45. –Resumen de los periféricos

4.2 El Software PicBasic Plus

Desde hace mucho tiempo el lenguaje Basic ha sido ampliamente usado por programadores. PICBASIC PLUS (PBP) facilita la programación para microcontroladores, en comparación con el lenguaje assembler que ofrece Microchip. Para facilitar la programación PBP posee comandos que permiten resolver problemas frecuentes encontrados en la practica, esto evita tiempos largos de depuración en la programación.

PBP no crea el archivo hexadecimal (HEX) necesario para realizar la grabación en el microcontrolador, lo que hace es crear un archivo assembler (ASM) para que este luego sea cargado por el MPASM(núcleo del programa MPLAB ofrecido gratuitamente por la empresa Microchip) que a su vez crea el archivo hexadecimal (HEX).

4.3 Desarrollo del programa

Para un control adecuado se hizo uso de dos microcontroladores. El primero de ellos el PIC16F877 esta encargado del funcionamiento del panel, también se encarga de comunicar al PIC16F876 las acciones que debe realizar sobre el motor. El PIC16F876 esta encargado íntegramente del control de velocidad, mediante un algoritmo de control PID(control proporcional integral y derivativo), solo establece la comunicación con el otro microcontrolador cuando es interrumpido por una de sus líneas.

En los siguientes párrafos se detallara la programación para cada microcontrolador explicando las tareas que realizan cada uno de ellos.

El microcontrolador PIC16F877 esta encargado de lo siguiente:

- Lectura del valor de velocidad ingresado por los pulsadores
- Lectura del valor de tiempo ingresado por los pulsadores
- Control del sonido para los pulsadores y para la situación de parada por puerta abierta

- Transmisión de datos al GLCD para la visualización de los valores de tiempo y velocidad, asimismo de los gráficos indicadores de velocidad, inicio de centrifugación y situación de puerta abierta
- Actualización de datos al GLCD para visualización del valor decrementado del tiempo.
- Control de la temporización
- Verificación del cerrado de la puerta antes de iniciar la operación de encendido del motor
- Establece el inicio de la comunicación con el microcontrolador PIC16F876 para indicar el encendido del motor a una determinada velocidad, parada del motor por situación de puerta abierta y parada de motor por finalización.

Las tareas asignadas al PIC16F877 son descritas en los siguientes diagramas de flujo. En las figuras Fig. 46, Fig. 47 y Fig.48 se muestran el programa principal, comentado. Para tener una mejor descripción del programa se han utilizado bloques de subrutina los cuales están descritos desde Fig. 49 a la Fig. 68.

La programación que corresponde al PIC16F876 esta descrita en detalle en el capítulo 5 que corresponde al controlador digital. Debo mencionar también que el microcontrolador PIC16F877 ocupo 6Kb de memoria en programación y el el programa del PIC16F876 ocupo 4Kb de memoria.

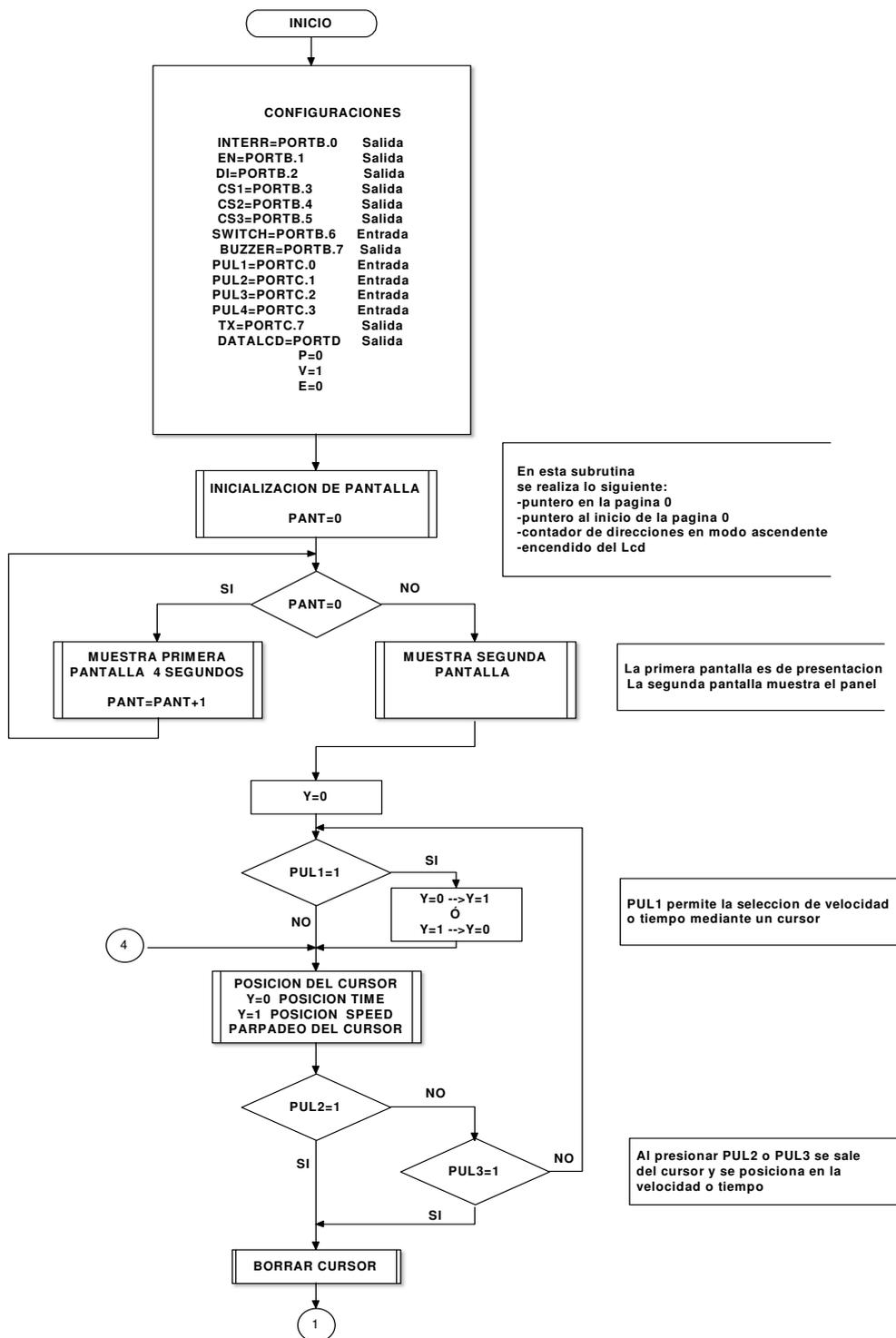


Figura 46. –Diagrama de flujo del programa principal del PIC16F877 parte1

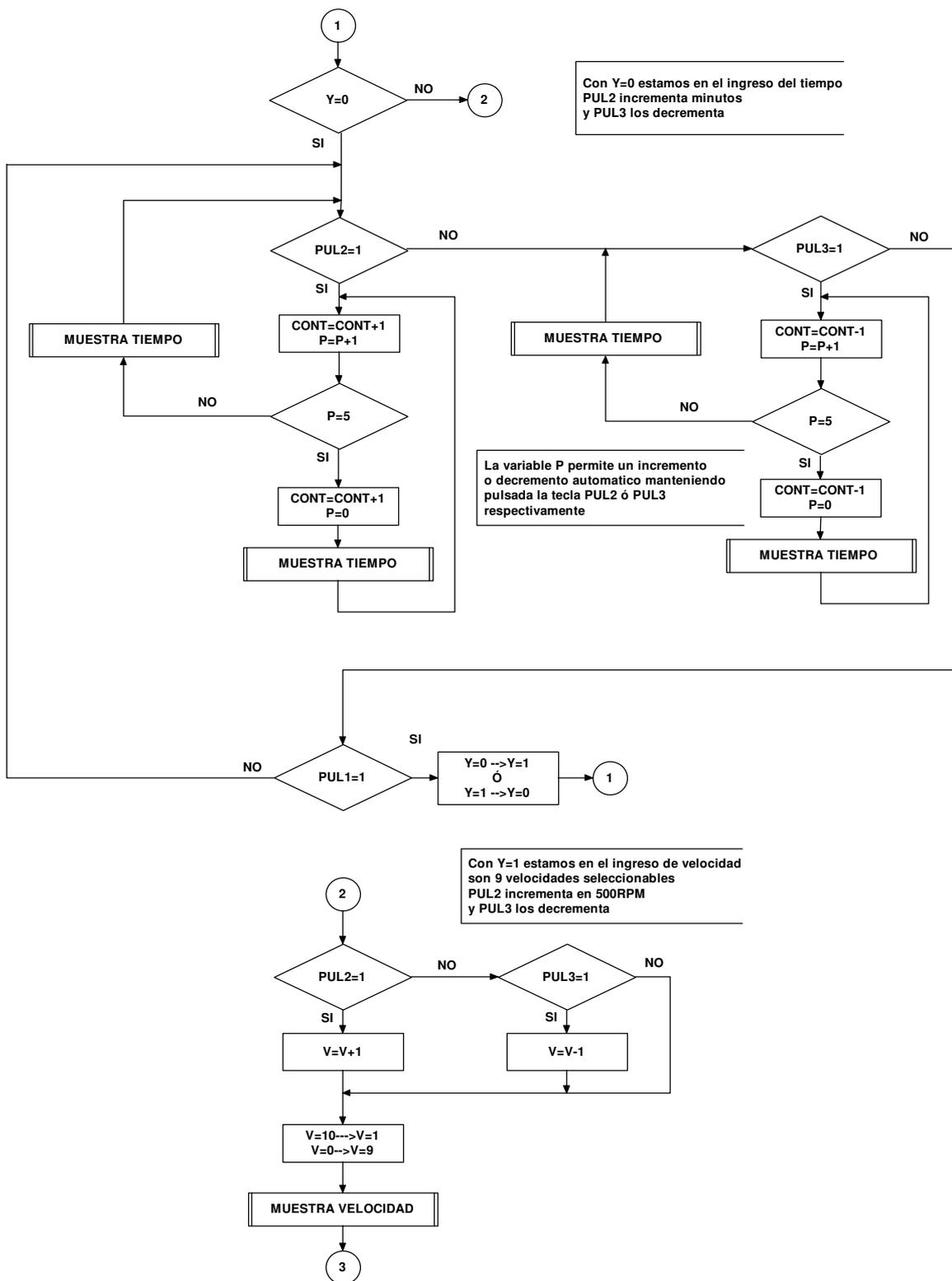


Figura 47. –Diagrama de flujo del programa principal del PIC16F877 parte 2

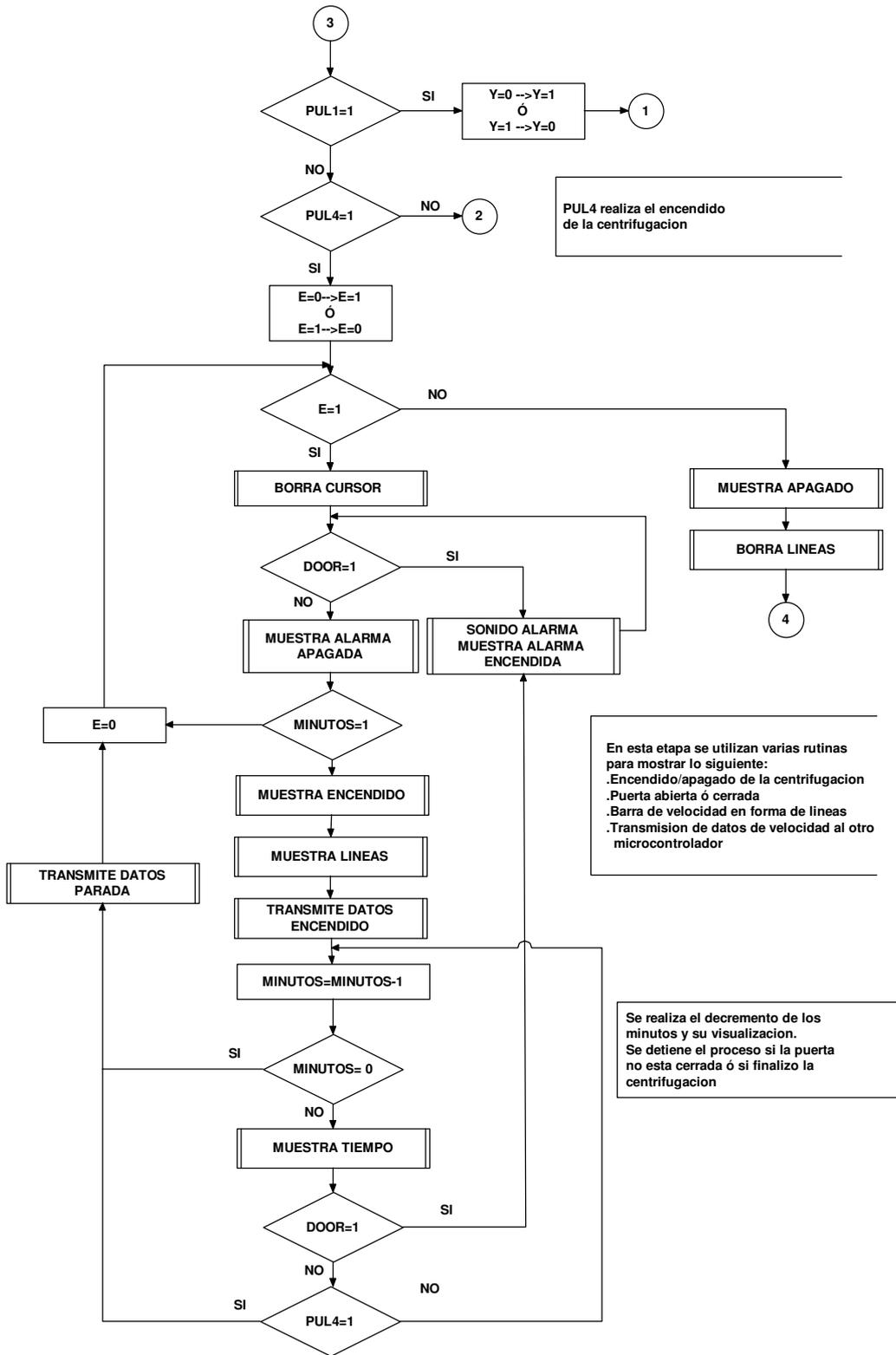


Figura 48. –Diagrama de flujo del programa principal del PIC16F877 parte 3

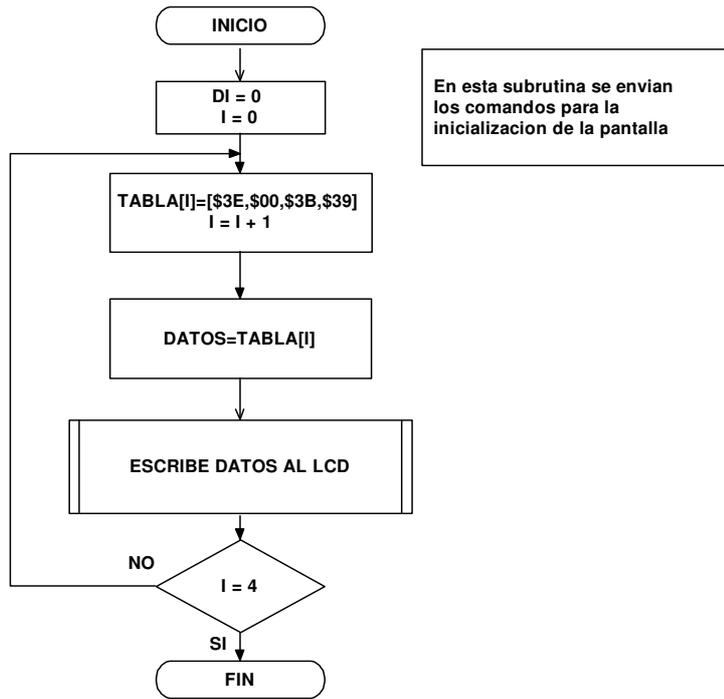


Figura 49. –Diagrama de flujo de la Subrutina Inicializar GLCD

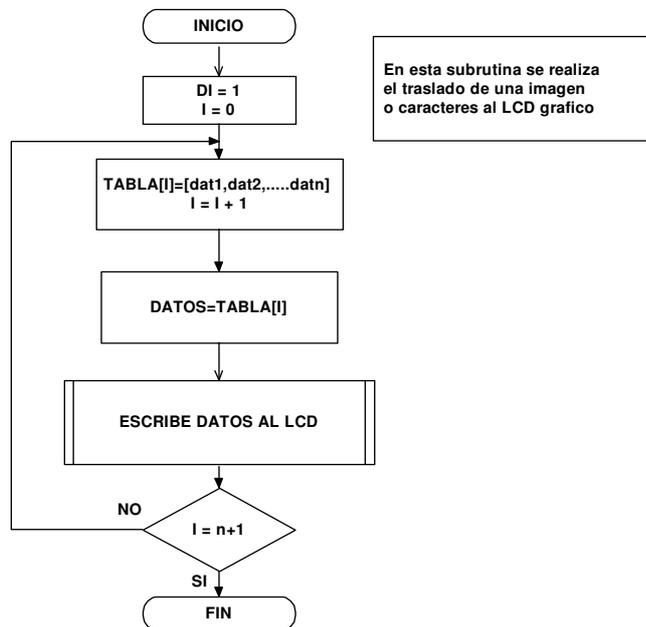


Figura 50. –Diagrama de flujo de la Subrutina para el envío de imágenes o caracteres al GLCD

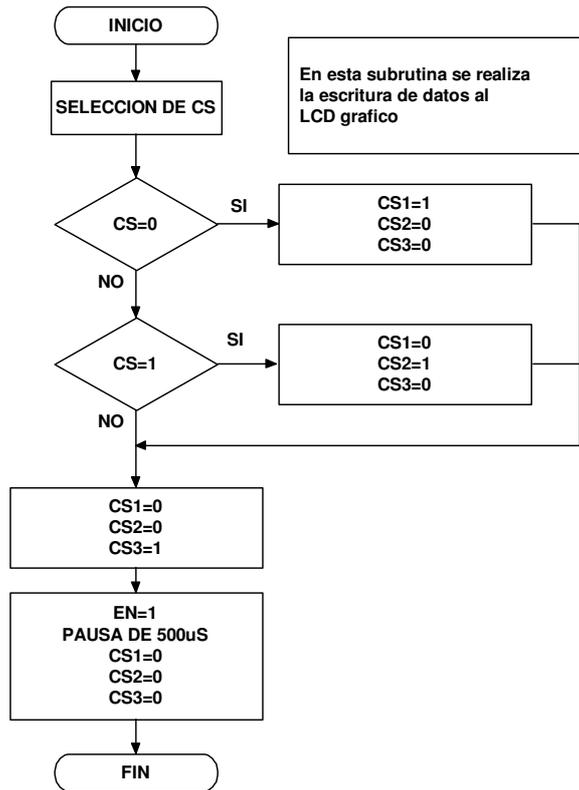


Figura 51. –Diagrama de flujo de la Subrutina escribe datos al GLCD

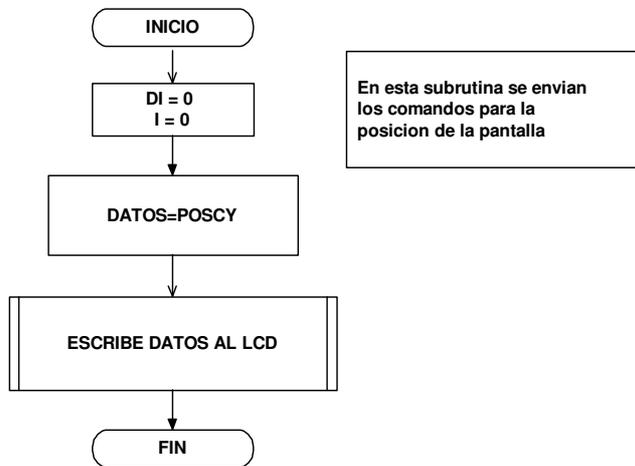


Figura 52. –Diagrama de flujo de la Subrutina para el envio de la posición al GLCD

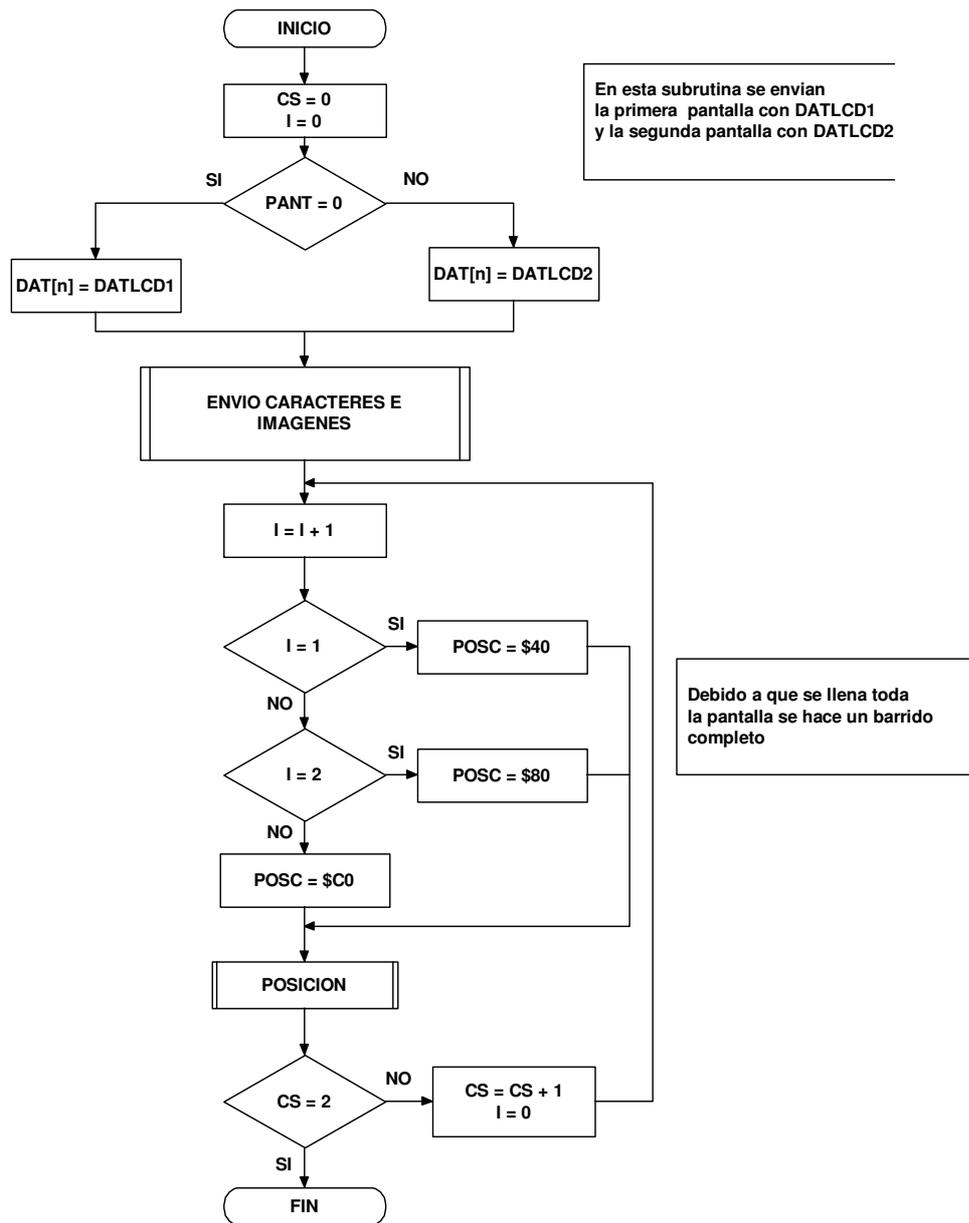


Figura 53. –Diagrama de flujo para las subrutinas Muestra primera pantalla y Muestra segunda pantalla

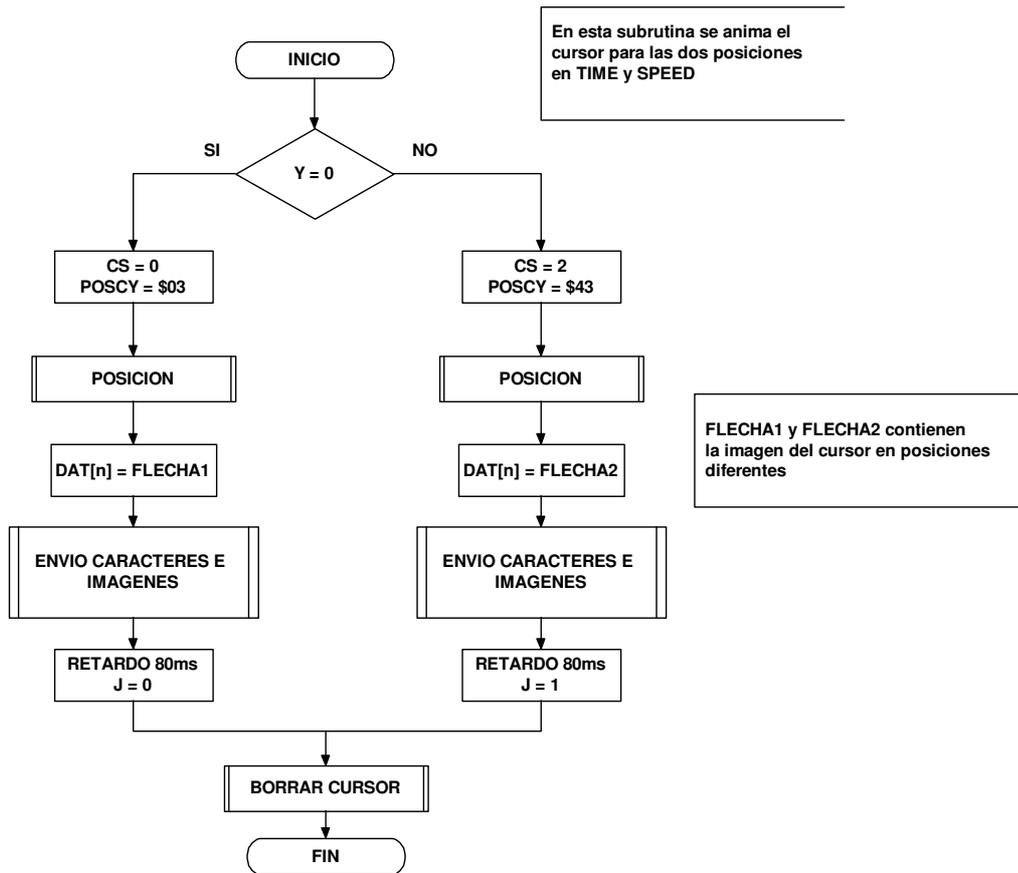


Figura 54. –Diagrama de flujo de la Subrutina posición del cursor, parpadeo del cursor

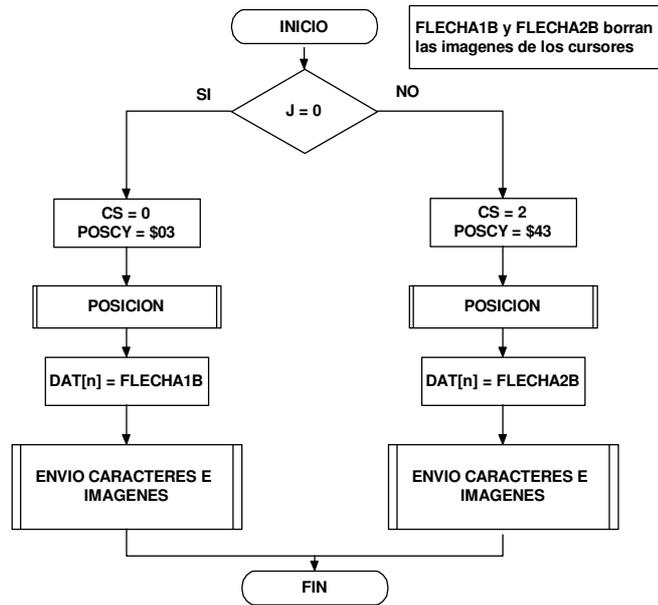


Figura 55. –Diagrama de flujo de la Subrutina borrar cursor

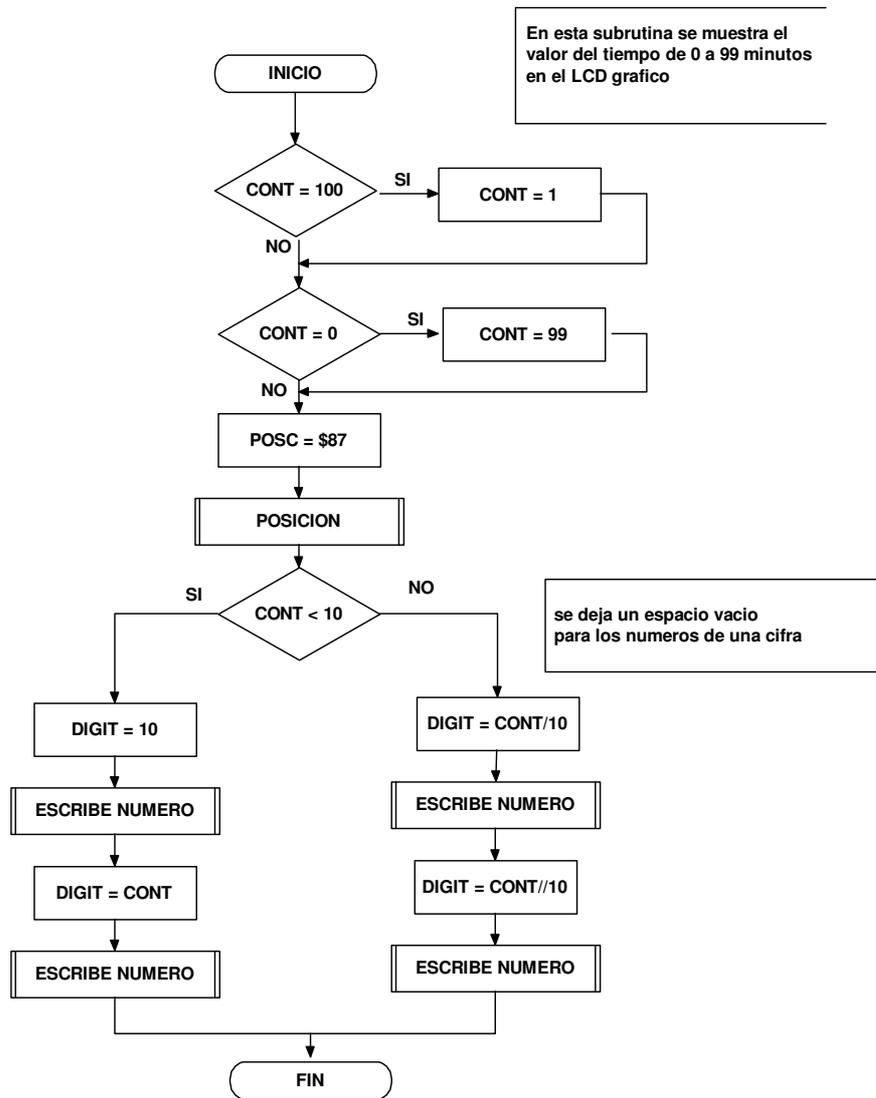


Figura 56. –Diagrama de flujo de la Subrutina muestra tiempo

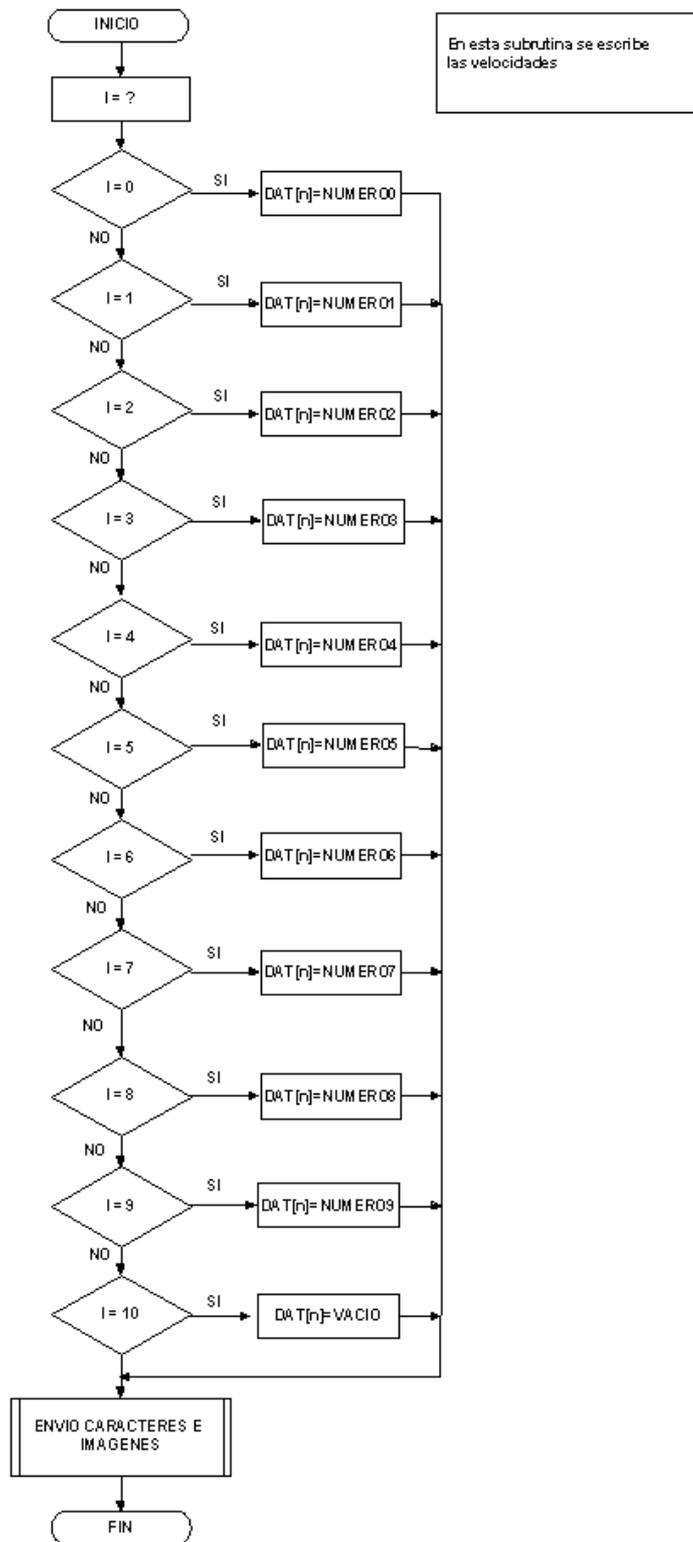


Figura 57. –Diagrama de flujo de la Subrutina escribe números

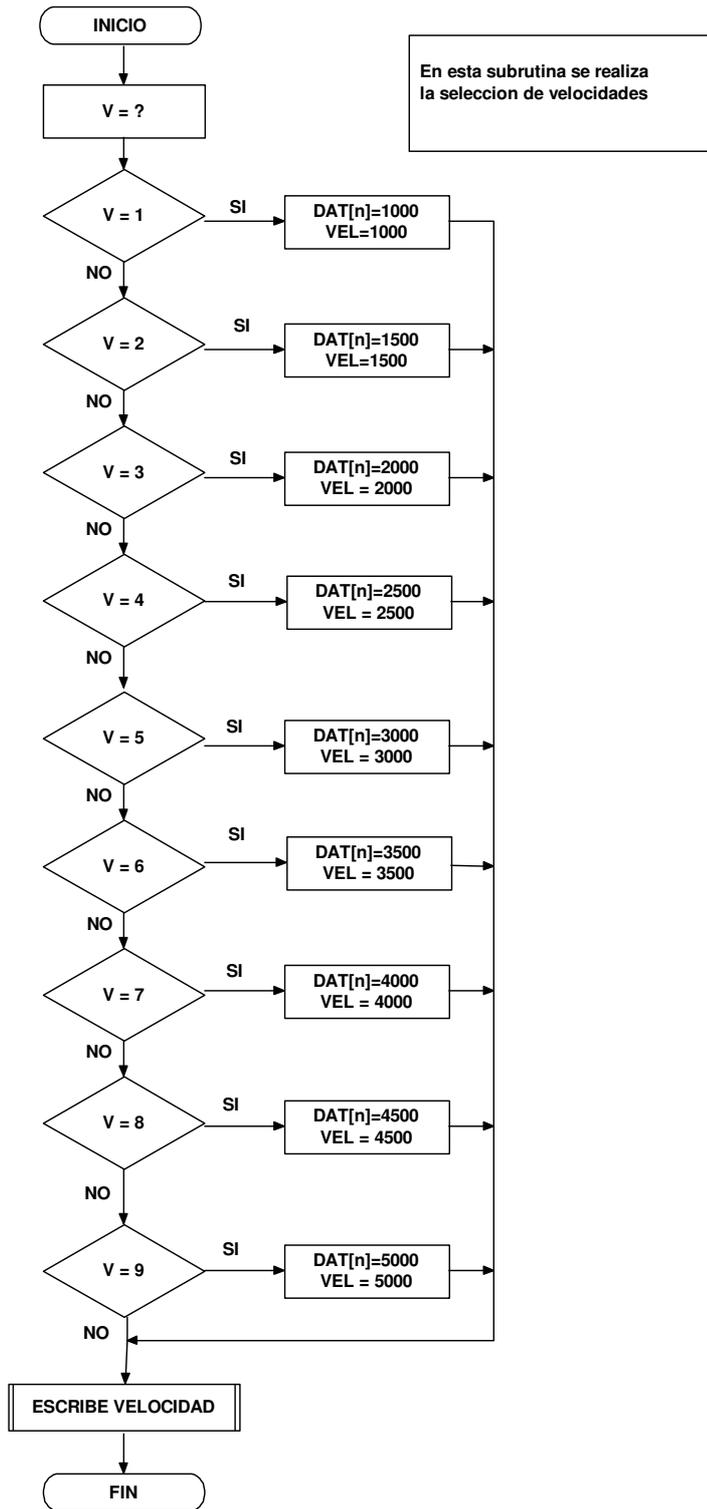


Figura 58. –Diagrama de flujo de la Subrutina Muestra velocidad

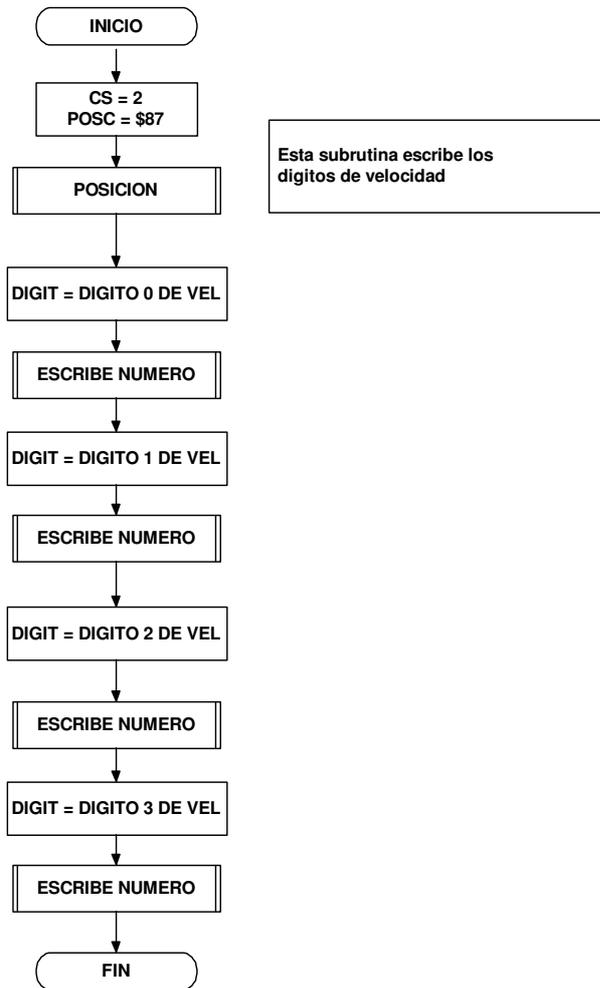


Figura 59. –Diagrama de flujo de la Subrutina Escribe velocidad

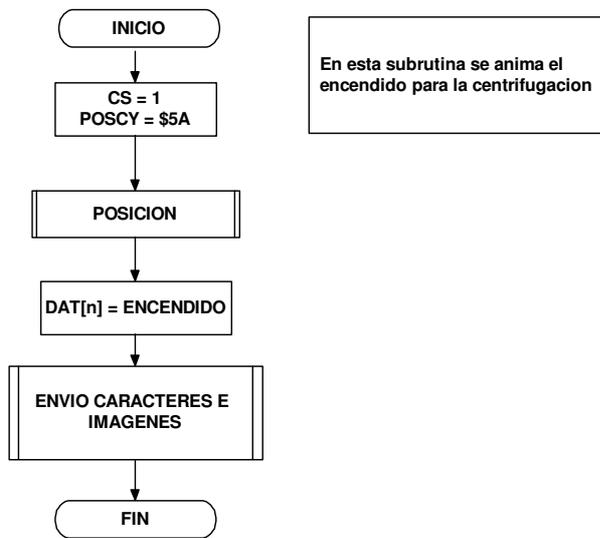


Figura 60. –Diagrama de flujo de la Subrutina Muestra Encendido

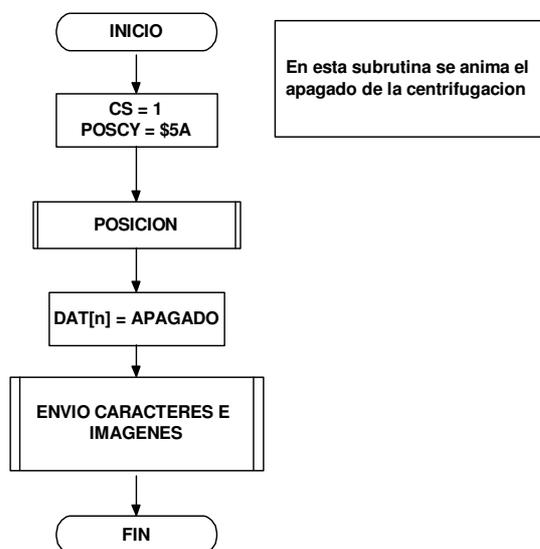


Figura 61. –Diagrama de flujo de la Subrutina Muestra Apagado

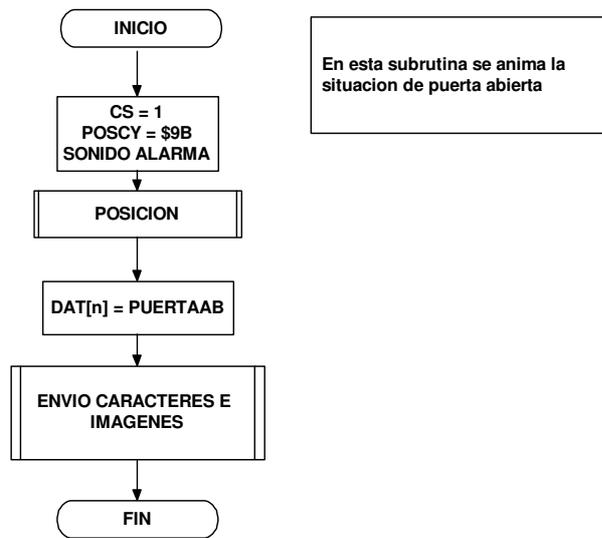


Figura 62. –Diagrama de flujo de la Subrutina Muestra alarma encendida con sonido

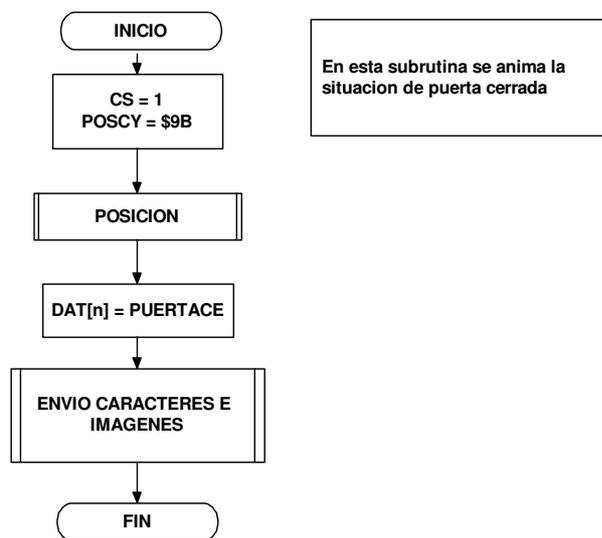


Figura 63. –Diagrama de flujo de la Subrutina Muestra alarma apagada

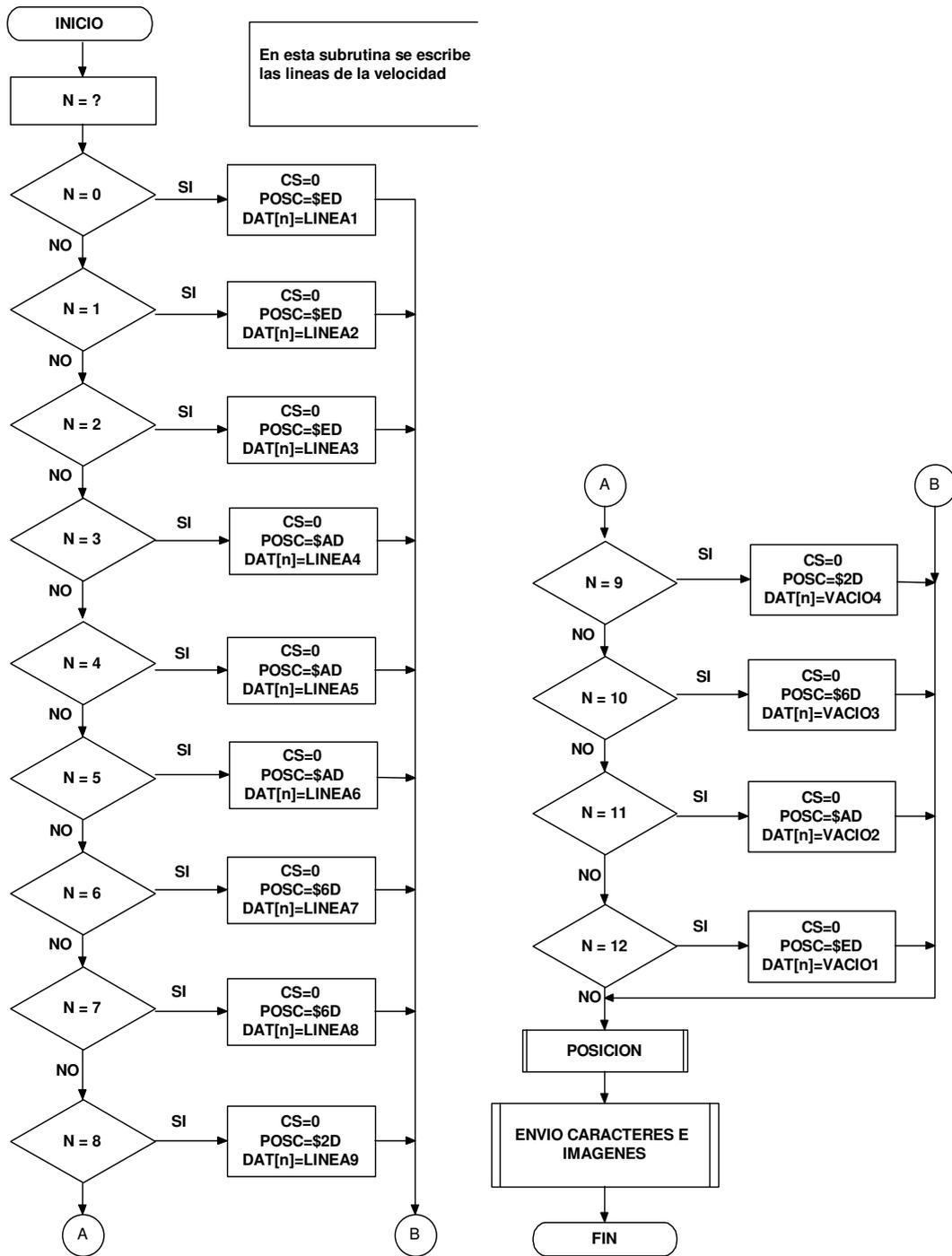


Figura 64. –Diagrama de flujo de la Subrutina Dibuja línea

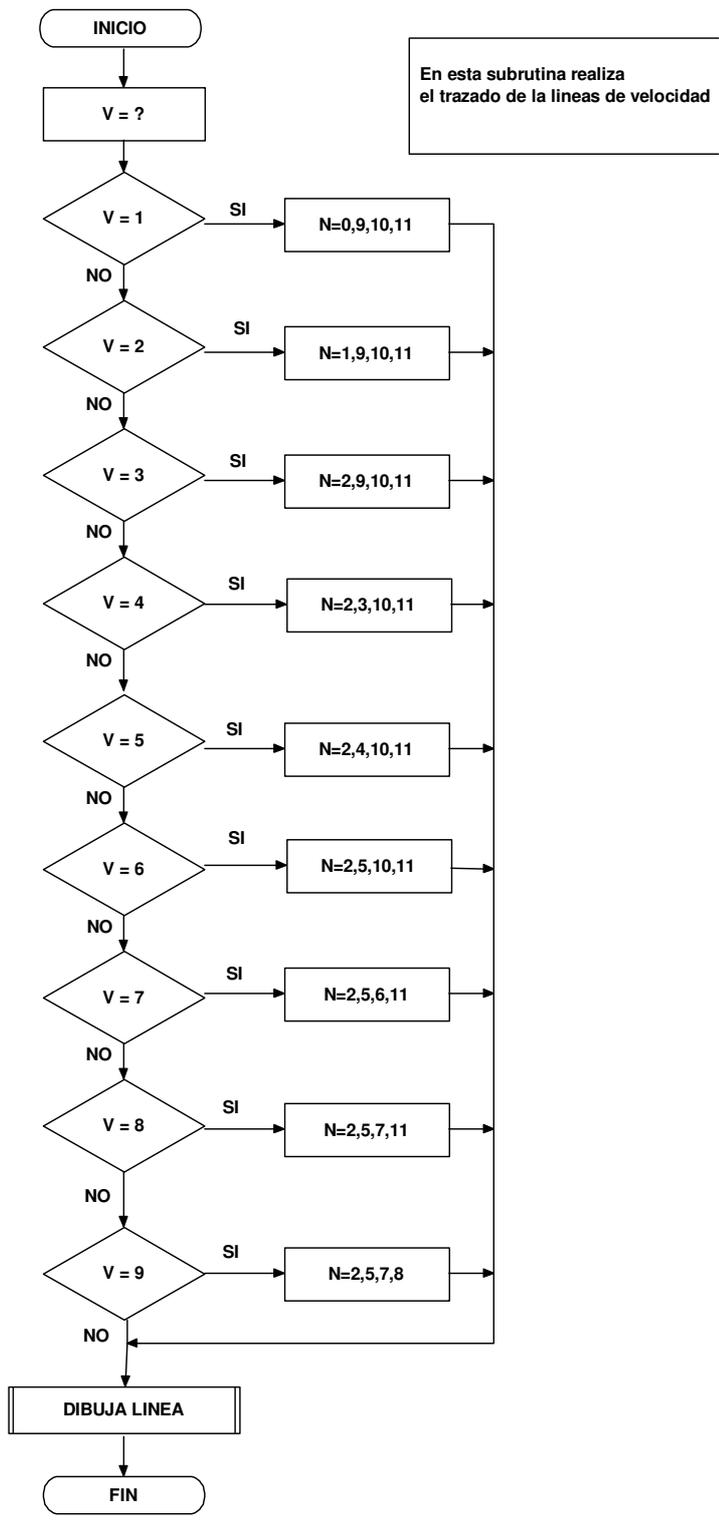


Figura 65. –Diagrama de flujo de la Subrutina Muestra Lineas

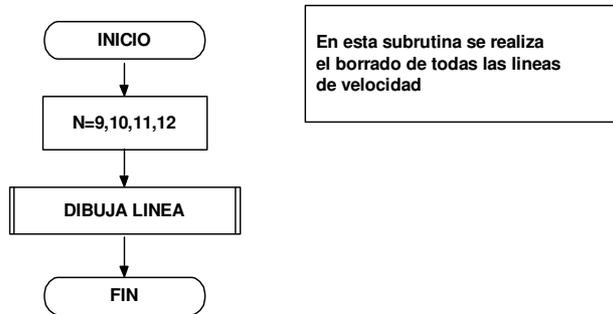


Figura 66. –Diagrama de flujo de la Subrutina Borra Lineas

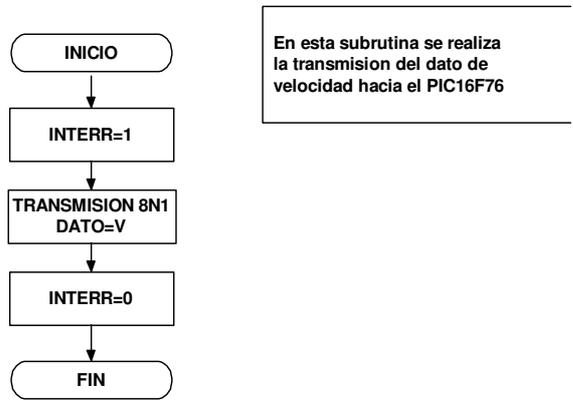


Figura 67. –Diagrama de flujo de la Subrutina Transmite datos encendido

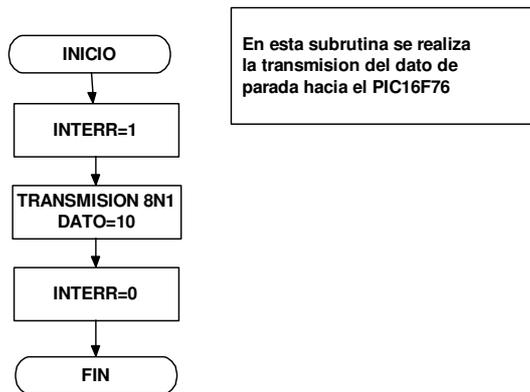


Figura 68. –Diagrama de flujo de la Subrutina Transmite datos parada

Capítulo 5

5. EL CONTROLADOR DIGITAL

5.1 Introducción

El sistema de control esta encargado para nuestro propósito de mantener estable el valor de velocidad, en la actualidad existen diversas formas de control algunas mas complejas que otras, el criterio para decidir cual es la mejor forma de control depende únicamente de la aplicación en la que se utiliza.

El control mas utilizado en la actualidad es aun el control PID (Proporcional, Integral y Derivativo) que es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo.

Los controladores PID son suficientes para resolver el problema de control de muchas aplicaciones, siempre y cuando la dinámica del proceso lo permita (en general para procesos que pueden ser descritos por dinámicas de primer y segundo orden).

Existen variadas formas del controlador PID el mas usado es del tipo "stand alone" con capacidad para controlar uno o varios lazos de control. Su amplio uso en la industria es tal que casi todos los lazos de control que existen en las aplicaciones industriales son del tipo PID, de los cuales la mayoría son controladores PI, lo que muestra la preferencia del usuario en el uso de leyes de control clásica.

Los algoritmos actuales se combinan con funciones lógicas y secuenciales y una serie de mecanismos y funciones adicionales para adecuarse a los requerimientos de los modernos sistemas de control y automatización industrial, lo que da lugar a dispositivos especializados para el control de temperatura, velocidad, distribución de energía, transporte, máquinas-herramientas, entre otros.

Los controladores PID continúan usándose a pesar de los cambios en la tecnología a lo largo de la historia. Desde los antiguos reguladores de Watt, de la época de la revolución industrial, pasando por los controladores neumáticos, los controladores analógicos eléctricos y electrónicos (primero implementados con válvulas y luego con circuitos integrados) hasta los modernos controladores basados en microcontroladores, que proporcionan una mayor flexibilidad debido a su programabilidad.

5.2 El principio de la realimentación

La idea de la realimentación es bastante simple y muy poderosa. A lo largo de su historia, ha tenido una fuerte influencia en la evolución de la tecnología. Las aplicaciones del principio de realimentación han sido utilizados en los diferentes campos de la industria.

Para tener una mejor comprensión de la idea se hace referencia a la Fig.68 la cual describe el lazo realimentado, el proceso funciona de tal forma que cuando se incrementa el valor de la variable manipulada(V_m), entonces se incrementan los valores de las variables en el proceso Entonces podemos decir que el principio de realimentación puede ser expresado como sigue:

“Incrementar la variable manipulada(V_m) cuando la señal realimentada(S_{re}) sea más pequeña que la señal referencia(S_{ref}) y disminuirla cuando ésta sea más grande”.

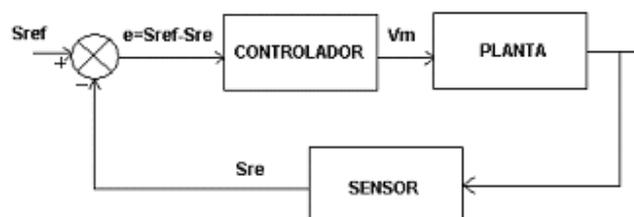


Figura 69. –Diagrama de bloques de un sistema realimentado

Este tipo de realimentación se llama “realimentación negativa” debido a que la variable manipulada se mueve en la dirección opuesta a la variable del proceso. El principio puede ser ilustrado por el diagrama de bloques que se muestra en la Fig.69.

En este diagrama el proceso y el controlador están representados por cajas negras y las flechas denotan las entradas y salidas a cada bloque. Note que existe un símbolo especial que denota una suma de señales. El diagrama de bloques muestra que el proceso y el controlador están conectados en un lazo realimentado. La presencia del signo en el bloque de retorno indica que la realimentación es negativa.

5.3 Consideraciones para el uso de un control PID

Los requerimientos de un sistema de control pueden incluir muchos factores, tales como la respuesta a las señales de comando, la insensibilidad al ruido de medición y a las variaciones en el proceso y el rechazo a las perturbaciones de carga.

El diseño de un sistema de control también involucra aspectos de la dinámica del proceso, del actuador, de la saturación y de las características de la perturbación.

En general la mayoría de los procesos pueden ser controlados razonablemente con un control PID, ya que la demanda de desempeño del control en muchos procesos no es muy sofisticada. El control PID es suficiente para procesos donde

las características dinámicas son de segundo orden. Para estos procesos no existe mayor beneficio con el uso de un controlador más sofisticado.

Estudios anteriores han demostrado la inestabilidad del motor (ref en la seccion de anexos) en este trabajo se aproximado el sistema de control a uno de segundo orden.

5.4 Fundamentos del control PID

Como se menciona en párrafos anteriores el control PID, es el controlador mas utilizado en la industria y esto se debe a que es un control fácil de usar y que satisface la mayoría de lazos de control. El algoritmo PID puede ser descrito por la siguiente ecuación:

$$u(t) = k \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad 5.1$$

Donde cada termino de la ecuación 5.1 representa a la acción proporcional, integral y derivativa respectivamente.

La acción proporcional pura puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$u(t) = ke(t) + u(a) \quad 5.2$$

En este caso la acción de control es simple, y solo toma valores proporcionales a la señal del error. En caso que el error sea cero se toma $u(a)$ y en la mayoría de los casos es el valor promedio del máximo y mínimo de $u(t)$.

La acción integral permite disminuir el valor del error, un pequeño error positivo siempre producirá un incremento en la señal de control y, un error negativo siempre dará una señal decreciente sin importar cuán pequeño sea el error.

La acción derivativa puede permitir que la acción proporcional se anticipe a los cambios en el proceso, la predicción se hace por la extrapolación de la tangente de la curva del error.

5.5 Desarrollo del algoritmo PID digital

Para la implementación digital del algoritmo PID es necesario seguir una secuencia de eventos ya que el desarrollo del algoritmo es en instantes de tiempo discretos. Los pasos que sigue son el filtrado, muestreo, discretización y la cuantización.

En la etapa de filtrado se encarga de eliminar frecuencias que puedan afectar al muestreo de la señal, aquí se utilizó un filtro paso bajo que está compuesto por un condensador de $0.1\mu\text{F}$ puesto en la salida de la etapa del sensor.

El muestreo es realizado mediante el microcontrolador para esto se debe cumplir el criterio de Nyquist que establece que la frecuencia de muestreo es como mínimo el doble de la señal muestreada, esto para evitar el efecto aliasing para

los ensayos del motor se tiene que la máxima velocidad es de 8000rpm o 133.33rev/s entonces el muestreo debe ser mayor a 267hz, lo cual lo satisface ya que el microcontrolador trabaja con una velocidad de instrucción 1Mhz. El desarrollo del muestreo es como sigue, con la detección de la entrada en flanco positivo de la señal se realiza un conteo de tiempo a 16bits en milisegundos el cual se detiene con la captura del siguiente flanco, esta data luego es transformada a una escala a 8bits para realizar las operaciones en calculo.

La discretizacion viene a ser la etapa que realiza el control, aquí se realizan los cálculos en los controles proporcional, integral y derivativo. Para esto se emplean sus equivalentes en la forma discreta, esto se hace mediante aproximaciones.

La acción proporcional $P(t_k)$ es representada en su forma discreta por la siguiente formula:

$$e_{(t_k)} = S_{(ref)} - S_{(t_k)} \quad 5.5$$

$$P_{(t_k)} = K_p * e_{(t_k)} \quad 5.6$$

Donde $S(\text{ref})$ y $S(\text{tk})$ corresponden a la señal de referencia y a la señal de entrada respectivamente $e(\text{tk})$ es la señal de error en nuestro controlador, estos valores son trabajados a 8bits la constante K_p de proporcionalidad es determinada por la sintonización.

La acción integral se aproxima a:

$$I(t) = \frac{K}{T_i} \int_0^t e(s) ds \quad 5.7$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{K}{T_i} e \quad 5.8$$

En la ecuación 5.7 observamos la forma continua del control integral, desarrollando este termino tenemos la ecuación 5.8 ,entonces realizamos la aproximación utilizando diferencias hacia atrás y tenemos

$$\frac{I_{(t_k)} - I_{(t_{k-1})}}{h} = \frac{K}{T_i} e_{(t_k)}$$

$$I_{(t_k)} = I_{(t_{k-1})} + \frac{Kh}{T_i} e_{(t_k)}$$

$$I_{(t_k)} = I_{(t_{k-1})} + \frac{K_i}{T_i} e_{(t_k)} \quad 5.9$$

En este desarrollo tenemos que la parte integral es una formula recursiva compuesta por la suma del error multiplicado por la constante de integración Ki con la parte integral anterior.

Con la acción integral se logra que un pequeño error produzca una acción correctiva ya sea el error positivo o negativo algo que el control proporcional no podría hacerlo ya que en estado estacionario es oscilante.

La acción derivativa es descrita en la siguiente ecuación:

$$D_t = K \frac{de_{(t)}}{dt}$$

$$D_{(t_k)} = K_d \left(\frac{e_{(t_k)} - e_{(t_{k-1})}}{T_i} \right) \quad 5.10$$

El termino derivativo es discretizado en la ecuación 5.10 mediante diferencias hacia atrás. Este control es utilizado para anticipar el valor de la señal de salida ya

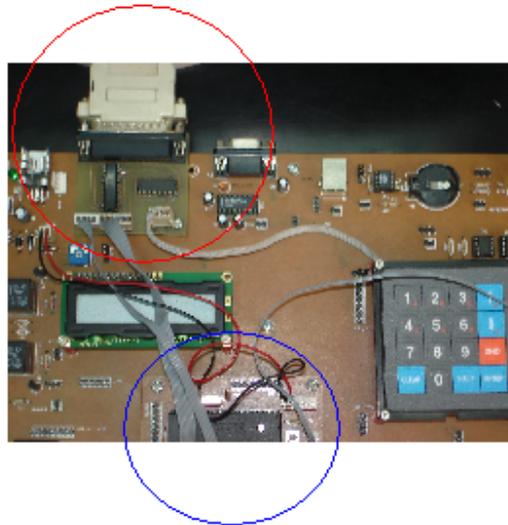
que la respuesta es lenta, esto se logra mediante la tangente a la curva del error extrapolando estos valores.

Para todos estos términos discretos T_i representa el tiempo de muestreo, la acción completa para el control esta dada por:

$$\text{Control} = P_{(t_k)} + I_{(t_k)} + D_{(t_k)} \quad 5.11$$

Como se menciono antes, para el desarrollo del algoritmo PID debido a que el sistema a controlar no describe las características de un sistema de segundo orden, se realizo una aproximación de su comportamiento. El comportamiento de la señal de velocidad fue observada en la PC, en base a esto se pudo aproximar los parámetros de sintonización del controlador. Para el monitoreo de la señal de velocidad se utilizo una tarjeta de adquisicion de datos que fue conectada mediante el puerto paralelo de la computadora usando el software Visual Basic 6.0. La velocidad de transmisión es de 150Kbs y el muestreo se realiza mediante una programación por captura de pulsos este programa compilado posee un tiempo de muestreo de 5ms , la tasa de muestreo resulta $200 \times 8 = 1.6\text{Kbs}$ que es el velocidad a la cual se transmite.

transmision de datos hacia la PC



PIC16F877 captura de datos

Figura 70. –Adquision de datos mediante el puerto paralelo de la PC

5.6 Ensayos para la obtención de los parámetros del controlador

Para poder obtener los valores de las constantes K_p , y K_i/T_i se utilizo el método de sintonización por variación de parámetros, este método consiste en lo siguiente primero se sintoniza el valor de K_p es decir hacemos un ensayo de un control proporcional, para ello se coloco a un valor de setpoint (punto de trabajo deseado) se utilizo 1500RPM, según la programación le corresponde un valor de ancho de pulso, el cual fue hallado de manera experimental, en el programa se inicio con un valor de K_p igual a 0.5.Luego se realizo un cambio en el valor de K_p de 0.5 en 0.5 esto mediante el teclado mismo del panel que comunica al microcontrolador, al finalizar el cambio realizamos una variación del setpoint a 2000RPM y observamos el comportamiento de la velocidad en la PC, el cambio del setpoint me permite

evaluar el controlador sobre la planta, este proceso se repite varias veces para observar el comportamiento con distintos valores de K_p .

Debido a la naturaleza del controlador proporcional este nunca nos dará un control de tipo estable, mas bien la respuesta es oscilatorio, lo que se consigue de estos ensayos es que sea una oscilación de pequeña amplitud. En la Fig. 71 se muestra la señal de velocidad del motor a 2000RPM sin ningún tipo de control realimentado, en este caso se manda el disparo por PWM(modulación de ancho de pulso), la escala en amplitud es recortada en 100 puntos y va desde una velocidad de 1987RPM a 2086 RPM para una mejor apreciación de los datos, la escala de tiempo va desde el punto de captura a 0.5 segundos en una escala de 100 puntos Fig. 72 se muestra un ensayo con $K_p=3$.

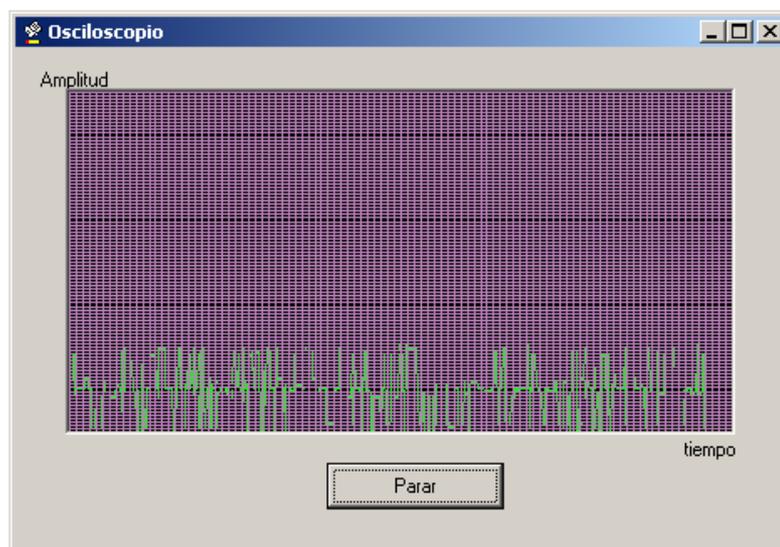


Figura 71. –Señal de velocidad del motor sin ningún tipo de control

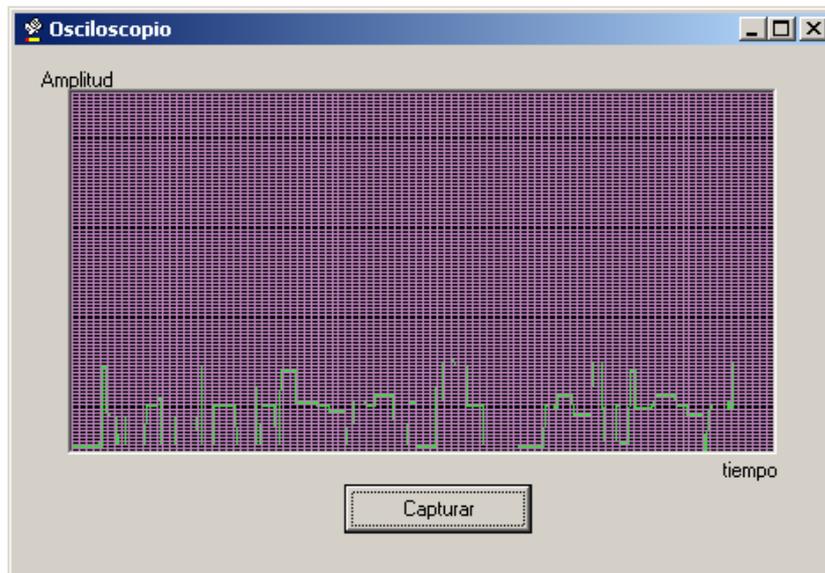


Figura 72. –Señal de velocidad del motor con control proporcional $K_p=3$

Una vez seleccionado el mejor valor K_p se realiza la parte integrativa, esta nos va permitir que sea estable en el tiempo, para obtener el valor de k_i/t_i , se inicio con un valor de $K_i/T_i=0.5$ y $K_p=3$ por programa y se selecciono una velocidad de 1500RPM y se fue variando T_i por teclado con un aumento de 0.25 luego del cambio se realiza una variación del setpoint a 2000RPM y se observa el comportamiento. En los ensayos se observo que la estabilización mejora, no se consigue un error de estado estable igual a cero esto debido a que el motor recibe los cambios cada 30hz, que es lo que puede proporcionar el diseño del hardware, en la Fig. 73 se muestra un ensayo con $K_p=3$ y $T_i=1.25$.

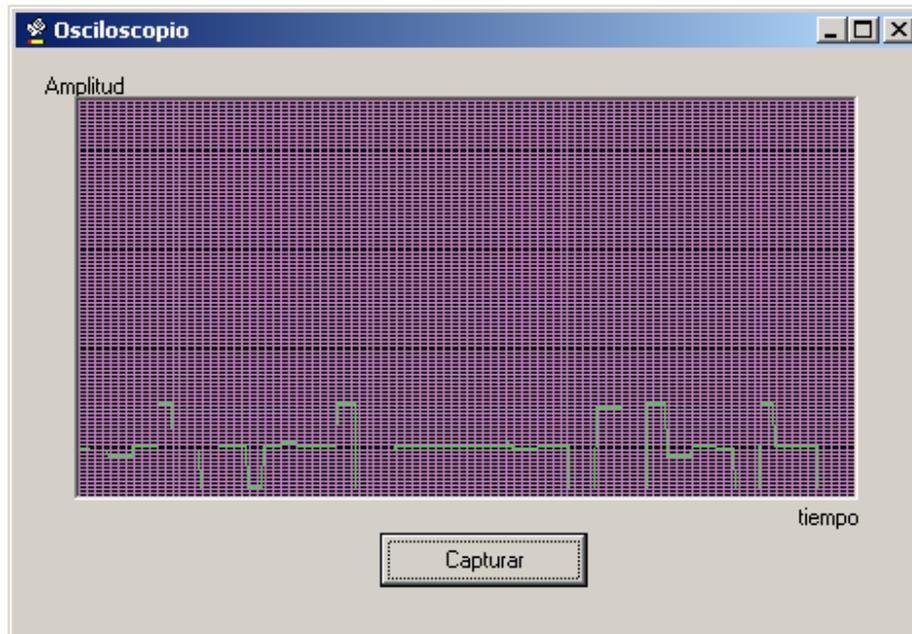


Figura 73. –Señal de velocidad del motor con control PI

Debido a referencias anteriores de ensayos en velocidad, se minimiza el termino derivativo, estos estudios demuestran que no es prescindible el uso de este termino, ya que la acción derivativa antepone un valor a la salida, y en este sistema como fue descrito la acción de control se toma en cada semiciclo de la alimentación del motor.

En el siguiente diagrama de flujo Fig.74 se describe la sucesión de eventos para el desarrollo del control

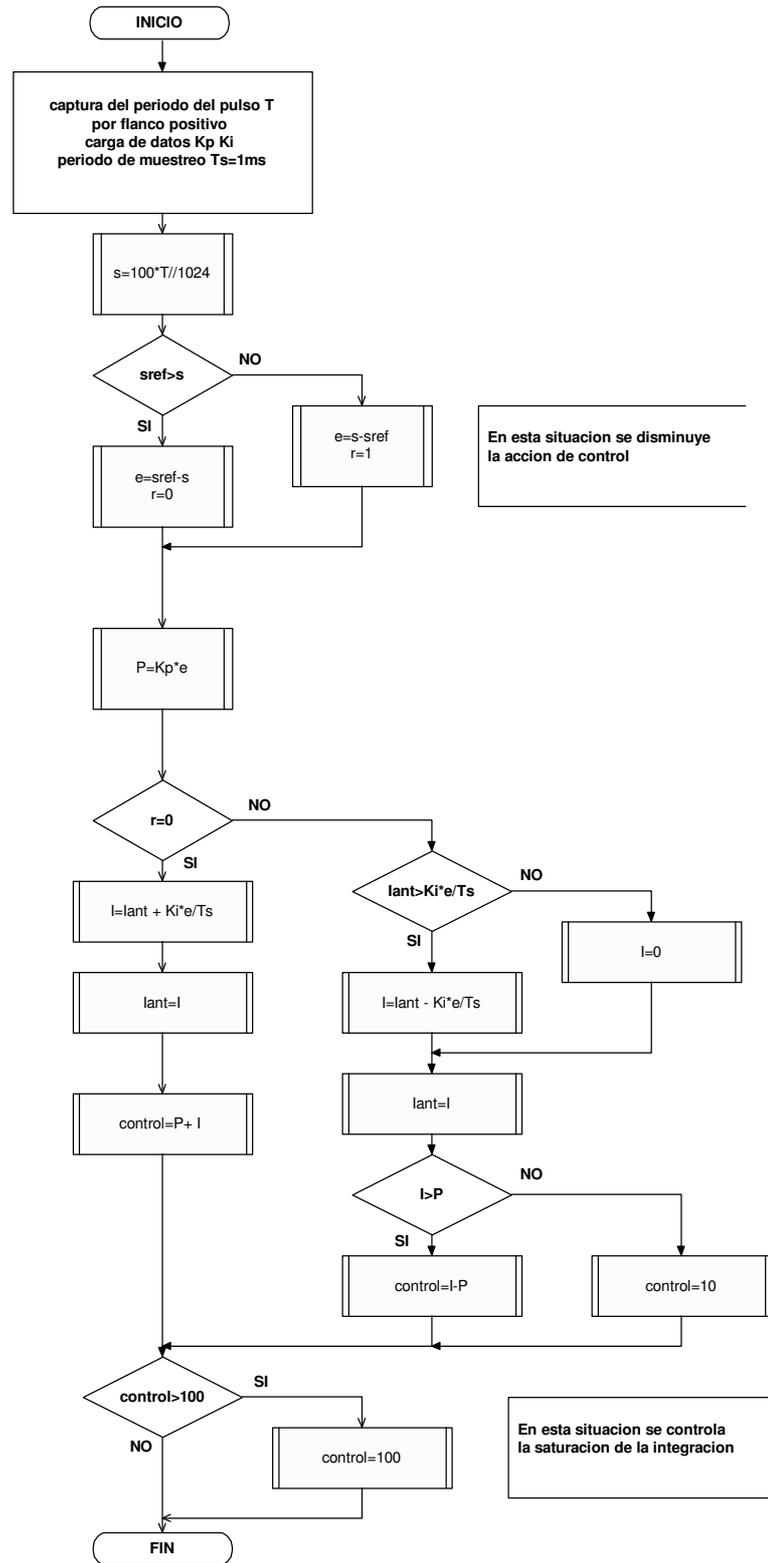


Figura 74. –Diagrama de flujo del control PID

El control aquí descrito tiene la ventaja de ser sencillo y económico en comparación a otros estudios realizados. Este control esta limitado en su respuesta por lo que no es un control de velocidad preciso, pero satisface los requerimientos a pesar de que posee pocas oscilaciones de ± 10 RPM para el peor de los casos, esto se puede mejorar realizando una mejor sintonizacion mediante ensayos, estudios anteriores demuestran que para realizar un control optimo de la velocidad, del motor universal es necesario recurrir a técnicas mas avanzadas de control como por ejemplo un control PID con lógica Fuzzy (ver Referencia)

Capítulo 6

6. CONDICIONES DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y NORMAS DE SEGURIDAD DEL EQUIPO

6.1 Modo Correcto de operación

El cargar la centrífuga en una forma adecuada es muy importante para el funcionamiento correcto de la misma, y su preservación. Un procedimiento incorrecto de cargado, ocasiona que la centrífuga vibre durante el proceso de centrifugación, lo que ocasiona que el rotor sufra daños que pueden llevar a su sustitución.

Un procedimiento de cargado correcto, implica el colocar las cargas en el rotor en forma balanceada. Las centrífugas están diseñadas para obtener un balance cuando están en movimiento. Para esto es necesario cumplir los siguientes requisitos:

- a) Colocar las cargas de modo que las cargas que tienen la misma masa o peso queden colocadas de forma opuesta en el rotor. Si tiene un número impar de muestras para ser cargadas, busque otra muestra de igual peso a modo de siempre formar pares opuestos de igual peso; nunca coloque un número impar de muestras dentro de la centrífuga utilice la balanza para estar seguro de la igualdad de los pesos.

- b) Además de tener la misma masa (peso), deben tener el mismo centro de gravedad, es decir: no coloque tubos y recipientes como pares contrapuestos, que tengan diferente forma, tamaño, espesor, etc.

- c) Utilice la centrífuga colocando todos los accesorios en el rotor, ya que estos equipos han sido diseñados para trabajar con estos.

- d) Utilice el rotor y accesorios originales del equipo. Las piezas no originales pueden producir un desbalance y acortamiento de la vida útil del equipo.

- e) Complemente estas recomendaciones con las instrucciones del fabricante.

6.2 Recomendaciones de Conservación y uso

Las siguientes recomendaciones son mencionadas por “El manual de mantenimiento para el equipo de laboratorio” de la Organización Panamericana de la salud, en este manual se describe las rutinas básicas para el mantenimiento de equipos de laboratorio clínico. A continuación se presentan recomendaciones generales para la rutinas de mantenimiento.

En los rotores:

1. Registrar la fecha de compra de cada uno de los rotores, incluyendo información relacionada con el número de serie y modelo.
2. Leer y entender los manuales de los rotores, equipo y tubos, antes de que los mismos sean utilizados. Cumplir con las indicaciones de uso y cuidado que especifica el fabricante.
3. Utilizar los rotores únicamente en las centrífugas para las cuales han sido fabricados. No intercambiar rotores sin verificar la compatibilidad con la centrífuga en la cual se instala.

4. Registrar los parámetros de operación para cada rotor en una bitácora, para poder determinar su vida útil remanente y gestionar a tiempo la adquisición de los reemplazos.
5. Utilizar las recomendaciones de velocidad máxima y densidad de las muestras que recomienda el fabricante. Cada rotor está diseñado para soportar un máximo nivel de esfuerzo; dichas especificaciones deben ser respetadas rigurosamente.
6. Acatar las recomendaciones relativas a reducir la velocidad de operación cuando se trabaja con soluciones de alta densidad, con tubos de acero inoxidable o adaptadores plásticos. Los fabricantes suministran la información correspondiente.
7. Utilizar rotores de titanio si se trabaja con soluciones salinas frecuentemente.
8. Proteger el recubrimiento de los rotores para evitar que se deteriore el metal base. No utilizar detergentes alcalinos o soluciones limpiadoras que

podieran remover la película protectora. Los rotores, generalmente fabricados de aluminio [Al], están recubiertos por una película de aluminio anodizado que protege la estructura del metal.

9. Utilizar cepillos plásticos en las actividades de limpieza de los rotores. Los cepillos metálicos rayan el recubrimiento protector y esto genera fuentes de futura corrosión, que se aceleran bajo las condiciones de operación que acortan la vida útil remanente del rotor.

10. Lavar el rotor inmediatamente en el caso de que se presenten derrames de sustancias corrosivas.

11. Secar el rotor con aire seco, siempre que haya sido limpiado y enjuagado con agua.

12. Almacenar los rotores de tubo vertical o tubo casi vertical, con el lado superior hacia abajo y sin las respectivas tapas.

13. Almacenar los rotores en ambientes secos. Evitar dejarlos en la centrífuga.

14. Almacenar los rotores de cubo pivotante sin las tapas de los compartimentos.

15. Lubricar las roscas y los anillos tipo O, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

16. Observar las recomendaciones relacionadas con tiempos de garantía y vida útil de cada tipo de rotor.

17. Evitar utilizar rotores a los cuales se les ha terminado el período de vida útil.

18. Utilizar blindajes si se usa la centrífuga con material radiactivo.

19. Cargar o descargar los rotores dentro de una cabina de seguridad biológica, si se trabaja con materiales clasificados como de bioriesgo de nivel II o superior.

20. Nunca tratar de abrir la tapa de una centrífuga que esté funcionando y nunca intentar detener el rotor con la mano.

En los Tubos:

El cuidado de los tubos abarca aspectos como el llenado del tubo, la selección adecuada de temperatura, las limitaciones de velocidad de centrifugación, el lavado y la esterilización. Las principales recomendaciones en relación con los aspectos mencionados son las siguientes:

1. Lavar los tubos, adaptadores y demás accesorios a mano, utilizando un detergente suave, diluido en una relación de 1:10 en agua y un cepillo de textura suave –no metálico–. Evitar usar lavaplatos automáticos.

2. Evitar el uso de alcohol y acetona, pues dichos materiales afectan la estructura de los tubos. Los fabricantes recomiendan el tipo de solvente que debe utilizarse con cada tipo de material con que se fabrican los tubos de centrifugación.

3. Evitar secar los tubos en un horno de secado. Secar siempre con un chorro de aire seco.

4. Verificar si los tubos utilizados son reutilizables o no. Si son desechables, utilizarlos solo una vez.

5. Para esterilizar, previamente es necesario verificar el tipo de material del tubo, pues no todos soportan la esterilización por calor. La cristalería se esteriliza normalmente con vapor a 121 °C durante 30 minutos.

6. Almacenar los tubos y las botellas en un lugar seco, oscuro y fresco, alejado de fuentes de vapores químicos o fuentes de radiación ultravioleta.

7. Verificar los niveles de llenado y el selle en los tubos de pared delgada, para evitar su colapso dentro del rotor por acción de la fuerza centrífuga. Cumplir las recomendaciones de los fabricantes.

6.3 Mantenimiento Preventivo

Frecuencia: Mensual

1. Verificar que los componentes externos de la centrífuga se encuentren libres de polvo y de manchas. Evitar que el rotor se afecte por derrames. Limpiar el compartimiento del rotor, utilizando un detergente suave.
2. Comprobar que el mecanismo de acople y ajuste de los rotores se encuentre en buen estado. Mantener lubricados los puntos que recomienda el fabricante.
3. Verificar el estado del mecanismo de cierre seguridad de la tapa de la centrífuga, pues es fundamental para garantizar la seguridad de los operadores. El mecanismo mantiene cerrada la tapa de la centrífuga, mientras el rotor se encuentra girando.

4. Confirmar la lubricación de los elementos que recomienda el fabricante, como sellos tipo O. Utilizar siempre lubricantes de acuerdo con las recomendaciones del fabricante (frecuencia y tipo de lubricantes). En centrífugas de fabricación reciente se usan rodamientos sellados que no requieren lubricación.

5. Verificar el estado de los empaques y juntas de estanqueidad.

Frecuencia: Anual

1. Verificar que las tarjetas electrónicas se encuentren limpias y bien conectadas.
2. Comprobar el grupo de control, el cual dispone de selectores de velocidad, tiempo de centrifugado, temperatura de operación, alarmas e instrumentos análogos o digitales para registrar los parámetros de operación de la centrífuga.
3. Verificar el cumplimiento de normas eléctricas. Utilizar un analizador de seguridad eléctrica: pruebas de resistencia a tierra, corrientes de fuga.

4. Si la centrífuga es refrigerada, comprobar la temperatura mediante el termómetro electrónico. La temperatura no debe variar más de ± 3 °C.

5. Examinar la exactitud de los controles de tiempo. Utilizar un cronómetro. El tiempo medido no debe variar más de ± 10 % del tiempo programado.

6. Verificar la velocidad de rotación real contra la seleccionada, utilizando una carga normal. La comprobación se efectúa con un tacómetro o un fototacómetro. Si la compuerta no es transparente, debe seguirse el procedimiento que para el efecto indique el fabricante.

7. Confirmar el funcionamiento del sistema de freno.

8. Verificar el funcionamiento del sistema de refrigeración; solo en centrífugas refrigeradas. Las actividades más importantes son las siguientes:
 - a) Controlar que las temperaturas seleccionadas no difieran más de 3 °C, de las temperaturas medidas con el termómetro digital.

- b) Verificar el estado del filtro de la toma de aire. Si es filtro se encuentra obstruido, limpiar o sustituir por un equivalente.

- c) Efectuar una limpieza detallada de las aletas difusoras del condensador, para eliminar la suciedad que se deposita sobre ellas. Esto mantiene las tasas de transferencia de calor, según las especificaciones de diseño. Si se detecta un funcionamiento anormal, solicitar servicio técnico especializado.

- d) Verificar el estado de las escobillas del motor, si la centrífuga dispone de motor con escobillas. Sustituir por nuevas –de la misma especificación original, en caso de ser requerido. Realizar esta rutina cada seis meses.

6.4 Inspecciones de Mantenimiento

Para poder realizar las inspecciones de mantenimiento requeridas normalmente por una centrífuga, son necesarios los siguientes instrumentos o herramientas:

1. Una llave para apretar o aflojar la tuerca del rotor.

2. Un analizador de seguridad eléctrica o un instrumento para medir corrientes de fuga

3. Un cronómetro.

4. Un termómetro electrónico con exactitud de 0,5 °C para centrífugas refrigeradas únicamente.

5. Un tacómetro o fototacómetro.

Tabla de solución de averías en los rotores:

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	REMEDIO
Vibración severa.	Rotor desbalanceado.	Balancear la carga del rotor. Llenar todos los tubos opuestos con el mismo nivel de líquido de la misma densidad. Distribuir simétricamente el peso de tubos opuestos. Cargar los rotores de ángulo fijo o de tubo vertical de forma simétrica.
	Velocidad seleccionada cerca del rango de velocidad crítica del rotor.	Seleccionar una velocidad de rotación fuera del rango de velocidad crítica.
	Rotor mal montado.	Verificar el montaje del rotor. Comprobar que se encuentre bien ajustado.
	Falta lubricación en los soportes de los rotores de cubo pivotante.	Lubricar los ejes de pivote según recomendación del fabricante. Por ej. cada 250 procedimientos de centrifugado.
	Tapas de los rotores, canister o cubos difíciles de aflojar después de la centrifugación.	Producción de vacío durante la centrifugación.
Roscas contaminadas con suciedad, lubricantes secos o partículas metálicas.		Efectuar limpieza rutinaria a las roscas y lubricar. Utilizar insumos recomendados por los fabricantes.

Tabla de solución de averías en los tubos:

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	REMEDIO
Los tubos presentan fugas.	Tapas mal aseguradas.	Ajustar las tapas.
	Tubos demasiado llenos.	El menisco deberá estar más bajo para prevenir las fugas.
	En tubos sin tapa, se ha excedido el nivel máximo recomendado.	Verificar las recomendaciones de volumen y la velocidad de centrifugado recomendada.
	En tubos de sello rápido, se presume un sellado deficiente.	Presionar suavemente, después de sellar en caliente –solo si no se afecta el contenido–. Si se presentan fugas, sellar de nuevo.

PROBLEMA	CAUSA PROBABLE	REMEDIO
Los tubos se rajan o rompen.	Los tubos pueden romperse o volverse frágiles si se usan por debajo del límite de la temperatura recomendada.	Calentar hasta 2 °C, si la muestra está congelada, antes de centrifugar. Evaluar antes de centrifugar el comportamiento de los tubos a baja temperatura.
	Los tubos se vuelven frágiles con la edad y el uso.	Desachar tubos vencidos, utilizar nuevos.

Para realizar una inspección de mantenimiento en la tarjeta electrónica principal, realizar medidas de tensión en los puntos de prueba mostrados en los diagramas en la sección de apéndices.

6.5 Normas de seguridad

Para la seguridad del usuario se deben cumplir las normas de seguridad europeas

EN 61010-1 y EN 61010-2-020

EN 61010-1 trata de los requisitos de seguridad de equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio, para el cumplimiento de esta norma en la instalación

se debe contar de un interruptor, debidamente identificado y al alcance fácil del usuario, para desconectar el equipo de la red además la línea de alimentación de la red debe llevar un cable de tierra de protección.

Según la norma de seguridad EN 61010-2-020, durante la centrifugación debe haber una distancia de seguridad de 30 cm alrededor de la centrífuga, en la que no se encuentren aparatos que puedan provocar daños al destruirse.

Capitulo 7

7.ANALISIS DE COSTO

En este capitulo se presenta un reporte del costo de fabricación de la centrifuga, este costo es menor cuando se realiza en una producción en

PANEL DIGITAL Y CONTROL DIGITAL			
DISPOSITIVO	Cantidad	Costo unitario S/.	
LM7805	1	1	1
LM7905	1	1	1
Condensador 1000uF/25v	2	0,5	1
Condensador 0.1uF/25v	2	0,2	0,4
Condensador tantalium 0.1uF/25v	1	1	1
Condensador 22pF	4	0,2	0,8
Cristal 4Mhz	2	1	2
Pulsador NA	6	0,5	3
Potenciómetro 10K 1/2W	1	0,5	0,5
Resistencia 10K 1/4W	8	0,1	0,8
Resistencia 100 1/4W	1	0,1	0,1
Buzzer	1	1,5	1,5
Molex de 2 entradas	2	1,2	2,4
LCD grafico LM7222SGLU	1	62,8	62,8

Microcontrolador PIC16F877	1	35	35
Microcontrolador PIC16F876	1	15	15
Zocalo de 40 pines	1	1	1
Zocalo de 28 pines	1	0,8	0,8
Puente de diodos 1/2w	1	1,2	1,2
Switch	1	1	1
Transformador 12 0 12 vac	1	30	30
Costo Total S/.			162,3

ETAPA DE POTENCIA			
DISPOSITIVO	Cantidad	Costo unitario S/.	
Puente de diodos 1/2w	1	1,2	1,2
Resistencia 1K 1/2W	2	0,3	0,6
Resistencia 39 10W	1	1	1
Resistencia 220 1/4W	1	0,2	0,2
Resistencia 2.7K 1/2W	1	0,3	0,3
Resistencia 10K 1/4W	1	0,2	0,2
Triac Bt136	1	1,5	1,5
Optoacoplador MOC 3010	1	2	2
Optoacoplador 4N25	1	1,5	1,5
Transistor 2N2222	1	0,3	0,3
Diodo 1N4004	1	0,2	0,2
Bornera de 2 entradas	2	1,2	2,4
Zócalo de 6 pines	2	0,4	0,8
Costo Total S/.			12,2

ETAPA DE SENSADO			
DISPOSITIVO	Cantidad	Costo unitario S/.	
Resistencia 220 1/4W	1	0,2	0,2
Resistencia 4.7K 1/4W	1	0,2	0,2
Condensador tantalium 0.1uF/25v	1	1	1
Fotodiodo IR	1	0,8	0,8
Fotoreceptor IR	1	1,5	1,5
Costo Total S/.			3,7

ELEMENTOS ADICIONALES			
ELEMENTOS	Cantidad	Costo unitario S/.	
Cable flexible	2	0,2	0,4
Motor Universal 8000RPM	1	240	240
Carcasa Metálica pintada	1	200	200
Mascara del panel	1	50	50
Cables de alimentación 220vac	2	2	4
Estaño	1	5	5
Pasta de soldadura	1	2	2
Rotor flotante	1	80	80
Tubos	8	20	160
Pernos	12	0,2	2,4
Costo Total S/.			743,8

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
PANEL DIGITAL Y CONTROL DIGITAL	162,3
ETAPA DE POTENCIA	12,2
ETAPA DE SENSADO	3,7
ELEMENTOS ADICIONALES	743,8
COSTO DE DESARROLLO	500
Costo Total S/.	1422

CUADRO COMPARATIVO DE LAS CARACTERISTICAS DE LA CENTRIFUGA CON UNA CENTRIFUGA COMERCIAL	
Modelo MPW-350e empresa Rose Scientific Inc	Prototipo Centrifuga
Caracteristicas y beneficios	
Motor libre de mantenimiento	Motor de tipo Universal con mantenimiento en sus carbones
Control con microprocesador para una selecci3n digital del tiempo y velocidad	Control con microcontrolador para un control de la velocidad y para una selecci3n digital de los datos de tiempo y velocidad
Pantalla LCD digital que muestra los parametros actual de trabajo(velocidad y tiempo)	Pantalla GLCD donde se muestra los datos actuales de tiempo, velocidad e indicadores graficos de la puerta, encendido y velocidad
Optimizaci3n en el tiempo de aceleraci3n y desaceleraci3n	Sistema con regulaci3n de la velocidad
Sistema de control simple y forma ergonomica	Panel digital de manejo sencillo
Teclas de uso corto	Menu de teclas para acceso sencillo
Sistema de proteccion de desbalance	Sin desbalance

	Sistema sonoro y visual de operación no permita
	Sistema con freno electronico
Características de seguridad	
No es posible empezar cuando la puerta esta abierta	No es posible empezar cuando la puerta esta abierta
Impide continuar con la centrifugacion si la puerta esta abierta	Impide continuar con la centrifugacion si la puerta esta abierta
Chasis de metal	Chasis de metal
	Proteccion con fusible
Especificaciones Tecnicas	
Alimentacion electrica 110v/60Hz	Alimentacion electrica 220v/60Hz
Cosumo de Energia 225W	Cosumo de Energia 381W
Maxima Capacidad 240ml	Maxima capacidad 240ml
Velocidad de 300 - 4300 rpm	Velocidad de 1000 - 5000 rpm
Tiempo 0-99min	Tiempo 1-99min
Maxima FCR(para 14,6cm) 318xg	Maxima FCR(para 14,6cm) 430xg
Dimensiones(mm) 510x410x370	Dimensiones(mm) 520x400x450
Peso sin accesorios 3,5Kg	Peso sin accesorios 3,5Kg
Costo	Costo
\$5115,94	\$474 cambio (S/.3,00)

Capítulo 8. APORTES Y CONCLUSIONES

En este trabajo se ha utilizado la tecnología digital para mejorar el diseño analógico que opera sobre una centrifuga de tipo clínica; este nuevo diseño, se desarrollo pensando en la relación entre el costo de fabricación y las características de funcionamiento, debido a que un objetivo de este trabajo es disminuir los costos de fabricación sin dejar de lado la funcionalidad y el correcto desarrollo de la centrifugación.

Los avances de la tecnología digital permiten que los dispositivos realicen múltiples tareas con una alta precisión, además cada vez son mas pequeños y baratos razones por las cuales se opto por esta tecnología, es así que el hardware utilizado en este prototipo, es de bajo costo comparado a sus similares de hardware analógico existentes en el mercado.

La centrifuga digital diseñada utiliza en un hardware sencillo una pantalla GLCD monocromática con luz de fondo para ambientes en donde se lo requiera, esta pantalla permite visualizar los datos de tiempo y velocidad que se ingresan, además que permite ver los estados de velocidad, tiempo de ejecución y la alarma, es por estas razones que se trabajo con esta pantalla ya se obtiene una mejor presentación al usuario además que facilita su diseño.

Debido a que en el hardware analógico no hay una supervisión de la velocidad, este diseño falla con el uso constante es así que se desarrollo un sistema que permite verificar y controlar el estado de la velocidad durante la centrifugación, mediante un controlador digital PID, para su desarrollo se realizaron varios ensayos que fueron verificados mediante la adquisición de datos en la PC.

Este diseño se realizo pensando en la seguridad del usuario, es así que se utilizaron optoacopladores para realizar el aislamiento entre el voltaje de línea y la alimentación del panel frontal, sistema a tierra para las descargas, y protección con fusible, en este trabajo también se detalla los pasos necesarios para el uso y el mantenimiento de la centrifuga, y se describen las normas de seguridad EN

Como trabajo a futuro a este proyecto se le puede adicionar algunas características mas como un sistema de memorización de datos de centrifugación, que permite realizar la operación de ingreso de datos de una manera más rápida, también es posible añadir un sistema electrónico de control de desbalance de carga estas y otras características adicionales dependen de la aplicación y necesidades del usuario.

Referencias Bibliográficas

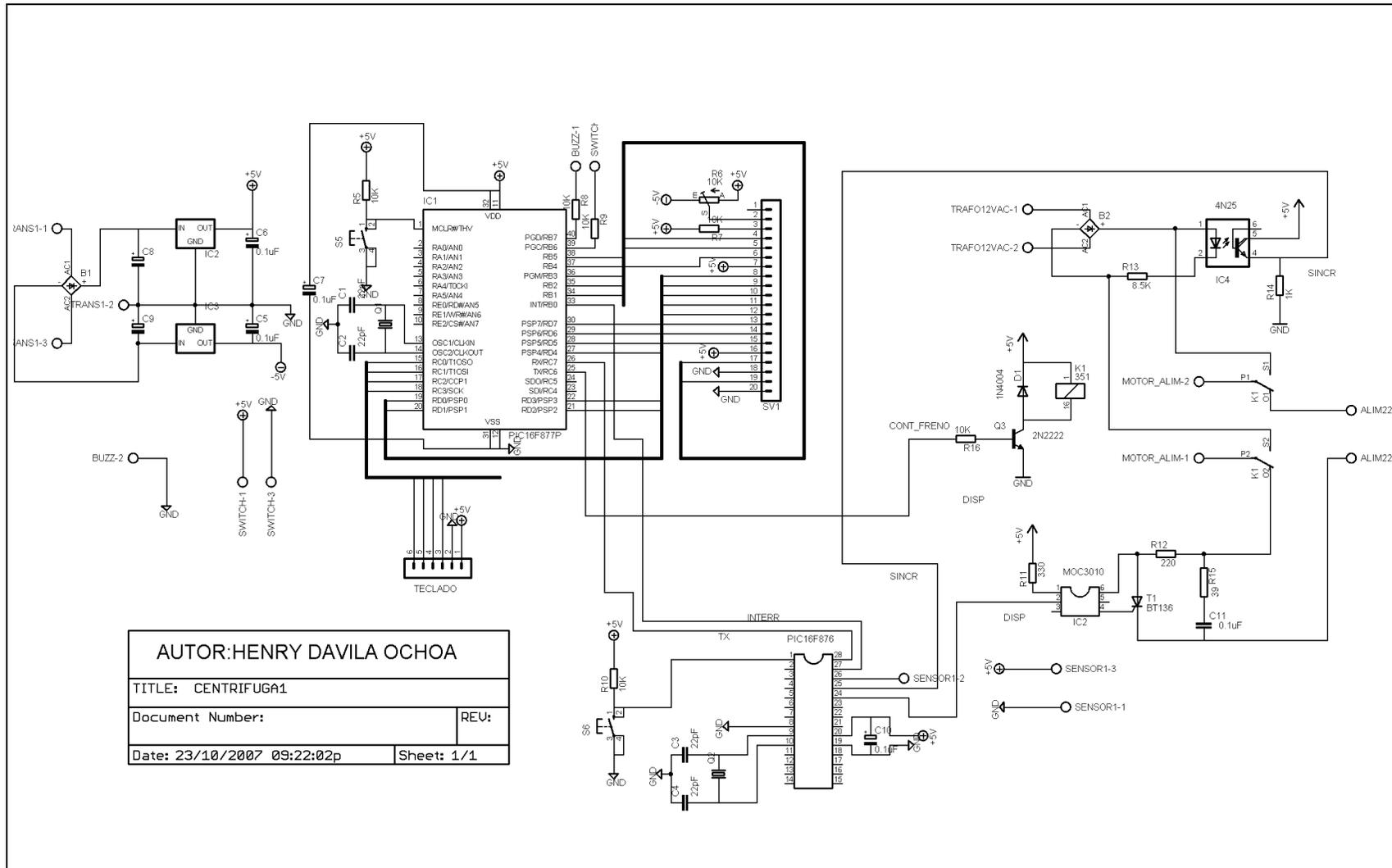
- [1]. http://www.coleparmer.com/techinfo/techinfo.asp?htmlfile=basic-centrifugation_SP.htm&ID=910
- [2]. http://mx.geocities.com/maurtis_mxobl/diapos/Centrifu.pdf
- [3]. Dogan Ibrahim, PIC BASIC projects editorial Elsevier 2006
- [4]. Michael A. Jonson and Mamad H. Moradi, PID Control New Identification and Design Methods editorial Springer 2006
- [5]. Antonio Visioli, Practical PID control, editorial Springer 2006
- [6]. Maloney Timothy J Electrónica Industrial Moderna, editorial Pearson Prentice may 2006
- [7]. Martín Bates, Interfacing PIC Microcontrollers, editorial Newnes 2006
- [8]. Gregory K McMillan Good Tuning: A Pocket Guide, publicado por ISA ,the instrumentation Systems and Automation Society
- [9]. R. Bosch Speed Control Circuit for universal motor
<http://www.google.com/patents?hl=en&lr=&vid=USPAT5530325&id=Mh8fAAAAEBAJ&oi=fnd&dq=Bosch+Speed+Control+Circuit+for+universal+mot>
- [10]. James T. Hardin, Dynamic Braking for universal motors
<http://www.google.com/patents?hl=en&lr=&vid=USPAT3673481&id=y7E7AAAAEBAJ&oi=fnd&dq=%22Dynamic+Braking+for+universal+motors%22>
- [11]. <http://www.microchip.com>
- [12]. M. Rachid Chekkouri; J. L. Romeral Martínez ,Supervisión Difusa de un Regulador PID de Velocidad Departament d'Enginyeria Electrònica. Universitat Politècnica de Catalunya <http://www.jcee.upc.es/JCEE2001/PDFs%202000/20rachid.pdf>
- [13]. Vincent Himpe Visual Basic for Electronics Engineering Applications second edition 1999

CRONOGRAMA DEL TRABAJO

	1er mes	2do mes	3er mes	4to mes	5to mes	6to mes
Estudio del proceso de la centrifugación	X					
Diseño de las etapas en el prototipo	X					
Ensayos de las etapas de los prototipos		X				
Estudio de la programación en PICBASIC		X				
Pruebas de la programación			X			
Pruebas usando las etapas del prototipo			X			
Estudio del algoritmo PID digital				X		
Pruebas del algoritmo PID en la centrifuga				X		
Ensayos del sistema completo					X	
Informe de los resultados de la tesis						X

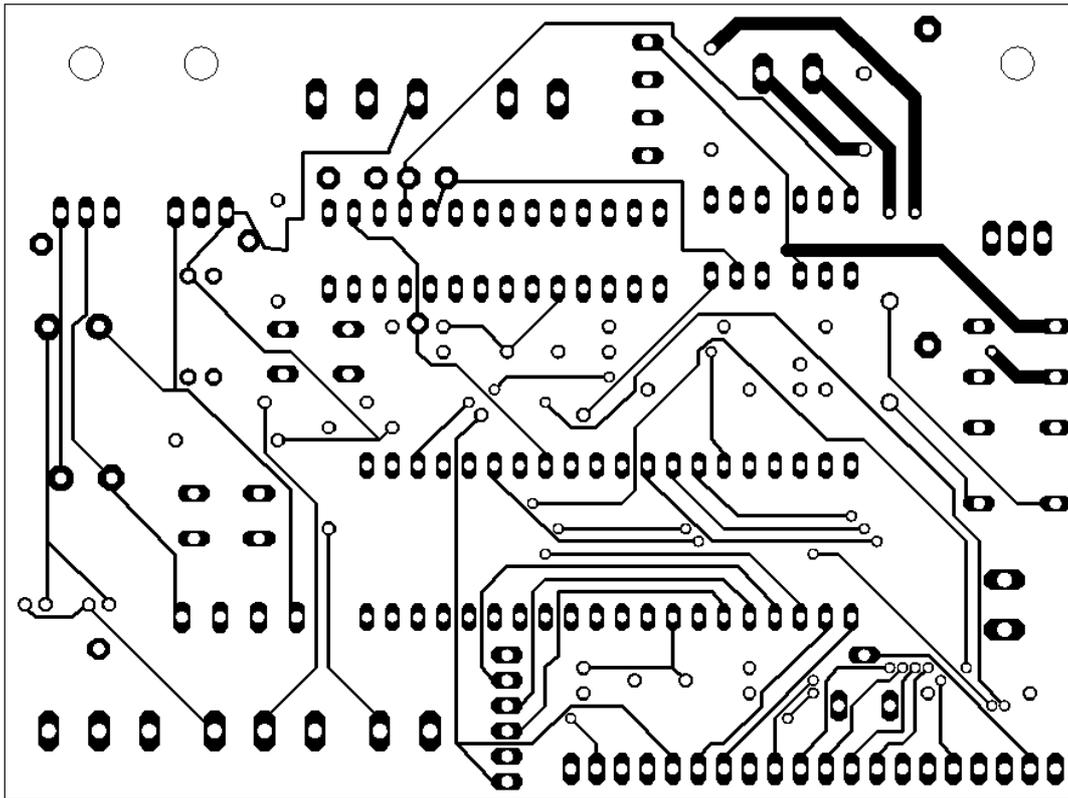
CRONOGRAMA DE FABRICACION

	1er día	2do día	3er día	4to día	5to día
Fabricación de la carcasa	X				
Fabricación de las tarjetas impresas	X				
Ensamblado e instalación		X			
Pruebas de la programación en la tarjeta			X		
Mediciones en la tarjeta				X	
Pruebas en el producto terminado					X

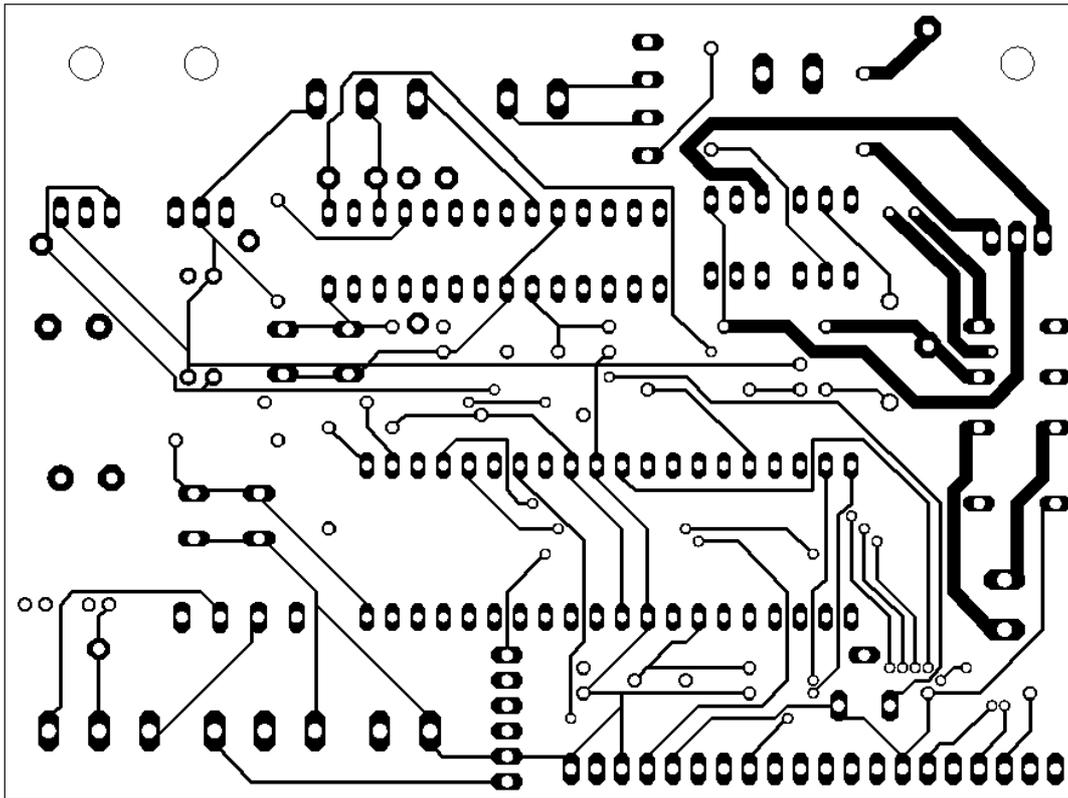


ESQUEMATICO DE LA TARJETA PRINCIPAL DE LA CENTRÍFUGA EN DISEÑO FINAL

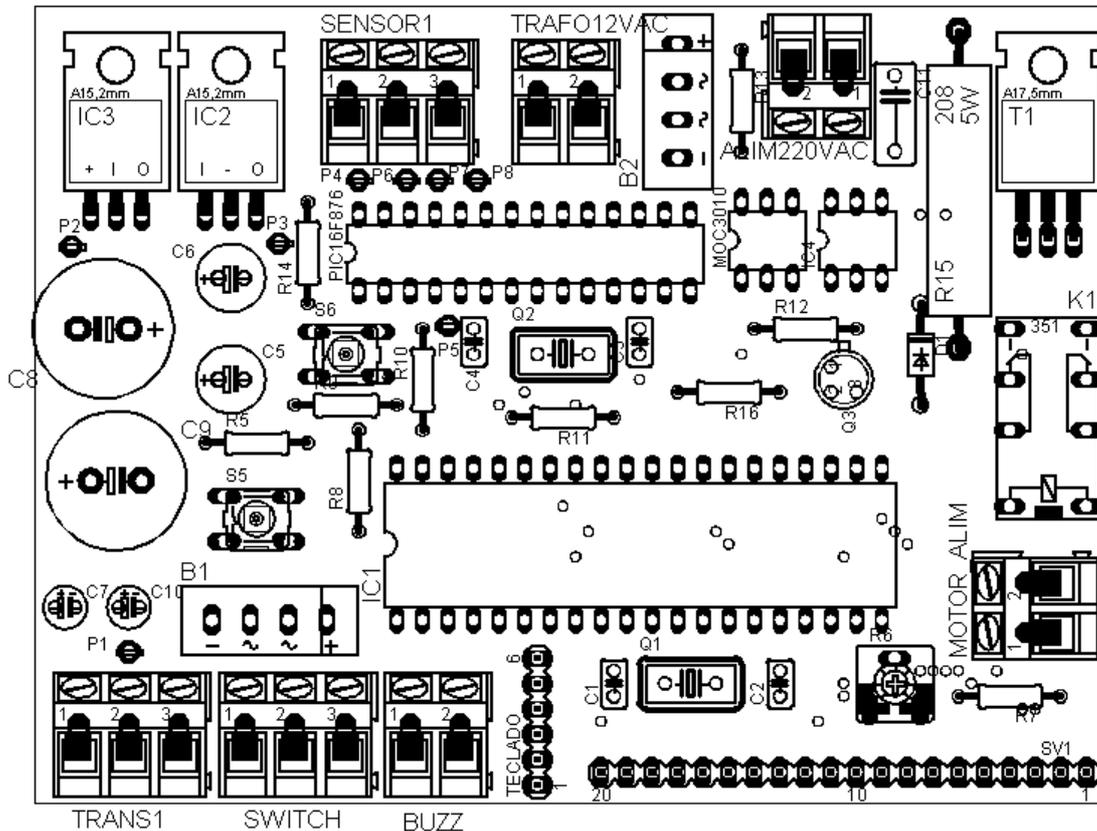
VISTA INFERIOR (BOTTOM LAYER)



VISTA SUPERIOR (TOP LAYER)



MEDICIONES EN LOS PUNTOS DE PRUEBA EN LA TARJETA DE LA CENTRIFUGA



- P1 Punto de referencia a tierra
- P2 -5v
- P3 5v
- P4 transmisión 8N1 con 8 bits de dato con valores de 1,2,3..9
- P5 5v si se envía la transmisión 8N1
- P6 entrada del sensor es un pulso de 5v si se recibe una revolución
- P7 entrada de sincronismo pulsos de 5v a una frecuencia de línea (60Hz)
- P8 salida de disparo señal de 5v PWM(modulación de ancho de pulso) con frecuencia doble de línea (120Hz)