

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE VELOCIDAD ELECTRÓNICO PID PARA UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

GUACHAMÍN CHEZA VICENTE PATRICIO
vguachamin@gmail.com

DIRECTOR: ING. CARLOS ROMO
carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, Enero, 2012

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por el Sr.
Vicente Patricio Guachamin Cheza, bajo mi supervisión.

Ing. CARLOS ROMO
DIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo Vicente Patricio Guachamin Cheza declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo descrito por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Vicente Patricio Guachamin Cheza

AGRADECIMIENTO

A Dios el creador por haberme permitido la culminación de la carrera universitaria, a mis padres, hermanos y a mis amigos que me han acompañado durante esta etapa de mi vida.

Al Ing. Carlos Romo Director de Tesis; gran baluarte para la finalización de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres: Luz y José, hermanos: Andrés y María José, mi amor Lorena y todas aquellas personas que me brindaron su apoyo y que de una u otra manera me ayudaron para la realización y culminación de mismo.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	6
CAPITULO I	11
GENERALIDADES	11
1.1 INTRODUCCIÓN	11
1.2 TERMINOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL CONTROL AUTOMÁTICO	12
1.2.1 Planta.....	12
1.2.2 Procesos.....	12
1.2.3 Sistemas.....	13
1.2.4 Perturbaciones.....	13
1.2.5 Control realimentado.....	13
1.2.6 Función de transferencia.....	13
1.3. APLICACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO.....	13
1.3.1 Control on-off	14
1.3.2 El principio de realimentación.....	16
1.3.3 Definición de control proporcional P	17
1.3.4 Definición de control proporcional integral PI	19
1.3.5 Definición de control proporcional derivativo PD	21
1.3.6 Definición de control proporcional integral derivativo PID	22
CAPITULO II	23
MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA	23
2.1 Principio de funcionamiento	23
2.2 Partes de un motor de corriente continua	25
2.2.1 Estator o carcaza	25
2.2.2 Zapatas polares	26
2.2.3 Bobinas de excitación	26

2.2.4. Rotor o inducido	27
2.2.5. Elementos auxiliares	27
2.2.5 Porta escobillas y escobillas	28
2.2.6 Ventilador	29
2.3 Clases de motores de corriente continua	29
2.3.1 Motor serie	29
2.3.2 Motor derivación	30
2.3.3 Motor compuesto	31
2.4 Métodos de control de velocidad del motor dc	33
2.4.1 Control por resistencia del inducido.	33
2.4.2. Voltaje de inducido constante, excitación de campo controlada	34
2.4.3. Corriente de campo constante, voltaje de inducido controlado	34
2.5 Función de transferencia de un motor dc.....	36
2.6 Protecciones electrónicas.....	38
2.6.1 Redes snubber de protección para transistores de potencia	38
2.6.2 Red snubber de encendido	38
2.6.3 Red snubber de apagado	40
2.6.4 Red snubber de sobrevoltaje	41
2.7 Fusibles	42
2.7.1 Definición	43
2.7.2 Dimensionamiento del fusible	43
3.8 EMI (interferencia electromagnética	47
2.8.1 Definición de EMI	47
CAPITULO III	48
DISEÑO DEL MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO.....	48
3.1 MATERIALES	48

3.1.1 Motor dc	48
3.1.2 Mosfet	49
3.1.3 LCD 20x4 [10]	50
3.1.4 Teclado matricial [10]	52
3.1.5 Microcontrolador	53
3.2 Construcción del modulo pid.....	54
3.2.1 Modelo teórico del motor de corriente continua	54
3.2.2 Alimentación del motor, y conexión al módulo de control.....	56
3.2.3 Referencia.....	56
3.2.4 Circuito de potencia.....	57
3.2.5 Sensor de velocidad.....	59
3.2.6 Visualización.	59
3.2.7 Explicación del control pid digital.....	60
3.2.8 Regulación de la velocidad de un motor dc en lazo abierto.	61
3.2.9 Regulación de la velocidad de un motor dc en cadena cerrada.....	62
3.2.10 Calibración de KP, KI, KD	63
CAPITULO IV	65
HMI (INTERFAZ HUMANO MÁQUINA) CON LABVIEW	65
4.1.2. Definiciones básicas del software labiew	66
4.2. Comunicación con labview del control pid	66
4.3 Compilador	67
4.3.1 Forma de programar con el bascom avr:	68
CONCLUSIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA	72
ANEXO 1.....	73
1. PASOS PARA PREPARAR UN CIRCUITO EN BAQUELITA	74

1.1 Creación de las pistas.....	74
1.2 Impresión de las pistas.....	75
1.3 Preparación de la baquelita	75
1.3.1 Procedimiento	76
1.4 Transferencia térmica	77
1.4.1 Materiales.	77
1.5 Transferencia térmica	78
1.6 Proceso de atacado (reducción) del cobre	78
materiales.....	78
1.7 Proceso de limpieza de la placa ya atacada con ácido.	80
1.8 Perforación de la placa	82
1.9 Soldadura de los elementos	82
ANEXO 2.....	84
CÓDIGO FUENTE	85
ANEXO 3.....	99
3 DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL ATMEGA 16.....	100
3.1 Descripción de pines [12].....	101
3.2 Diagrama de bloques del atmega 16.....	103
ANEXO 4.....	104
4 DIAGRAMA DE PISTAS DEL CIRCUITO CONSTRUIDO	105

RESUMEN

El presente proyecto es la implementación de un sistema automático para el control de un motor DC mediante la utilización de microcontroladores.

El control es básicamente a través del microcontrolador ATMEGA 16 el cual recibirá señales desde un tacómetro y será comparada con la velocidad de seteo que el usuario seleccionará. El control PID será capaz de detectar cambios de velocidad tanto en vacío como con carga y tendrá que mantenerla en el valor seteado de forma muy rápida.

El ingreso de valores de velocidad será introducido por medio de un teclado matricial y los valores serán vistos a través de un display.

El tipo de control que estamos utilizando es a través de la modulación por ancho de pulso PWM el cual es obtenido desde el microcontrolador y va hacia el motor por medio de transistores de potencia.

La función básica de un controlador es la de comparar el valor real de la salida de una Planta $c(t)$, con la entrada de referencia $r(t)$ (valor deseado), determinar el error $e(t)$, y producir una señal de control que reducirá el error a un valor próximo a cero. Las especificaciones para un problema de control son dadas con frecuencia en el dominio del tiempo, y usualmente incluyen una cierta respuesta transitoria y un error en estado estacionario, para una entrada específica.

CAPITULO I

GENERALIDADES

Actualmente el control automático ha desempeñado una función importante en el avance de la tecnología. Además de su gran importancia en los sistemas de vehículos espaciales, de guiado de misiles, control de prensas, sistemas robóticos y similares; el control automático se ha vuelto una parte muy importante e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura. Por ejemplo, el control automático es esencial en el control de las máquinas-herramienta como tornos, fresas, prensas, medidores y controladores de flujo entre otros, además en las industrias de manufactura, en el diseño de sistemas de pilotos automáticos en la industria aeroespacial, y en el diseño de automóviles y camiones en la industria automotriz. También es esencial en las operaciones industriales como el control de velocidad de motores eléctricos, presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en las industrias de proceso.

1.1 INTRODUCCIÓN

El Control Automático ha tenido un rápido desarrollo en los últimos años. Sin embargo a lo largo del tiempo ha sufrido un proceso de evolución que se inició aproximadamente en el año 300 a.C., cuando los griegos empezaron a tener la necesidad de medir empíricamente el tiempo, y que ha continuado con etapas tan importantes como lo fueron la Revolución Industrial y las Guerras Mundiales.

Cuando la máquina de vapor fue inventada y se dio inicio a la Revolución Industrial, se inició paralelamente la necesidad de realizar un sistema de control para poder manipular los diferentes parámetros de esta máquina. Un ejemplo de esto fue el desarrollo del regulador de presión con el fin de controlar este parámetro en el sistema.

En resumen, a lo largo de la historia, el desarrollo de esta gran área ha estado estrechamente relacionado con la necesidad de los diferentes grupos humanos de manipular los sistemas con el objeto de conseguir que la vida de cada persona sea más fácil y placentera.

El control PID (proporcional, integral, derivativo) es uno de los controles más usados desde hace mucho tiempo sin que se tenga claramente su concepto y su aplicación práctica en la industria.

El control PID es simplemente un control realimentado el cual logra que el error en estado estable entre la señal de referencia y la señal real de salida sea prácticamente cero y además logra anticiparse al futuro lo cual significa que es capaz de predecir el cambio que sufrirá la salida ante un cambio que ocurra en el sistema.

El control PID es excelente para resolver problemas en un sistema dinámico como por ejemplo un control de nivel, velocidad de motores, control de flujo, control de temperatura etc. En donde se necesita respuestas muy rápidas y bastante precisión en sus valores de referencia; un ejemplo típico de este tipo de control lo encontramos en los calderos industriales en donde la temperatura es uno de los principales factores importantes de este proceso; una falla en el controlador PID podría ocasionar una gran explosión en el caldero. Con esto se quiere recalcar la gran importancia que tiene un verdadero control automático y el cuidado que se debe de tener al momento de hacer una calibración.

En la industria encontraremos controladores PID proporcionados por algunos fabricantes. Estos controladores son capaces de manejar varios lazos de control a la vez, lo cual facilita actividades repetitivas en un sistema, se puede decir que casi el 90% de máquinas y herramientas modernas poseen este tipo de control internamente ensamblado y considerado como secreto para los fabricantes debido a las prestaciones y soluciones que da este tipo de controladores.

1.2 TERMINOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL CONTROL

AUTOMÁTICO

1.2.1 PLANTA. Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, en fin llamaremos planta a cualquier objeto físico que se va a controlar; tal como un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o un motor.

1.2.2 PROCESOS. Un proceso es una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se

sucedan uno al otro en una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados.

1.2.3 SISTEMAS.Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y cumplen un objetivo determinado. Un sistema no necesariamente es físico. El concepto de sistema se aplica a fenómenos abstractos y dinámicos, tales como los que se encuentran en la economía o en otras ciencias. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse como una implicación de sistemas físicos, biológicos, económicos y similares.

1.2.4 PERTURBACIONES.Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema, un ejemplo típico de perturbación puede ser el ruido eléctrico que genera una licuadora hacia un televisor al momento de ser encendida.

1.2.5 CONTROL REALIMENTADO.El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir el error entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo continúa haciendo con base en esta diferencia.

1.2.6 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA. La función de transferencia consiste en un modelo matemático que representa la dinámica de un sistema con precisión, ya sean mecánico, eléctrico, térmico, económico, biológico, etc. Dichos modelos se obtienen a partir de leyes físicas que gobiernan un sistema determinado, como las leyes de Newton para sistemas mecánicos y las leyes de Kirchhoff para sistemas eléctricos.

1.3. APLICACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático es aplicable a todo proceso en donde se tenga salidas y entradas definidas y manipulables por ejemplo temperatura, presión, velocidad, nivel, etc. En la figura 1.1 podemos ver una aplicación para el control de nivel de líquido en un tanque, donde tenemos un controlador PID que está recibiendo señales de nivel de líquido desde un transductor y está comparando con un setpoint y a través de un actuador en este caso válvulas hace la apertura o cierre para el paso del líquido y mantener un nivel constante. Con la aplicación de este tipo de control se logra suprimir acciones repetitivas e inexactas por ejemplo la

calibración de temperatura, presión, nivel donde se requiere exactitud y al hacerlo de manera manual no se logra un punto exacto de calibración y por ende se obtendrá un producto con diferentes características.

La finalidad de este tipo de control es lograr vencer todos estos inconvenientes y obtener un producto homogéneo y de excelente calidad que puede ser competitivo tanto para consumo local como externo.

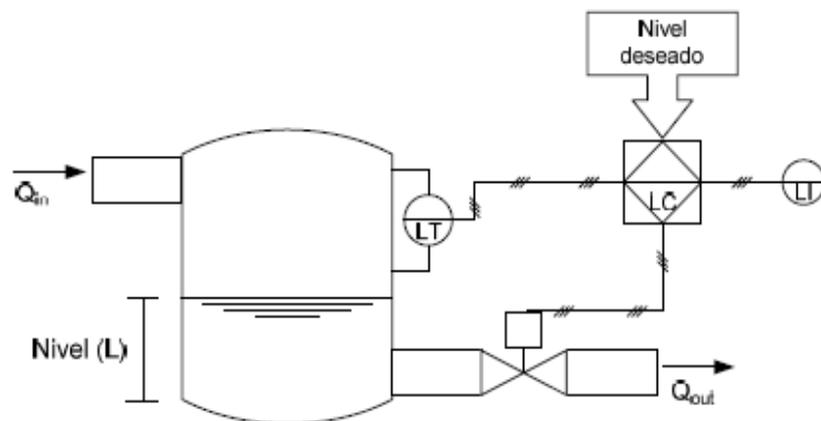


Figura 1.1 Control de nivel de líquido mediante un controlador PID [2]

LT: Transductor de señal.

LC: Controlador PID.

LI: Indicador.

Q: Caudal de entrada o salida de líquido

1.3.1 CONTROL ON-OFF

En el control on-off el elemento final de control se mueve rápidamente entre dos posiciones fijas (encendido y apagado), para un valor único de variable controlada. En la figura 1.2 podremos apreciar claramente este tipo de control, en este caso temperatura la cual se caracteriza por un ciclo continuo de variación de la variable controlada, se puede ver claramente que para un valor específico de temperatura la válvula está encendida y permite el paso de combustible y para otro ésta se encuentra apagada.

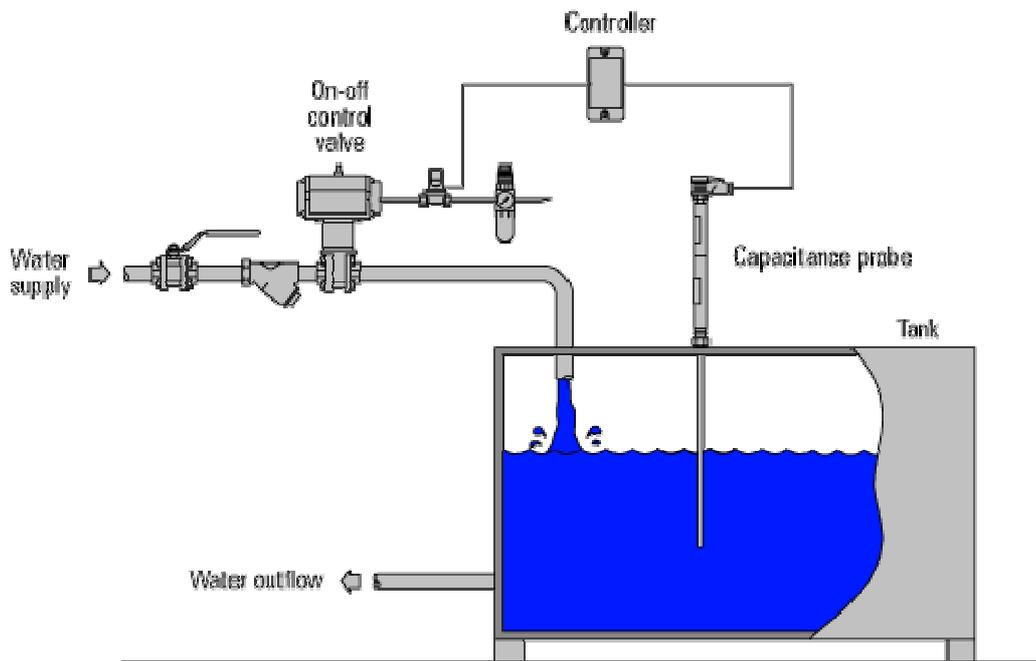


Figura 1.3 Ejemplo de control On Off para llenado de líquido en un tanque

1.3.2 EL PRINCIPIO DE 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 tenido éxito en los campos del control, comunicaciones e instrumentación. Para entender el concepto observemos la figura 1.4 la cual indica el diagrama de bloque del control de nivel de la figura 1.1.

En este esquema se observa cómo la salida es realimentada hacia la entrada, ambas se comparan, y la diferencia que existe entre la entrada, que es la señal de referencia o consigna (señal de mando), y el valor de la salida (señal realimentada) se conoce como error actuante.

Esta señal de error actúa sobre el controlador que a su salida proporciona una señal, la cual a través del elemento actuador, influye en la planta o proceso para que la salida alcance el valor previsto. Se intenta que el sistema siga siempre a la señal de consigna.

Cada bloque indica una parte del sistema, el bloque controlador hace referencia al control PID, el bloque actuador hace referencia a la válvula, el bloque sistema hace referencia al control de nivel, y la realimentación es el transductor que envía las señales para ser comparadas por el controlador PID.

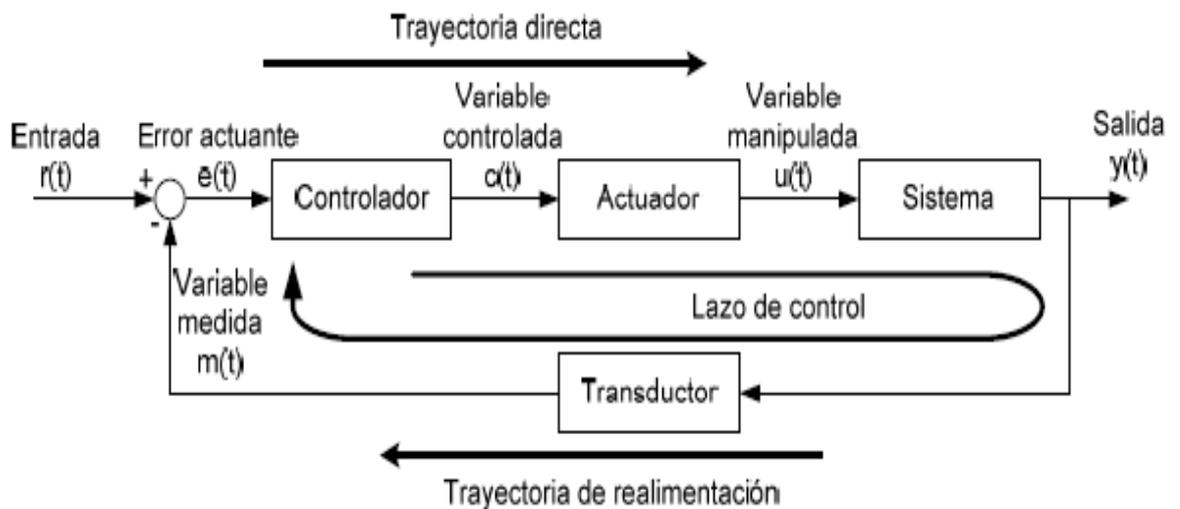


Figura 1.4 Diagrama de bloque de un control de nivel [3]

En este diagrama el proceso y el controlador están representados por cajas negras y las flechas denotan las entradas y salidas a cada bloque. Hay que notar 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.

1.3.3 DEFINICIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL P [2]

El control proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional para que hagan que el error en estado estacionario o estado estable sea casi nulo, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados.

Lo cual implica que

$$k = \frac{100}{Pb}$$

Note que un controlador proporcional actúa como un controlador on-off cuando los errores de control son grandes.

1.3.4 DEFINICIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL PI [2]

El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El error es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un periodo de tiempo determinado; Luego es multiplicado por una constante (T_i) que representa el tiempo integral. Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo proporcional para formar el control $p + i$ con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario, la ecuación característica es:

$$C(s) = \frac{K_p(T_i s + 1)}{T_i s}$$

Resolviendo la ecuación tenemos:

$$C(s) = K_p + \frac{K_p}{T_i s}$$

Sacando factor común finalmente se obtiene:

$$C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$$

Los valores de T_i se obtienen con la tabla 1.5.1 y con la curva de reacción del sistema.

La curva de reacción del sistema se obtiene haciendo trabajar en lazo abierto el sistema en este caso el motor y obtener los valores cuando está en estado estable.

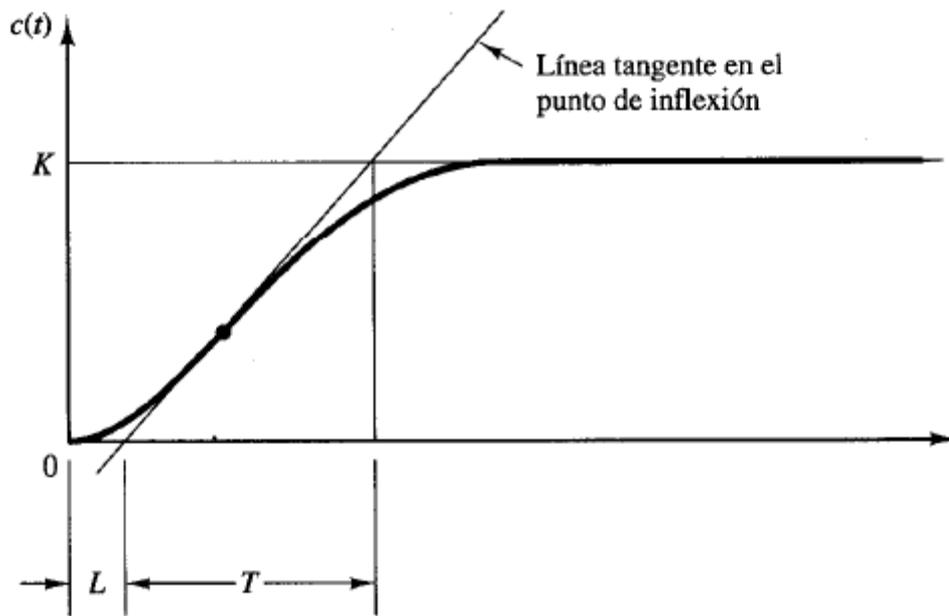


Figura 1.5.1 Curva de reacción de un sistema [2]

T = Periodo.

L = Punto de intersección de la línea tangente al punto de inflexión con el eje del tiempo de la curva de reacción de un sistema.

La curva posee dos ejes, el de tiempo y el de ganancia; en esta tesis se ha tomado curvas típicas de motores obtenidas de libros con similares características al motor utilizado en este proyecto.

Tabla 1.5.1 cálculo de constantes del control PID[2]

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	0.5L

En esta tabla se indica los valores que adquieren T_i , T_d , K_p calculados de acuerdo a la curva de reacción y el tipo de control que estemos usando.

El diagrama de bloques de un control PI es el siguiente (Figura 1.6)

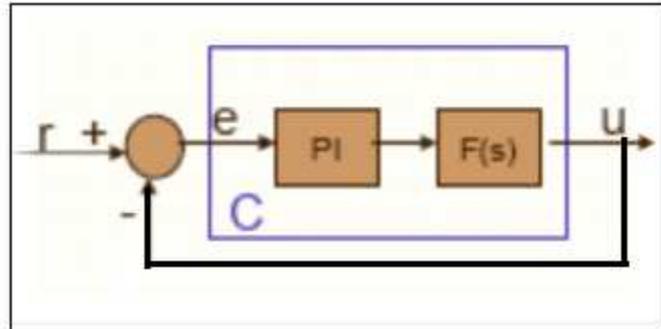


Figura 1.6 Diagrama de bloques de control PI.

1.3.5 DEFINICIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO PD [2]

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral). El error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "Set Point".

La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente. Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente. La ecuación característica es:

$$C(s) = K_p(T_d s + 1)$$

Los valores de T_d se obtiene con el mismo procedimiento del control PI antes mencionado.

El diagrama de bloques es el siguiente (Figura 1.7), donde el bloque C indica el controlador PD, el bloque G es el sistema que se está controlando, E indica el error, y Y la salida del sistema

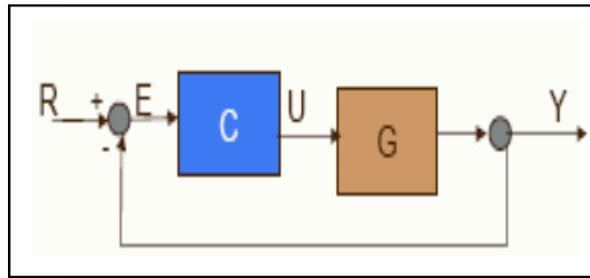


Figura 1.7 Diagrama de bloques de un control PD

1.3.6 DEFINICIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO PID [3]

Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que se utiliza en sistemas de control industriales. Un controlador PID corrige el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar al proceso acorde. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo.

Los valores de se obtiene con el mismo procedimiento antes mencionado para cada controlador.

El diagrama de bloques es el siguiente (Figura 1.8) donde el bloque C indica el controlador PD, el bloque G es el sistema que se está controlando, E indica el error, Y la salida del sistema.

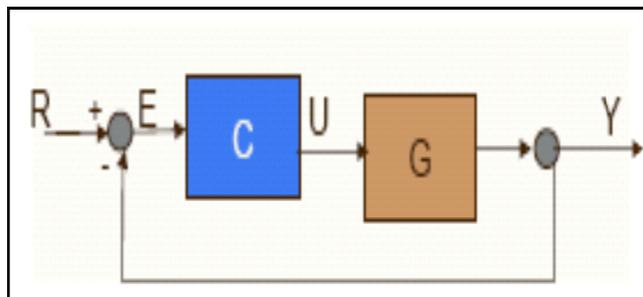


Figura 1.8 Diagrama de bloques de un control PID

CAPITULO II

MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Según la Ley de Lorentz cuando un conductor por el que pasa una corriente eléctrica se sumerge en un campo magnético, el conductor sufre una fuerza perpendicular al plano formado por el campo magnético y la corriente, siguiendo la regla de la mano derecha como se indica en la figura 2.1

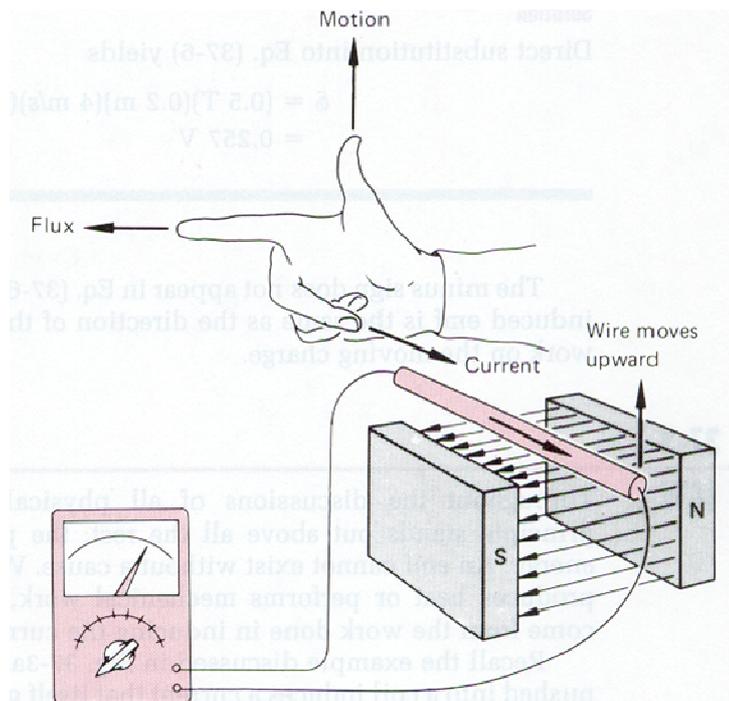


Figura 2.1 Ley de Lorentz

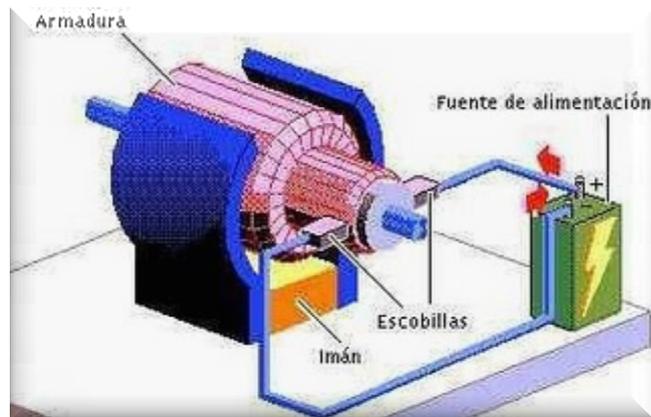


Figura 2.2 Rotor y partes de un motor dc

El rotor no solo tiene un conductor, sino varios repartidos por la periferia ver figura 2.2. A medida que gira, la corriente se activa en el conductor apropiado.

Normalmente se aplica una corriente con sentido contrario en el extremo opuesto del rotor, para compensar la fuerza neta y aumentar el momento.

Si un cable conductor está en presencia de un campo magnético, se ejerce una fuerza sobre el cable de una magnitud dada por la siguiente ecuación:

Dónde:

i = corriente que circula por el cable

B = campo magnético

L = longitud del cable

α = ángulo entre la dirección de la corriente y la dirección del campo magnético.

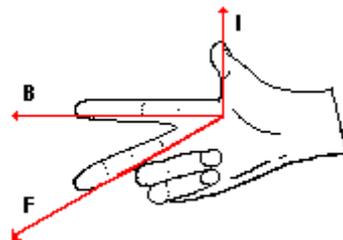


Figura 2.3 Ley de la mano derecha

Si por el cable circula una corriente (i) en el sentido que muestra el dedo pulgar (ver la figura 2.3) y el campo magnético (\mathbf{B}) tiene el sentido que muestra el dedo índice, se ejercerá sobre el cable que conduce la corriente (i) una fuerza (\mathbf{F}) que tiene la dirección mostrada por el dedo medio.

En el caso que hubieran N cables en presencia de un campo magnético, la fuerza magnética inducida será la fuerza en un cable multiplicado por N la fórmula será entonces:

$$F = NiBLsen\alpha$$

2.2 PARTES DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA [6]

Una máquina de corriente continua está compuesta por las siguientes partes:

- Estator
- Rotor o inducido
- Partes auxiliares.

2.2.1 ESTATOR O CARCAZA

Es construido de acero fundido o laminado, no solo sirve de soporte a las demás piezas componentes, sino también que proporciona un camino de retorno para el flujo magnético. (Figura 2.4)

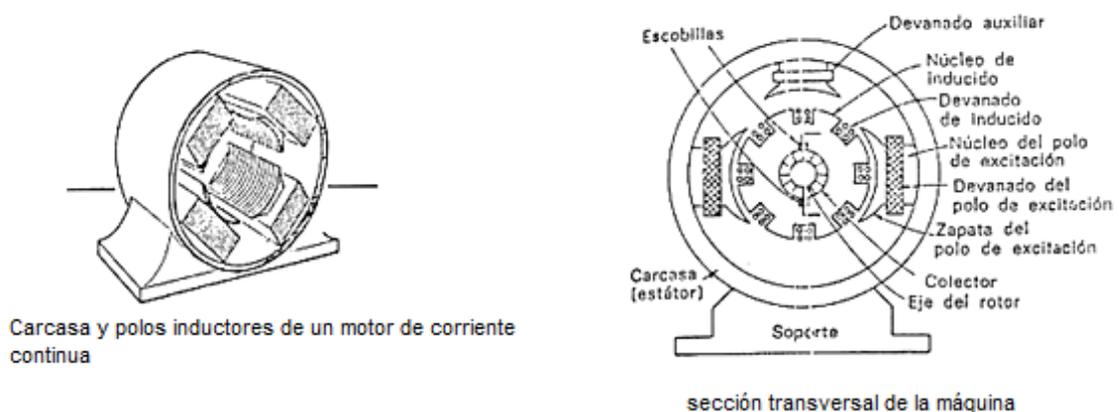


Figura 2.4 Partes de un motor DC [6]

2.2.2 ZAPATAS POLARES [6]

Son elementos que van montados en el interior del cuerpo cilíndrico y montados con ayuda de pernos o van soldados; están contruidos por chapas de acero, tal como se ve en la (Figura 2.5).La zapata polar es curva y más ancha que el núcleo del polo con el fin de distinguir el flujo más uniforme.

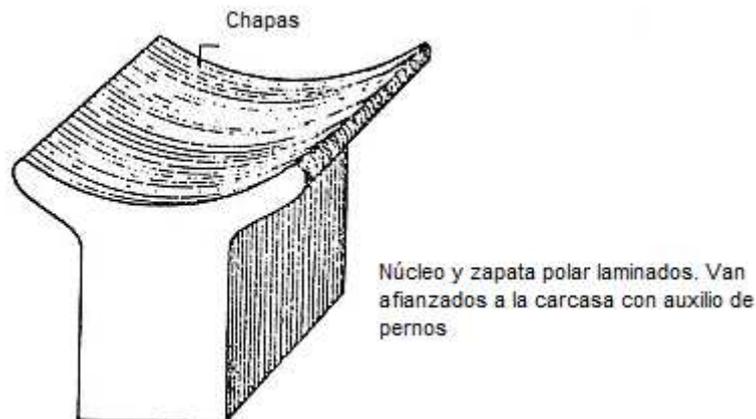


Figura 2.5 Zapatas polares [6]

2.2.3 BOBINAS DE EXCITACIÓN [6]

En máquinas grandes y complejas existen dos tipos de bobinas de excitación, y son bobinas SHUNT y bobinas SERIES

BOBINAS SHUNT: Son bobinas contruidas con alambre delgado y tienen muchas vueltas.

BOBINAS SERIE: Son bobinas contruidas con alambre grueso y tienen pocas vueltas.

Las bobinas son montadas sobre las zapatas polares como se puede ver en la (Figura 2.6)

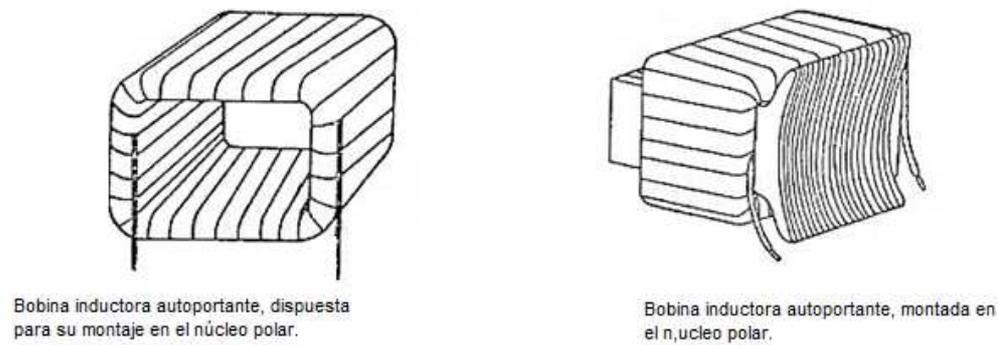


Figura 2.6 Bobinados de un motor DC [6]

En máquinas pequeñas podemos encontrar solamente el bobinado SHUNT, como el caso de dínamos de los automotores; o solamente bobinados SERIE como en el caso de los motores de arranque de los automóviles.

2.2.4. ROTOR O INDUCIDO [6]

Es la parte que gira en la máquina de corriente continua, se la conoce también como ARMADURA y está constituido por un eje de acero, sobre el eje va un núcleo de láminas de acero con canales, sobre los mismos van montadas las bobinas, los terminales de las bobinas van soldadas al colector como se ve en la (Figura 2.7)

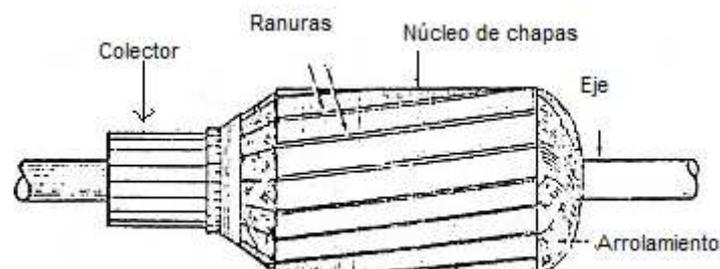


Figura 2.7 Rotor

Inducido de motor de corriente continua con ranuras oblicuas y provistas del bobinado.

2.2.5. ELEMENTOS AUXILIARES[6]

Como elementos auxiliares tenemos las TAPAS o ESCUDOS en número de dos, la frontal y la posterior; en los escudos van montados los cojinetes de bolas o

también en algunas máquinas vienen con bocines de aleación de cobre y un anillo suelto que sirve para salpicar el aceite de lubricación, el detalle puede verse en la (Figura 2.8)

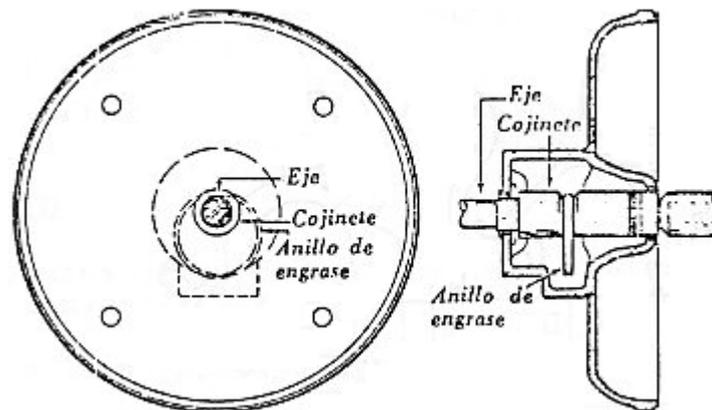


Figura 2.8 Tapas de un motor DC [6]

Cojinete de rebasamiento montado en un escudo

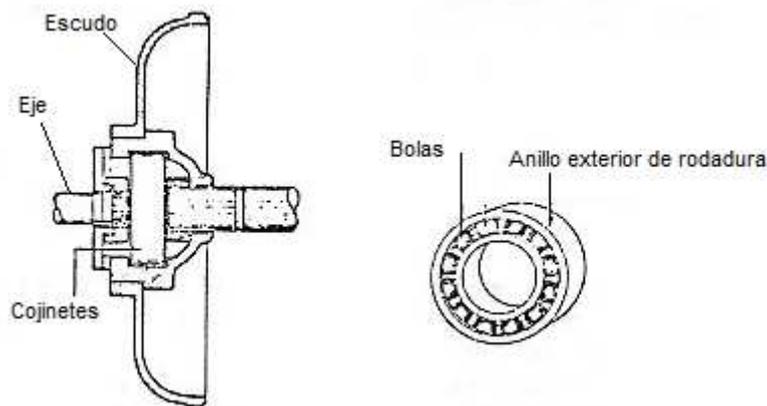


Fig. 2.8 Rodamientos

2.2.5 PORTA ESCOBILLAS Y ESCOBILLAS [6]

Forman parte del circuito de inducido. Las escobillas están formadas de carbón y grafito, sujetos a la estructura del estator y en forma tal que mediante resortes

se asegura que las escobillas mantengan un contacto firme con las delgas del colector.

Las escobillas siempre están en contacto en cada instante a una delga que conecta los terminales de una bobina que se encuentra en la zona interpolar.

En la figura 2.9 se puede apreciar el conjunto de porta escobillas con su escobilla montada en la caja guía, a la derecha se ve la escobilla en su forma característica.

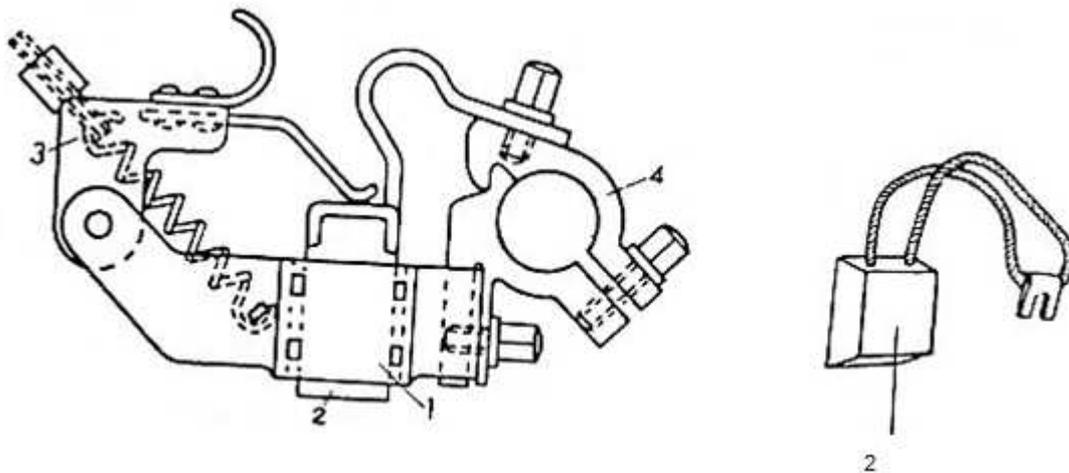


Figura 2.9 Carbones de un motor DC [6]

Disposición de una porta escobillas:

- 1- Caja de guía
- 2- Escobilla
- 3- Perno o anillo de presión
- 4- Pieza de bornes

2.2.6 VENTILADOR

El ventilador va montado sobre el eje y sirve para forzar el aire a través de los bobinados e inducido para producir la refrigeración de la máquina.

2.3 CLASES DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA [6]

2.3.1 MOTOR SERIE

En esta clase de máquinas, el arrollamiento de excitación está conectado en serie con el arrollamiento de inducido figura 2.10. Es decir, que el arrollamiento de

excitación está atravesado por toda la corriente principal, por lo mismo el conductor con el cual están construidas las bobinas será de un conductor grueso y con pocas espiras o vueltas.

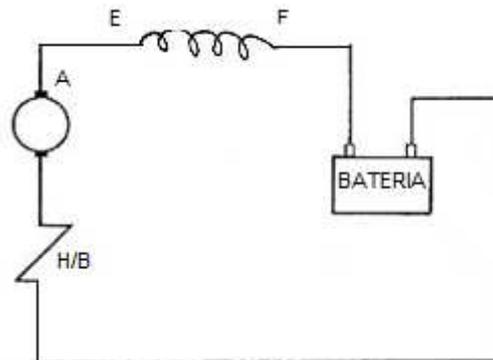


Figura 2.10 diagrama de conexión de un motor serie DC [6]

USOS: Este tipo de motor es muy usado en el arranque de automotores (motor de arranque de autos). Se usa en locomotoras eléctricas, trolebuses, grúas, etc.

2.3.2 MOTOR DERIVACIÓN [6]

A la excitación shunt se la conoce con el nombre de excitación en derivación o paralelo. Las bobinas se conectan en paralelo con el circuito de inducido y son construidas con conductores delgados y muchas vueltas o espiras ver figura 2.11

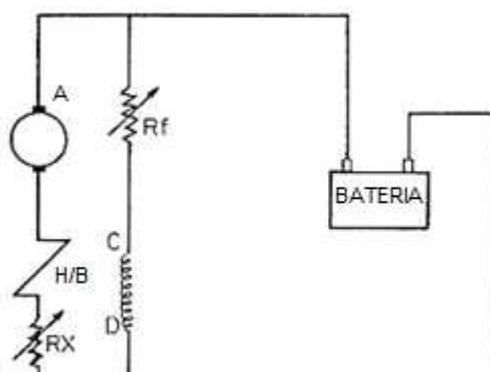


Figura 2.11 diagrama de conexión de un motor en derivación DC [6]

USOS: Se usa mucho en la industria textil, en máquinas, herramientas, para trabajo en madera, para máquinas procesadoras de papel, árboles de transmisión a velocidad constante, etc.

2.3.3 MOTOR COMPUESTO [6]

En algunas máquinas y especialmente máquinas grandes vienen provistos de los dos bobinados a saber el bobinado Shunt y el bobinado Serie. Debe tenerse en cuenta que en las máquinas compuestas, el efecto que produce el bobinado Shunt, debe ser mayor que el efecto que produce el bobinado Serie.

El nombre que toman las máquinas deriva de la posición que tenga en el circuito el bobinado Serie, pudiéndose llamar corto o largo. Además tomará el nombre de acumulativo o diferencial cuando el efecto que produzca el bobinado serie se suma al efecto que produce caso contrario se llamará diferencial. En los diagramas se debe indicar que los flujos se suman o se restan.

2.3.3.1 Motor compuesto acumulativo corto

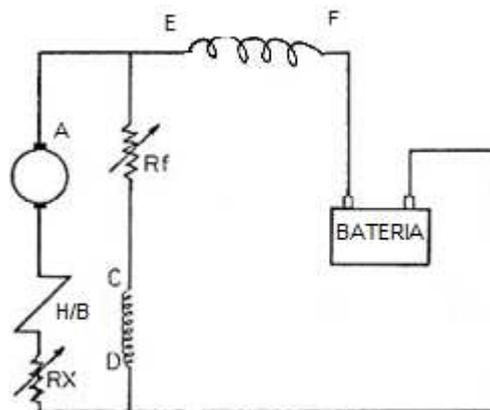


Figura 2.12 Diagrama de conexión de un motor acumulativo corto DC. [6]

USOS: Se usa en cizallas, laminadoras.

2.3.3.2 Motor compuesto acumulativo largo [6]

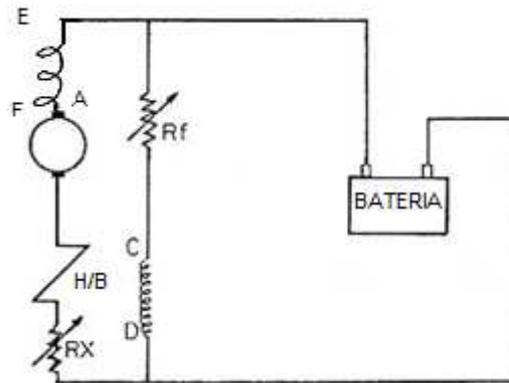


Figura 2.13 diagrama de conexión de un motor acumulativo largo DC

USOS: Los mismos que en el caso anterior.

NOTA: Entre las dos conexiones no hay diferencia en características para efecto de funcionamiento con carga.

2.3.3.3 Motor compuesto diferencial corto

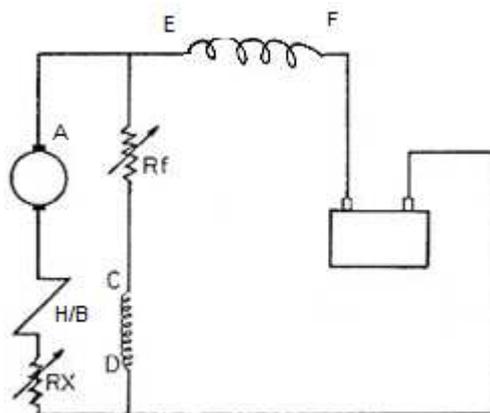


Figura 2.14 diagrama de conexión de un motor diferencial corto DC [6]

USOS: No tiene ningún uso práctico por su inestabilidad.

2.3.3.4 Motor compuesto diferencial largo

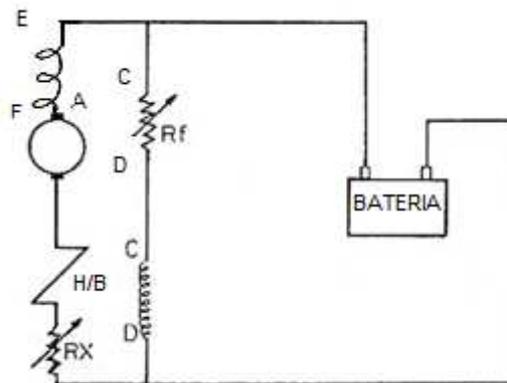


Figura 2.15 Diagrama de conexión de un motor diferencial largo DC [6]

USOS: Los mismos que en el caso anterior

2.4 MÉTODOS DE CONTROL DE VELOCIDAD DEL MOTOR DC [1]

La ecuación característica de la velocidad de un motor de corriente continua viene dada por:

$$\omega = \frac{V_t - I_a R_a}{K_a \phi}$$

Donde V_t es el voltaje de terminales del inducido, I_a corriente de inducido, R_a la resistencia del inducido, ϕ el flujo por polo y K_a una constante fija que da el diseño del inducido. Por otra parte, la velocidad en revoluciones por minuto es:

$$n = \frac{60}{2\pi} \frac{V_t - I_a R_a}{K_a \phi}$$

Por lo tanto el control de velocidad puede obtenerse al ajustar cualquiera de las tres cantidades R_a , ϕ y V_t .

2.4.1 CONTROL POR RESISTENCIA DEL INDUCIDO.

La velocidad puede reducirse colocando resistencia externa en serie con el circuito del inducido, puede usarse con motores en serie, en derivación y compuestos. Para los dos últimos tipos, la resistencia en serie debe conectarse entre el campo en derivación y el inducido y no entre la línea y el motor.

En el control de velocidad para los motores en serie, para un valor fijo de la resistencia en serie, la velocidad varía ampliamente con la carga puesto que depende de la caída de voltaje en esta resistencia y, por lo tanto, de la corriente de inducido que requiere la carga. También, la pérdida de potencia en la resistencia externa es grande especialmente cuando la velocidad se reduce considerablemente. Por otra parte, el equipo de control es relativamente económico. El método de resistencia en serie se usa frecuentemente en períodos de duración corta o desaceleraciones intermitentes.

2.4.2. VOLTAJE DE INDUCIDO CONSTANTE, EXCITACIÓN DE CAMPO CONTROLADA [4]. Este es un método sencillo y satisfactorio para el control de la velocidad de un motor en derivación o compuesto en un rango de velocidades de 4 ó 5 a 1, aproximadamente.

La excitación de campo se controla mediante la variación del voltaje aplicado al circuito de campo o mediante una resistencia ajustable, en serie con el campo en derivación. La pérdida de potencia en la resistencia es relativamente poca debido a que la corriente de campo es pequeña comparada con la corriente del inducido.

El par máximo permisible se limita de acuerdo con la corriente de inducido y el flujo máximo permisibles. Este último se limita mediante la saturación magnética o el calentamiento del arrollamiento de campo. La velocidad máxima se determina por medio de la conmutación y las consideraciones de tipo mecánico.

2.4.3. CORRIENTE DE CAMPO CONSTANTE, VOLTAJE DE INDUCIDO CONTROLADO [4]. Este sistema es el que más se emplea cuando se requiere un control de velocidad manual o automático en un rango amplio y en ambas direcciones de rotación.

El voltaje de inducido controlado puede obtenerse mediante rectificadores controlados que reciben la potencia de entrada de una fuente AC, o provenir de un generador de corriente continua excitado independientemente. Debido a su importancia especial, se dedica al sistema de generador y motor excitado independientemente, llamado comúnmente sistema Ward Leonard. El sistema básico se muestra esquemáticamente en la Figura 2.16 Se supone que el generador se impulsa a una velocidad constante ω_g , su campo se excita

independientemente desde una fuente de voltaje , el motor se excita independientemente con una corriente de campo constante , la resistencia combinada de los circuitos de inducido del generador y del motor, en serie, es R_a .

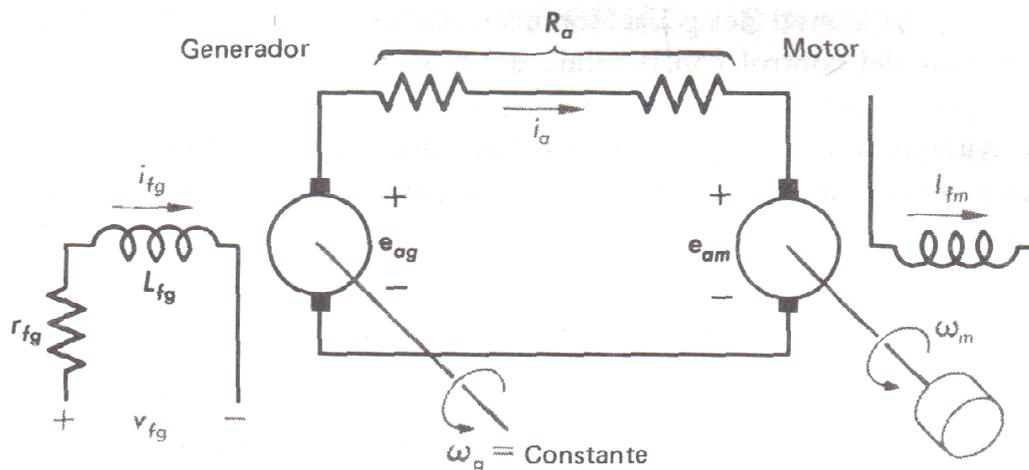


Figura 2.16 diagrama eléctrico de un motor DC

Generalmente se desprecian las inductancias de los inducidos; Las corrientes i_a y las FEM internas e_{ag} y e_{am} se indican mediante letras minúsculas porque varían con el tiempo a medida que se ajusta la velocidad del motor.

Con su flujo de campo constante, la velocidad del motor es directamente proporcional a la FEM. El valor de e_{am} se determina por medio del voltaje generado deduciéndole la caída de $i_a R_a$. El voltaje e_{am} puede controlarse fácilmente al ajustar el voltaje de campo V_{fg} o la corriente de campo i_{fg} . De este modo, los ajustes del nivel relativamente bajo de potencia en el campo del generador proveen un control excelente de la velocidad de salida del motor en un rango amplio.

La inversión de la polaridad de V_{fg} produce la inversión de la rotación del motor.

Los cambios de velocidad no suceden instantáneamente con los ajustes del campo del generador. Se requiere tiempo para cambiar la corriente i_{fg} en el arrollamiento inductivo del campo y para acelerar o desacelerar la inercia del inducido del motor e impulsar el equipo a la nueva velocidad.

2.5 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE UN MOTOR DC

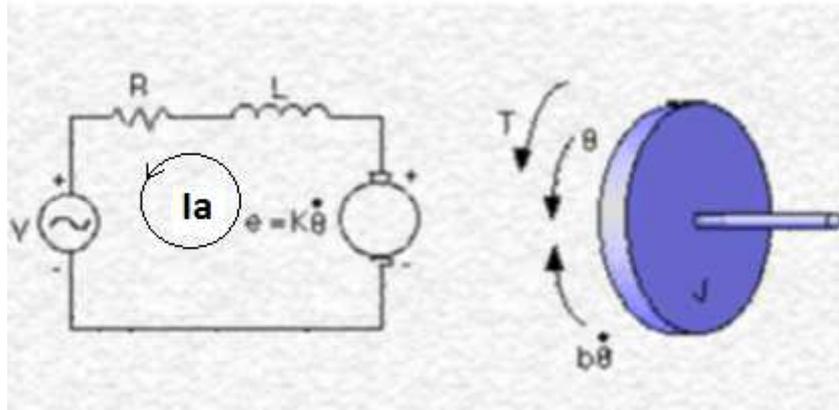


Figura 2.17 Función de transferencia de un motor DC [7]

El motor tiene un eje rígido, por medio de sus ecuaciones eléctricas y mecánicas, al relacionarlas, podemos obtener el modelo del motor en el cual la entrada es el voltaje aplicado y la salida es la velocidad rotacional del eje, para esto es necesario conocer los diferentes parámetros de los que se encuentra compuesto:

- Momento de inercia del rotor J .
- Torque del moto (T)
- Coeficiente de amortiguamiento del sistema mecánico (B).
- Constante de fuerza electromotriz $K=K_e=K_t$.
- Resistencia eléctrica (R).
- Inductancia eléctrica (L).
- Voltaje de armadura. (V_a)
- Corriente de armadura (i_a)
- Velocidad rotacional del eje. (w)

Las ecuaciones eléctricas:

$$V_a = Ri_a + L \frac{di_a}{dt} + e_a \quad \text{ec. (1)}$$

$$e_a = wk_e \quad \text{ec.(2)}$$

Ecuaciones mecánicas:

$$T = J \frac{dw}{dt} + Bw \quad \text{ec. (3)}$$

$$T = K_t i_a \quad \text{ec. (4)}$$

Relacionando ambas ecuaciones mecánicas, eléctricas y expresándolas en el dominio de S (Laplace) obtenemos.

Desarrollando de ec. (1) y (2)

$$E_a(s) - E_e(s) = (Ls + R)I(s)$$

$$I(s) = (E_a(s) - E_e(s)) * \frac{1}{Ls + R}$$

Desarrollando de ec. (3) y (4)

$$T(s) = (Js + B)w(s)$$

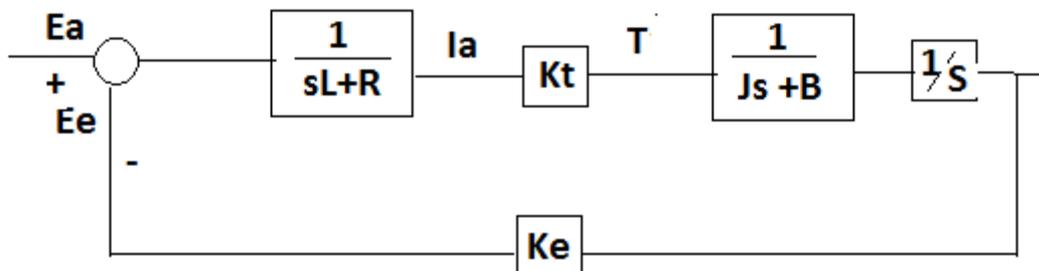
$$w(s) = \left(\frac{1}{Js + B}\right)T(s)$$

Desarrollando obtenemos la función de transferencia de la velocidad del rotor respecto al voltaje aplicado:

$$\frac{w}{V} = \frac{K}{(Js + B)(Ls + R) + K^2}$$

Con este modelo matemático del motor podemos diseñar un controlador PID, pero para esto es necesario conocer el valor de los parámetros J, K, b, R, L del sistema los cuales se puede obtener mediante pruebas de laboratorio o buscar las características técnicas del motor.

El diagrama de bloques es el siguiente.



2.6 PROTECCIONES ELECTRÓNICAS

2.6.1 REDES SNUBBER DE PROTECCIÓN PARA TRANSISTORES DE POTENCIA

Las redes snubbers son diseñadas para la protección de elementos electrónicos de potencia como por ejemplo los transistores de potencia, mosfets, entre otros.

Existen fenómenos críticos que provocan daños en un transistor por ejemplo los llamados $\frac{di}{dt}$ que no son más que aumentos de corriente en el momento que un transistor está en la etapa de encendido; además de este fenómeno existen otros como los $\frac{dv}{dt}$ los cuales se producen durante la etapa de apagado del transistor y no son más que voltajes altos que se dan entre colector y emisor.

Las redes snubbers son encargadas de corregir estos fenómenos reduciendo o eliminando transitorios de voltaje o corriente además son capaces de reducir o eliminar efectos de ruido eléctrico y por lo tanto reducir perdidas que se pueden generar en el transistor.

En esta tesis seleccionaremos unas de estas protecciones para garantizar una alta eficiencia en el circuito.

2.6.2 RED SNUBBER DE ENCENDIDO [8]

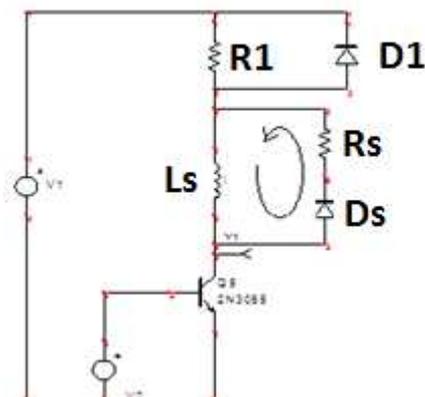


Figura 3.1.a Red snubber de encendido [8]

R1: Carga

D1: Diodo de protección

Rs: Resistencia snubber

Ls: Inductancia snubber

Ds: Diodo snubber

En la figura 3.1.a podemos apreciar el circuito básico de una red de encendido, la carga para este circuito es la resistencia R1, pero también podría ser un motor o cualquier otro tipo de carga.

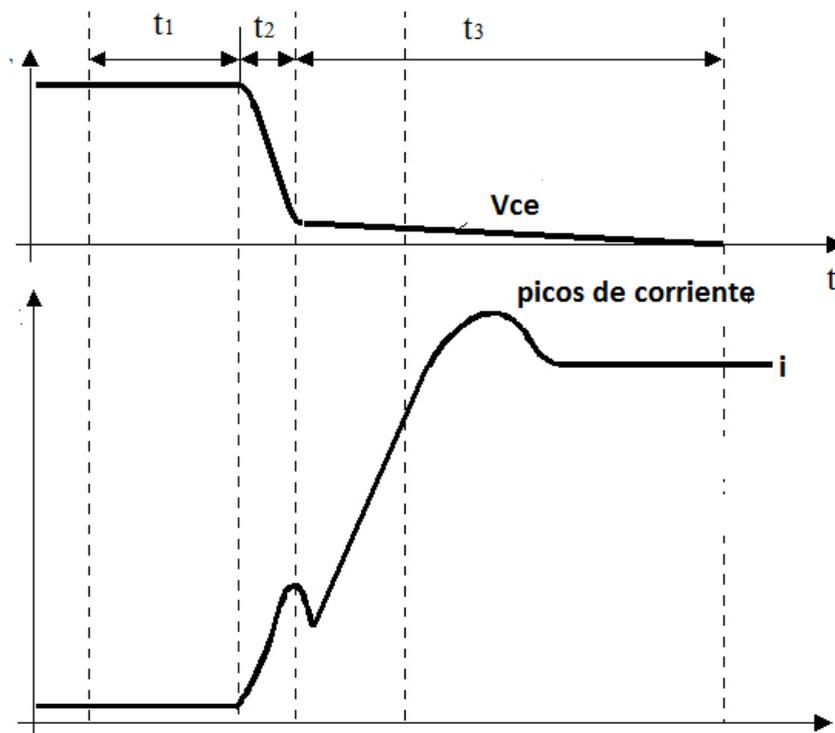


Figura 3.1.1.a Formas de onda en el encendido de switch electrónico [8]

La principal misión de este circuito es limitar el crecimiento de picos de corriente que se generan en el transistor o en un mosfet en el encendido la figura 3.1.1.a muestra dicho fenómeno, donde se ve claramente un pico de corriente que se genera al encenderse el switch electrónico

La bobina L1 es la encargada de frenar la corriente excesiva ya que una inductancia se opone al cambio brusco de corriente, el diodo D2 en serie con la

resistencia R_2 logran encerrar dicha corriente y disiparla mediante efecto joule. Mientras más pequeño sea el pico de corriente tendremos menos pérdidas de energía y por lo tanto un circuito más eficiente.

2.6.3 RED SNUBBER DE APAGADO [8]

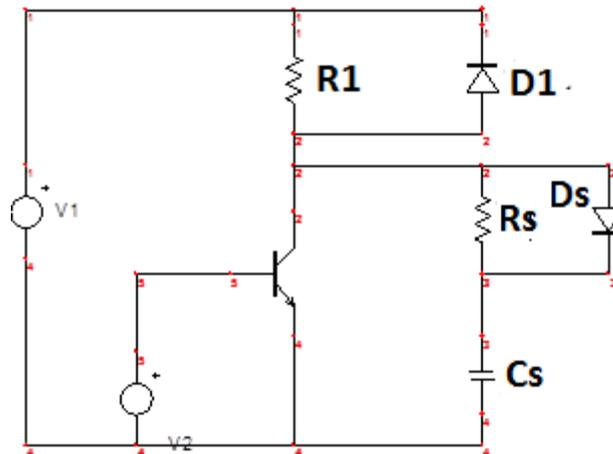


Figura 3.2.a Red snubber de apagado [8]

R_1 : Carga

D_1 : Diodo de protección

R_s : Resistencia snubber

C_s : Capacitor snubber

D_s : diodo snubber

En la figura 3.2.a se puede ver la topología básica de un snubber de apagado; esta red se encarga provocar una curva de voltaje y corriente suave en el momento del apagado de un transistor o de un mosfet, con lo cual se logra que no exista perdidas muy altas en apagado y disminuye el riesgo que este dispositivo pueda sufrir daño.

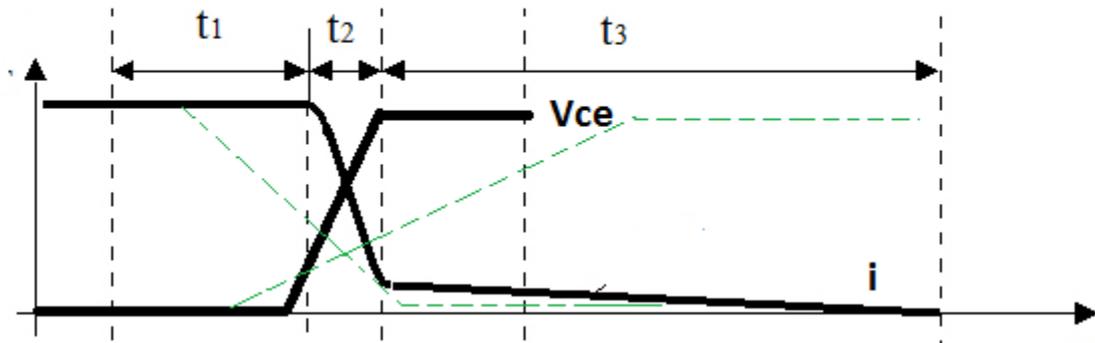


Figura 3.2.1.a Forma de onda de un snubber de apagado [8]

Su funcionamiento es simple y la podemos ver en la figura 3.2.1.a; cuando el transistor se apaga el voltaje ánodo cátodo aumenta pero como tiene un capacitor y una resistencia en paralelo este voltaje va aumentando exponencialmente dependiendo de los valores de R y C lo cual logra que los incrementos de voltaje no sean muy altos disminuyendo así las pérdidas, las líneas en color verde indican el funcionamiento con un snubber.

2.6.4 RED SNUBBER DE SOBREVOLTAJE [8]

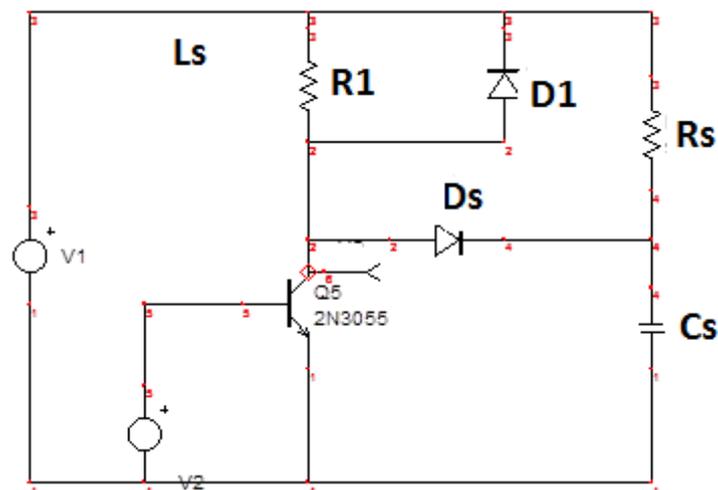


Figura 3.3.a red snubber de sobrevoltaje[8]

R1: Carga

D1: Diodo de protección

Rs: Resistencia snubber

Cs: Capacitor snubber

Ds: Diodo snubber

Ls: Inductancia parasita

La topología básica de la figura 3.3.a indica un snubber de sobre voltaje el cual tiene como principal misión la disminución de sobre voltajes que podrían generarse en el apagado del transistor o en un mosfet, generado principalmente por inductancias parasitas en el circuito debido a conductores. La figura 3.3.1.a indica un pico de voltaje que se genera en el apagado.

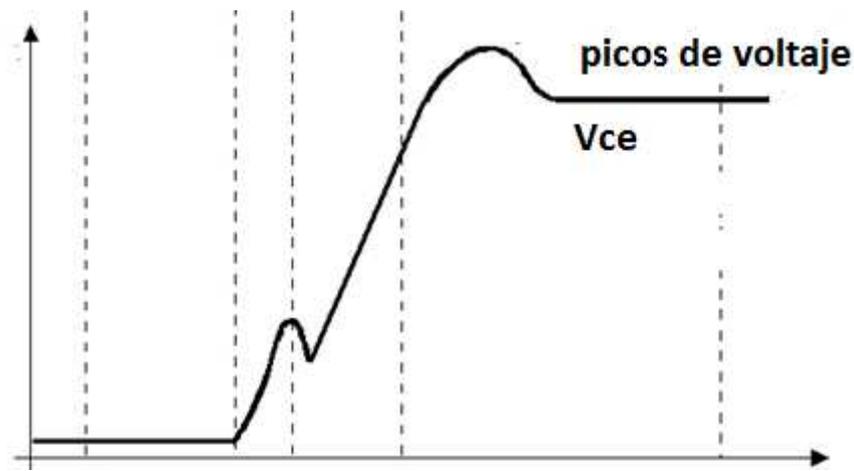


Figura 3.3.1.a Forma de onda de un red snubber de sobrevoltaje [8]

El capacitor C_s junto con R_s esta amortiguando el pico de voltaje que se genera en el apagado de un switch electrónico.

Para proteger el circuito se ha seleccionado la protección eléctrica contra sobrevoltaje ya que se debe de garantizar que los picos de voltaje que se generan en el momento del arranque del motor no quemen a dañen de alguna forma al mosfet seleccionado su ubicación se la puede observar en el anexo 4.

2.7 FUSIBLES[9]

En los convertidores de potencia se puede originar cortocircuitos debido a fallas y estas deben ser eliminadas con rapidez. Para proteger los dispositivos semiconductores se utiliza fusibles de acción rápida los cuales deben ser capaces de actuar en pocos milisegundos una vez ocurrida la falla.

2.7.1 DEFINICIÓN

Fusible es un elemento de protección eléctrica que se utiliza para proteger las instalaciones eléctricas de las sobre intensidades causadas por cortocircuitos, es encapsulado y contiene un hilo conductor, el cual tras una corriente de falla es capaz de actuar abriendo el circuito por medio de la fundición de dicho hilo conductor.

2.7.2 DIMENSIONAMIENTO DEL FUSIBLE [9]

Par el dimensionamiento de un fusible se debe de considerar algunos aspectos como por ejemplo:

1. El fusible debe de ser capaz de conducir la corriente nominal del transistor, tiristor o mosfet en forma continua y permanente.
2. La capacidad de almacenamiento de calor del fusible debe ser menor que la del elemento que se desea proteger, esto es, el valor de la característica i^2t del fusible debe ser menor que la del tiristor, transistor o mosfet. El valor de i^2t es también una medida de la capacidad de almacenamiento de calor en los semiconductores, Sobre todo en los diodos, tiristores y transistores, mosfet. La influencia de la disipación de calor en intervalos de tiempo muy pequeños (< 10 ms.) es muy leve, es suficiente conocer un valor de i^2t , generalmente referido para un tiempo de 10 ms el cual es un valor recomendable para que el fusible actúe de manera optima
3. El voltaje en los terminales del fusible durante el arco eléctrico debe ser suficientemente alto para forzar a que la corriente decrezca y para disipar la energía del circuito.
4. Después de haber interrumpido la corriente de falla, el fusible debe ser capaz de aislar el voltaje que pueda aparecer entre sus terminales.

Una vez tomado en cuenta es tos factores podemos seleccionar adecuadamente el fusible para lo cual se ha diseñado la siguiente guía:

1. Seleccionar el fusible con una corriente ligeramente superior a la corriente RMS que circula en condiciones normales por el transistor.
2. Verificar que el voltaje en los extremos del fusible sea igual o superior al voltaje del circuito
3. Verificar que el voltaje de arco del fusible, dato del fabricante, sea menor que el voltaje de ruptura del semiconductor a proteger.
4. Estimar o medir la corriente de falla disponible, este valor depende del circuito, puede ser calculado analíticamente hallando la relación entre el voltaje de la fuente y la impedancia del sistema equivalente cuando se produce un cortocircuito en un punto dado.
5. Utilizando las curvas del fusible con la información anterior, hallar en el peor caso lo que quiere decir la usar la corriente pico I_{PLT} , ver figura 3.4
6. utilizando los dos parámetros anteriores calculamos el tiempo total de operación del fusible con la siguiente fórmula.

$$tc = 3i^2t/I_{PLT}^2$$

Los valores de corriente pico se toman de la curva t vs I_{rms} de la figura 3.4.1 donde tenemos fusibles de 2A y de 25A que actúan de acuerdo a la corriente RMS pico.

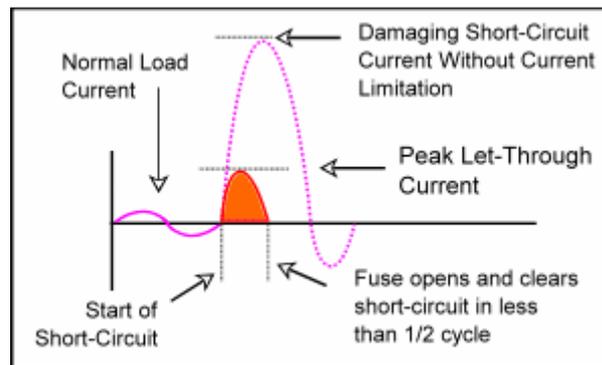


Figura 3.4 Corrientes presentes en un fusible

I_{PLT} : Corriente pico que soporta el fusible (peak let-through current)

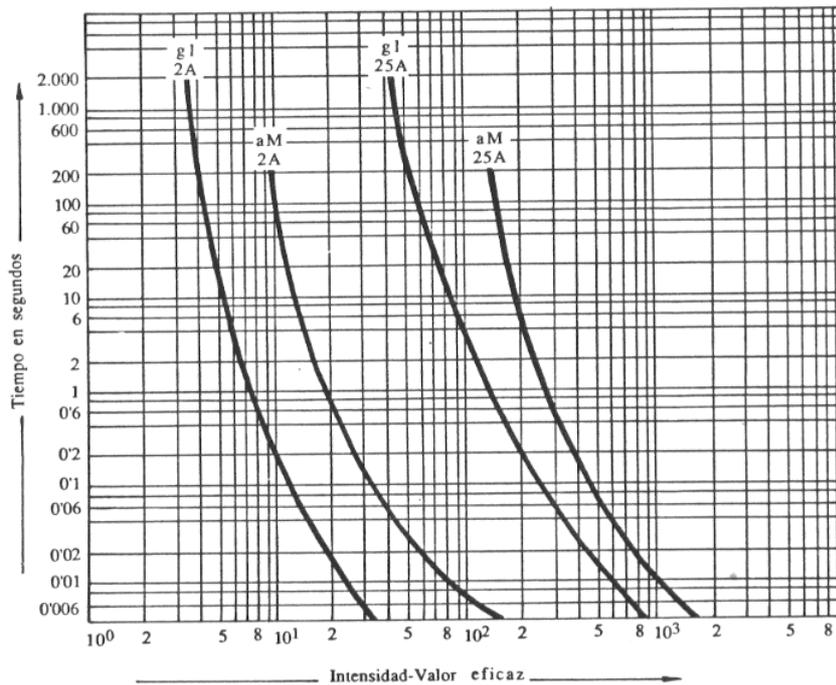


Figura 3.4.1 Curva t vs I_{rms} para un fusible [9]

7. Obtener de las hojas de datos del transistor o rectificador el valor de i^2t normalmente disponible en forma de curvas de i^2t en función del tiempo (figura 3.5) de duración del pulso. Si no se tiene esta información, probablemente se encuentre el valor de la corriente máxima pico no repetitivo I_{RSM} . En este caso el valor del i^2t puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$i^2t = I_{RMS}^2(t/2)$$

En conclusión el dimensionar un fusible para un circuito electrónico de potencia es muy diferente que dimensionar para un circuito eléctrico de potencia ya que se debe de considerar parámetros más críticos y que actúen de manera muy rápida para que proteger el circuito.

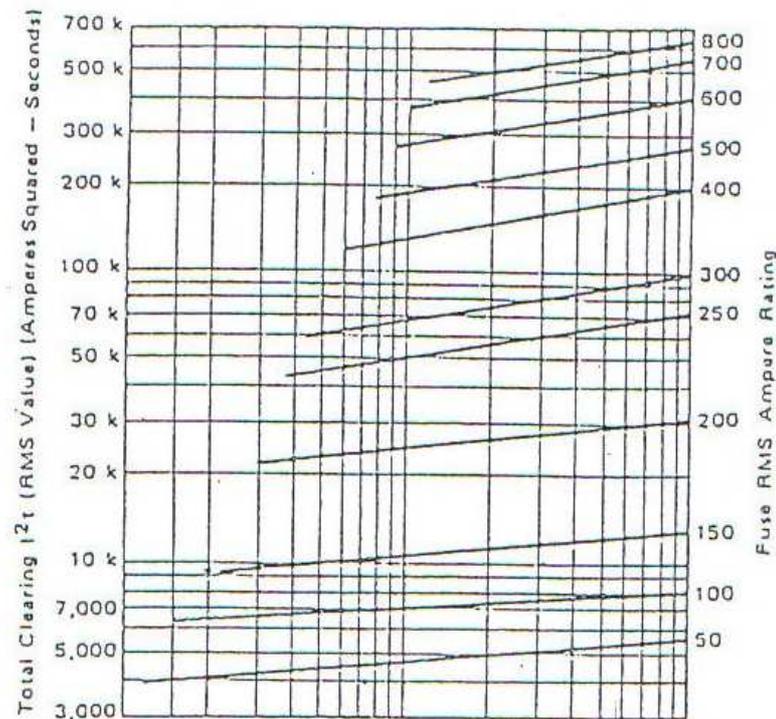


Figura 3.4.1 Curva I^2t del IRF Z44

Con los aspectos analizados para la selección de un fusible se ha llegado a la conclusión que se debe de utilizar un fusible de 2A ya que es la corriente normal que deberá circular por el mosfet en condiciones normales de operación.

En cuanto al voltaje de operación hay que considerar que debe de ser menor al voltaje de ruptura del mosfet a proteger, este dato se lo ha tomado del fabricante y es 60V

A continuación se ha realizado el cálculo del tiempo en que actuara el fusible con los datos del fabricante del mosfet IRF z44 y que consta en el anexo 4

Tiempo de actuación del fusible

$$tc = 3i^2t/I_{PLT}^2$$

$$i^2t = 35,4A^2s$$

$$tc = \frac{3 * 35,4A^2s}{50^2A^2}$$

$$tc = 0,014 s$$

3.8 EMI (INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA [5])

Los circuitos electrónicos de potencia conectan y desconectan grandes cantidades de corriente a voltajes altos, y pueden generar señales eléctricas no deseadas porque afectan otros sistemas electrónicos.

Estas señales no deseadas suceden a mayores frecuencias, y dan lugar a la EMI, que también se llama interferencia de radiofrecuencia (RFI, de radio frequency interference). Las señales se pueden transmitir a los demás sistemas electrónicos por radiación a través del espacio, o por conducción a través de cables.

2.8.1 DEFINICIÓN DE EMI

EMI (interferencia electromagnética) es toda señal de perturbación causada por ruido atmosférico, rayos, radio, televisión, localizadores, radios móviles, teléfonos celulares que se propagan a través de cables o radiación en el espacio y que provocan errores en un circuito electrónico.

Para el filtrado de ruido es necesario la utilización de filtros de EMI estos están compuestos de materiales ferromagnéticos con características especiales.

En esta tesis se utilizara filtros que se encuentra incorporado en la fuente de voltaje telemecanique ABL 8MEM24012 de ya que es necesario que las señales de entrada hacia el microcontrolador sean lo más puras posible para no tener errores en la adquisición de datos de velocidad.

CAPITULO III

DISEÑO DEL MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO

3.1 MATERIALES

3.1.1 MOTOR DC

Este tipo de motor(figura 4.1) es utilizado para ensayos en laboratorios ya que es pequeño y consta de imanes permanentes lo cual nos da un flujo magnético constante ;en su interior tiene un rotor bobinado y rodamientos que soportados en la carcasa logran que este gire libremente.

Entre las características más importantes tenemos, ver tabla 4.1

Tabla 4.1 Especificaciones técnicas del motor DC

ESPECIFICACIONES TECNICA	
marca:	HONEYWELL
número de serie:	011944
voltaje nominal:	24VDC
corriente nominal:	2,2 A
potencia nominal:	1/8 hp
velocidad nominal:	3600 RPM



Figura 4.1 motor DC

3.1.2 MOSFET

Un MOSFET de potencia es un dispositivo controlado por voltaje, y sólo requiere una pequeña corriente de entrada. La velocidad de conmutación es muy alta, y los tiempos de conmutación son del orden de nanosegundos. Los MOSFET de potencia están encontrando aplicaciones cada vez más numerosas en convertidores de baja potencia y alta frecuencia. Sin embargo, los MOSFET tienen los problemas de descarga electrostática y requieren cuidados especiales en su manejo. Además, es relativamente difícil protegerlos en condiciones de falla por cortocircuito.

Los mosfet al igual de BJT se componen de elementos semiconductores silicio por ejemplo, que en cantidades exactas dan características especiales a este tipo de dispositivos.

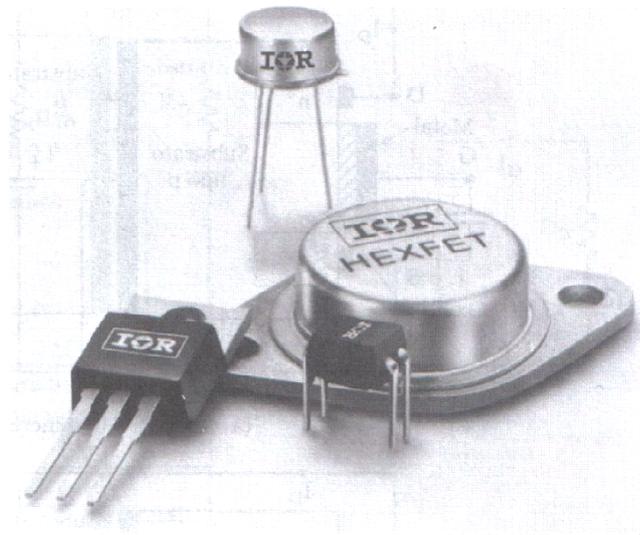


Figura 4.2 Varios tipos de mosfet presentes en el mercado [5]

3.1.3 LCD 20X4 [10]

Los módulos LCD (Display de Cristal Líquido), son utilizados para mostrar mensajes que indican al operario el estado de la máquina, o para dar instrucciones de manejo, mostrar valores, etc. El LCD permite la comunicación entre las máquinas y los humanos, este puede mostrar cualquier caracter ASCII, y consumen mucho menos que los displays de 7 segmentos, existen de varias presentaciones por ejemplo de 2 líneas por 8 caracteres, 2x16, 2x20, 4x20, 4x40, etc. sin backlight (14 pines) o con backlight (16 pines, iluminado de pantalla), el LCD más popular es el 2x16. 2 líneas de 16 caracteres cada una como se indica en la figura 4.3 y además su distribución de pines en la tabla 4.2

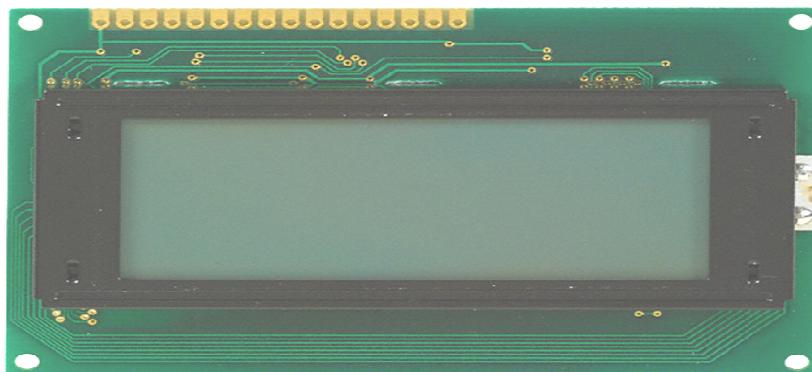


Figura 4.3 display 20x4

Tabla 4.2 Distribución de pines de display [10]

Pin	simb.	descripción
1	Vss	Tierra de alimentación GND
2	Vdd	Alimentación de +5V CC
3	V0	Ajuste del contraste del cristal líquido (0 a +5V)
4	RS	Selección del registro control/datos RS=0 reg. control RS=1 reg/datos
5	R/W	Lectura/escritura en LCD R/W=0 escritura (Write) R/W=1 lectura (Read)
6	E	Habilitación E=0 módulo desconectado E=1 módulo conectado
7	DO	Bit menos significativo (bus de datos bidireccional)
8	DI	Datos
9	D2	Datos
10	D3	Datos
11	D4	Datos
12	D5	Datos
13	D6	Datos
14	D7	Bit más significativo Alimentación del backlight Tierra GND del backlight
15	A	
16	K	

3.1.4 TECLADO MATRICIAL [10]

Los teclados matriciales son muy útiles para ingresar datos, un ejemplo es el teclado del computador, el teclado de una alarma que nos permite armar y desarmar un sistema de seguridad, el teclado de una caja fuerte, el de una cerradura eléctrica, etc. Para entender el manejo de un teclado, debemos aprender a identificar filas y columnas que lo componen un teclado hexadecimal de 16 pulsadores, y su correspondiente barrido de teclas

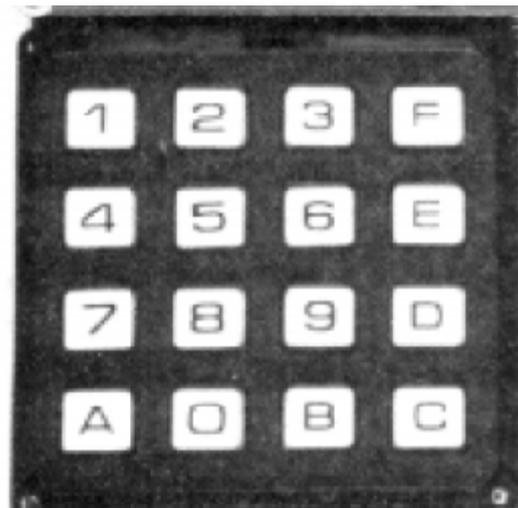
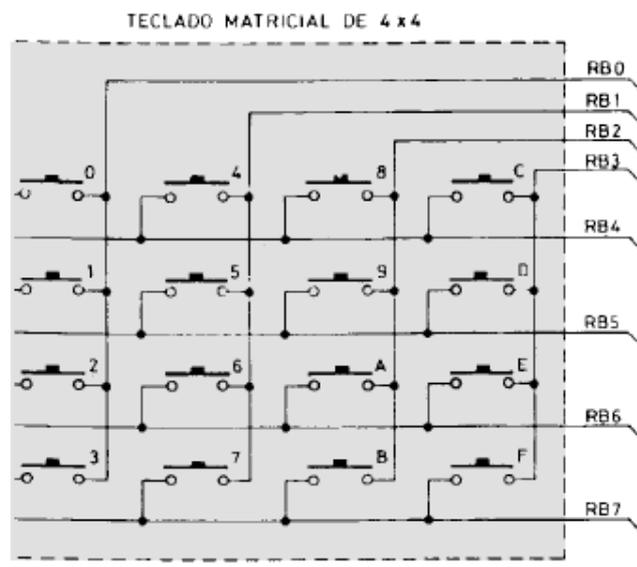


Figura 4.4 teclado matricial

3.1.5 MICRONTROLADOR

Los microcontroladores son diseñados para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular. Por eso el tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación. El control de un electrodoméstico sencillo como una batidora, utilizará un procesador muy pequeño. En cambio un reproductor de música y/o vídeo digital (mp3 o mp4) requerirá procesadores más grandes

El control de un sistema de frenos ABS (AntilockBrakeSystem) se basa normalmente en un microcontrolador de 16 bit, al igual que el sistema de control electrónico del motor en un automóvil.

En la industria y el hogar se tiene distribuidos seguramente entre los electrodomésticos o pueden encontrarse en casi cualquier dispositivo electrónico como automóviles, lavadoras, hornos microondas, teléfonos, etc.

Un microcontrolador difiere de una CPU normal, debido a que es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de chips externos de apoyo. La idea es que el chip se coloque en el dispositivo, enganchado a la fuente de energía y de información que necesite, y eso es todo. Un microprocesador tradicional no le permitirá hacer esto, ya que espera que todas estas tareas sean manejadas por otros chips.

Un microcontrolador típico tendrá un generador de reloj integrado y una pequeña cantidad de memoria RAM y ROM/EPROM/EEPROM/FLASH, significando que para hacerlo funcionar, todo lo que se necesita son unos pocos programas de control y un cristal de sincronización. Los microcontroladores disponen generalmente también de una gran variedad de dispositivos de entrada/salida, como convertidores de analógico a digital, temporizadores, UARTs y buses de interfaz serie especializados, como I²C. Frecuentemente, estos dispositivos integrados pueden ser controlados por instrucciones de procesadores especializados.

Los modernos microcontroladores frecuentemente incluyen un lenguaje de programación integrado, como el BASIC que se utiliza bastante con este propósito.

El objetivo principal es el análisis de un motor de corriente continua controlado por voltaje. En este capítulo se analizarán los problemas relacionados con el tratamiento de las señales provenientes de los sensores, el análisis del comportamiento de los sistemas en lazo abierto, la estrategia para intentar controlarlos, la implementación de ese control por medio de reguladores PID y las necesidades de adaptación de la señal para el control.

3.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODULO PID

3.2.1 MODELO TEÓRICO DEL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

El motor es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, empleada en hacer girar el eje. Por tanto un motor tiene dos subsistemas: uno el eléctrico, donde la energía eléctrica se transforma en fuerza contra electromotriz, y otro mecánico, donde el par mecánico se materializa en forma de velocidad de giro del eje. Las variables que entran en juego en un motor de corriente continua y sus valores de acuerdo al motor lo indicamos a continuación, dichos valores están analizados en el capítulo II, subcapítulo 2.5.

- Momento de inercia del rotor J .
- Torque del moto (T)
- Coeficiente de amortiguamiento del sistema mecánico (B) .
- Constante de fuerza electromotriz $K=K_e=K_t$.
- Resistencia eléctrica (R) .
- Inductancia eléctrica (L) .
- Voltaje de armadura. (V_a)
- Corriente de armadura (i_a)
- Velocidad rotacional del eje. (ω)

Estas variables se unen en un diagrama de bloques que se indica en la figura 4.5 el cual consta de todas estas variables y el procedimiento se lo describe a continuación.

El eje del motor se acopla a un eje de salida donde va la carga que el motor debe mover. La velocidad w de giro del eje al que se acopla la carga, así como la potencia mecánica en el mismo se relacionan con la velocidad del eje del motor, y la potencia disponible en el mismo.

La parte mecánica implica una modificación del par y la velocidad en el eje de salida, manteniendo constante la potencia.

El par motor creado eléctricamente depende directamente de la corriente de estator I_a que se genera dentro del motor.

Los valores obtenidos del motor tanto mecánico como eléctrico son los siguientes:

R : Resistencia interna del devanado del motor (3,8 ohm)

I : Corriente del motor

L : Inductancia del motor (0.015mH)

K : Constante(0,03)

T : Par en el eje de salida (5.3 oz-in/amp)

J : Momento de inercia del motor (0.00055 oz-in/s²)

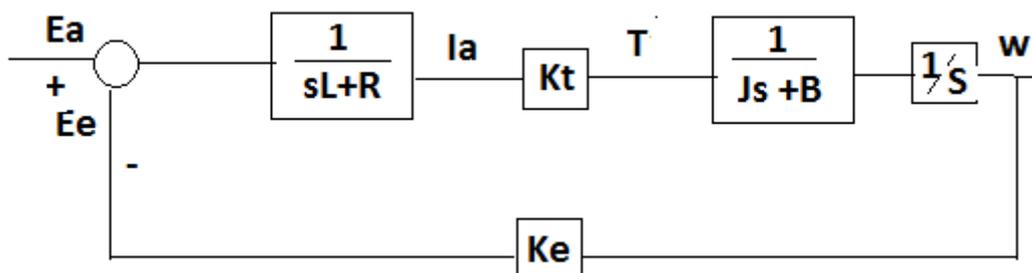


Figura 4.5 diagrama de bloque del motor DC Honeywell 22Vm8

3.2.2 ALIMENTACIÓN DEL MOTOR, Y CONEXIÓN AL MÓDULO DE CONTROL

El motor esta alimentado desde una fuente de tensión de +24V, dado que las tensiones de alimentación no coinciden con la usada por la tarjeta de control PID, se usara dos fuente de alimentación, una de 24VDC y otra de 5VDC para la tarjeta.

A continuación se detalla un esquema del circuito a implementar figura 4.6

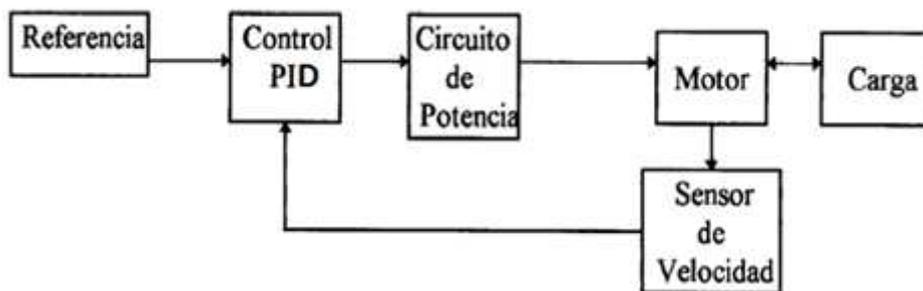


Figura 4.6 Esquema de circuito implementado para el control PID

3.2.3 REFERENCIA.

La referencia del circuito es una señal proveniente de un teclado matricial el cual, proporcional la velocidad del motor, para ello se implementara el siguiente circuito ver figura 4.7

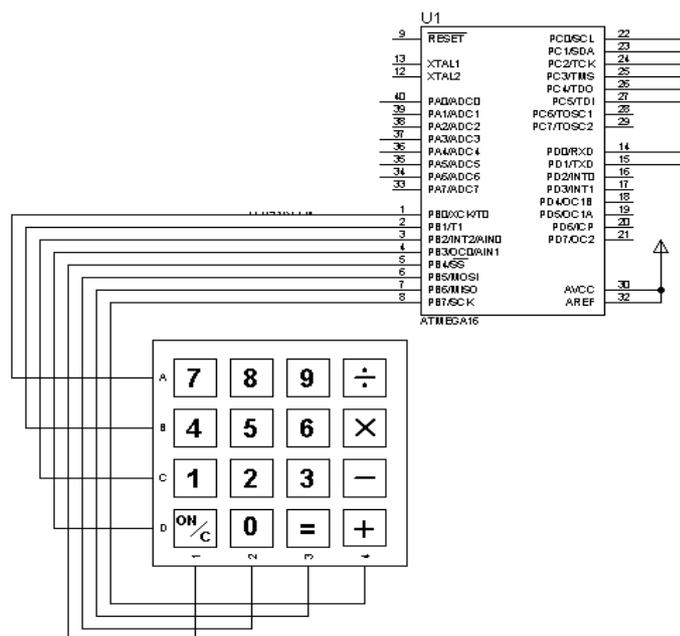


Figura 4.7 Conexión de teclado matricial

Las líneas de programa número 54 – 61 son para la declaración de variables; 570-594 identifica la tecla que fue presionada; la subrutina teclado lleva el puntero del micro para que se ejecute el barrido e ingrese el número de la tecla. Se ha dado un retardo de 200ms para el anti rebote de las teclas y no tener errores al ingreso del dato.

3.2.4 CIRCUITO DE POTENCIA

El circuito de potencia está a la salida del circuito controlador, tal como se indica en la figura 4.9 el motor posee un diodo de protección con el fin que la corriente se encierre y no retorne hacia el circuito de control.

La fuente para este motor es de 24VDC 2A regulable de marca telemecanique.

El funcionamiento de variación de velocidad del motor es por medio de la técnica PWM, ver figura 4.8

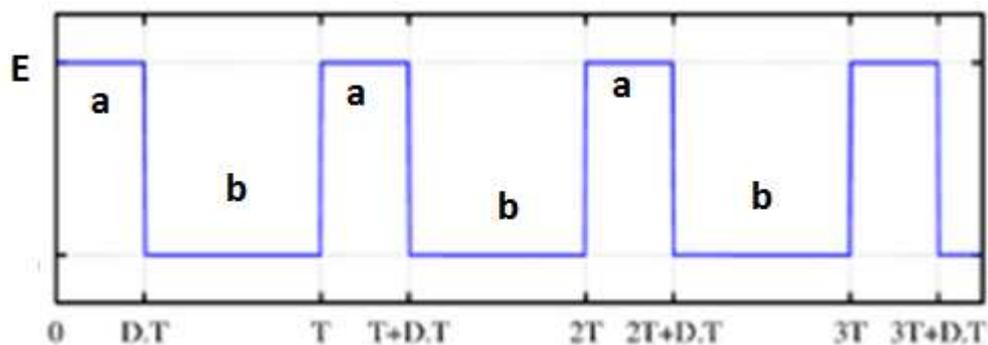


Figura 4.8 Onda cuadrada que ingresa a motor Honeywell

La modulación por ancho de pulsos (MAP o PWM, siglas del inglés Pulse-Width Modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período. Expresado matemáticamente:

$$D = \frac{a}{T}$$

D : es el ciclo de trabajo

a : Es el tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso)

T : Es el período de la función

La explicación de la variación de voltaje se indica a continuación.

$$V_{DC} = \frac{1}{T} \int_0^a E dt = \frac{Et}{T} = E \frac{a}{T} = ED$$

V_{DC} : Voltaje medio a la entrada del motor DC

E : Amplitud de la onda cuadrada

T : Periodo

t =tiempo

En esta ecuación podemos ver el valor medio que llega al motor con una onda cuadrada. Al integrar y resolver esta ecuación obtenemos que $V_{DC} = ED$ por lo que al variar la relación de trabajo el voltaje en los terminales del motor varia y por lo tanto también la velocidad.

La principal desventaja que presentan los circuitos PWM es la posibilidad de que haya interferencias generadas por radiofrecuencia. Éstas pueden minimizarse ubicando el controlador cerca de la carga y realizando un filtrado de la fuente de alimentación.

La señal de onda cuadrada que entra al motor tiene una frecuencia de 8MHZ la cual está variando conforme se ingrese el valor de la velocidad a través del teclado y también por el control PID

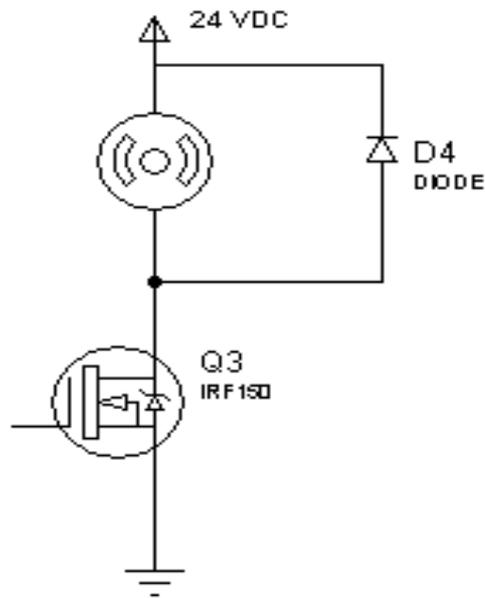


Figura 4.9 Circuito de fuerza

3.2.5 SENSOR DE VELOCIDAD.

El sensor de velocidad es un taco generador análogo que da un voltaje constante de 5 VDC para máxima velocidad.

Esta señal entra hacia el microcontrolador por medio del canal análogo digital el cual ha sido configurado con una resolución de 10 bits y cuya configuración esta en las líneas de código 44, 45, 104, 105, 106 del anexo código de programa, un ejemplo podemos ver en la siguiente muestra.

Config Adc = Single , Prescaler = Auto	Configuración del canal análogo digital.
Start Adc	Inicio del ADC
Tacómetro=Getadc(0)	Obtener Dato ADC desde canal cero

La señal del taco generador entra por el pin número 40 del pòrtico A0 – ADC 0 del microcontrolador ATmega 16.

3.2.6 VISUALIZACIÓN.

Para la visualización se ha utilizado un LCD de 16x4 lo que quiere decir 16 caracteres en cada línea, para la configuración del LCD podemos ver las línea 41 -42 para escritura de texto las líneas 79, 82, 86 y todas aquellas que empiecen con "lcd" pues éstas permiten visualizar el mensaje. Ejemplo

Locate 1 , 1	Localización del texto en línea 1 , carácter 1.
Lcd "CONTROL PID"	Texto a escribir.

A continuación se indica el diagrama de conexiones en la figura 4.10

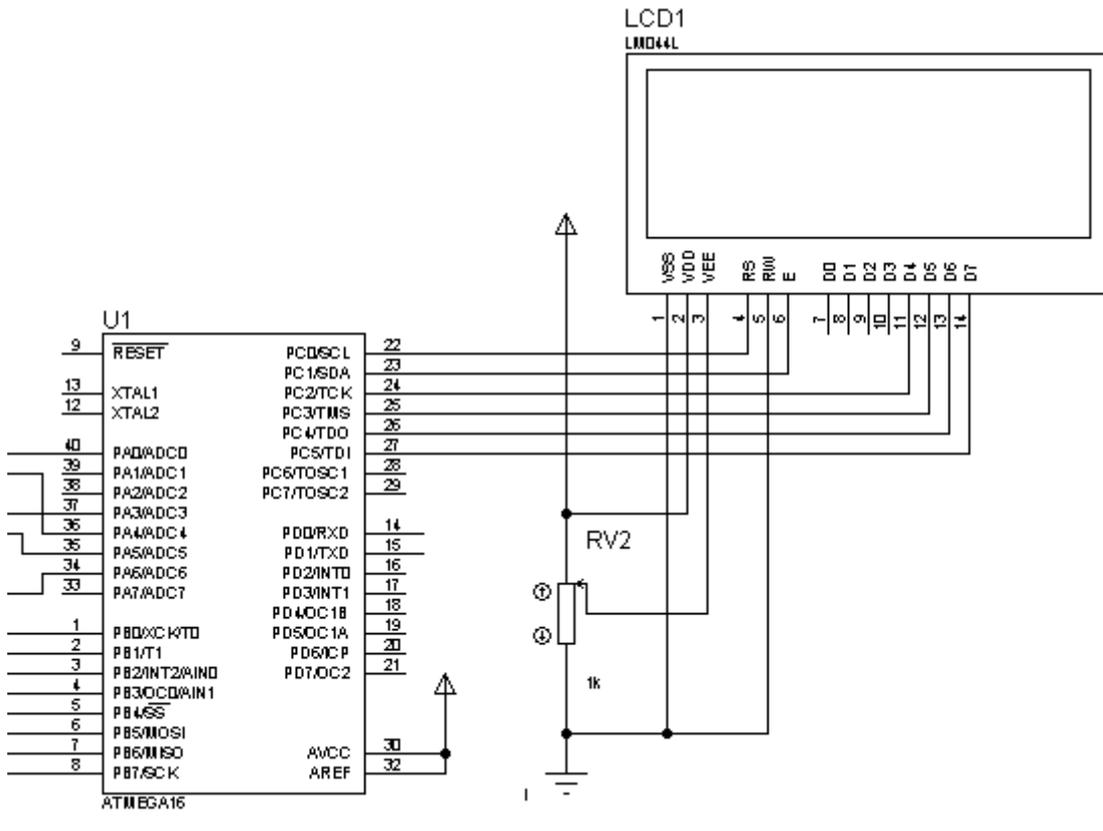


Figura 4.10 conexión de LCD 16x5

3.2.7 EXPLICACIÓN DEL CONTROL PID DIGITAL

El control PID que se elaboró es totalmente digital a continuación se detalla el funcionamiento básico.

Lo primero que realiza el programa es calcular el error entre el setpoint y la variable real o la que entrega el taco generador, esto lo hace a través de una simple resta y la podemos ver en la línea de programa 635. Este error multiplicado con una constante K_p (línea de programa 665) nos permite obtener el valor proporcional del control PID el cual genera una función lineal con una pendiente que se gradúa de acuerdo a la constante K_p .

Para entender mejor el valor proporcional del control lo que se está haciendo es que el motor no se encienda y apague en forma brusca, como lo hace el control

on-off, sino que de acuerdo al error éste se compense e intente mantenerse en el valor que seteado.

Para el control integral se ha tomado la definición de la integral como una suma de valores en este caso errores que se generan en transcurso del tiempo, en la línea de programa 636 y 637 podemos ver la suma sucesiva de errores los cuales al dividirlo por una constante K_i obtenemos el valor integral del control PID.

El valor calculado está haciendo que el motor recupere rápidamente el setpoint ya que la constante K_i divide al error, pero hay que destacar que en esta división los valores van hacer grandes pero al unirlo con el control proporcional estos valores son muy pequeños y el motor lograra seguir al setpoint de manera rápida.

Para el control derivativo se ha tomado la definición de derivada como la pendiente de una curva. En nuestro caso el control derivativo está reduciendo al máximo el error y solo actúa cuando aparece un valor ya que si derivamos un valor de error igual a cero obtendremos cero.

Al unir estos tres parámetros obtenemos el control PID el cual debe ser debidamente calibrado a través de las constantes K_p , T_i , T_d

3.2.8 REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN MOTOR DC EN LAZO ABIERTO.

Para analizar las posibilidades del control de un motor DC, se procede a llevar a cabo en primer lugar un control en cadena abierta del mismo. Para ellos se ha quitado la tarjeta de control y únicamente se tiene el motor alimentado directamente desde la fuente de 24VDC.

Lo que se puede observar es que al poner algún tipo de carga al motor tiende a frenarse ya que no existe ningún circuito que compense la disminución de velocidad.

En la figura 4.11 observamos una pendiente que indica la disminución de velocidad brusca por no tener una red de compensación PID.

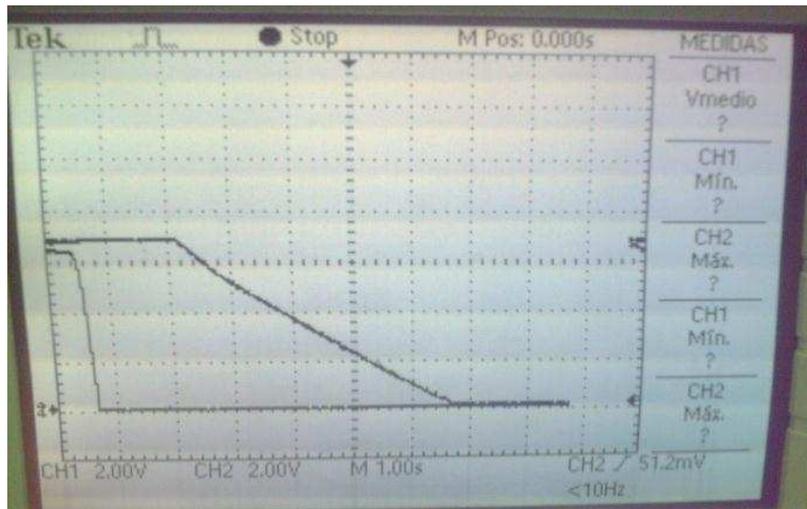


Figura 4.11 Forma de onda de control en lazo abierto

3.2.9 REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE UN MOTOR DC EN CADENACERRADA.

A continuación se procede a llevar a cabo el control de la velocidad del motor en cadena cerrada. Para eso se empleara el regulador PID.

Al colocar el control PID podemos notar que es difícil frenar al motor ya que tenemos un compensador que está comparando los valores de setpoint y la variable real e intenta mantenerlos en el mismo valor o lo que es lo mismo obtener un valor de error cero. La figura 4.12 muestra como el motor trata de seguir a la referencia o setpoint.



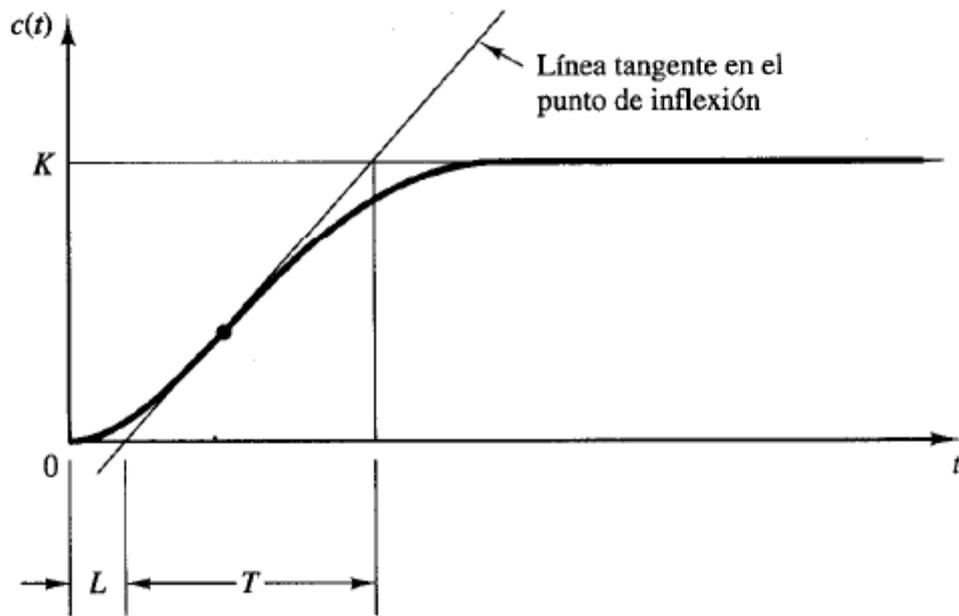
Figura 4.12 forma de onda de control en lazo cerrado

3.2.10 CALIBRACIÓN DE K_p , K_i , K_d

Para la calibración el sistema debe mantenerse “online”, un método de ajuste es el de primero setear los valores de I y D a cero. Incrementar P hasta que la salida del lazo oscile, luego P debe ser configurada a aproximadamente la mitad del valor configurado previamente. Ahora incrementar D hasta que el proceso se ajuste en el tiempo requerido aunque subir mucho D puede causar inestabilidad. Finalmente, incrementar I, si se necesita, hasta que el lazo sea lo suficientemente rápido para alcanzar su referencia luego de una variación brusca de la carga. Un lazo de PID muy rápido tiene como ventaja alcanzar su “setpoint” de manera veloz, aunque algunos sistemas no son capaces de aceptar este disparo brusco; en estos casos se requiere de otro lazo con un P menor a la mitad del P del sistema de control anterior.

Para encontrar los valores de las constantes proporcional, integral, derivativa se ha tomado una curva de reacción de un motor DC del libro de Ogata con lo cual se ha obtenido los siguientes resultados.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$



Dado:

$$T=0.3025$$

$$L=0.1650$$

Constante proporcional

$$K_p = 1.2 \frac{T}{L}$$

$$K_p = 2.2$$

Constante integral

$$T_i = 2L$$

$$T_i = 0.333$$

Constante derivativa

$$T_i = 0.5L$$

$$T_i = 0.082$$

CAPITULO IV

HMI (INTERFAZ HUMANO MÁQUINA) CON LABVIEW

INTRODUCCIÓN

LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW se resumen en las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

LabVIEW es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC. Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las

aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales.

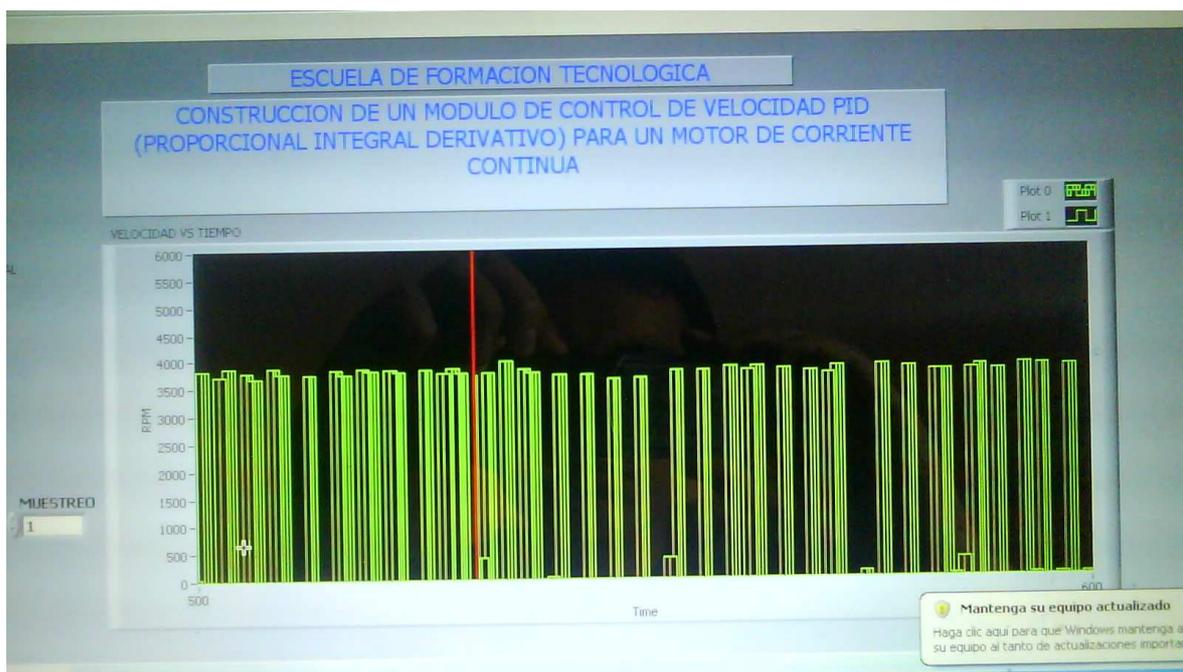
LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías específicas, para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos.

4.1.2. DEFINICIONES BÁSICAS DEL SOFTWARE LABVIEW

Los programas desarrollados mediante LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs. Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques. Las paletas contienen las opciones que se emplean para crear y modificar los VIs.

4.2. COMUNICACIÓN CON LABVIEW DEL CONTROL PID

La comunicación con LabVIEW es vía serial 232, donde el micro envía tramas del valor seteado y el valor real estos datos los podemos ver graficados en una ventana de la siguiente manera.



El circuito implementado se indica a continuación en la figura 5.1

Circuito de aplicación

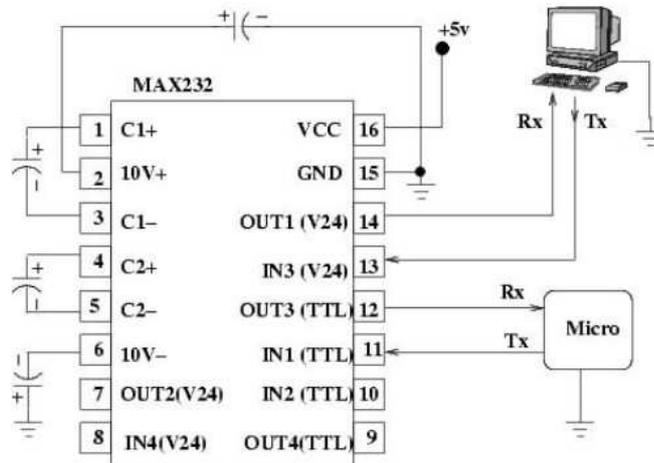


Figura 5.1 Conexiones del max232

4.3 COMPILADOR [11]

El compilador utilizado para la realización de esta tesis es el BASCOM el cual presenta las siguientes características básicas:

- **BASIC** estructurado con etiquetas.
- Programación estructurada con sentencias IF-THEN-ELSE-END IF, DO-LOOP, WHILE-WEND, SELECT- CASE.
- Generación de código máquina nativo en lugar de código interpretado o lo que es lo mismo el archivo hexadecimal.
- Bit, Byte, Entero, Word, Largo, y variables tipo String.
- Las instrucciones y comandos de este BASIC son bastante similares a las del Visual Basic y QuickBASIC de Microsoft.
- Comandos específicos para el manejo de displays **LCD**, integrados **I2C**, teclado de PC, teclado de matriz, software UART. SPI, LCD Gráficos.
- Soporta variables locales, uso de funciones, y librerías
- Emulador terminal serial para comunicaciones básicas.

En la figura 4.12 podemos ver una de sus ventanas y su fácil manejo.

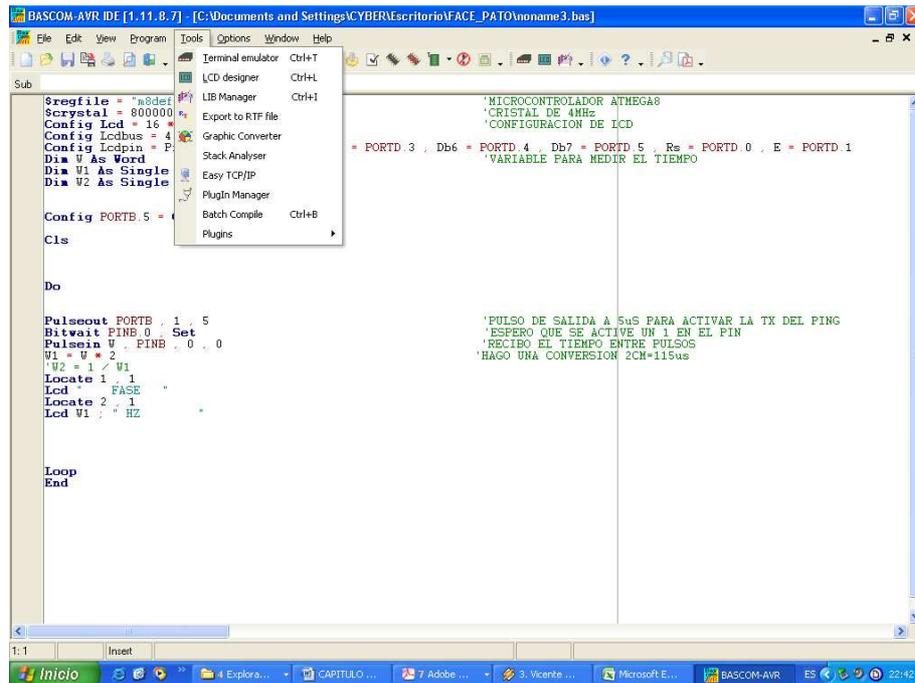


Figura 4.12 Ventana del BASCOM

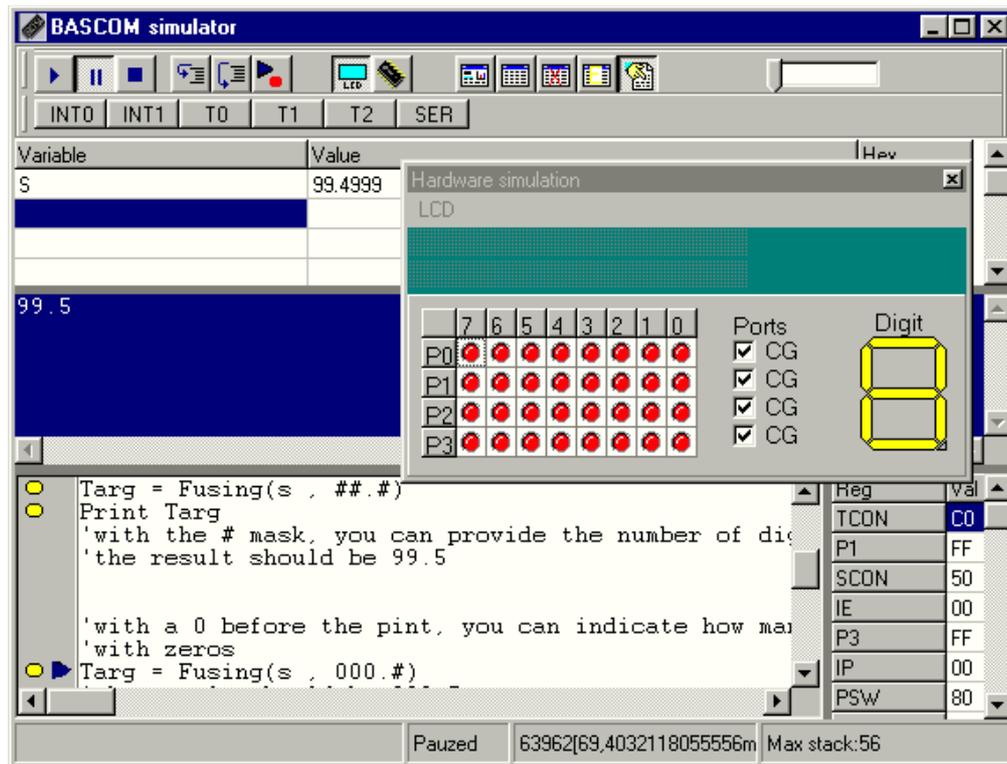
4.3.1 FORMA DE PROGRAMAR CON EL BASCOM AVR:

Para realizar un programa con el BASCOM AVR es muy sencillo, simplemente deberá realizar las siguientes operaciones:

- Escribir sobre el editor un programa en BASIC.
- Compilarlo a un eficaz código máquina nativo.
- Depurar el resultado con ayuda del simulador integrado. (si dispone de hardware opcional podrá simular directamente sobre su placa).
- Programar el microcontrolador con el programador opcional.

El programa puede ser escrito sobre un editor intuitivo en color. Este editor, además de las características habituales, soporta Undo, Redo, marcado e indexación de bloques.

El simulador además permite probar su programa antes de escribirlo al microprocesador, puede mirar variables, puede caminar a través del programa una línea en el momento o puede correr a una línea específica, o puede alterar variables.



Un rasgo poderoso es el emulador del hardware, emula el LCD, y los puertos. El emulador de LCD también emula la figura de costumbre de los caracteres de LCD.

Cuando ha terminado de probar el programa en el simulador, llega el momento de llevar el programa al microcontrolador y esto se lo lleva a cabo mediante un grabador USB el cual tiene un driver en Windows con lo que es muy fácil cargar el programa en el microcontrolador.

CONCLUSIONES

COMPARACIÓN ENTRE EL SISTEMA EN LAZO ABIERTO Y EN LAZO CERRADO.

- En el sistema en lazo abierto se setea la velocidad en un valor, cuando las condiciones de carga varían la velocidad también, existe un error de posición la cual depende del grado de variación de la carga, es decir que entre más grande sea la variación de carga mayor será el error de posición.
- En el sistema en lazo cerrado conforme varía las condiciones de carga el controlador trata de seguir a la señal con un cierto retardo de tiempo, y en este caso no presenta ningún sobrepico, y la velocidad se mantiene en la seleccionada a pesar de los cambios bruscos de carga.
- Si el motor maneja una carga variable, es indispensable utilizar un control con realimentación (lazo cerrado), ya que es la única manera de poder controlar el sistema cuando varían las condiciones de operación.
- Un buen sistema de control en lazo cerrado debe funcionar correctamente a bajas como a altas velocidades. Para lo cual se debe realizar una buena determinación de los parámetros del motor a utilizarse.
- Es indispensable probar el circuito por etapas para saber si cada etapa está funcionando correctamente.
- La calibración del PI se hizo ajustando las ganancias del integrador y del proporcional, siguiendo la lógica de que si teníamos error de posición grande, aumentamos o disminuimos la ganancia. Y si el error de posición era pequeño, variamos la ganancia del integrador.

- Finalmente pudimos ver que el estado de la realimentación seguía a la señal del set-point, excepto en voltajes iguales o superiores al nominal, pues encontramos que se satura el sistema. Y finalmente probamos el control con carga, donde pasó exitosamente la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA

- [1]Kosow Irving “maquinas eléctricas y transformadores” ,segunda edición
- [2] Ogata katsuhito “ingeniería de control moderna” ,tercera edición
- [3] Kuo “sistemas de control automático”
- [4] Fitzgerald,Sc.D. “fundamentos de ingeniería eléctrica” cuarta edición
- [5] Rashid Muhammad “electrónica de potencia” tercera edición
- [6] Chiluisa Carlos “ Máquinas de corriente continua”
- [7]<http://www.google.com/imgres?imgurl=http://usuarios.multimania.es/automatica/>
- [8] Mohan Ned power electronic
- [9] Laboratorio de Electrónica Industrial E.P.N protección de los semiconductores de potencia
- [10] Reyes Carlos microcontroladores segunda edición.
- [11] <http://www.mcselec.com/>
- [12] <http://www2.atmel.com/>

ANEXO 1

1. PASOS PARA PREPARAR UN CIRCUITO EN BAQUELITA

1.1 CREACIÓN DE LAS PISTAS

Lo primero que se necesita para hacer una placa de circuito impreso es un dibujo de las pistas para los elementos, esto se consigue con la ayuda de un computador, y de los softwares CAD como PROTEL, PROTEUS, EAGLE, ORCA.D, Corel DRAW, o cualquier software de dibujo en el que usted pueda trazar las líneas.

FIG1:SIMULACIÓN DEL CIRCUITO EN PROTEUS

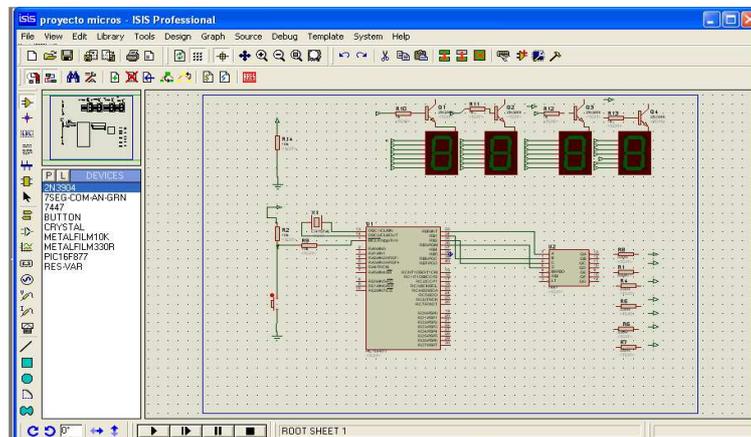
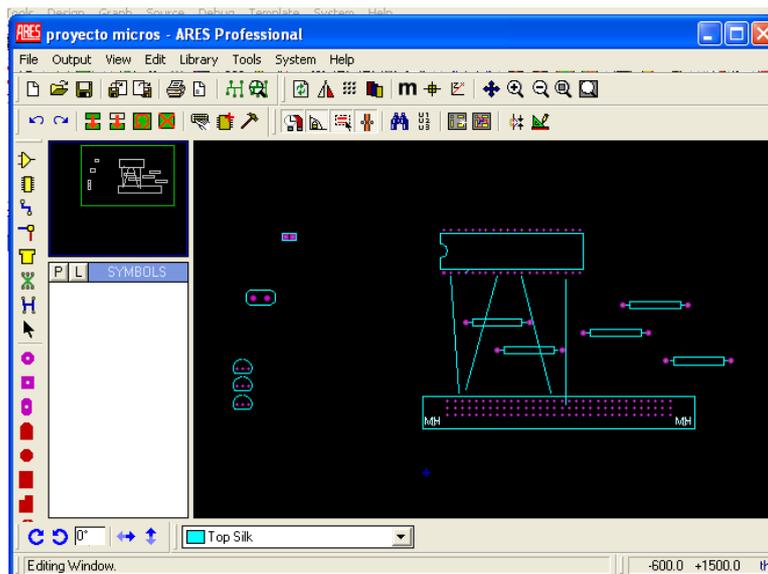
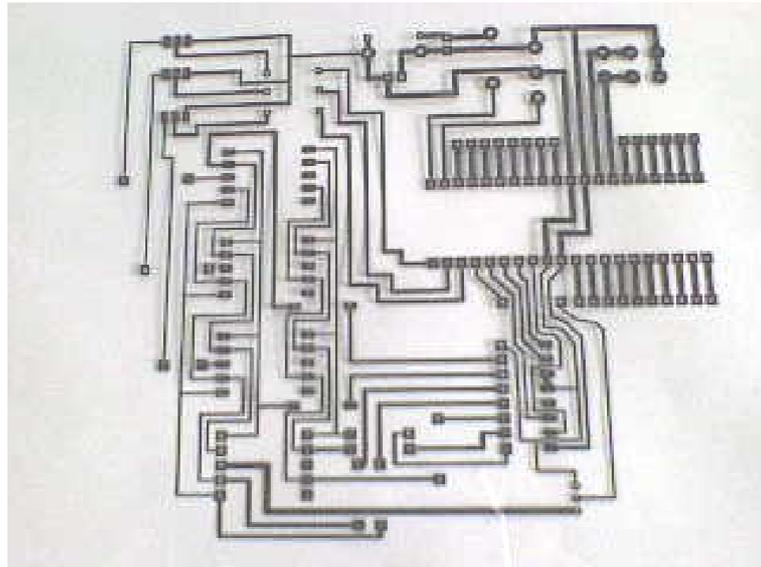


FIG2: RUTEADO DE PISTAS



1.2 IMPRESIÓN DE LAS PISTAS

Una vez que se tiene el diseño de la placa, se debe imprimir con una impresora láser o copiadora (que tengan los cartuchos toner de polvo en color negro), en un papel de transferencia térmica Press-n-Peel ASETATO (o papel de transferencia PCB).



1.3 PREPARACIÓN DE LA BAQUELITA

MATERIALES.

- 1 placa de Baquelita
- 1 lija de metal Nro. 150
- 1 esponja de acero, de las utilizadas para lavar platos (lustre, estrella, etc.) que sea fina.
- Broca de 0.2mm
- Acido para baquelita

1.3.1 PROCEDIMIENTO

Primero se utilizará la lámina que contiene el lado de las pistas, la otra parte es decir el screen de elementos lo utilizaremos posteriormente.

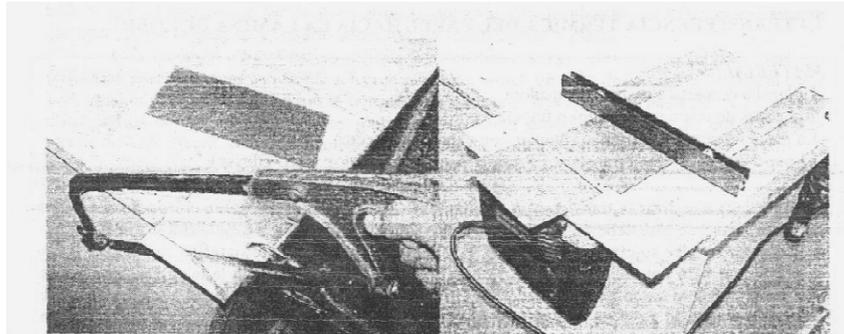


Figura 7.3.1. Paso 1. cortar la placa de 69 x 50 mm con una sierra o una caladora, esta última les permite cortes más rápidos y perfectos.



Figura 7.3.2. Paso 2. limpiar los filos del corte realizado y la lámina de cobre oxidada.

Bien ahora se debe cortar la placa que puede ser de Baquelitao de Fibra de vidrio, esta última es la más recomendable, ya que el acabado final es mucho mejor, además es más aislante y resistente a la humedad. Para las medidas del corte, se debe considerar 4 mm adicionales a cada lado de la placa en relación al del dibujo que se vaya a transferir.

Utilizando una sierra de arco o una caladora con sierra de metal (debido a que este posee dientes más finos).

Una vez cortado la placa, se debe limpiar las limallas de cobre que quedan en los filos de la placa, con una lija fina de metal (Nro. 150). Luego de esto se debe limpiar el lado del cobre donde se va a transferir las pistas con una esponja de

acero, notarán que la lámina de cobre cambia de color, esto porque se está limpiando el óxido creado en la superficie y los rayones que pudiera tener.

1.4 TRANSFERENCIA TÉRMICA



1.4.1 MATERIALES.

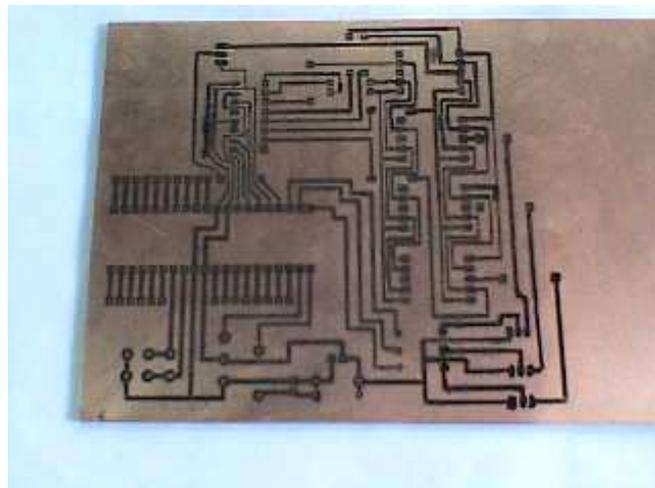
- plancha doméstica o una estampadora
- 2 pedazos de tela de calentador o franela
- La placa íntegramente limpia, (limpiar con esponja de acero)
- El papel con el diseño a transferir (ASETATO)

Ahora vamos a realizar la transferencia propiamente dicha de las pistas sobre el lado de la lámina de cobre, recuerde esta debe estar completamente limpia y no debe ser tocada con los dedos, para manipularlo se debe sujetar por los bordes. Primero coloque el papel fotográfico con el lado de la tinta sobre el lado del cobre, sin moverlo mucho introdúzcalo debajo de la tela, todo esto sobre una mesa rígida y luego pase la plancha que debe estar al máximo de la temperatura, aplique presión con todo el peso del cuerpo por alrededor de 20 a 30 segundos, luego de esto retire e inmediatamente coloque la placa en otra parte de la mesa que se encuentre fría, con otra franela.

Aplique presión uniforme frotándolo de un lado a otro hasta que este se enfríe, con la finalidad de que toda la tinta (toner + barniz) se pegue a la lámina de cobre y así poder retirar el papel sin que se presente partes cortadas o faltantes, si permanecen residuos de papel remójelo y sáquelo con la yema de los dedos.

Si las pistas no se pegan puede ser por que la plancha no es suficientemente caliente, en este caso utilice otra plancha, debe notar además que el papel se amarilla un poco por efecto del calor, otra razón puede ser también que esté utilizando una tela muy gruesa, cambie a otro tipo de tela, y por último puede ser la poca presión aplicada con la plancha, se debe prácticamente apoyarse sobre la plancha y frotarlo sobre toda la superficie de la placa.

1.5 TRANSFERENCIA TÉRMICA



1.6 PROCESO DE ATACADO (REDUCCIÓN) DEL COBRE

MATERIALES.

- 1 recipiente de plástico, (no metálico)
- 1/2 vaso con agua tibia
- 1 palillo o una pinza de plástico -
- 1 funda de cloruro férrico (en polvo)
- 1 calentador de agua para peceras (opcional)

Para reducir el cobre sobrante, es decir el que no está protegido por la tinta y el barniz, necesitamos preparar un atacador, existen 2 tipos de atacadores: los rápidos y los lentos, los rápidos como por ejemplo la combinación de 50 ml de ácido clorhídrico y 50 ml de agua oxigenada, pueden reducir el cobre no protegido al cabo de unos pocos segundos, pero tiene la desventaja de ser difíciles de conseguir en el mercado, los lentos en cambio como el Cloruro férrico se lo encuentra en cualquier tienda electrónica pero el proceso de atacado podría tomar hasta 1 hora. Sin embargo por ser menos agresivo y porque no emana muchos gases tóxicos, utilizaremos el cloruro férrico.

Para su preparación primero se recomienda un lugar con buena ventilación, no utilizar reloj con pulseras de meta pues el cloruro férrico ataca a los metales, también tome en cuenta que al contacto con la ropa o la piel, produce una mancha amarillenta, por lo que debe tomar las precauciones necesarias, y en caso de darse contacto con la piel debe lavarse con agua y jabón.

Una vez que estemos listos procedemos a preparar la solución acida, primero colocamos el /2 vaso de agua tibia en el recipiente de plástico, luego colocamos poco a poco si es posible con una cuchara de plástico, todo el contenido de la funda de cloruro férrico, es normal que el agua se empiece a calentar (debido a la reacción química)

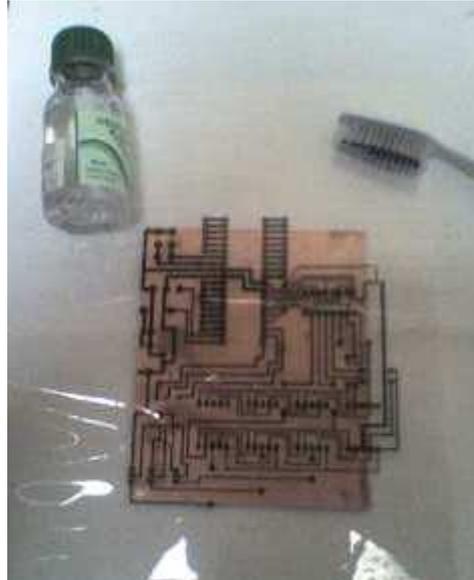
Esta solución ya preparada, puede ser almacenada en un envase de plástico o vidrio para luego ser utilizada varias veces, hasta que el ácido se contamine tanto que ya no sea posible corroer placas (debido a que el efecto es cada vez más lento), para entonces se debe desechar.



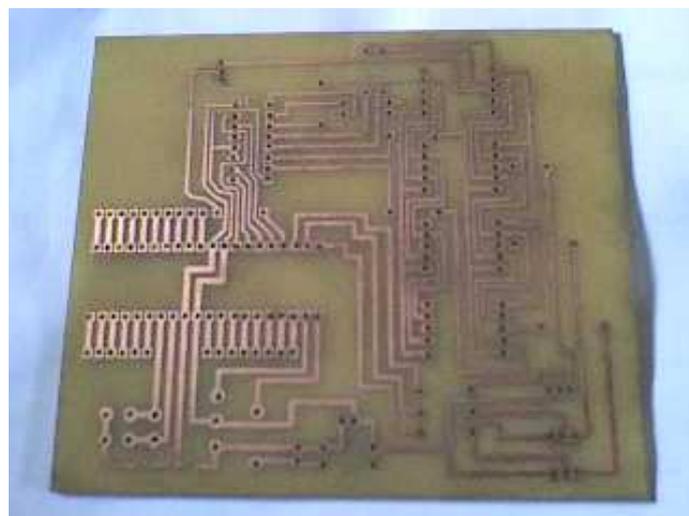
. Introduzca la placa virgen en la solución acida, si el ácido ya ha sido utilizado varias veces y tiene poca acción, introduzca el calentador para peceras.

Procedemos a introducir la placa en la solución ya preparada, el tiempo de corrosión por ser la primera vez, puede variar entre 15 y 30 minutos,. También podemos ayudar a que el proceso sea más rápido, moviendo el agua de un lado a otro, esto permite que el cobre disuelto, por efecto de la corriente generada por el movimiento, se deposite en el fondo del envase, así permitimos que la lámina tenga contacto directo con el ácido.

1.7 PROCESO DE LIMPIEZA DE LA PLACA YA ATACADA CON ACIDO.



Una vez que el ácido terminó de eliminar el cobre expuesto, retiramos la placa del ácido y lo lavamos con abundante agua en esta fase se ven de color negro, esto se debe a que el papel se encuentra remojado, pero cuando se seca vuelve a ser de color blanco, ahora nos resta limpiar todo el residuo de papel y tinta de 2 maneras posibles, la primera es utilizando THINNER, acetona, o cualquier disolvente, pero esto tiene un efecto secundario si bien limpia las pistas, un poco de tinta negra se impregna en algunas partes de la placa, dando la apariencia de sucia, por tal razón es mejor limpiar con la misma esponja de acero y un poco de agua, el resultado de la limpieza no deja rastro de tinta y se ve muy nítido.



1.8 PERFORACIÓN DE LA PLACA

Para la perforación de la placa se necesita un taladro de mandril el cual pueda soportar brocas de desde 0.2mm ,la perforación se realiza completamente vertical sin que se desvíe la broca.

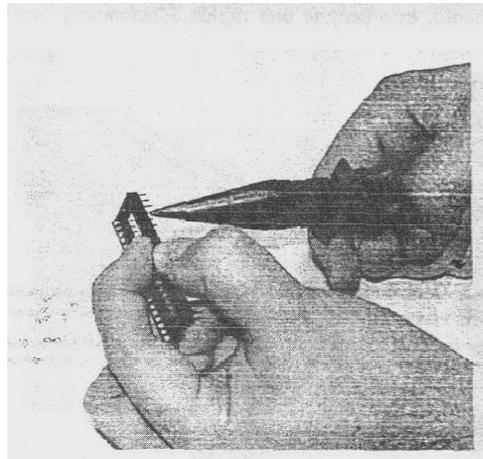


1.9 SOLDADURA DE LOS ELEMENTOS

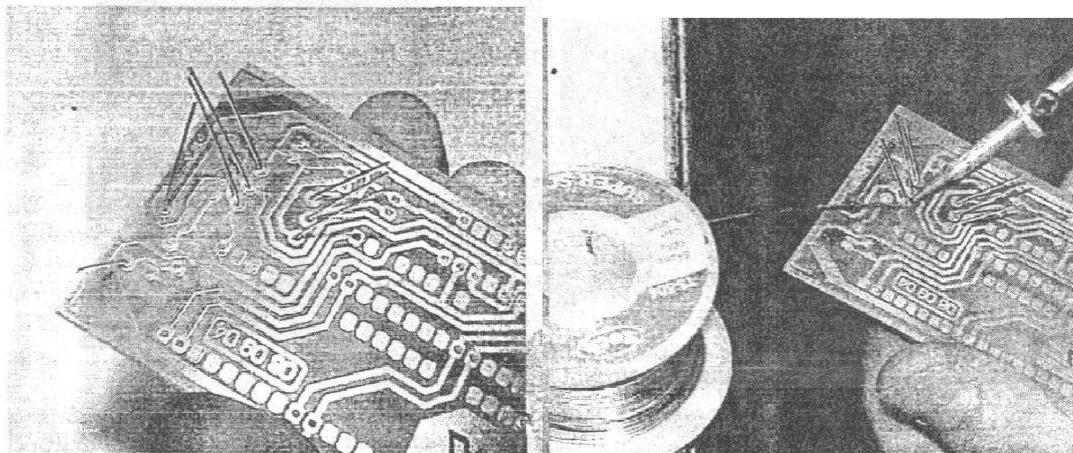


Una vez que tenga listos los materiales y herramientas, empiece por los zócalos, estos debe prepararlos sacando algunos pines que no se necesita, con el alicate

de punta empuje uno por uno los pines no necesarios como muestra la siguiente figura:



Las resistencias y el diodo, debe doblarlos, a-la medida necesaria y con la ayuda de la pinza de puntase debe seguir una secuencia en la soldadura de los componentes, primero los elementos más bajos y luego los más altos como el capacitor, de esta manera el orden para ir soldando sería: resistencias, diodo, zócalos, transistor, leds, y por último el capacitor



Inicie con la suelda de las resistencias y el diodo, estos debe insertarlos luego doblar las patitas hacia el exterior, con la finalidad de que al dar la vuelta la placa para soldar, estos no se caigan, luego de esto coloque en el soporte para placas y proceda a soldar, el mejor método de suelda, es calentar un poco el elemento a soldar y luego poner el estaño, mover la punta del cautín de arriba abajo, tocando el alambre de suelda y el elemento, esto permite una rápida adherencia y una buena soldadura.

ANEXO 2

CÓDIGO FUENTE

1	\$regfile = "m16DEF.dat"	' specify the used micro
2	\$crystal = 8000000	' used crystal frequency
3	\$baud = 9600	' use baud rate
4	\$hwstack = 32	' default use 32 for the hardware stack
5	\$swstack = 10	' default use 10 for the SW stack
6	\$framesize = 40	
7		
8		
9		
10		
11	Dim Manual_value As Byte	
12	Dim Auto_mode As Byte	
13	Dim Tacometro As Word	
14	Dim Sp As Single	
15	Dim Pv As Single	
16	Dim Cv As Single	
17		
18	Dim First_execution As Byte	
19	Dim Initial_error As Single	
20		
21	Dim Ser_in As Byte	
22	Dim Numero As Byte	
23	Dim Sprpm As Word	
24	Dim Error1 As Single	
25	Dim Error_abs As Single	
26	Dim Error_tot As Single	
27	Dim Dato As Word	
28	Dim Tecla As Byte	
29	Dim Rpm As Single	
30	Dim An1 As Integer	
31	Dim K1 As Single	
32	Dim Kp As Single	
33	Dim Ki As Single	
34	Dim Kd As Single	
35	Const K = 5400 / 1023	
36		
37		
38		
39		
40	Config Com1 = Dummy , Synchrono = 0 , Parity = None , Stopbits = 1 , Databits = 8 , Clockpol = 0	
41	Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portc.3 , Db5 = Portc.2 , Db6 = Portc.1 , Db7 = Portc.0 , E = Portc.4 , Rs = Portc.5	
42	Config Lcd = 20 * 4	
43	Config Timer1 = Pwm , Pwm = 10 , Compare A Pwm = Clear Down , Compare B Pwm = Clear Down , Prescale = 64	
44	Config Adc = Single , Prescaler = Auto	
45	Start Adc	
46		
47		

48	
49	Ddrd.4 = 1
50	Ddrd.5 = 1
51	Ddrb = &B00001111
52	Portb = &B11110000
53	
54	X1 Alias Portb.0
55	X2 Alias Portb.1
56	X3 Alias Portb.2
57	X4 Alias Portb.3
58	Y1 Alias Pinb.4
59	Y2 Alias Pinb.5
60	Y3 Alias Pinb.6
61	Y4 Alias Pinb.7
62	
63	
64	Auto_mode = 1
65	First_execution = 0
66	Manual_value = 40
67	'Sprpm = 2500
68	Dato = 0
69	
70	Cls
71	Cursor Off
72	
73	Kp = 0.1
74	Ki = 0.1
75	Kd = 0.1
76	
77	Inicio:
78	Locate 1 , 1
79	Lcd "CONTROL PID"
80	
81	Locate 2 , 1
82	Lcd "1.INGRESO PARAMETROS"
83	
84	Locate 3 , 1
85	Lcd "2.VISUALIZAR DATOS "
86	
87	Locate 4 , 1
88	Lcd "Ingrese su opcion..."
89	
90	Gosub Teclado
91	
92	Ser_in = Inkey()
93	If Ser_in = "P" Then Kp = Kp + 0.1
94	If Ser_in = "p" Then Kp = Kp - 0.1
95	'
96	If Ser_in = "I" Then Kd = Kd + 0.1
97	If Ser_in = "i" Then Kd = Kd - 0.1
98	

99	If Ser_in = "D" Then Ki = Ki + 0.01
100	If Ser_in = "d" Then Ki = Ki - 0.01
101	Sp = Sprpm / 5.25
102	K1 = 100 / Sprpm
103	Error1 = Sprpm - Rpm
104	Error_abs = Abs(error1)
105	Error_tot = K1 * Error_abs
106	Tacometro = Getadc(0)
107	Rpm = Tacometro * K
108	Pv = Tacometro
109	Print Tacometro
110	Gosub Regulator
111	Gosub Object
112	
113	
114	
115	
116	
117	
118	
119	
120	Select Case Tecla
121	
122	Case 1 : Gosub Parametros
123	Case 2 : Gosub Datos
124	Case Else : Goto Inicio
125	
126	End Select
127	Goto Inicio
128	
129	Parametros:
130	Cls
131	Nuevo1:
132	Locate 1 , 1
133	Lcd "***INGRESO DE DATOS**"
134	Locate 2 , 1
135	Lcd "1. VELOCIDAD"
136	Locate 3 , 1
137	Lcd "2. Kp"
138	Locate 3 , 16
139	Lcd "3. Ki"
140	Locate 4 , 8
141	Lcd "4. Kd"
142	
143	Ser_in = Inkey()
144	If Ser_in = "P" Then Kp = Kp + 0.1
145	If Ser_in = "p" Then Kp = Kp - 0.1
146	'
147	If Ser_in = "I" Then Kd = Kd + 0.1
148	If Ser_in = "i" Then Kd = Kd - 0.1
149	

150	If Ser_in = "D" Then Ki = Ki + 0.01
151	If Ser_in = "d" Then Ki = Ki - 0.01
152	Sp = Sprpm / 5.25
153	K1 = 100 / Sprpm
154	Error1 = Sprpm - Rpm
155	Error_abs = Abs(error1)
156	Error_tot = K1 * Error_abs
157	Tacometro = Getadc(0)
158	Rpm = Tacometro * K
159	Pv = Tacometro
160	Print Tacometro
161	Gosub Regulator
162	Gosub Object
163	
164	
165	
166	
167	
168	Gosub Teclado
169	
170	
171	Select Case Tecla
172	Case 1 : Gosub Tempera
173	Case 2 : Gosub Humy
174	Case 3 : Gosub Ki
175	Case 4 : Gosub Kd
176	Case Else : Goto Nuevo1
177	
178	
179	End Select
180	Return
181	
182	
183	
184	Datos:
185	Cls
186	Nuevo2:
187	'Case 10 : Goto Inicio
188	Locate 1 , 1
189	Lcd "DATOS DEL CONTROL"
190	Locate 2 , 1
191	Lcd "1.set point="
192	Locate 2 , 13
193	
194	Lcd ; Sprpm ; "RPM"
195	Locate 3 , 1
196	Lcd "1.tacometro="
197	Locate 3 , 13
198	
199	Lcd Fusing(rpm , "#.#") ; "RPM"
200	Locate 4 , 1

201	Lcd "1.error="
202	
203	Locate 4 , 13
204	Lcd Fusing(error_tot , "#.#")
205	
206	
207	Ser_in = Inkey()
208	If Ser_in = "P" Then Kp = Kp + 0.1
209	If Ser_in = "p" Then Kp = Kp - 0.1
210	'
211	If Ser_in = "I" Then Kd = Kd + 0.1
212	If Ser_in = "i" Then Kd = Kd - 0.1
213	
214	If Ser_in = "D" Then Ki = Ki + 0.01
215	If Ser_in = "d" Then Ki = Ki - 0.01
216	Sp = Sprpm / 5.25
217	K1 = 100 / Sprpm
218	Error1 = Sprpm - Rpm
219	Error_abs = Abs(error1)
220	Error_tot = K1 * Error_abs
221	Tacometro = Getadc(0)
222	Rpm = Tacometro * K
223	Pv = Tacometro
224	Print Tacometro
225	Gosub Regulator
226	Gosub Object
227	
228	
229	
230	
231	Gosub Teclado
232	
233	
234	Select Case Tecla
235	Case 10 : Goto Inicio
236	Case Else : Goto Nuevo2
237	End Select
238	Return
239	
240	
241	
242	
243	
244	Tempera:
245	Numero = 0
246	Cls
247	
248	
249	
250	Nuevo3:
251	Locate 1 , 1

252	Lcd "INGRESE VEL "
253	Locate 2 , 1
254	Lcd " CONFORT 0-5000 RPM "
255	
256	
257	Ser_in = Inkey()
258	If Ser_in = "P" Then Kp = Kp + 0.1
259	If Ser_in = "p" Then Kp = Kp - 0.1
260	'
261	If Ser_in = "I" Then Kd = Kd + 0.1
262	If Ser_in = "i" Then Kd = Kd - 0.1
263	
264	If Ser_in = "D" Then Ki = Ki + 0.01
265	If Ser_in = "d" Then Ki = Ki - 0.01
266	Sp = Sprpm / 5.25
267	K1 = 100 / Sprpm
268	Error1 = Sprpm - Rpm
269	Error_abs = Abs(error1)
270	Error_tot = K1 * Error_abs
271	Tacometro = Getadc(0)
272	Rpm = Tacometro * K
273	Pv = Tacometro
274	Print Tacometro ' time slices
275	Gosub Regulator ' Call the PID algorithm
276	Gosub Object
277	
278	
279	
280	
281	
282	
283	
284	
285	Gosub Teclado
286	
287	Select Case Tecla
288	
289	Case 10 : Goto Comprobar1
290	Case Else:
291	
292	Gosub Ingreso_dato
293	
294	Locate 4 , 5
295	Lcd "VEL=" ; Dato ; "RPM"
296	Goto Nuevo3
297	
298	End Select
299	
300	
301	
302	

303	
304	Comprobar1:
305	If Dato <= 5400 And Dato >= 0 Then
306	Sprpm = Dato
307	Goto Inicio
308	'Gosub Main
309	Else
310	Cls
311	Locate 1 , 1
312	Lcd " RANGO DE VEL. "
313	Locate 2 , 1
314	Lcd " MAL INGRESADA "
315	Dato = 0
316	Wait 1
317	Goto Nuevo3
318	End If
319	Return
320	
321	
322	
323	
324	
325	Humy:
326	Dim Cuenta2 As Integer
327	Dim Humyconf As Byte
328	Humyconf = 0
329	Cuenta2 = 0
330	
331	
332	Cls
333	Nuevo4:
334	Locate 1 , 1
335	Lcd " INGRESE KP "
336	Locate 2 , 1
337	Lcd " CONFORT 0.1 "
338	Gosub Teclado
339	Select Case Tecla
340	Case 10 : Goto Comprobar2
341	Case Else:
342	
343	
344	
345	Ser_in = Inkey()
346	If Ser_in = "P" Then Kp = Kp + 0.1
347	If Ser_in = "p" Then Kp = Kp - 0.1
348	'
349	If Ser_in = "I" Then Kd = Kd + 0.1
350	If Ser_in = "i" Then Kd = Kd - 0.1
351	
352	If Ser_in = "D" Then Ki = Ki + 0.01
353	If Ser_in = "d" Then Ki = Ki - 0.01

354	Sp = Sprpm / 5.25
355	K1 = 100 / Sprpm
356	Error1 = Sprpm - Rpm
357	Error_abs = Abs(error1)
358	Error_tot = K1 * Error_abs
359	Tacometro = Getadc(0)
360	Rpm = Tacometro * K
361	Pv = Tacometro
362	Print Tacometro ' time slices
363	Gosub Regulator ' Call the PID algorithm
364	Gosub Object
365	
366	
367	
368	
369	
370	If Tecla = 12 Then
371	Kp = Kp + 0.1
372	End If
373	If Tecla = 13 Then
374	Kp = Kp - 0.1
375	End If
376	
377	
378	If Kp < 0 Then
379	Kp = 0
380	End If
381	
382	Locate 4 , 5
383	Lcd "Kp="
384	Locate 4 , 8
385	Lcd Fusing(kp , "#.#")
386	
387	
388	Goto Nuevo4
389	End Select
390	
391	Comprobar2:
392	
393	Goto Inicio
394	'End If
395	Return
396	
397	
398	
399	
400	
401	
402	
403	Ki:
404	

405	Cls
406	Nuevo5:
407	Locate 1 , 1
408	Lcd " INGRESE Ki "
409	Locate 2 , 1
410	Lcd " CONFORT 0.1 "
411	Gosub Teclado
412	Select Case Tecla
413	Case 10 : Goto Comprobar3
414	Case Else:
415	
416	
417	
418	Ser_in = Inkey()
419	If Ser_in = "P" Then Kp = Kp + 0.1
420	If Ser_in = "p" Then Kp = Kp - 0.1
421	'
422	If Ser_in = "I" Then Kd = Kd + 0.1
423	If Ser_in = "i" Then Kd = Kd - 0.1
424	
425	If Ser_in = "D" Then Ki = Ki + 0.01
426	If Ser_in = "d" Then Ki = Ki - 0.01
427	Sp = Sprpm / 5.25
428	K1 = 100 / Sprpm
429	Error1 = Sprpm - Rpm
430	Error_abs = Abs(error1)
431	Error_tot = K1 * Error_abs
432	Tacometro = Getadc(0)
433	Rpm = Tacometro * K
434	Pv = Tacometro
435	Print Tacometro ' time slices
436	Gosub Regulator ' Call the PID allgorithm
437	Gosub Object
438	
439	
440	
441	
442	
443	If Tecla = 12 Then
444	Ki = Ki + 0.01
445	End If
446	If Tecla = 13 Then
447	Ki = Ki - 0.01
448	End If
449	If Ki < 0 Then
450	Ki = 0
451	End If
452	
453	
454	
455	Locate 4 , 5

456	Lcd "Ki="
457	Locate 4 , 8
458	Lcd Fusing(ki , "#.###")
459	
460	
461	Goto Nuevo5
462	End Select
463	
464	Comprobar3:
465	
466	
467	
468	Goto Inicio
469	'End If
470	Return
471	
472	
473	
474	
475	
476	
477	
478	
479	Kd:
480	Cls
481	Nuevo6:
482	Locate 1 , 1
483	Lcd " INGRESE Kd "
484	Locate 2 , 1
485	Lcd " CONFORT 0.1 "
486	Gosub Teclado
487	Select Case Tecla
488	Case 10 : Goto Comprobar4
489	Case Else:
490	
491	
492	
493	Ser_in = Inkey()
494	If Ser_in = "P" Then Kp = Kp + 0.1
495	If Ser_in = "p" Then Kp = Kp - 0.1
496	'
497	If Ser_in = "I" Then Kd = Kd + 0.1
498	If Ser_in = "i" Then Kd = Kd - 0.1
499	
500	If Ser_in = "D" Then Ki = Ki + 0.01
501	If Ser_in = "d" Then Ki = Ki - 0.01
502	Sp = Sprpm / 5.25
503	K1 = 100 / Sprpm
504	Error1 = Sprpm - Rpm
505	Error_abs = Abs(error1)
506	Error_tot = K1 * Error_abs

507	Tacometro = Getadc(0)
508	Rpm = Tacometro * K
509	Pv = Tacometro
510	Print Tacometro ' time slices
511	Gosub Regulator ' Call the PID algorithm
512	Gosub Object
513	
514	
515	
516	
517	
518	If Tecla = 12 Then
519	Kd = Kd + 0.01
520	End If
521	If Tecla = 13 Then
522	Kd = Kd - 0.01
523	End If
524	
525	If Kd < 0 Then
526	Kd = 0
527	End If
528	
529	Locate 4 , 5
530	Lcd "Kd="
531	Locate 4 , 8
532	Lcd Fusing(kd , "#.###")
533	
534	
535	Goto Nuevo6
536	End Select
537	
538	Comprobar4:
539	
540	Goto Inicio
541	'End If
542	Return
543	
544	
545	
546	
547	
548	
549	
550	
551	
552	
553	
554	
555	Object:
556	
557	An1 = Cv

558	If An1 > 1023 Then An1 = 1023
559	If An1 < 0 Then An1 = 0
560	Pwm1a = An1
561	Return
562	
563	
564	
565	
566	
567	Teclado:
568	Tecla = 16
569	Reset X1
570	If Y1 = 0 Then Tecla = 1
571	If Y2 = 0 Then Tecla = 4
572	If Y3 = 0 Then Tecla = 7
573	If Y4 = 0 Then Tecla = 15
574	Set X1
575	
576	Reset X2
577	If Y1 = 0 Then Tecla = 2
578	If Y2 = 0 Then Tecla = 5
579	If Y3 = 0 Then Tecla = 8
580	If Y4 = 0 Then Tecla = 0
581	Set X2
582	
583	Reset X3
584	If Y1 = 0 Then Tecla = 3
585	If Y2 = 0 Then Tecla = 6
586	If Y3 = 0 Then Tecla = 9
587	If Y4 = 0 Then Tecla = 14
588	Set X3
589	
590	Reset X4
591	If Y1 = 0 Then Tecla = 10
592	If Y2 = 0 Then Tecla = 11
593	If Y3 = 0 Then Tecla = 12
594	If Y4 = 0 Then Tecla = 13
595	Set X4
596	If Tecla < 16 Then Waitms 200
597	Return
598	
599	
600	
601	
602	
603	Ingreso_dato:
604	If Tecla < 10 Then
605	If Numero = 0 Then
606	Dato = Tecla
607	Numero = 1
608	Else

609	Dato = Dato * 10
610	Dato = Dato + Tecla
611	End If
612	End If
613	Return
614	
615	
616	
617	
618	
619	
620	Regulator:
621	
622	Dim Last_pv As Single ' Last PV
623	Dim Last_sp As Single ' Last SP
624	Dim Sum_error As Single ' Summed error value
625	Dim D_pv As Single ' Derrivated delta PV
626	
627	Dim Error As Single ' Difference between SP and PV
628	Dim Pterm As Single ' Proportional calculated part
629	Dim Iterm As Single ' Integrated calculated part
630	Dim Dterm As Single ' Derivated calculated part
631	' -----[Code]-----
632	
633	If Auto_mode = 1 Then
634	' ----- Regulating modus
635	Error = Sp - Pv
636	Sum_error = Sum_error + Error
637	Iterm = Ki * Sum_error ' Integrated CV part
638	
639	' ----- First time startup
640	If First_execution < 2 Then
641	If First_execution = 0 Then
642	Sum_error = Manual_value / Ki
643	First_execution = 1
644	Initial_error = Error
645	End If
646	Pterm = 0
647	Dterm = 0
648	If Initial_error > 0 And Error < 0 Then
649	First_execution = 2
650	Last_pv = Pv
651	End If
652	If Initial_error < 0 And Error > 0 Then
653	First_execution = 2
654	Last_pv = Pv
655	End If
656	Last_sp = Sp
657	
658	' ----- Normal calculation loop
659	Else

660	D_pv = Last_pv - Pv	
661	Last_pv = Pv	
662	Dterm = Kd * D_pv	' Derivated CV part
663	If Sp = Last_sp Then	
664	' ----- Normal loop when setpoint not changed	
665	Pterm = Kp * Error	' Proportional CV part
666	' ----- Loop when setpoint changed	
667	Else	
668	Pterm = 0	
669	Dterm = 0	
670	If Sp > Last_sp And Pv > Sp Then	
671	Last_sp = Sp	
672	Last_pv = Pv	
673	End If	
674	If Sp < Last_sp And Pv < Sp Then	
675	Last_sp = Sp	
676	Last_pv = Pv	
677	End If	
678	End If	' Enf of SP change seperation
679	End If	' Enf of first time running seperation
680		
681	Cv = Pterm + Iterm	' Summing of the tree
682	Cv = Cv + Dterm	
683		
684		' calculated terms
685		
686	'Pwm1a = Cv	
687	' ----- Forced modus	
688	Else	' When running in non regulationg modus
689	Cv = Manual_value	' Set output to predefined value
690	First_execution = 0	' restart bumpless
691	End If	
692	Return	

ANEXO 3

3 DISTRIBUCIÓN DE PINES DEL ATMEGA 16

PDIP

(XCK/T0) PB0	□	1	40	□	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	□	2	39	□	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	□	3	38	□	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	□	4	37	□	PA3 (ADC3)
(\overline{SS}) PB4	□	5	36	□	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	□	6	35	□	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	□	7	34	□	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	□	8	33	□	PA7 (ADC7)
\overline{RESET}	□	9	32	□	AREF
VCC	□	10	31	□	GND
GND	□	11	30	□	AVCC
XTAL2	□	12	29	□	PC7 (TOSC2)
XTAL1	□	13	28	□	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	□	14	27	□	PC5 (TDI)
(TXD) PD1	□	15	26	□	PC4 (TDO)
(INT0) PD2	□	16	25	□	PC3 (TMS)
(INT1) PD3	□	17	24	□	PC2 (TCK)
(OC1B) PD4	□	18	23	□	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	□	19	22	□	PC0 (SCL)
(ICP1) PD6	□	20	21	□	PD7 (OC2)

3.1 DESCRIPCIÓN DE PINES[12]

VCC:Alimentación de Voltaje Digital

GND:Tierra

3.1.1 Puerto A (PA7:PA0)

El puerto A sirve como entradas analógicas para el conversor Análogo Digital.

El puerto A también sirve como un puerto bidireccional de 8 bits con resistencias internas de pull up (seleccionables para cada bit). Los buffers de salida del puerto A tienen características simétricas controladas con fuentes de alta capacidad.

Los pines del puerto A están en tri-estado cuando las condiciones de reset están activadas o cuando el reloj no este corriendo. El puerto A también sirve para varias funciones especiales del ATmega164P/324P/644P como la Conversión Análoga Digital.

3.1.2 Port B (PB7:PB0)

El puerto B es un puerto bidireccional de 8 bits de E/S con resistencias internas de pull up. Las salidas de los buffers del puerto B tienen características simétricas controladas con fuentes de alta capacidad.

Los pines del puesto B están en tri-estado cuando las condiciones de reset están activadas o cuando el reloj no esté corriendo. El puerto B también sirve para varias funciones especiales del ATmega164P/324P/644P como se menciona en las páginas iniciales.

3.1.3 Port C (PC7:PC0)

El puerto C es un puerto bidireccional de 8 bits de E/S con resistencias internas de pull up (seleccionadas por cada bit). Las salidas de los buffers del puerto C tienen características simétricas controladas con fuentes de alta capacidad.

Los pines del puesto C están en tri-estado cuando las condiciones de reset están activadas siempre y cuando el reloj no este corriendo. El puerto C también sirve para las funciones de Interfaz del JTAG, con funciones especiales del ATmega164P/324P/644P como se menciona en las páginas iniciales.

3.1.4 Port D (PD7:PD0)

El Puerto D es un puerto bidireccional de entradas y salidas con resistencias internas de pull up (seleccionadas por cada bit). Las salidas de los buffers del puerto D tienen características simétricas controladas con sumideros de fuentes de alta capacidad.

Los pines del Puerto D están en tri-estado cuando llega una condición de reset activa, siempre y cuando el reloj no esté corriendo.

El puerto D también sirve para varias funciones especiales del ATmega164P/324P/644P como se menciona en las páginas iniciales.

3.1.5 Reset

Entrada del Reset. Un pulso de nivel bajo en este pin por períodos de pulso mínimo genera un reset, siempre y cuando el reloj no esté corriendo.

La longitud del pulso mínimo está especificada en las Características y Sistemas de Reset (Páginas 331 del Data Sheet). Pulsos cortos no son garantizados para generar un reset.

3.1.6 XTAL1

Entrada para el amplificador del oscilador invertido y entrada para el circuito de operación del reloj interno.

3.1.7 XTAL2

Salida del Oscilador amplificador de salida.

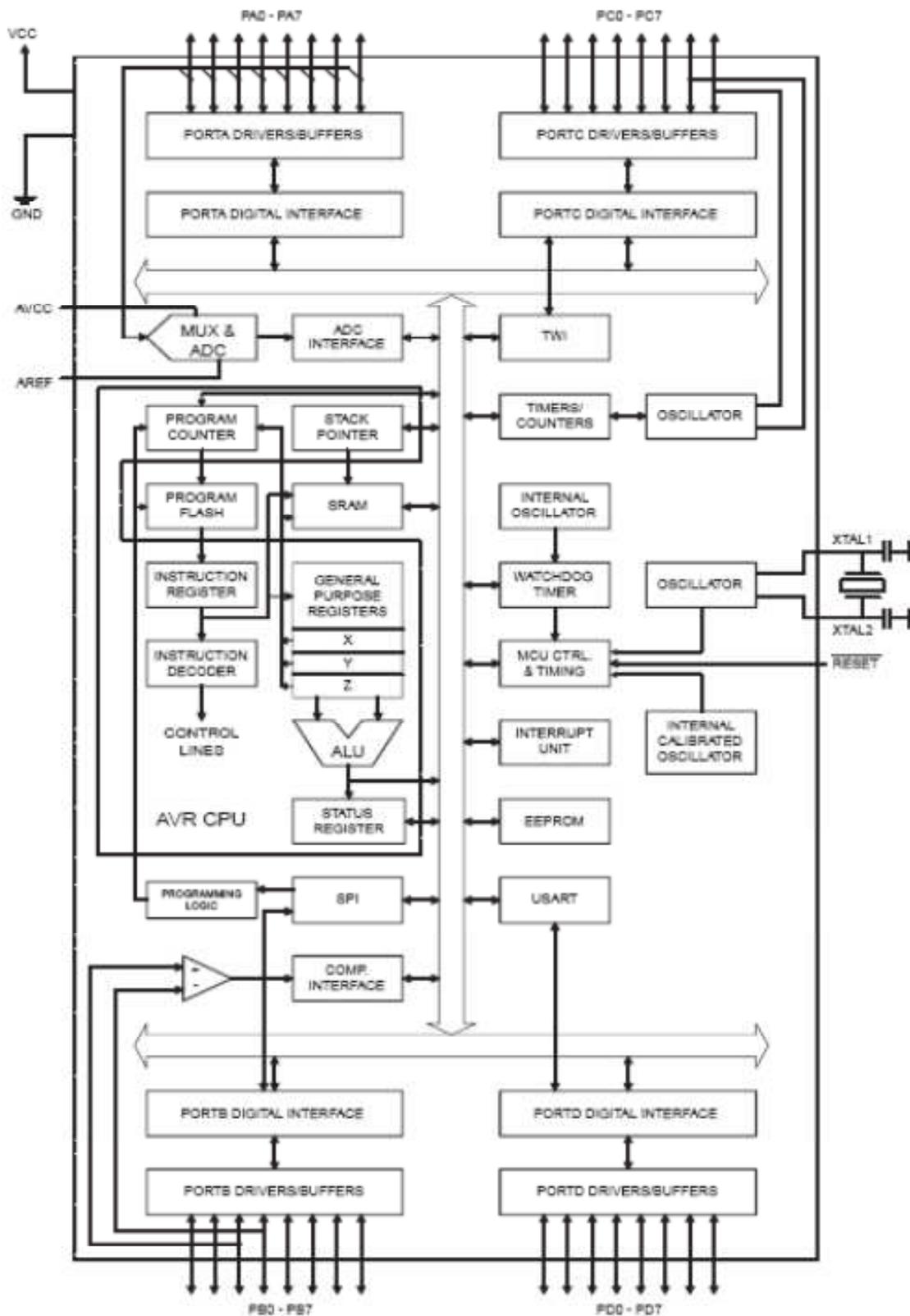
3.1.8 AVCC

AVCC es la alimentación de voltaje para el pin del Puerto F y el Conversor Análogo a Digital. Este debe ser conectado externamente a VCC, siempre y cuando el ADC no sea usado. Si el ADC es usado, este deberá ser conectado a VCC a través de un filtro paso bajo.

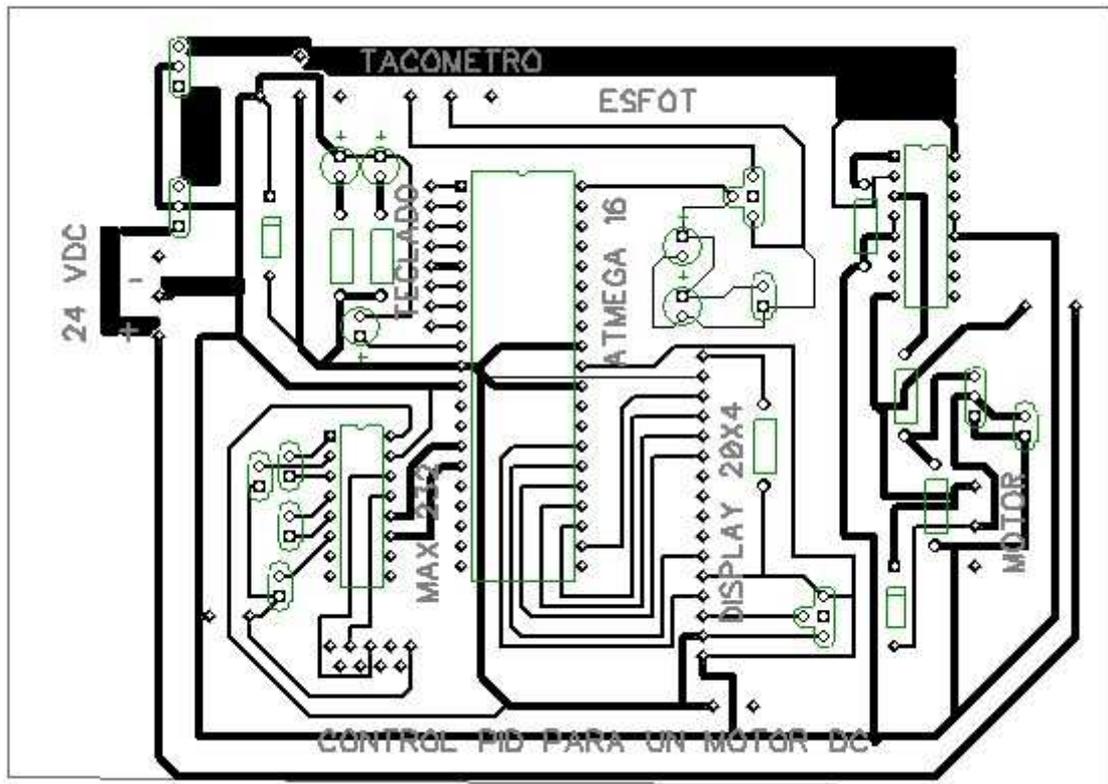
3.1.9 AREF

Esta es la referencia para el pin de la conversión Análoga a Digital.

3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ATMEGA 16



ANEXO 4



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL MOSFET IRFZ44

Advanced Power MOSFET

IRFZ44

FEATURES

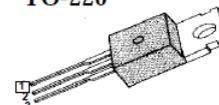
- ◆ Avalanche Rugged Technology
- ◆ Rugged Gate Oxide Technology
- ◆ Lower Input Capacitance
- ◆ Improved Gate Charge
- ◆ Extended Safe Operating Area
- ◆ 175°C Operating Temperature
- ◆ Lower Leakage Current: 10 μ A (Max.) @ $V_{DS} = 60V$
- ◆ Lower $R_{DS(ON)}$: 0.020 Ω (Typ.)

$$BV_{DSS} = 60 V$$

$$R_{DS(on)} = 0.024\Omega$$

$$I_D = 50 A$$

TO-220



1. Gate 2. Drain 3. Source

Absolute Maximum Ratings

Symbol	Characteristic	Value	Units
V_{DSS}	Drain-to-Source Voltage	60	V
I_D	Continuous Drain Current ($T_C=25^\circ C$)	50	A
	Continuous Drain Current ($T_C=100^\circ C$)	35.4	
I_{DM}	Drain Current-Pulsed (1)	200	A
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulsed Avalanche Energy (2)	857	mJ
I_{AR}	Avalanche Current (1)	50	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy (1)	12.6	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt (3)	5.5	V/ns
P_D	Total Power Dissipation ($T_C=25^\circ C$)	126	W
	Linear Derating Factor	0.84	
T_J, T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	- 55 to +175	$^\circ C$
T_L	Maximum Lead Temp. for Soldering Purposes, 1/8. from case for 5-seconds	300	

Thermal Resistance

Symbol	Characteristic	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	--	1.19	$^\circ C/W$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink	0.5	--	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	--	62.5	

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

©1999 Fairchild Semiconductor Corporation

Rev. B

IRFZ44

N-CHANNEL POWER MOSFET

Electrical Characteristics ($T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Condition
BV_{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	60	--	--	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta BV/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coeff.	--	0.063	--	V/ $^\circ\text{C}$	$I_D=250\mu A$ <i>See Fig 7</i>
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	--	4.0	V	$V_{DS}=5V, I_D=250\mu A$
I_{GSS}	Gate-Source Leakage, Forward	--	--	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-Source Leakage, Reverse	--	--	-100		$V_{GS}=-20V$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	--	--	10	μA	$V_{DS}=60V$
		--	--	100		$V_{DS}=48V, T_C=150^\circ\text{C}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-State Resistance	--	--	0.024	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=25A$ (4)
g_{fs}	Forward Transconductance	--	32.6	--	\bar{O}	$V_{DS}=30V, I_D=25A$ (4)
C_{iss}	Input Capacitance	--	1770	2300	pF	$V_{GS}=0V, V_{DS}=25V, f=1\text{MHz}$ <i>See Fig 5</i>
C_{oss}	Output Capacitance	--	590	680		
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	--	220	255		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	--	20	40	ns	$V_{DD}=30V, I_D=50A,$ $R_G=9.1\Omega$ <i>See Fig 13</i> (4) (5)
t_r	Rise Time	--	16	40		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	--	68	140		
t_f	Fall Time	--	70	140		
Q_g	Total Gate Charge	--	64	83	nC	$V_{DS}=48V, V_{GS}=10V,$ $I_D=50A$ <i>See Fig 6 & Fig 12</i> (4) (5)
Q_{gs}	Gate-Source Charge	--	12.3	--		
Q_{gd}	Gate-Drain (. Miller.) Charge	--	23.6	--		

Source-Drain Diode Ratings and Characteristics

Symbol	Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Condition
I_S	Continuous Source Current	--	--	50	A	Integral reverse pn-diode in the MOSFET
I_{SM}	Pulsed-Source Current (1)	--	--	200		
V_{SD}	Diode Forward Voltage (4)	--	--	1.8	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=50A, V_{GS}=0V$
t_{rr}	Reverse Recovery Time	--	85	--	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=50A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	--	0.24	--	μC	$di_F/dt=100A/\mu\text{s}$ (4)

Notes;

- (1) Repetitive Rating: Pulse Width Limited by Maximum Junction Temperature
- (2) $L=0.4\text{mH}, I_{AS}=50A, V_{DD}=25V, R_G=27\Omega$, Starting $T_J=25^\circ\text{C}$
- (3) $I_{SD} \leq 50A, di/dt \leq 350A/\mu\text{s}, V_{DD} \leq BV_{DSS}$, Starting $T_J=25^\circ\text{C}$
- (4) Pulse Test : Pulse Width = 250 μs , Duty Cycle $\leq 2\%$
- (5) Essentially Independent of Operating Temperature

**N-CHANNEL
POWER MOSFET**

IRFZ44

Fig 1. Output Characteristics

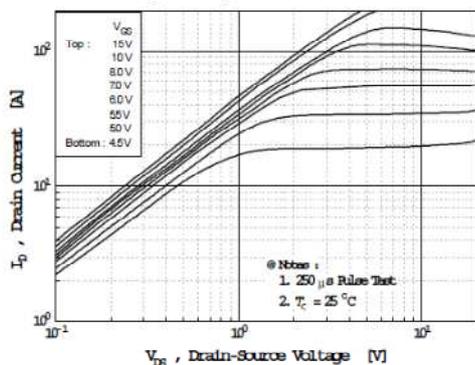


Fig 2. Transfer Characteristics

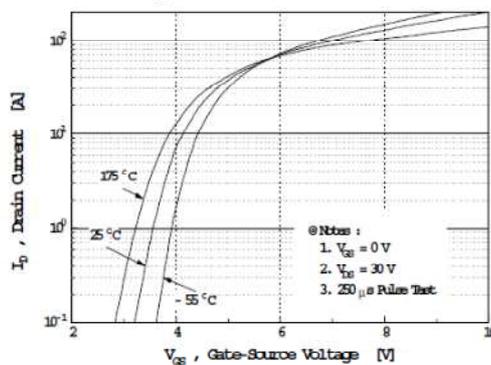


Fig 3. On-Resistance vs. Drain Current

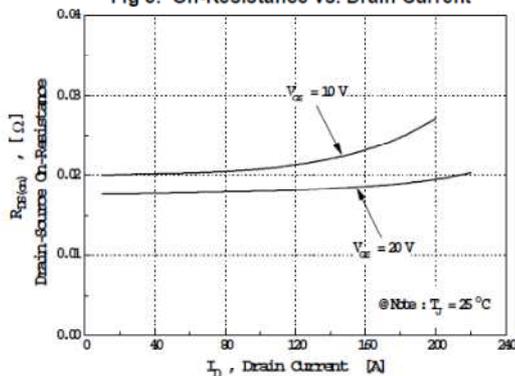


Fig 4. Source-Drain Diode Forward Voltage

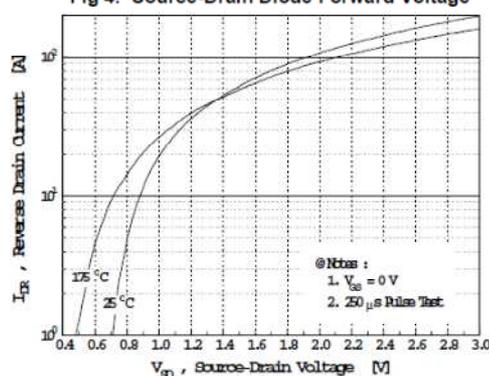


Fig 5. Capacitance vs. Drain-Source Voltage

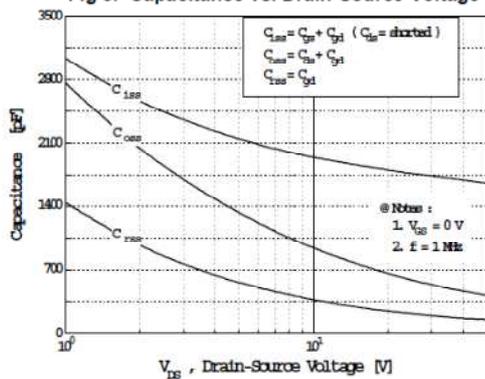
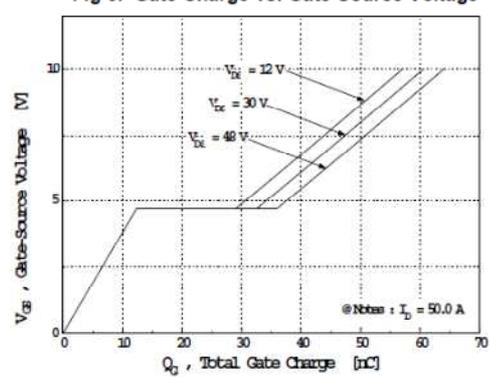


Fig 6. Gate Charge vs. Gate-Source Voltage



IRFZ44

N-CHANNEL POWER MOSFET

Fig 7. Breakdown Voltage vs. Temperature

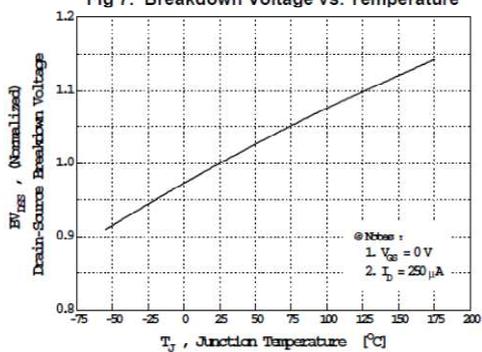


Fig 8. On-Resistance vs. Temperature

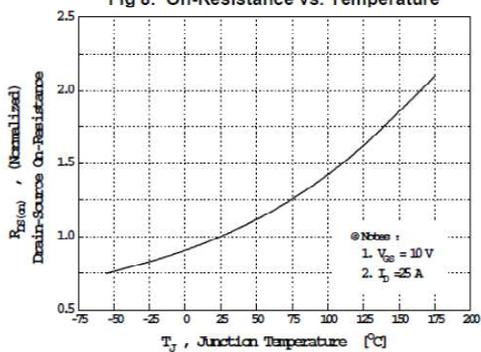


Fig 9. Max. Safe Operating Area

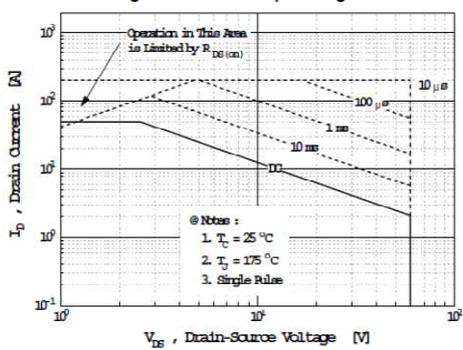


Fig 10. Max. Drain Current vs. Case Temperature

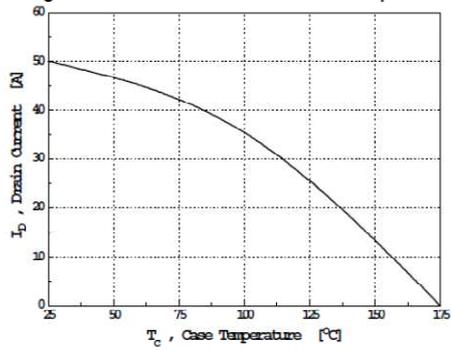
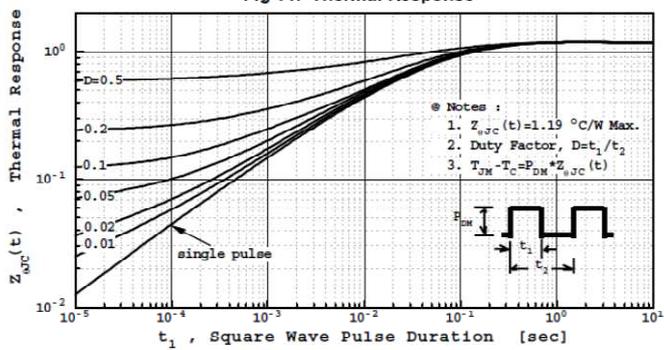


Fig 11. Thermal Response



**N-CHANNEL
POWER MOSFET**

IRFZ44

Fig 12. Gate Charge Test Circuit & Waveform

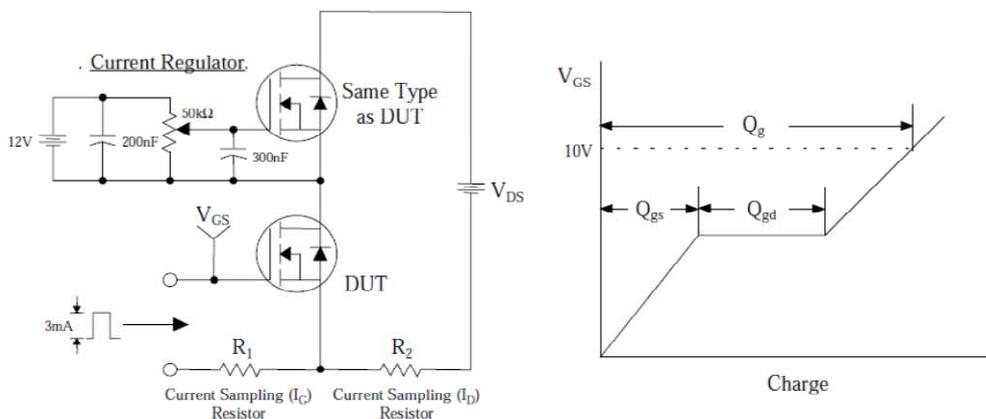


Fig 13. Resistive Switching Test Circuit & Waveforms

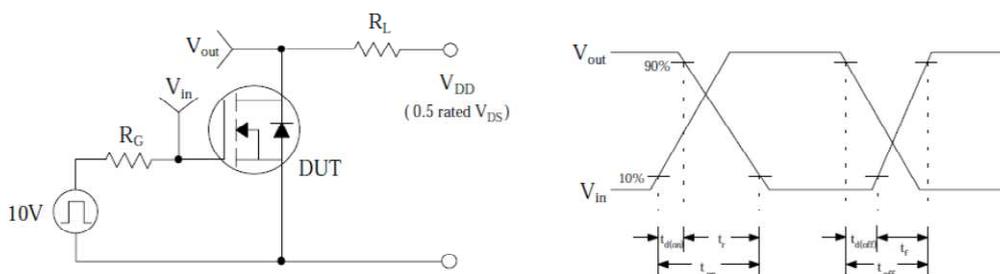
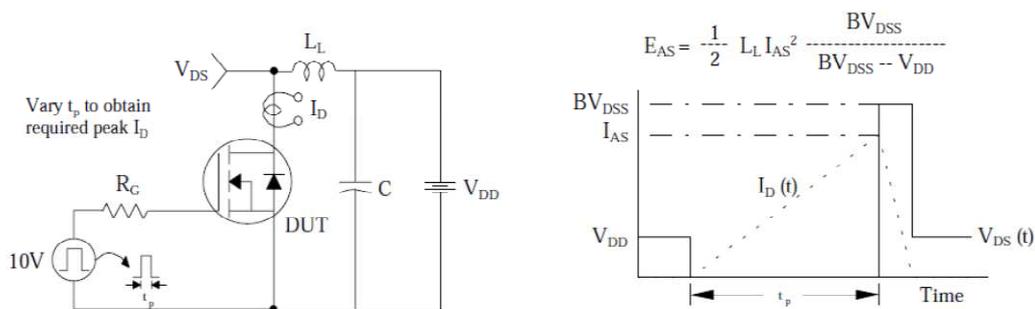


Fig 14. Unclamped Inductive Switching Test Circuit & Waveforms



IRFZ44

N-CHANNEL POWER MOSFET

Fig 15. Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit & Waveforms

