

Capítulo 1

Antecedentes

En el capítulo siguiente se presenta de manera resumida los conceptos teóricos de los elementos que se utilizan en el trabajo de tesis. Lo anterior fue tomado de diversas áreas, Ingeniería Electrónica y Programación. En la primera parte se presentan los diferentes tipos de sistemas de mezclado que se encuentran en el mercado así como sus características permitiendo entender así su funcionamiento en el área industrial. Posteriormente se explica el funcionamiento de los actuadores electromecánicos con su respectivo análisis. Por último se especificarán los fundamentos en electrónica, procesamiento de datos y programación. Lo anterior constituye el elemento de desarrollo del sistema de mezclado descrito en la presente tesis.

1.1. Sistemas de mezclado

Las mezcladoras generan productos intermedios o finales de alta calidad con la máxima homogeneidad. Para los mezclados de sólidos con adición de líquidos, los productos a granel son rociados o regados con aromas, aglutinantes u otros líquidos. Para lo anterior lo principal es evitar la formación de grumos y la absorción o aglomeración del líquido en el producto. El diseño de la mezcladora se basa en el tamaño, número y ubicación de los puntos de alimentación así como la tobera. A continuación se mencionarán unos modelos existentes en el mercado y sus principales características.

Sistemas Megatron® MT-V 1-65/MT-V 3-65

Consta de un homogeneizador rotor-estator, tanque de almacenamiento, flujómetro, con capacidad de recircular el flujo, figura 1.1. Este sistema trabaja con o sin cámaras de calentamiento y su toma de corriente es trifásica. La velocidad del homogeneizador es controlada por un inversor de frecuencia.



Figura 1.1 Sistemas Megatron® MT-V 1-65.

Sistema Megatron® MT 5100

Es un sistema de dispersión y mezclado, su toma es de corriente trifásica, figura 1.2. La velocidad del homogeneizador es controlada por un inversor de frecuencia. El tiempo de proceso puede ser determinado por el usuario, las condiciones de proceso tales como temperatura, vacío, presión y viscosidad se observan y se ajustan para producir el mejor resultado.



Figura 1.2 Sistema Megatron® MT 5100.

El sistema consta de un homogeneizador (rotor estator), tanque de almacenamiento, flujómetro y presenta la capacidad de recircular el flujo. [4]

Sistema de mezcla MS-C

Este sistema de mezcla es dinámico y compacto para una medición precisa, mezcla y dosificación. Presenta un sistema de válvulas activadas por un servomotor, figura 1.3. El diseño compacto permite el dispensado y aplicación sobre piezas complejas. Además está equipado con el sistema de cierre de boquilla automatizado.

Cuenta con un procesado en el cual se puede mezclar hasta tres componentes químicos, dos componentes con recirculación a través del sistema de mezclado y la cámara de mezcla está disponible en diversos tamaños. [5]

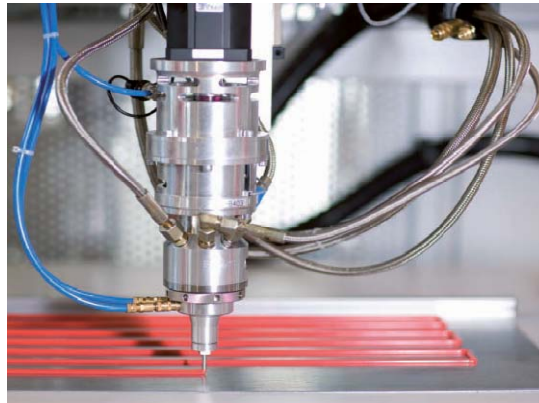


Figura 1.3 Sistema de mezcla MS-C.

Reactron RT 1

Este sistema cuenta con un mezclador de regulación digital, control de velocidad y calentamiento, figura 1.4. El homogeneizador rotor estator cuenta con una regulación electrónica, variación de la intensidad de mezclado e indicador. Por su tamaño este tipo de sistemas se utiliza principalmente en laboratorios. [4]

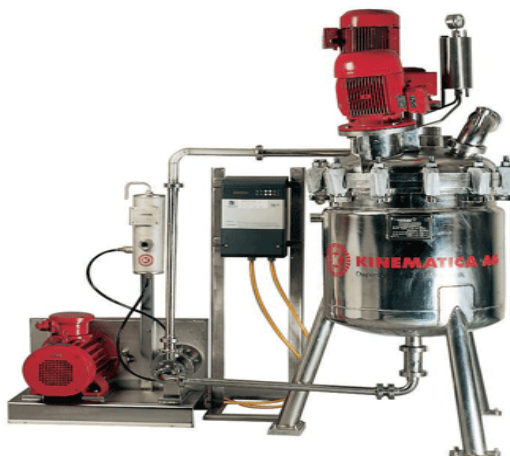


Figura 1.4 Reactron RT 1.

1.2. Actuadores electromecánicos

Electroválvulas

Las electroválvulas son un dispositivo diseñado para controlar el flujo a través de un conducto como puede ser una tubería.

Las electroválvulas cuentan con dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para hacer actuar la válvula.

La electroválvula posee un sistema on/off, es decir al no llegar señal directa de voltaje se mantendrá cerrada y al llegar señal de voltaje se abre y deja pasar el fluido de agua. En nuestro caso la electroválvula es alimentada por 24V por lo tanto requiere de un circuito de potencia para ser acoplado al microcontrolador.

Dentro de las electroválvulas comerciales se tienen las siguientes:

Electroválvula EV210B Danfoss: Abarca un amplio abanico de electroválvulas de de 2/2 vías accionadas directamente para aplicaciones generales, figura 1.5. Los cuerpos de las electroválvulas y bobinas eléctricas de Danffos normalmente se suministran por separado y se combinan posteriormente. [18]



Figura 1.5 Electroválvula EV210B Danfoss.

Electroválvula 6126 BÜRKET: Las válvulas electromagnéticas del tipo 6126 son diseñadas para el uso en tecnología médica y de laboratorio, figura 1.6. Se utiliza para la medición, llenar, mezclar y la distribución de pequeñas cantidades.



Figura 1.6 Electroválvula 6126 BÜRKET.

Esta es una válvula electromagnética de eje de balancín de actuación directa, donde el balancín es una placa que transmite el eje radial del eje en un movimiento lineal de la válvula para abrirla. El traspaso térmico en el medio es mínimo, debido a que el cuerpo es separado de la bobina por una placa de acero inoxidable. A la válvula se le puede suministrar diversas conexiones según sea el caso de uso. Ya que puede ser utilizada individualmente o en bloque [19]. Esta electroválvula fue la utilizada en el presente proyecto debido a que a diferencia de las mencionadas, cuenta con distribuidor en el país.

Electroválvula Gemü 105: Esta válvula electromagnética plástica controla 2/2 vías, cuenta con una bobina de CA de alto rendimiento que se separa herméticamente del medio, figura 1.7. Este tipo de electroválvula es resistente a la corrosión, por lo tanto es conveniente para instalaciones de lavado y de limpieza, así como para la industria química y alimentaria. [20]



Figura 1.7 Electroválvula GEMÜ 105.

Motores de Corriente Directa (DC)

Existen varios tipos de motores de DC (Corriente directa de sus siglas en inglés), diferentes por la manera de obtener los flujos de campo. Estos tipos de motores son de excitación separada, en derivación, de imán permanente, serie y compuestos. La forma de obtener el flujo afecta la manera como éste varía debido a la carga, la cual a su vez afecta la característica par-velocidad total del motor.

Un motor DC en derivación y uno de excitación separada tiene una característica par-velocidad cuya velocidad cae linealmente con el aumento del par. Su velocidad puede ser controlada cambiando su corriente de campo y su voltaje.

Un motor DC de imán permanente es la misma máquina básica, excepto que su flujo se obtiene de imanes permanentes. Su velocidad puede ser controlada por la variación del voltaje.

Un motor serie tiene el par de arranque más alto que cualquier motor DC, pero tiende a desbocarse en vacío. Se utiliza en aplicaciones de muy alto par donde la regulación de voltaje no es importante.

Un motor de corriente directa opera primordialmente con base a dos principios: el de inducción, que señala, que si un conductor se mueve a través de un campo magnético o está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se induce

una corriente eléctrica en el primer conductor. El principio de Ampère, en el que establece: que si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica o F.E.M. (fuerza electromotriz), sobre el conductor. [6]

A continuación se mencionan algunos tipos de motores comerciales.

ELECTROCRAFT tipo D.C: Este motor presenta las siguientes ventajas: un voltaje máximo de alimentación de 60VDC, una velocidad nominal de operación máxima de 6000 RPM, figura 1.8. [21]



Figura 1.8 Motor ELECTROCRAFT tipo DC.

DC Motors CDP3430-V24 de BALDOR: Este motor de corriente directa presenta un diseño de campo devanado de hasta 1 hp. Su diseño es para realizar operaciones de velocidad ajustable mediante controles SCR y operan con un voltaje de 24VDC, figura 1.9. [22]



Figura 1.9 DC Motors CDP3430-V24.

Resistencias de corriente alterna

Resistor: Se denomina de esta forma al elemento electrónico diseñado para producir calor aprovechando el efecto Joule.

Donde tenemos que los electrones avanzan con una caída de potencial a una velocidad constante de arrastre v_d y por consiguiente no ganan energía cinética. La energía potencial eléctrica que pierden se transmite a la resistencia como calor. En una escala microscópica esto puede interpretarse considerando que los choques entre los electrones y la red aumentan la amplitud de las vibraciones térmicas de la red, en una escala macroscópica esto corresponde a un aumento de

temperatura. Este efecto que es termodinámicamente irreversible se llama calentamiento por efecto Joule.

Por lo tanto se tiene que para una resistencia se pueden combinar las Ec. 1.1 abajo ilustrada y ($R=V/i$), donde P es la energía potencial.

$$P = \frac{dU}{dt} = iV \quad (1.1)$$

Y obtenemos, ya sea

$$P = i^2R \quad (1.2)$$

O bien
$$P = \frac{V^2}{R} \quad (1.3)$$

Nótese que la Ec. 1.1 se aplica a la transmisión de energía eléctrica de todas las clases; las ecuaciones 1.2 y 1.3 se aplican solamente a la transformación de energía eléctrica en energía calorífica en una resistencia. Las ecuaciones 1.2 y 1.3 se conocen como ley de Joule. Esta ley es una manera particular de escribir el principio de la conservación de la energía para el caso especial en el cual la energía eléctrica se transforma en energía calorífica.

En este efecto se basa el funcionamiento de diferentes electrodomésticos como son los hornos, las calefacciones eléctricas, las planchas, tostadoras entre otros [23]

Enseguida se enunciarán algunas resistencias de C.A. comerciales que se pueden encontrar en el mercado.

Resistencias de Inmersión de MIKAI®: Este tipo de resistencias son fabricadas según la necesidad del cliente, manejan voltajes de 110V, 220V, 440V o algún otro voltaje especial para calentamiento de líquidos como: agua, aceite, solventes, productos químicos entre otros medios, figura 1.10.



Figura 1.10 Resistencias MIKAI®.

Calentador Tubular HOTWATT: Este tipo de calentadores cuentan con una gran resistencia a los cambios extremos de temperatura, vibraciones y corrosión, figura 1.11. El calentador es estampado, reduciendo el diámetro de la envoltura del metal y condensando el aislamiento. Con

esto se asegura el traspaso térmico rápido. Se tiene que el alambre que se calienta se encuentra situado próximo a la superficie exterior para el traspaso térmico máximo y la temperatura interna mínima.



Figura 1.11 Resistencia HOTWATT.

Solenoides

Un solenoide es un arrollamiento o bobina cilíndrica y larga de conductor. Para mostrar el campo magnético dentro de este instrumento, un solenoide más estirado viene ilustrado en la Figura 1.12a.

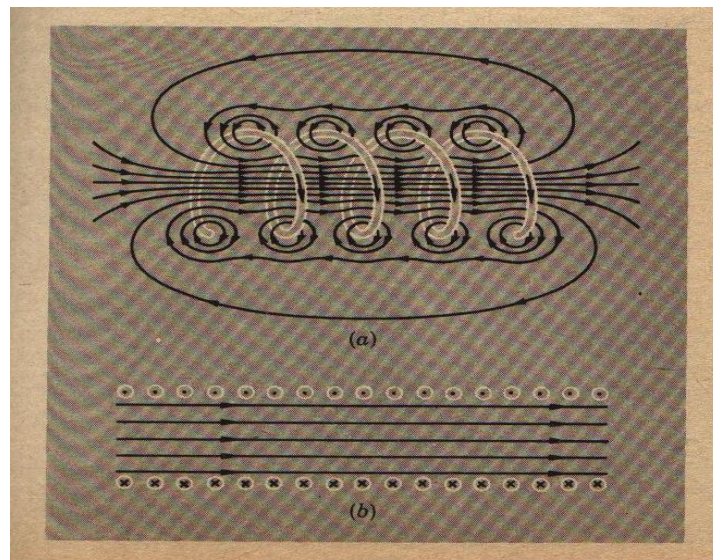


Figura 1.12 Los Campos son esencialmente uniformes en el interior de los solenoides.

La sección transversal más común de un solenoide devanado de manera apretada, se muestra en la Figura 1.12b. Por otra parte para muchos propósitos, un solenoide largo puede ser considerado un campo paralelo a su eje dentro del mismo. Las líneas del flujo fuera del solenoide se han dispersado tanto en el espacio, que resultan muy separadas, indicando que el campo es muy débil e insignificante, en la parte externa del solenoide.

Un concepto más sencillo es que un solenoide es una bobina y un núcleo de hierro móvil usados para convertir energía eléctrica en energía mecánica. Donde el núcleo de hierro es atraído a la bobina cuando circula una corriente. [14]

Solenoides tubulares serie STA®: Este tipo de solenoides es ideal para aplicaciones de carrera corta y alta fuerza, operación de encendido/apagado, figura 1.13. Su operación principal puede ser el enganche para tirar/empujar o bien adaptado a las operaciones de bloqueo.



Figura 1.13 Solenoides STA®.

1.3. Impulsores de CD y CA

Transistor TBJ

Un transistor es un dispositivo semiconductor con tres terminales, utilizado como amplificador e interruptor en el que una pequeña corriente aplicada a una de las terminales controla o modula la corriente entre las otras dos terminales.

El transistor tiene tres partes como el triodo. Uno que emite electrones (emisor), otra que recibe o recolecta (colector) y otro con el que se modula el paso de dichos electrones (base). Un esquema representativo de los transistores es el que se muestra en la figura 1.14 de donde tenemos que aplicando la ley de corriente de Kirchhoff al transistor como si fuera un solo nodo, se tiene que

$$I_E = I_C + I_B \quad (1.4)$$

Y encontramos que la corriente del emisor es la suma de las corrientes del colector y de base. La corriente de colector, sin embargo, se compone de dos partes la corriente de portadores mayoritarios y minoritarios que se indica en la figura 1.14. La componente de corriente minoritaria se denomina la corriente de escape y se le da el símbolo I_{CO} (corriente I_C con el terminal emisor abierto). La corriente colector, por tanto, es determinada en total por la ecuación (1.5)

$$I_C = I_{C_{mayoritaria}} + I_{CO_{minoritaria}} \quad (1.5)$$

Para transistores de fines generales, I_C se mide en miliamperios, mientras que I_{CO} es medida en microamperios y nanoamperios. También tenemos que I_{CO} es sensible a la temperatura y debe examinarse cuidadosamente cuando se consideren aplicaciones con variaciones amplias de temperatura, ya que esta puede afectar severamente la estabilidad de un sistema a altas temperaturas si no se consideran adecuadamente.

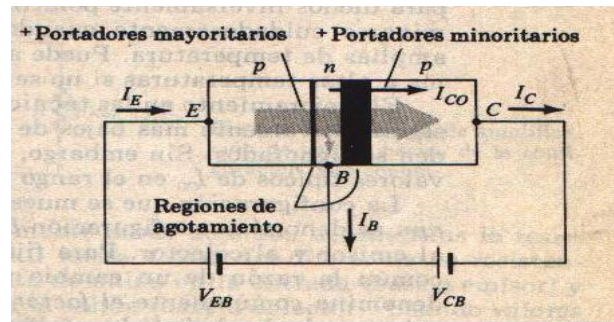


Figura.1.14 Flujo de portadores minoritarios y mayoritarios de un transistor pnp.

El mejoramiento en las técnicas de construcción se ha traducido en niveles significativamente más bajos de I_{CO} , hasta un punto en donde sus efectos pueden ser ignorados. Sin embargo para dispositivos de alta potencia todavía hay valores típicos de I_{CO} en el rango de microamperios.

La configuración que se muestra en la figura 1.15 para los transistores pnp y npn se denomina configuración base común. Para fijar los valores de V_{CB} en la configuración base común la razón de un cambio pequeño en I_C y un cambio pequeño en I_E se denomina comúnmente el factor de amplificación de cortocircuito, de base común y se le da el símbolo α (*alfa*). Para aplicaciones prácticas, una primera aproximación para la magnitud de α , usualmente correcta dentro de un pequeño porcentaje, puede obtenerse utilizando la siguiente ecuación:

$$\alpha \triangleq \frac{I_C}{I_E} \quad (1.6)$$

Punto de operación: Es lograr una cierta condición de corriente y voltaje. La figura 1.16 muestra la curva característica general de un TBJ con cuatro puntos de operación indicados. El circuito de polarización puede ser diseñado para colocar la operación del dispositivo en cualquiera de estos puntos u otros dentro de la región de operación. La región de operación es el área de corriente o voltaje dentro de los máximos límites para el dispositivo particular.

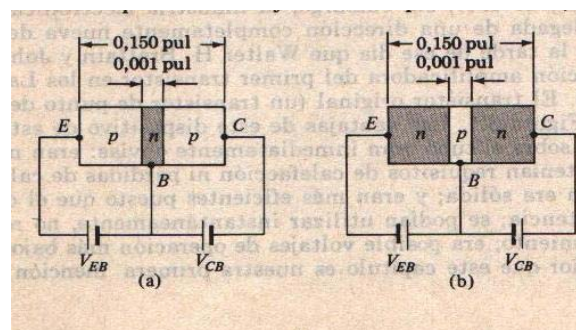


Figura. 1.15 Tipos de transistores: (a)pnp; (b)npn.

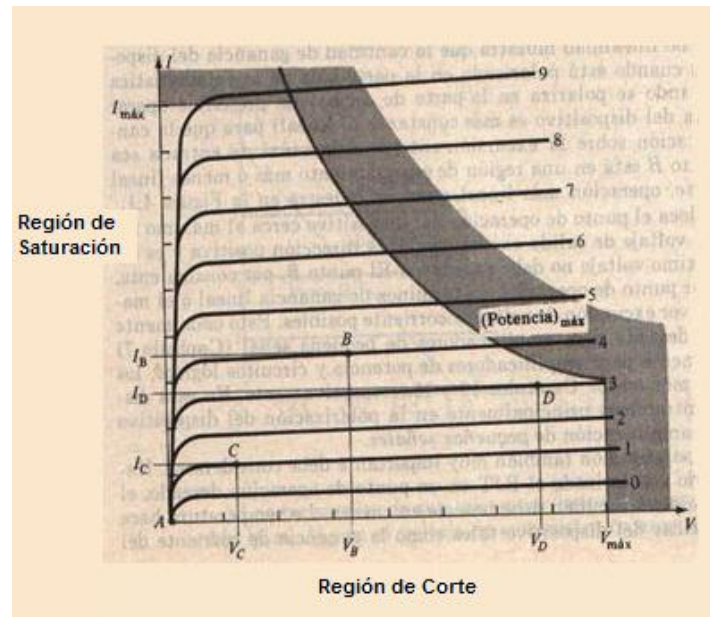


Figura 1.16. Diversos puntos de operación de las características estáticas del dispositivo.

Es necesario polarizar el dispositivo para que el pueda responder o cambiar en corriente y en voltaje en el rango entero de una señal de entrada. Si una señal se aplica al circuito, además del nivel de polarización, el dispositivo variará en corriente y voltaje, permitiendo que el dispositivo reaccione (amplifique) tanto la parte negativa como la positiva de la señal de entrada. Si la señal de entrada es muy pequeña, el voltaje y la corriente del dispositivo variarán pero no suficientemente para excitar el dispositivo a la región de corte o saturación.

El corte es la condición en la cual el dispositivo ya no conduce. La saturación es la condición en la cual el voltaje en el colector y emisor (V_{CE}) a través del dispositivo es tan pequeño como sea posible con la corriente en el dispositivo alcanzando un límite o valor de saturación dependiendo del circuito externo. La acción usual amplificadora deseada ocurre dentro de la región de operación del dispositivo, esto es entre la saturación y el corte. [1]

Transistor MOSFET

El FET es un dispositivo de tres terminales que contiene una unión básica p-n y que puede construirse como un semiconductor metal-óxido FET (MOSFET).

Un transistor de efecto de campo puede construirse con el terminal de compuerta aislado del canal. El FET semiconductor metal-óxido (MOSFET) se construye como un MOSFET de agotamiento (Figura 1.17a) o un MOSFET de robustecimiento (Figura 1.17b). En la construcción del modo de agotamiento un canal se construye físicamente y la corriente entre el drenaje y la fuente resulta del voltaje conectado a través del drenaje-fuente. En la estructura MOSFET de robustecimiento no se forma ningún canal cuando el dispositivo se construye. Se debe aplicar voltaje a la compuerta para desarrollar un canal de portadores de carga de tal manera que resulte una corriente cuando se aplica un voltaje a través de los terminales drenaje-fuente.

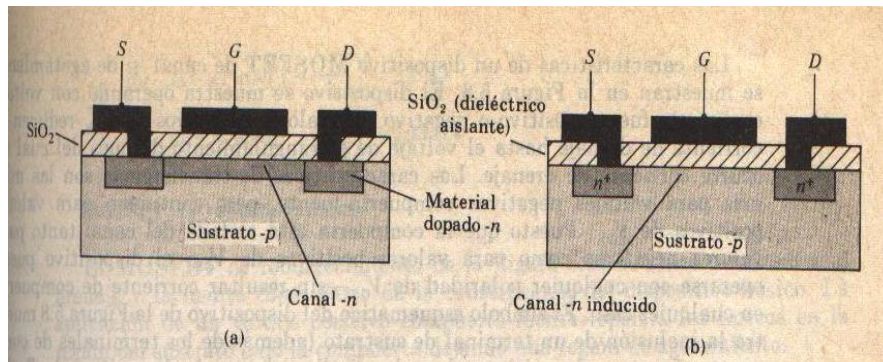


Figura 1.17 Construcción MOSFET: (a) agotamiento; (b) robustecimiento.

MOSFET de agotamiento: El dispositivo MOSFET de cana $-n$ de agotamiento de la Figura 1.17a se forma un sustrato $-p$ (material de silicio dopado $-p$ utilizado como el material de partida sobre el cual la estructura del FET se debe formar). La fuente y el drenaje se conectan por metal (aluminio) a las regiones fuente y drenaje con adición $-n$ las cuales son conectadas internamente por una región de canal dopado $-n$. Una capa metálica se deposita sobre el canal $-n$ sobre una capa de dióxido de silicio (SiO_2) el cual es una capa aislante. Esta combinación forma el dispositivo de agotamiento MOSFET.

MOSFET de robustecimiento: El MOSFET de robustecimiento de la Figura 1.18 no tiene canal entre el drenaje y la fuente como parte de la construcción del dispositivo básico. La aplicación de un voltaje positivo compuerta-fuente repelerá los huecos en la región del sustrato bajo la compuerta dejando una región de agotamiento.

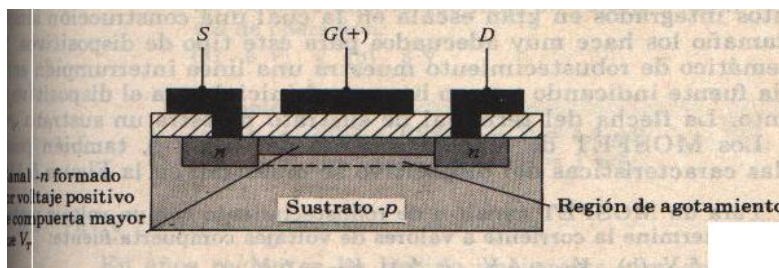


Figura 1.18 Canal $-n$ formado en el MOSFET de robustecimiento.

Cuando el voltaje de compuerta es suficientemente positivo, los electrones son atraídos a esta región de agotamiento haciéndolos entonces actuar como un canal $-n$ entre el drenaje y la fuente. No hay corriente de drenaje hasta que el voltaje compuerta-fuente exceda el valor umbral, V_T . Los voltajes positivos sobre este valor umbral se traducirán en una corriente aumentada de drenaje, estando la característica de transferencia descrita por ¹

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \quad (1.7)$$

¹ La Ecuación (1.7) es solamente válida para $|V_{GS}| > |V_T|$.

Donde K , típicamente es 0.3 mA/volt^2 , es una propiedad de la construcción del dispositivo. Ningún valor de I_{DSS} (corriente de saturación) puede asociarse con un MOSFET de robustecimiento porque no ocurre corriente de drenaje con $V_{GS} = 0V$. El dispositivo de robustecimiento es muy útil en circuitos integrados en gran escala en el cual una construcción simple y de menor tamaño los hace más adecuados para este tipo de dispositivos. [1]

El MOSFET como un switch: El MOSFET de robustecimiento funciona usando un voltaje de entrada positiva y cuenta con una resistencia de entrada extremadamente alta (casi infinita), haciendo esto posible conectar con casi cualquier compuerta lógica o conductor lógico capaz de producir una salida positiva. También, debido a esta resistencia muy alta de la entrada (gate) podemos poner en paralelo muchos diferentes MOSFET's hasta que se reúna el límite de la corriente requerida.

Aplicando un voltaje conveniente en la puerta del MOSFET la resistencia del Drenar-Fuente se puede variar de un "OFF-resistance" de muchos centenares de $k\Omega$, con eficacia de un circuito abierto, a un "ON-resistance".

También podemos conducir el MOSFET de un encendido rápido o lento, o de un paso de corriente alto o bajo. Esta capacidad de energizar y desenergizar el MOSFET permite que el dispositivo sea utilizado como interruptor muy eficiente con los transistores de ensambladura bipolar.

Para que la energía del MOSFET funcione como dispositivo análogo de conmutación, este necesita estar cambiando entre la región de corte donde $V_{GS} = 0$ y en la región de saturación donde $V_{GS(on)} = +ve$. La energía disipada en el MOSFET (P_D) depende de la corriente que atraviesa I_D el canal de saturación y también de "ON-resistance" del canal dado como $R_{DS(on)}$.

Polarización de un MOSFET para control de un motor: Debido a que la entrada o la resistencia de la puerta es extremadamente alta en el MOSFET y a sus velocidades de conmutación, hacen a los MOSFET ideales para ser interconectados a las compuertas de lógica estándar. Sin embargo, se debe tener cuidado para asegurar que el voltaje de entrada puerta-fuente (source-gate) es elegido correctamente, porque al usar el MOSFET como interruptor el dispositivo debe obtener una baja $R_{DS(on)}$ (resistencia del canal) en proporción con el voltaje de entrada en la puerta. [2]

Un ejemplo de una conexión simple para el control de un motor es el que se muestra en la figura 1.19

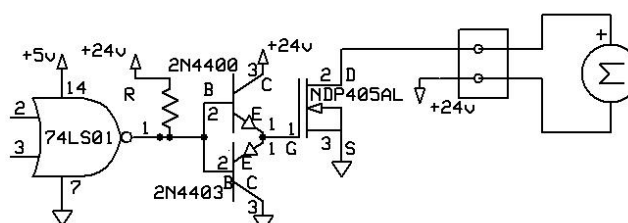


Figura 1.19 Esquema de el control de un motor.

La resistencia R se elige con un valor alto (10KΩ) de tal manera que la salida de colector abierto del dispositivo TTL quede conectada al circuito de polarización.

Rectificador Controlado de Silicio (SCR)

Dentro de la familia de dispositivos pnpn el rectificador controlado de silicio (SCR) es el de mayor interés hoy en día. Como la terminología lo indica el SCR es un rectificador construido de material de silicio con un tercer terminal para fines de control. La operación básica del SCR consta primordialmente en que el tercer terminal, denominado compuerta, determina cuando conmuta el rectificador del estado de circuito abierto al de circuito cerrado. No es suficiente polarizar simplemente la región ánodo-cátodo del dispositivo. En la región de conducción la resistencia dinámica del SCR es típicamente de 0.01 a 0.1Ω. La resistencia inversa es típicamente 100kΩ o más.

El símbolo gráfico para el SCR es el que se muestra en la figura 1.20a con las conexiones correspondientes de la estructura semiconductor de cuatro capas. Como se indica en la figura 1.20b, si se tiene que establecer la conducción directa, el ánodo debe ser positivo con respecto al cátodo. Esto sin embargo, no es un criterio suficiente para controlar el dispositivo en conducción. Un pulso electrónico de magnitud suficiente también debe aplicarse a la compuerta para establecer una corriente de encendido, representada simbólicamente por I_{GT} .

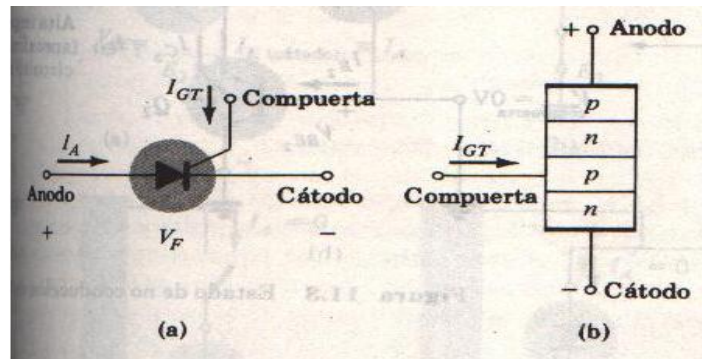


Figura 1.20 (a) Símbolo del SCR; (b) Construcción básica.

Las curvas características de un SCR se proporcionan en la figura 1.21 para diversos valores de la corriente de compuerta. Las corrientes y voltajes de interés usualmente se indican en las hojas de datos características. Una descripción breve de cada una de ellas se hará a continuación.

1. Voltaje de ruptura directo $V_{(BR)F}^*$ es el voltaje sobre el cual el SCR entra en la región de conducción. El asterisco (*) es una letra que se debe añadir y que es dependiente de la condición del terminal de compuerta como sigue:
 - O = circuito abierto de G a K
 - S = circuito en corto de G a K
 - R = resistencia de G a K

- $V =$ polarización fija (voltaje) de G a K
2. Corriente de sostenimiento (I_H) es el valor de la corriente por debajo del cual el SCR conmuta del estado de conducción a la región de bloqueo directo bajo las condiciones expresadas.
 3. Voltaje inverso de ruptura (V_{RMM}) es el equivalente al de la región Zener o de avalancha del diodo semiconductor fundamental de dos capas. [1]

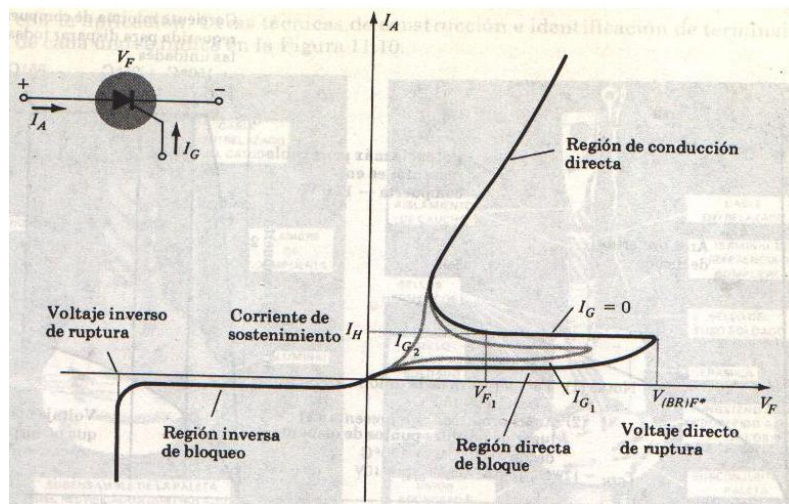


Figura 1.21. Características del SCR.

Tiristores de control de fase (SCR)

Este tipo de tiristores por lo general opera a la frecuencia de línea, y se desactiva por conmutación natural. El tiempo de desactivación, t_q , es del orden de 50 a 100 μ s. Esto es muy adecuado en especial para aplicaciones de conmutación de baja velocidad. También se le conoce como tiristores convertidores, figura 1.22. Dado que un tiristor es básicamente un dispositivo controlado y fabricado de silicio, también se conoce como un rectificador controlado de silicio (SCR).[8]

Además de su papel tradicional de elemento de control de energía, los SCR se están utilizando en una gran variedad de usos en los cuales las características "turn-off o' apagado" del SCR son importantes. Desafortunadamente, es usualmente difícil encontrar el tiempo "turn-off" o "apagado" de un SCR, en particular dado un conjunto de condiciones del circuito.

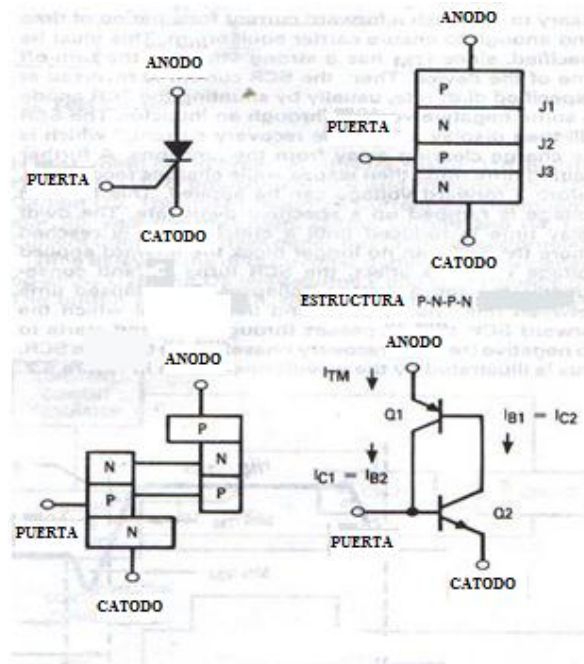


Figura 1.22 Modelo del SCR con dos transistores TBJ.

Tiempo de apagado del SCR o “turn-off” (t_q): Una vez que la corriente del ánodo en el SCR cese, un periodo de tiempo debe pasar antes de que el SCR pueda bloquear nuevamente el paso del voltaje. Este periodo en el SCR es el tiempo “turn-off” o “apagado” (t_q), y es dependiente de la temperatura, flujo de corriente, y otros parámetros, figura 1.23. El fenómeno del tiempo “turn-off” o “apagado” puede ser entendido si consideramos las tres junturas con las que se compone el SCR. Cuando el SCR esta en el estado de conducción, cada uno de las tres junturas son polarizadas y la región N y P (región base) de cualquier lado de J2 (Figura 1.22) se saturan pesadamente con los agujeros y los electrones. [3]

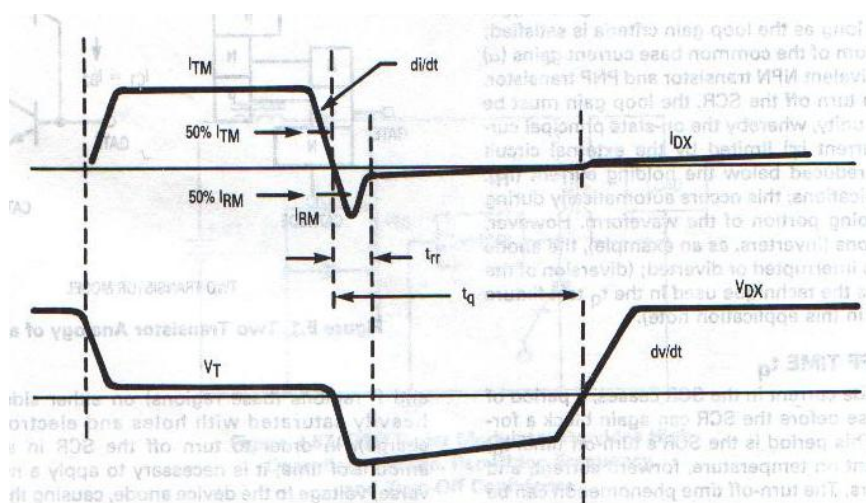


Figura 1.23 Formas de onda de la corriente y el voltaje del SCR durante la conmutación del circuito a turn-off.

TRIAC

Un TRIAC (Tiristores de trío bidireccional) puede conducir en ambas direcciones, y normalmente se utiliza en control de fase de corriente alterna (por ejemplo, controladores de voltaje de ca). Se puede considerar como si fueran dos SCR conectados en antiparalelo, con una conexión de compuerta común, como se muestra en la figura 1.24a. Las curvas características $v - i$ aparecen en la Figura 1.24c.

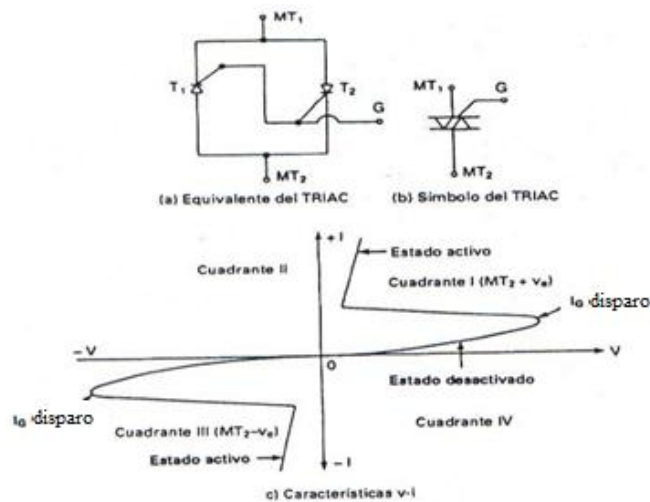


Figura 1.24. Características de un TRIAC.

Dado que el TRIAC es un dispositivo bidireccional, no es posible identificar sus terminales como ánodo y cátodo. Si la terminal MT_2 es positiva con respecto a la terminal MT_1 , el TRIAC se puede activar aplicando una señal de una compuerta positiva entre la compuerta G y la terminal MT_1 . Si la terminal MT_2 es negativa con respecto a la terminal MT_1 , se activará al aplicar una señal negativa a la compuerta, entre la compuerta G y la terminal MT_1 . No es necesario que estén presentes ambas polaridades en las señales de la compuerta y un TRIAC puede ser activado con una señal positiva o negativa de compuerta. En la práctica, la sensibilidad varía de un cuadrante a otro. El TRIAC normalmente se opera en el cuadrante I^+ (voltaje y corriente de compuerta positivos) o en el cuadrante III^- (voltaje y corriente de compuerta negativos). [8]

El TRIAC es fundamentalmente un DIAC con una terminal de compuerta para controlar las condiciones de encendido del dispositivo bilateral en cualquier dirección. En otras palabras, para cualquier dirección la corriente de compuerta puede controlar la acción del dispositivo de una manera muy similar a la de un SCR.

El símbolo gráfico para el dispositivo y la distribución de las capas semiconductoras se proporciona en la figura 1.25. Para cada una de las direcciones posibles de conducción hay una combinación de las capas de semiconductor cuyo estado será controlado por la señal aplicada a la terminal compuerta (G).

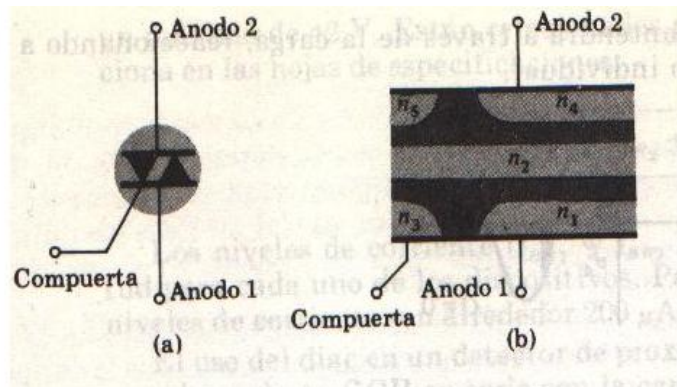


Figura 1.25. Triac: (a) Símbolo; (b) Construcción básica.

Una aplicación fundamental del TRIAC se presenta en la figura 1.26. En esta condición, está controlando la potencia ca (corriente alterna) de la carga por conmutación de conducción y no conducción durante las regiones positivas y negativas de la señal sinusoidal de entrada. [1]

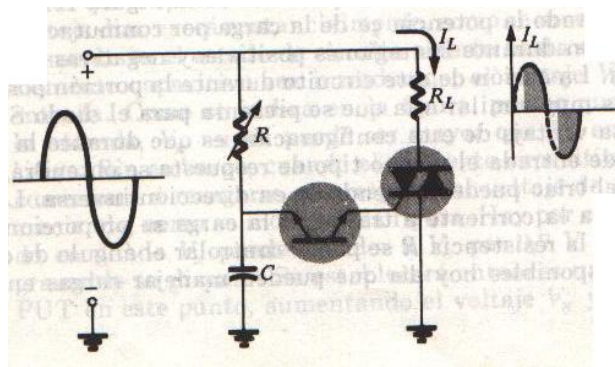


Figura 1.26 Aplicación del TRIAC: control de fase.

Control de Fase con Tiristores

El método electrónico más común de control de una fuente de ca es llamado control de fase, figura 1.27. Durante la primera porción de cada medio ciclo en la señal de onda de ca, un switch electrónico es abierto para prevenir el flujo de corriente. En un ángulo específico de fase (α) de la señal de entrada, el switch (TRIAC) está cerrado permitiendo que el voltaje de línea sea aplicado completamente a la carga. Variando α controlaremos la porción del total de la señal de onda que estará aplicada a la carga, y de tal modo regular el flujo de energía en la carga.

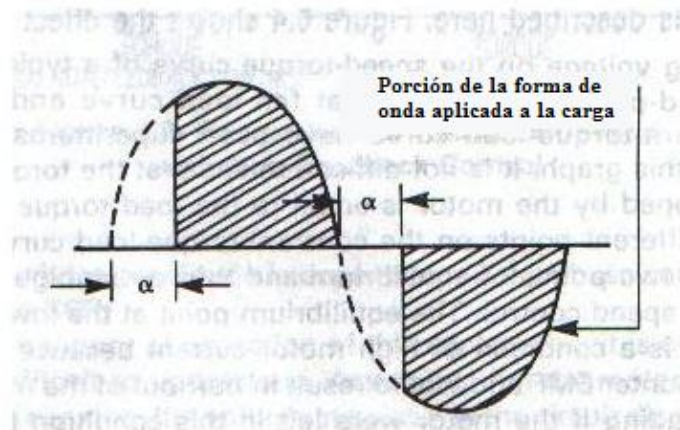


Figura 1.27 Forma de onda del control de fase AC (Corriente Alterna).

El circuito simple para lograr el control de fase es el que se muestra en la figura 1.28. El switch electrónico en este caso es un TRIAC (Q) cual puede ser cambiado por una pequeño pulso de corriente en la compuerta G del SCR que manipula el elemento de c.a. el TRIAC cambia a apagado automáticamente cuando la corriente pasa a cero. [3]

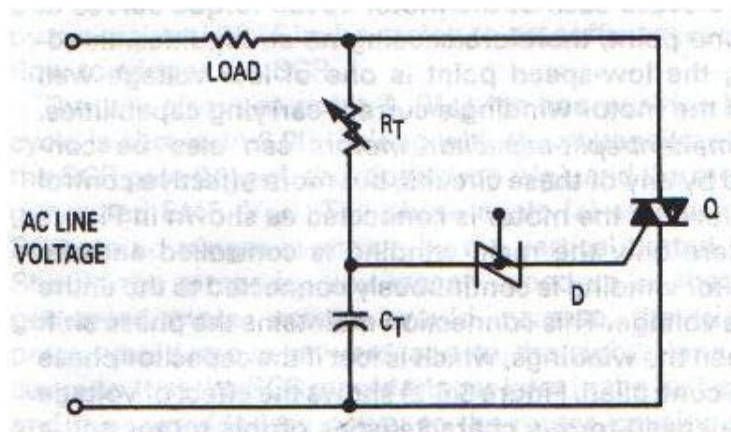


Figura 1.28 Circuito Simple para Control de fase.

Mediante el control de fase se puede controlar velocidad y variación de intensidad luminosa en las lámparas. Este método, llamado *control de fase* proporciona un control de velocidad continuamente variable. Este método también puede ser usado para acelerar un motor con una fuente constante de frecuencia; si es grande la corriente de inicio debe ser evitado. [10]

La variación de la energía promedio aplicada a cargas eléctricas de potencia se consigue comúnmente mediante la técnica conocida como *control del ángulo de fase*. En este sentido, la energía promedio de un motor es aproximadamente proporcional a la velocidad de su flecha.

En este esquema, la señal de la fuente de corriente alterna V_i , es suministrada a la carga de forma controlada por el ángulo de fase α , como se muestra en la figura 1.29.

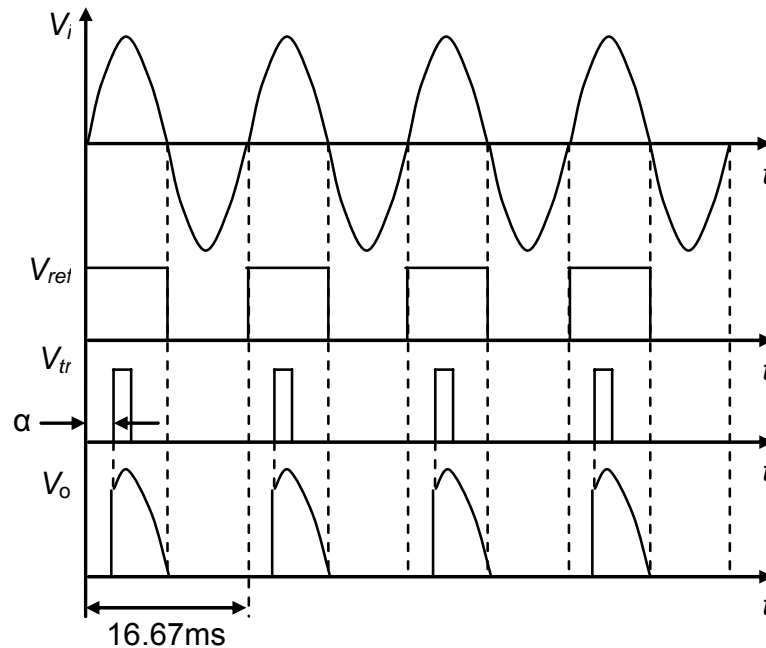


Figura 1.29. Señales para el control del ángulo de fase.

Refiriéndose a la figura 1.29, la señal V_{ref} es la referencia para que el sistema electrónico genere el pulso de salida en V_{tr} . La señal V_{ref} es la versión cuadrada de una copia de la señal de potencia en la línea de alterna, V_i . El pulso V_{tr} dispara el dispositivo de conducción que suministra la energía promedio a la carga, V_o . El nivel de voltaje promedio en V_o está directamente relacionado con el ángulo de fase α . En este sentido si el retardo en α aumenta, V_o disminuye y viceversa. [12]

Modulación por ancho de pulso (PWM)

Modulación por ancho de pulso es una poderosa técnica para el control de circuitos analógicos con salidas de un proceso digital. PWM es empleado en una ancha variedad de aplicaciones. En pocas palabras PWM es una manera digital de codificar niveles de la señal analógica. Con el uso de contadores de alta resolución, el ciclo de una onda cuadrada se modula para codificar un nivel específico de la señal analógica. El voltaje o la fuente actual se suministran a la carga análoga por medio de una serie de repeticiones de pulsos por intervalos, como se puede ver en la figura 1.30b. En donde al variar la intensidad de estas repeticiones se permite variar la intensidad de voltaje que recibe el dispositivo analógico. [13]

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el periodo.

Expresado matemáticamente:

$$D = \frac{\tau}{T} \quad (1.8)$$

D = Es el ciclo de trabajo.

τ = Es el tiempo en el que la función es positiva es decir cuando la fuente de corriente directa se aplica a la carga.

T = Es el periodo de la función.

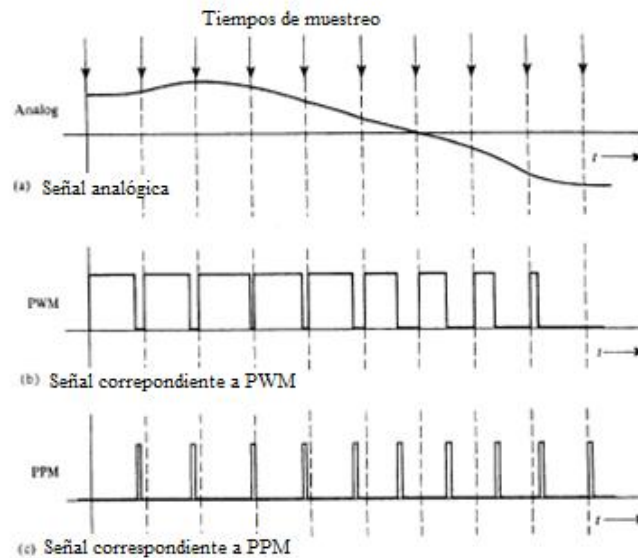


Figura 1.30 Señalización de la modulación de tiempo de pulso

1.4. Microcontrolador PIC18F4550

En los últimos años, Microchip ha lanzado varias gamas de PIC con elevadas prestaciones, los PIC18, los PIC24 y dsPIC. Con la gama alta (PIC18), Microchip mantiene la arquitectura básica que tan buenos resultados ha obtenido con la gama baja y media, y además reduce las limitaciones de estas dos últimas. Los PIC18 tienen una arquitectura RISC avanzada Harvard con 16 bits de bus de programación y 8 bits de bus de datos, figura 1.31.

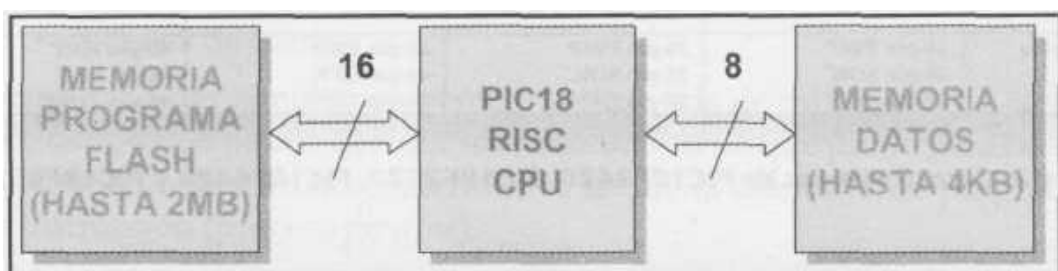


Figura 1.31 Arquitectura PIC18

La memoria de programa aumenta hasta 8Mbytes (en realidad se maneja hasta 64Kbytes pero llega hasta los 2Mbytes con memoria externa) y desaparece la paginación. La memoria de datos RAM puede llegar hasta 16 x 256 (4Kbytes) y hasta 1Kbytes de EEPROM.

La pila aumenta hasta 31 niveles. Incluyendo tres punteros que permiten direccionar la memoria de datos de forma indirecta y sin bancos. El juego de instrucciones aumenta hasta las 75 instrucciones. Introduce un multiplicador hardware 8x8. La frecuencia máxima de reloj es de 40MHz. Incluye periféricos de comunicación avanzados (CAN y USB). Con la filosofía tradicional de Microchip, los PIC18, figura 1.32, son compatibles con los PIC16 y PIC17.

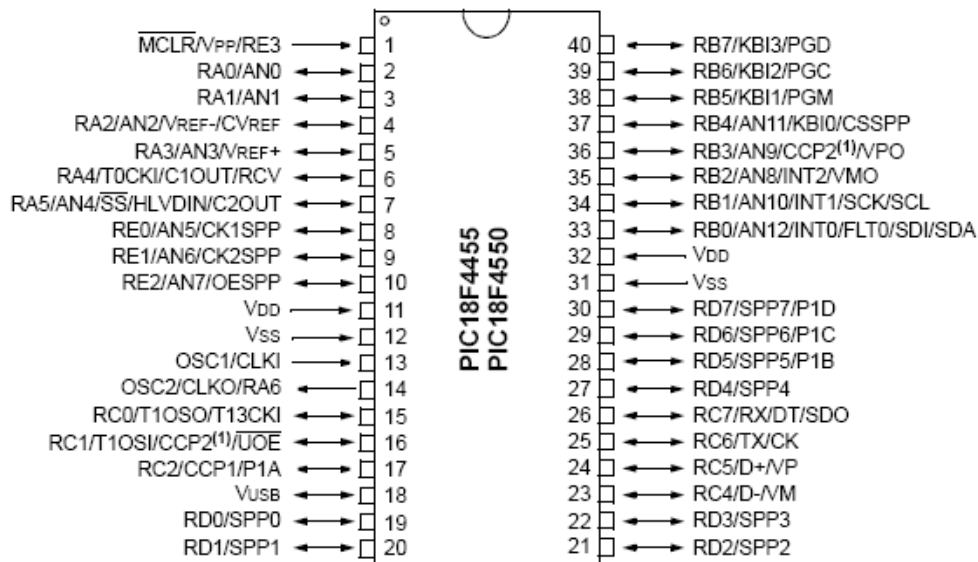


Figura 1.32. PIC18F4550

1.4.1. Especificaciones generales del PIC18F4550

Memoria

El PIC18F4550 dispone de las siguientes memorias:

- Memoria de programa: memoria FLASH interna de 32.768 bytes :
 - Almacena instrucciones y constantes/datos.
 - Puede ser escrita/leída mediante un programador externo o durante la ejecución del programa mediante unos punteros.
- Memoria RAM de datos: memoria SRAM interna de 1.536 bytes en la que están incluidos los registros de funciones especiales, FSR:
 - Almacena datos de forma temporal durante la ejecución del programa.
 - Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución mediante diversas instrucciones.
- Memoria EEPROM de datos: memoria no volátil de 256 bytes.
 - Almacena datos que se deben conservar aun en ausencia de tensión de alimentación
 - Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución a través de registros.
- Pila: bloque de 31 palabras de 21 bits.

- Almacena la dirección de la instrucción que debe ser ejecutada después de una interrupción o subrutina.
- Memoria de configuración: memoria en la que se incluye los bits de configuración (12 bytes de memoria flash) y los registros de identificación (2 bytes de memoria de solo lectura).

Arquitectura Harvard

El PIC18 dispone de buses diferentes para el acceso a la memoria de programa y a la memoria de datos (arquitectura Harvard):

- Bus de la memoria de programa:
 - 21 líneas de dirección
 - 16/8 líneas de datos (16 líneas para instrucciones/8 líneas para datos).
- Bus de la memoria de datos:
 - 12 líneas de dirección.
 - 8 líneas de datos

Esto permite acceder simultáneamente a la memoria de programa y a la memoria de datos. Es decir, se puede ejecutar una instrucción (lo que por lo general requiere acceso a la memoria de datos) mientras se lee de la memoria de programa la siguiente instrucción (proceso pipeline).

Memoria de programa

El PIC18 dispone de una memoria de programa de 32.768 bytes (0000H-7FFFH), figura 1.33. Las instrucciones ocupan 2 bytes (excepto las instrucciones CALL, MOVFF, GOTO y LSR que ocupan 4 bytes). Por lo tanto la memoria de programa puede almacenar hasta 16,384 instrucciones.

Primero se almacena la parte baja de la instrucción y luego la parte alta (para las instrucciones de 4 bytes primero los bytes menos significativos y luego los más significativos). Las instrucciones siempre empiezan en direcciones pares.

Las direcciones especiales de la memoria de programa son las siguientes:

- Vectorización del Reset es 0000H
- Vectorización de las interrupciones de alta prioridad es la 0008H
- Vectorización de las interrupciones de baja prioridad es la 0018H

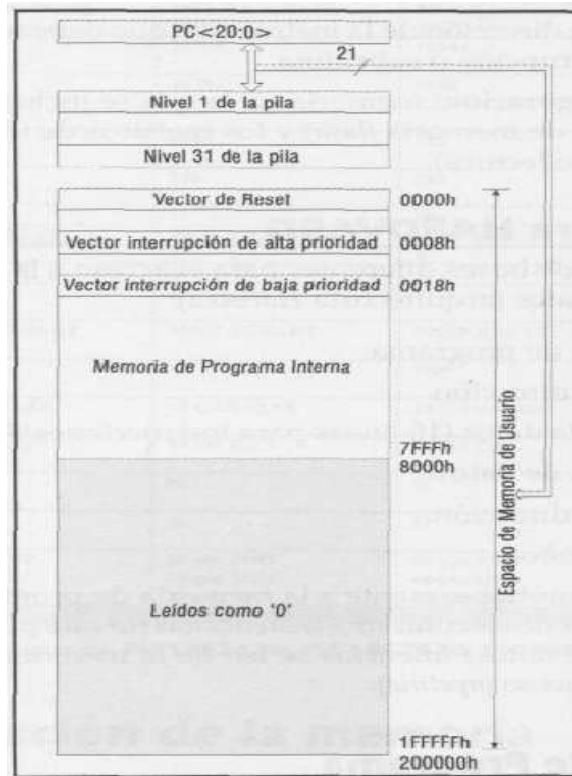


Figura 1.33 Memoria de Programa.

La memoria de programa puede ser leída, borrada y escrita durante la ejecución del programa. La operación que se utiliza normalmente en tiempo de ejecución es la de lectura de tablas o datos almacenados en memoria de programa.

Contador de Programa

EL PC (contador de programa) tiene 21 bits (PCU, PCH y PCL). El bit menos significativo del PC apunta a BYTES, no a WORDs. El PC se incrementa de dos en dos. Se dispone de los correspondientes registros auxiliares PCLATU y PLCATH para actuar de forma combinada con el PC cuando éste se escribe o se lee.

- PCU: parte superior del PC, registro no directamente accesible; las operaciones de lectura/escritura sobre este registro se hacen a través del registro PCLATU.
- PCH: parte alta del PC, registro no directamente accesible; las operaciones de lectura/escritura sobre este registro se hacen a través del registro PCLATH.
- PCL: parte baja del PC, registro directamente accesible. Una operación de lectura sobre PCL provoca que los valores de PCU y PCH pasen a los registros PCLATU y PCLATH pasen a PCU y PCH, respectivamente. Y una operación de escritura sobre PCL provoca que los valores de PCLATU y PLCATH pasen a PCU y PCH, respectivamente. El PCL siempre tiene el bit menos significativo a '0' debido a que las instrucciones siempre empiezan en direcciones pares.

Memoria de configuración

Se trata de un bloque de memoria situado a partir de la posición 30000H de la memoria de programa (más allá de la zona de memoria de programa de usuario). En esta memoria de configuración se incluye:

- Bit de configuración: contenidos en 12 bytes de memoria flash permiten la configuración de algunas opciones del PIC como:
 - Opciones del oscilador.
 - Opciones de reset.
 - Opciones del watchdog.
 - Opciones de la circuitería de depuración y programación.
 - Opciones de protección contra escritura de la memoria de programa y de la memoria EEPROM de datos.

Estos bits se configuran generalmente durante la programación C, aunque también pueden ser leídos y modificados durante la ejecución del programa.

- Registros de identificación: se trata de dos registros situados en las direcciones 3FFFFEH y 3FFFFFH que contienen información del modelo y revisión del dispositivo. Son registros de sólo lectura y no pueden ser modificados por el usuario.

Pila

La pila es un bloque de memoria RAM independiente, de 31 palabras de 21 bits y un puntero de 5 bits, que sirve para almacenar temporalmente el valor del PC cuando se produce una llamada a una subrutina o interrupción. El "Top of Stack" es accesible, se puede leer y escribir.

El puntero de pila es un contador de 5 bits que indica la posición actual del final de pila. El contenido del final de pila es accesible mediante los registros TOSU, TOSH, TOSL.

Memoria de datos

Los PIC18 tienen hasta un total de 4KBytes agrupados en 16 bancos, con 256 bytes cada uno.

El PIC18F4550 dispone de una memoria RAM de datos de 1,536 bytes (6 bancos de 256 bytes). Además dispone de 126 bytes dedicados a los registros de función especial (SFRs) situados en la parte alta del banco 15, figura 1.34.

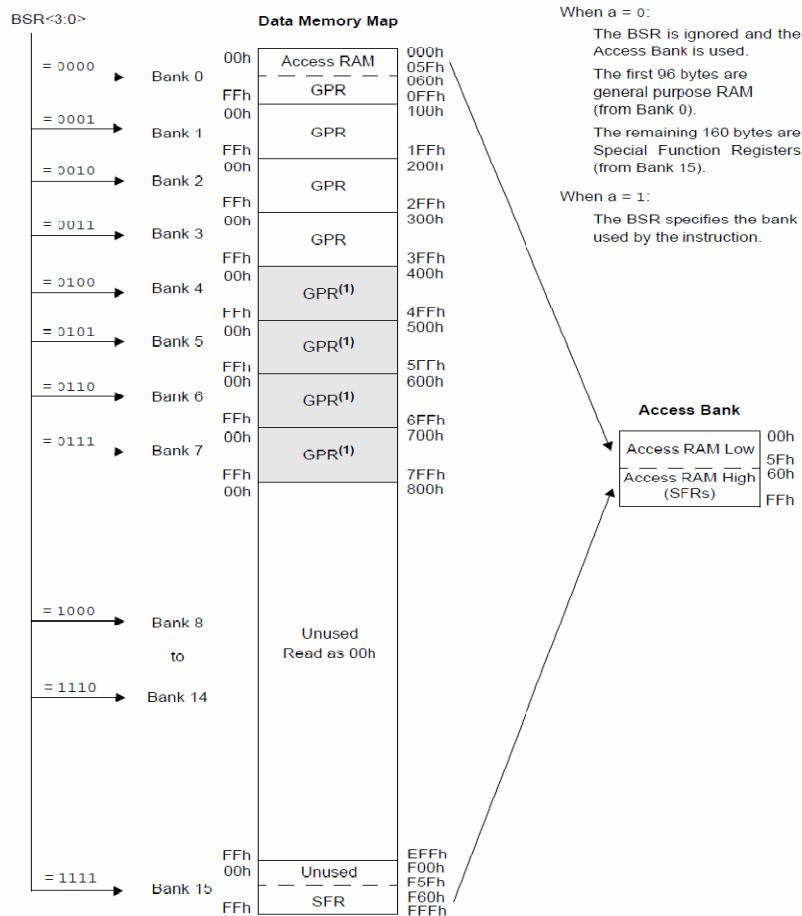


Figura 1.34 Imagen de Memoria RAM del PIC18F4550 obtenida del Datasheet de Microchip.

Para acceder a un byte de la memoria RAM de datos primero se debe seleccionar el banco al que pertenece el byte mediante el registro de selección de banco (BSR) y, a continuación, direccionar el byte dentro del banco.

La memoria RAM de datos se compone de registros de propósito general (GPRs) y de registro de función especial (SFRs). Los SFRs son los registros mediante los cuales se puede monitorizar/controlar el funcionamiento de la CPU y de las unidades funcionales del PIC. En el PIC18F4550 se sitúa en el bloque de memoria de 0xF80 a 0xFFF, figura 1.35. Se distinguen dos conjuntos de SFRs:

SFRs asociados con el núcleo del PIC:

CPU, Interrupciones, Reset.

SFRs asociados con las unidades funcionales:

Timers, Convertidor A/D, EUSART, CCP, MSSP, Puertos de E/S.

PORT A	0xF80	SPBRG	0xFAF
PORT B	0xF81	-----	
PORT C	0xF82	TIMER1L	0xFCE
PORT D	0xF83	TIMER1H	0xFCF
PORT E	0xF84	-----	
-----		TIME0L	0xFD6
TRIS A	0xF92	TIMER0H	0xFD7
TRIS B	0xF93	-----	
TRIS C	0xF94	WERG	0xFE8
TRIS D	0xF95	-----	
TRIS E	0xF96	STKPTR	0xFFC

Figura 1.35 Imagen de Registros SFR proporcionado por Microchip.

Memoria EEPROM

El PIC18F4550 dispone de una memoria EEPROM de datos de 256 bytes. Al ser una memoria no volátil, los datos almacenados en ella se mantienen en ausencia de tensión de alimentación. El acceso de esta memoria se realiza mediante los SFRs: EECON1, EECON2, EEDATA y EEADR. Esta memoria permite hasta 1'000,000 de ciclos de borrado/escritura. Se puede leer/escribir de forma individual en cada una de las 256 posiciones de memoria.

Cuando se realiza una operación de escritura, la circuitería interna del PIC se encarga de borrar previamente la posición en la que se desea escribir.

Modos de direccionamiento

El modo de direccionamiento es la forma en la que se obtienen los datos que van a ser utilizados en las instrucciones. Existen 4 modos de direccionamiento: Inherente, literal, directo e indirecto.

Inherente. En este modo, o bien la instrucción no tiene operando o bien el operando viene especificado en el propio código de operación de la instrucción.

Literal. En este modo, el valor del operando viene indicado de forma explícita en la instrucción.

Directo. En este modo, la dirección en la que se encuentra el valor del operando viene indicada de forma explícita en la instrucción.

Indirecto. En este modo, la dirección de memoria en la que se encuentra el dato viene especificado en uno de los registros FSR0, FSR1 y FSR2.

Interrupciones

Se dispone de dos niveles de prioridad:

- Nivel alto vectorizado en la dirección 0008H.
- Nivel bajo vectorizado en la dirección 0018H.

Todas las interrupciones pueden ser programadas con cualquiera de las dos prioridades, salvo la interrupción externa 0 (que siempre tiene alta prioridad).

Todas las interrupciones disponen de 3 bits de configuración (excepto la interrupción externa 0 que tiene dos):

- Bit de habilitación de interrupción: permite habilitar a nivel individual la interrupción.
- Flag de interrupción: se pone a '1' cuando se produce la condición de interrupción independientemente de si la interrupción está habilitada o no. Este flag debe ponerse '0' por software cuando se procesa la interrupción.
- Bit de prioridad de interrupción: establece si la interrupción es de alta o de baja prioridad (este bit no es disponible para la interrupción externa 0).

El PIC dispone de 20 fuentes de interrupciones. Se distinguen dos grupos de interrupciones:

- Grupo general de interrupciones:
 - Interrupción de Temporizador 0.
 - Interrupción por cambio en PORTB.
 - Interrupción externa 0.
 - Interrupción externa 1.
 - Interrupción externa 2.
- Grupo de interrupciones de periféricos: Estos están ilustrados en la tabla 1.1

Interrupción del SSP	Interrupción del fallo del oscilador
Interrupción del A/D	Interrupción del comparador
Interrupción de recepción de la EUSART	Interrupción del CCP2
Interrupción de transmisión de la EUSART	Interrupción de escritura en Flash/EEPROM
Interrupción del MMSP	Interrupción de colisión de bus (MSSP)
Interrupción del CCP1	Interrupción de detección de anomalías en V_{DD}
Interrupción del Temporizador 1	Interrupción del Temporizador 2
Interrupción del Temporizador 3	

Tabla 1.1 Grupo de Interrupciones.

En los PIC18 se pueden dar las siguientes interrupciones en lenguaje C:

- #INT_ xxxx: Prioridad normal (baja) de interrupción. El compilador guarda y restaura los registros clave. Esta interrupción no interrumpe a otras en progreso.
- #INT_ xxxx FAST: Interrupción de alta prioridad. El compilador no guarda y restaura los registros clave. Esta interrupción puede interrumpir a otras en progreso. Sólo se permite una en el programa.
- #INT_ xxxx HIGH: Interrupción de alta prioridad. El compilador guarda y restaura los registros clave. Esta interrupción puede interrumpir a otras en progreso.

EL PIC18F4550 tiene las fuentes de interrupciones mostradas en la figura 1.36.

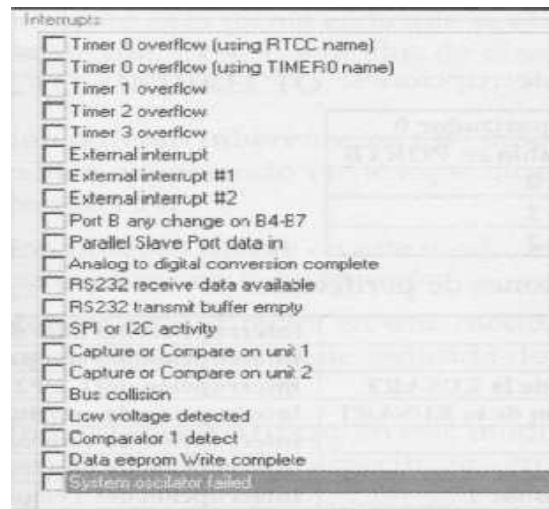


Figura 1.36 Imagen de fuentes de Interrupciones del PIC18F4550 realizada en PIC C.

Registros de salvaguarda

Las interrupciones se disparan durante la ejecución del código del programa principal o de otra interrupción. Esto hace que durante la ejecución de la rutina de tratamiento de la interrupción, se pueda modificar el valor de los registros que están siendo utilizados por otras partes del código.

Se puede salvar y restaurar el contenido de las variables de entorno (WREG, STATUS y BSR) en sus respectivos registros de sombra, lo que equivale a una pila de un solo nivel.

Unidades funcionales

El PIC18F4550 dispone de una serie de unidades funcionales que le permiten:

- Realizar tareas específicas especializadas (conversión A/D, transmisión /recepción de datos, generación de señales digitales con temporizaciones programables, etc).
- Optimizar rendimiento del PIC, ya que estas unidades trabajan en paralelo a la CPU permitiendo que ésta se centre en otras tareas como el procesado de datos, cálculos, movimientos de datos, etc.

Las unidades funcionales más importantes del PIC son las ilustradas en la Tabla 1.2:

Puerto de E/S
Temporizadores
Convertidor A/D
Canal de comunicación serie MSSP
Unidad de Comparación/Captura/PWM (CCP)

Tabla 1.2 Unidades funcionales del PIC.

A delante se explicara de forma detallada cada una de estas unidades funcionales.

Puertos de Entrada/Salida: El PIC dispone de 5 puertos de E/S que incluyen un total de 36 líneas digitales de E/S (Tabla 1.3):

Puertos	Líneas de Entrada/Salida
PORT A	8 líneas de entrada/salida
PORT B	8 líneas de entrada/salida
PORT C	6 líneas de entrada/salida + 2 líneas de entrada
PORT D	8 líneas de entrada/salida
PORT E	3 líneas de entrada/salida + 1 línea de entrada

Tabla 1.3 Puertos de PIC18F4550.

Todas las líneas digitales de E/S disponen, como mínimo, de una función alterna asociada a alguna circuitería específica del PIC. Cuando estas líneas trabajan en modo alternativo no pueden ser utilizadas como líneas digitales de E/S estándar.

Cada puerto de E/S tiene asociado 3 registros:

- Registro TRIS: mediante este registro se configuran cada una de las líneas de E/S del puerto como ENTRADA (bit correspondiente a '1') o como SALIDA (bit correspondiente a '0').
- Registro PORT: mediante este registro se puede leer el nivel del pin de E/S y se puede establecer el valor del latch de salida.
- Registro LAT: mediante este registro se puede leer o establecer el valor de latch de salida.

Temporizadores: El PIC cuenta con 4 temporizadores los cuales se enuncian a continuación con sus características.

Temporizador 0:

- Configurable como temporizador/controlador de 8 bits/16 bits.
- Pre-escalar de 8 bits programable.
- Interrupción por desbordamiento.

Temporizador 1:

- Configurable como temporizador/contador de 16 bits.
- Dispone de un oscilador propio que puede funcionar como:
 - Señal de reloj del temporizador 1.
 - Señal de reloj del PIC en modos de bajo consumo.
- Pre-escalar de 3 bits programable.
- Interrupción por desbordamiento.

Temporizador 2:

- Temporizador de 8 bits (registro TMR2).
- Registro de periodo PR2.

- Pre-escalar de 2 bits programable.
- Post-escalar de 4 bits.
- Interrupción por igualdad entre TMR2 y PR2.
- Se puede utilizar junto con los módulos CCP y ECCP.
- Se puede utilizar como señal de reloj del modulo MSSP en modo SPI.

Temporizador 3:

- Configurable como temporizador/contador de 16 bits.
- Dispone de varias opciones de señal de reloj en el modo temporizador:
 - Oscilador principal con o sin pre-escalar.
 - Oscilador del Temporizador 1 con o sin pre-escalar.
- Pre-escalar de 3 bits programable.
- Interrupción por desbordamiento.

Convertidor Analógico-Digital: Tenemos que el convertidor analógico-digital cuenta con lo siguiente:

- 10 bits de resolución
- 13 canales multiplexados
- Señal de reloj de conversión configurable
- Tiempo de adquisición programable (0 a 20 TAD)
- Posibilidad de establecer el rango de tensiones de conversión mediante tensiones de referencia externas.

Modulo Master SSP (MSSP): El módulo MSSP es un interfaz serie capaz de comunicarse con periféricos u otro microcontrolador. Puede operar en dos modos:

- Serial Peripheral Interface (SPI): Interfaz Serial para periférico
- Inter-Integrated Circuit (I2C): Circuitos Inter-Integrados

Modulo de Comparación/Captura/PWM (CCP): Dispone de tres modos de funcionamiento:

- Modo de Captura: se utiliza para medir eventos externos como la duración de pulsos digitales.
- Modo de Comparación: se utiliza para generar señales digitales con temporizaciones programables. Este tipo de señales son muy útiles para el control de etapas de potencia (convertidores DC/DC , DC/AC, AC/DC).
- Modo PWM: se utiliza para generar señales de modulación de ancho de pulso (PWM). [9]

1.4.2. Sistema de desarrollo

Para la elaboración del presente proyecto se construyó un sistema básico de desarrollo con base al PIC18F4550. El objetivo de este sistema fue facilitar la depuración de las aplicaciones desarrolladas mediante este microcontrolador.

Esta tarjeta que se presenta con la integración del PIC18F4550, permite la conexión del microcontrolador con una PC mediante una interfaz USB. La tarjeta es compatible con la tarjeta conocida como PICDEM™ FS USB de Microchip [11].

Este sistema de desarrollo tuvo como base el sistema descrito por el artículo PICDEM™ FS USB con adaptaciones a las necesidades particulares del proyecto, así como los dispositivos necesarios para un buen funcionamiento del modo “Bootloader”. El modo “Bootloader” proporciona medios simples para reprogramar el microcontrolador huésped sin la necesidad de usar un dispositivo de programación externo. [11]

El sistema de desarrollo implementado es el que se muestra en la figura 1.37.

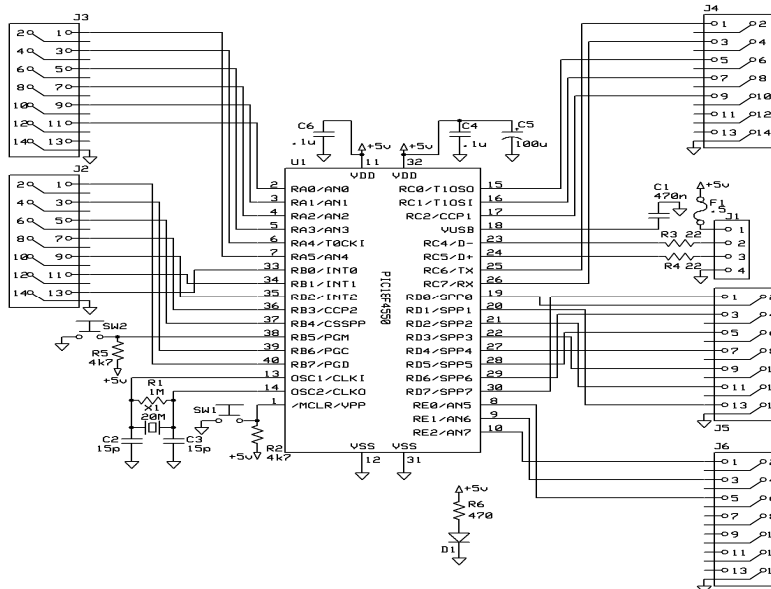


Figura 1.37 Sistema de desarrollo.

Los componentes y sus características se proporcionan a continuación:

- PIC18F4550 (U1): Es un microcontrolador con las siguientes características principales: USB 2.0 como medio de comunicación, una memoria flash de 32 Kbytes y 18 puertos de entrada/salida para fines generales.
- Cristal de 20MHz (X1): Es el dispositivo electrónico que proporciona la señal de reloj al PIC.
- Push buttons (SW1, SW2): Estos dos push bottons, que se ilustran en el esquema, nos permiten restablecer el microcontrolador en dos diferentes direcciones de inicio: modo “bootloader” y modo programa.

- Conector USB (J1): El conector es uno tipo B que cuenta con cuatro conexiones: dos son los medios de comunicación y los otros dos son de alimentación.
- LED indicador (D1): Este dispositivo nos permite visualizar cuando el dispositivo esta energizado por la PC. Otro medio para la alimentación podría ser mediante una fuente de voltaje externa, pero esto nos ocuparía más espacio, además de que por el momento no es necesario.
- Portafusible (F1): Este en términos generales es una resistencia, la cual nos sirve de protección para la computadora, ya que en el caso de corto circuito se abre y se comporta como un circuito abierto y la tarjeta queda sin alimentación de voltaje.
- Headers (J2-J6): Esto pines funcionan como los puertos de salida o entrada del microcontrolador para la conexión de dispositivos externos.

La Tabla 1.4 muestra los elementos utilizados para nuestro sistema de desarrollo:

Componentes	Elementos
C2,C3	Capacitor cerámico 15pF
C6,C4	Capacitor cerámico .1uF
C5	Capacitor cerámico 100uF
C1	Capacitor cerámico 470nF
U1	PIC18F4550 y Porta CI de 40 patas
J1	Conector USB tipo B
X1	Cristal de 20 MHz
R1	Resistencia de 1MΩ
R2, R5	Resistencia de 4k7Ω
R6	Resistencia de 470Ω
R3,R4	Resistencia de 22Ω
SW1,SW2	Push botón
D1	Led
J2,J3,J4,J5,J6	Headers
F1	Portafusible y fusible europeo de 0.5A

Tabla 1.4 Tabla de Componentes

1.5 Despliegue Gráfico

Visual Studio (o en defecto Visual C# Express) permite diseñar la interfaz gráfica de una aplicación de manera visual, sin más que arrastrar con el ratón los controles que se necesiten sobre la ventana destino de los mismos. Una rejilla mostrada sobre la ventana nos ayudará a colocar estos controles y a darles el tamaño adecuado, y una página de propiedades nos facilita la modificación de los valores de las propiedades de cada uno de los controles. Todo lo expuesto, se realiza sin tener que escribir ni una sola línea de código. Después, un editor de código inteligente ayudará a escribir el código necesario y detectará los errores sintácticos que introduzcamos, y un depurador ayudará a poner a punto la aplicación cuando se necesite.

En la figura 1.38 se visualiza el arranque de Visual Studio en donde, una vez desplegado éste, se hacen los siguientes pasos para desarrollar una aplicación de Windows.

- Crear un proyecto nuevo (una nueva aplicación), entendiendo por proyecto, un conjunto de ficheros, normalmente distribuidos en carpetas y recursos que pueden ser compilados como una sola unidad. Visual Studio mostrará una página de diseño con un formulario vacío por omisión.
- Dibujar los controles sobre el formulario. Los controles serán tomados de una caja de herramientas.
- Definir las propiedades del formulario y de los controles.
- Escribir el código para controlar los eventos, que consideremos, de cada uno de los objetos.
- Guarde, compile y ejecute la aplicación.
- Opcionalmente, utilice un depurador para poner a punto la aplicación.

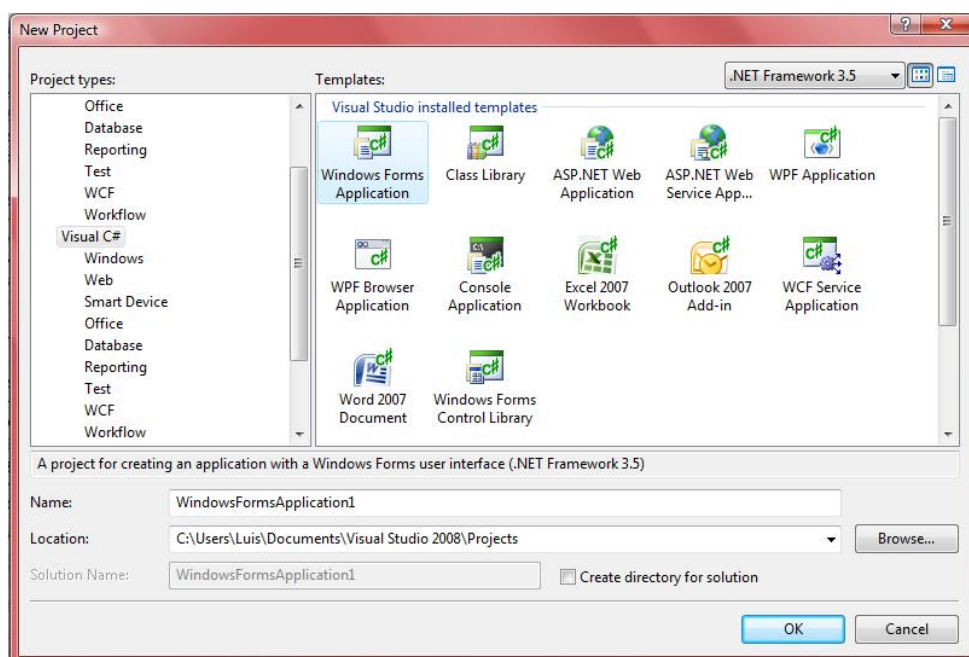


Figura 1.38 Imagen de ventana de nuevo proyecto en Visual Studio.

Otra característica interesante de este entorno de desarrollo es la ayuda dinámica que facilita. Se trata de un sistema de ayuda sensible al contexto; esto es, automáticamente se muestra la ayuda relacionada con el contexto de trabajo, figura 1.39.

En la esquina superior derecha de la figura 1.39, también se localiza otra ventana con varias páginas: explorador de soluciones, vista de clases, orígenes de datos, etc.

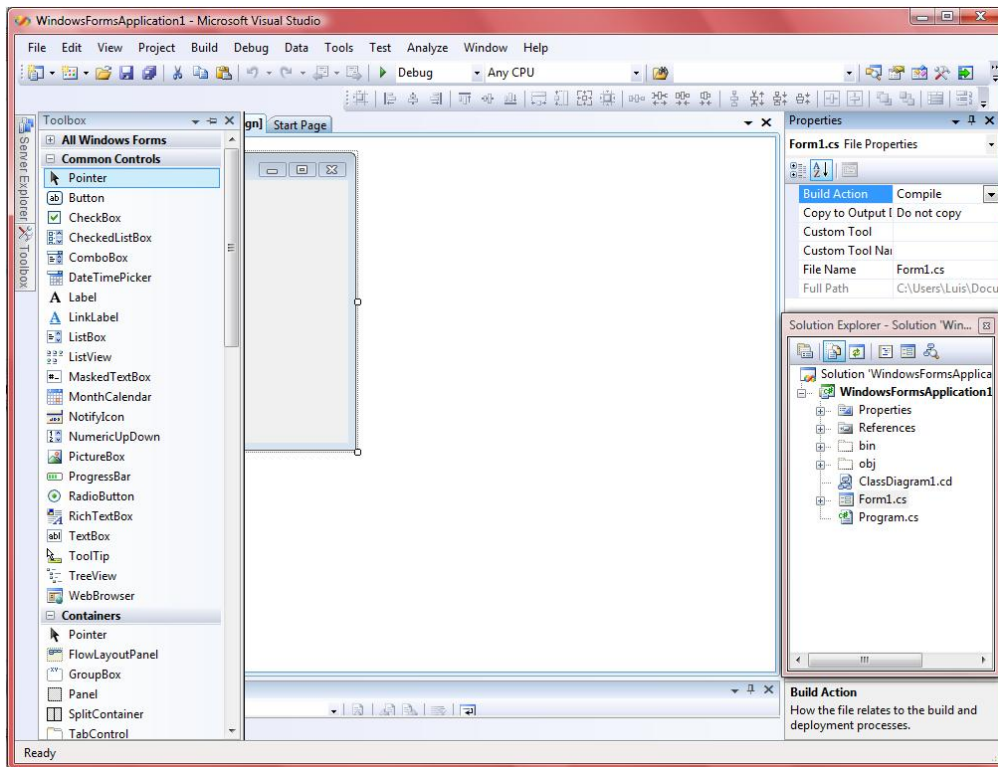


Figura 1.39 Imagen de entorno de desarrollo.

El explorador de soluciones muestra el nombre de la solución (una solución engloba uno o más proyectos), el nombre del proyecto (un proyecto administra los ficheros que componen la aplicación), y el de todos los formularios y módulos, los ficheros **.cs** son los utilizados por el programador para escribir el código, y el **.Designer.cs** es utilizado por el diseñador de formularios. También se cuenta que el nodo *References* agrupa las referencias a las bibliotecas de clases de objetos que utilizara la aplicación en curso.

Por otro lado, como se puede ver en la figura 1.40, se tiene que en la ventana del proyecto se muestra una barra de botones que permiten ver el código, el diseñador de formularios, la ventana de propiedades, etc.

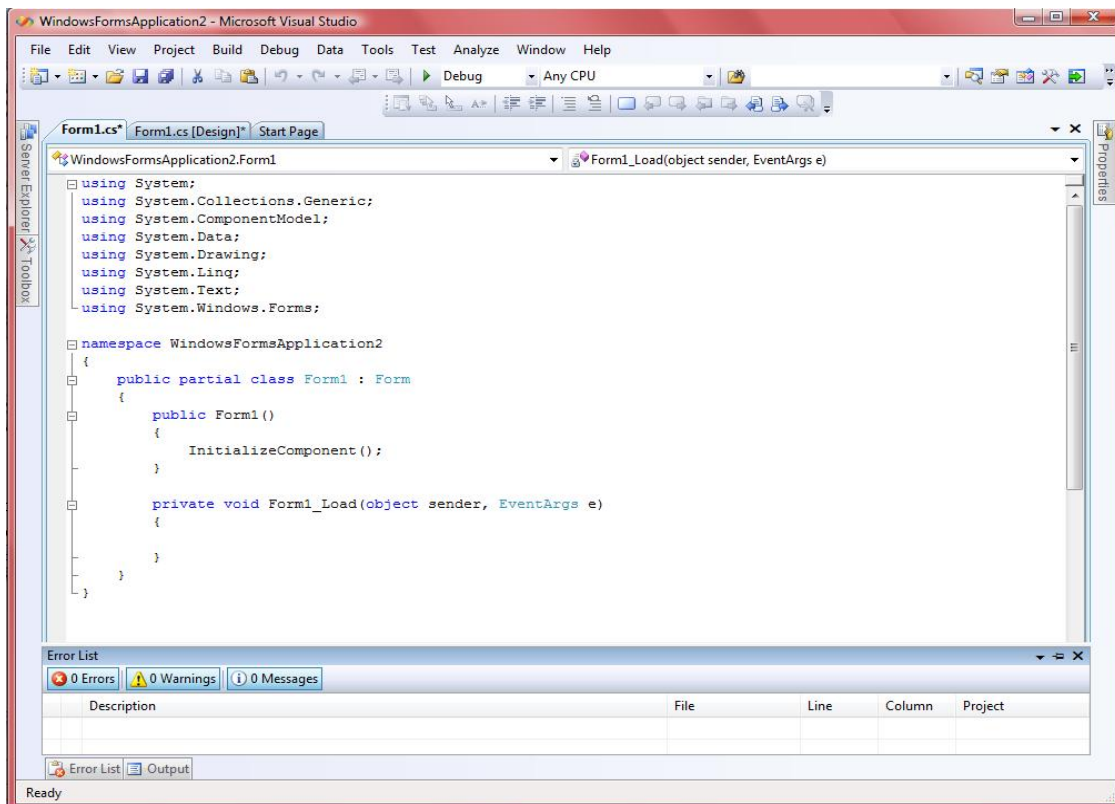


Figura 1.40 Imagen de Editor Visual Studio.

Una característica digna de resaltar del editor Visual Studio es la incorporación de bloques de código contraíbles. En la Figura 1.40 se pueden ver varios de estos bloques. Otra característica del editor es la finalización y el formato de código automáticos. Por ejemplo, al escribir un método, el editor mostrará automáticamente la ayuda en línea de la palabra clave (public, void, int, etc.) que se intenta escribir; si escribimos una sentencia if exactamente igual.

Cada clase de objeto tiene predefinido un conjunto de propiedades, como nombre, tamaño, color, etc. Las propiedades de un objeto representan todos los atributos que por definición están asociados con ese objeto.

Algunas propiedades las tienen varios objetos y otras son únicas para un objeto determinado. Por ejemplo, la propiedad **TabIndex** (orden Tab) la tienen muchos objetos, pero la propiedad **Interval** sólo la tiene el temporizador. Cuando se selecciona más de un objeto, la página de propiedades visualiza las propiedades comunes a esos objetos.

Cada propiedad de un objeto tiene un valor por defecto que puede ser modificado, si se desea. Se puede también modificar una propiedad durante la ejecución de la aplicación. Esto implica añadir el código necesario en el método que deba realizar la modificación.

Una vez que se creó la interfaz o medio de comunicación entre la aplicación y el usuario, se tienen que escribir los métodos para controlar cada uno de los objetos de aquellos eventos que se necesiten manipular.

Una aplicación en Windows es conducida por eventos y orientada a objetos. Esto es, cuando sobre un objeto ocurre un suceso (por ejemplo, el usuario hizo clic sobre un botón) se produce un evento (por ejemplo, el evento **Click**); si se desea que la aplicación responda a este evento, se tendrá que escribir un método que incluya el código que debe ejecutarse. El método pertenecerá a la interfaz del objeto. [15]