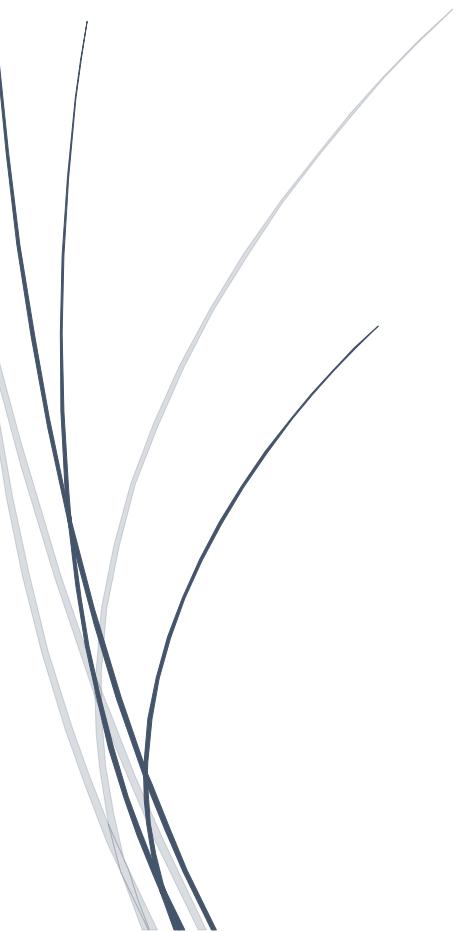




12-2-2015

# Proyecto de Control de Máquinas



## Integrantes:

- Cárdenas Paúl
- Isch Alejandra
- Romo Diego
- Sánchez David
- Samaniego Estefanía
- Velasteguí David

# Contenido

Objetivo General:

Alcance:

Marco Teórico

Motores Trifásicos de inducción

Control de velocidad de motores de inducción

Convertidor de frecuencia /Inversores controlados

Inversor PWM (SPWM)

Freno Dinámico

Resistencia de frenado:

Diagrama de bloques del inversor

Diseño e Implementación de Hardware

Dimensionamiento del Capacitor:

Calculo Resistencia de descarga y carga capacitor.

Compensación del torque

Dimensionamiento de elementos

Placa de fuente (similar todas las fuentes)

Placas de disparo

Placas de potencia

Placas del microcontrolador

Diseño e Implementación del Software de Control

Microcontrolador utilizado: at90 pwm3b

Características:

Generación de tablas Senoidal

Generación de tablas modulación

Programa del microcontrolador

Diagrama de flujo

Diseño e Implementación del Software de la interfaz

Interfaz gráfica

Programa del microcontrolador

Diagramas de flujo

Pruebas y Resultados

Círculo de pruebas de la interfaz por simulación

Conclusiones y Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

**Manual de Usuario Interfaz HMI**

**Presupuesto del proyecto**

**Inversor comercial**

**Datasheet**

**Fotografías figuras de onda y circuitos de potencia**

## Objetivo General:

- Diseñar un inversor de velocidad para un motor trifásico, mediante una modulación SPWM que permita la variación de frecuencia de 0 a 65Hz.

## Alcance:

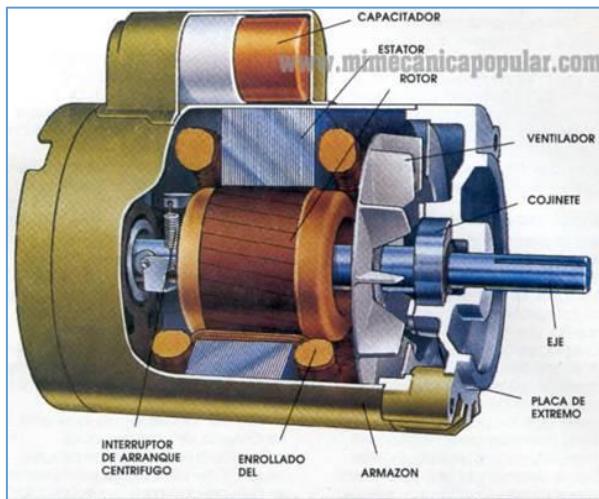
- El control de frecuencia debe ser realizado en pasos de 1 Hz.
- El freno regenerativo debe funcionar en modo manual y automático, de tal manera que en modo manual se pueda variar la relación de trabajo mediante un potenciómetro que simulará un freno; en modo automático se debe detectar sobrevoltaje ( $320V_{DC}$ ) para activar el freno a manera de protección del sistema el cual se lo realizará en lazo cerrado utilizando un control PID.
- Conservar la relación de voltaje a frecuencia (V/F) constante.
- El control debe permitir la calibración independiente de las pendientes de aceleración y desaceleración de 5s a 30 segundos.
- Debe existir una interfaz gráfica que permita visualizar en cualquier momento la frecuencia y el voltaje aplicado al motor.
- De similar forma mediante la interfaz gráfica se podrá realizar el control del inversor, como el ajuste de los parámetros deseados
- La comunicación del inversor con la interfaz gráfica se lo realizará mediante una comunicación inalámbrica bluetooth
- El control debe permitir la inversión del sentido de giro del motor, cuando está girando en cualquier punto de trabajo dentro de su rango de velocidad.
- La inversión de giro debe realizarse con rampas de desaceleración y aceleración.
- Debe existir una interfaz gráfica que permita visualizar en cualquier momento la frecuencia y el voltaje aplicado al motor, así como el sentido de giro aplicado al motor.
- Para la compensación de torque se debe modificar la relación V/f en el rango de 0 a 30Hz de tal manera de compensar la caída de tensión en la resistencia estatórica del motor para mantener el torque constante

## Marco Teórico

### Motores Trifásicos de inducción

Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias.

Una de las máquinas eléctricas de mayor uso a nivel industrial es justamente el motor de inducción trifásico. Como técnico o ingeniero es indispensable conocer su principio de funcionamiento, sus propiedades y características para un mejor manejo. Los motores asíncronos de inducción son probablemente los más sencillos y robustos de los motores eléctricos. El rotor está constituido por varias barras conductoras dispuestas paralelamente al eje del motor y por dos anillos conductores en los extremos. El conjunto es similar a una jaula de ardilla y por eso se le



denomina también motor de jaula de ardilla. El estator consta de un conjunto de bobinas, de modo que cuando la corriente alterna trifásica las atraviesa, se forma un campo magnético rotatorio en las proximidades del estator. Esto induce corriente en el rotor, que crea su propio campo magnético. La interacción entre ambos campos produce un par en el rotor. No existe conexión eléctrica directa entre estator y rotor.

La frecuencia de la corriente alterna de la alimentación determina la velocidad a la cual rota el campo magnético del estator. El rotor sigue a este campo girando más despacio, la diferencia de velocidades se denomina deslizamiento. Un deslizamiento normal ronda el 5%.

Existen ciertos parámetros que deben ser identificados:

- **FL:** Frecuencia de la red eléctrica, normalmente 60 Hz o 50 Hz

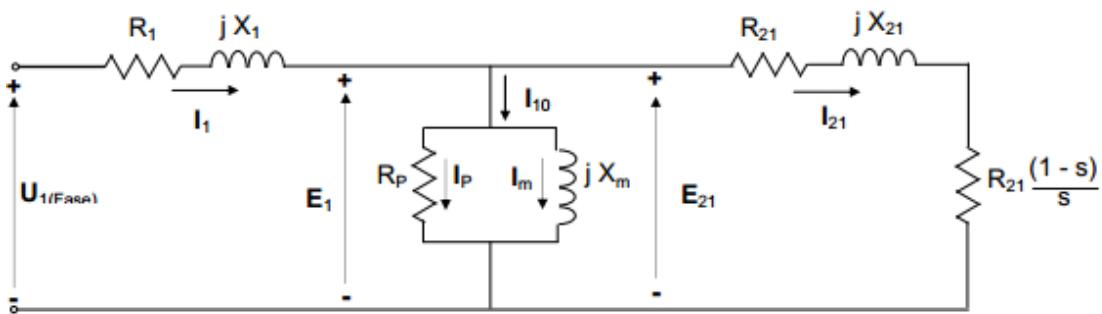
$$N_s = \frac{2F_L}{P} 60$$

- **P:** Número de polos del motor. El número de polos condiciona la frecuencia de giro del motor. Cuanto mayor es el número de polos, más lento es el movimiento del motor. Normalmente, el número de polos es un número par (2, 4, 6, ...)
- **NS:** Velocidad síncrona. Es la velocidad de rotación del campo magnético generado y la velocidad que el rotor trata de lograr pero nunca alcanza.

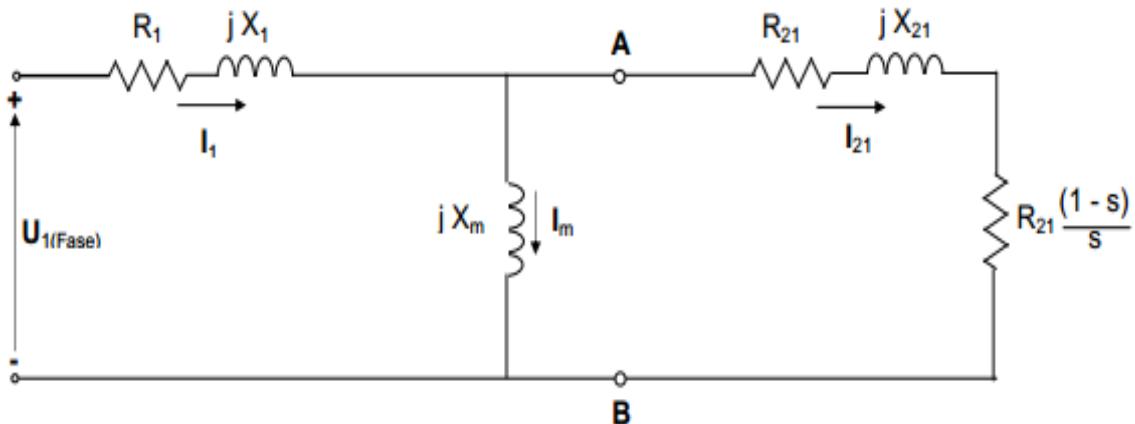
- **FS:** Frecuencia de deslizamiento.  $F_S = N_S - RPM$ ; RPM---->n--->Nr.
  - **S:** deslizamiento. Es la relación por unidad de la frecuencia de deslizamiento.
- $$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$
- **Nr (n):** Velocidad del rotor. Es en si la velocidad mecánica a la cual gira el motor

$$Nr = (1 - s)Ns$$

**Circuito Equivalente (por fase):**



**Aproximado:**



**R<sub>1</sub>:** La resistencia óhmica de la bobina estatórica de una fase [Ω]

**X<sub>1</sub>:** Reactancia de dispersión de la bobina estatórica de una fase [Ω]

**R<sub>p</sub>:** Resistencia que representa las pérdidas en el hierro por fase [Ω]

**X<sub>m</sub>:** Reactancia de magnetización por fase [Ω]

**U<sub>1</sub>:** Tensión de fase de alimentación al motor [V]

**E<sub>1</sub>:** Fuerza electromotriz inducida de fase en la bobina estatórica [V]

**I<sub>1</sub>:** Corriente estatórica con carga [A]

**I<sub>10</sub>:** Corriente estatórica del motor en vacío [A]

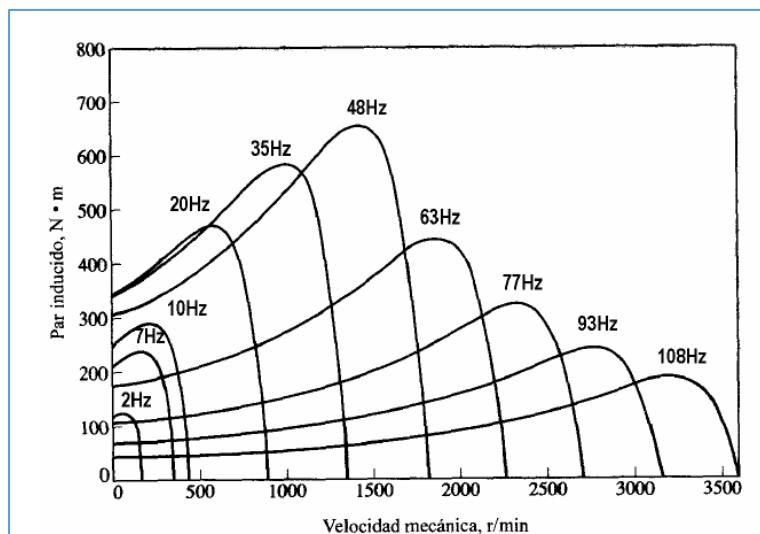
## Control de velocidad de motores de inducción

Para controlar la velocidad de los motores de inducción existen varios métodos de los cuales explicaremos el utilizado en el proyecto:

- a) Cambio del número de polos.
  - 1. El método de polos consecuentes.
  - 2. Devanados de estator múltiples.
- b) Control de la resistencia del secundario.
- c) Control del voltaje de línea.
- d) Control de la frecuencia de línea.

### Control de la frecuencia de línea.

Si se cambia la frecuencia eléctrica aplicada al estator de un motor de inducción, la velocidad de rotación de sus campos magnéticos  $n_{sinc}$  cambiará en proporción directa al cambio de frecuencia eléctrica, y el punto de vacío sobre la curva característica par velocidad cambiará con ella. La velocidad sincrónica del motor en condiciones nominales se conoce como velocidad base. Utilizando control de frecuencia variable, es posible ajustar la velocidad del motor por encima o por debajo de la velocidad base, tal como se muestra en la figura en donde la velocidad base es de 1800 r.p.m.



## Convertidor de frecuencia /Inversores controlados

Los inversores, o convertidores CC-CA, son un circuito utilizado para convertir corriente continua en corriente alterna. Un inversor tiene como función la de cambiar un voltaje CC de entrada en un voltaje CA simétrico a la salida, procurando que este posea la magnitud y frecuencia deseada por el usuario. Los inversores trifásicos son utilizados para la alimentación de cargas trifásicas que requieran corriente alterna. Algunas de las aplicaciones de estos inversores son las siguientes:

- *Fuentes de tensión alterna trifásica sin interrupciones*
- *Puesta en marcha de motores de corriente alterna trifásicos*

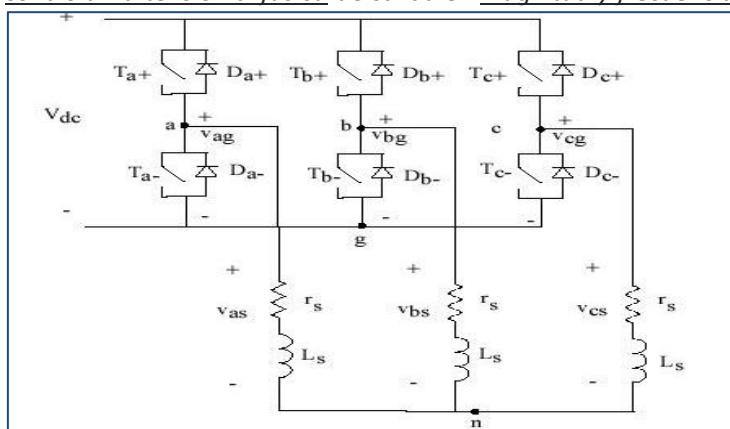
- Conexión de fuentes que producen energía en continua con las cargas trifásicas (paneles fotovoltaicos).

Podemos clasificar de forma general los inversores en:

- Inversores monofásicos con cancelación de voltaje: se puede variar la magnitud y frecuencia del voltaje de salida, sin tener en cuenta que el voltaje de entrada sea constante y que los interruptores no sean controlados en PWM (modulación de ancho de pulso). Esta clase de inversores combinan las cualidades de los inversores siguientes.
- Inversores modulados en PWM: En la entrada de este inversor se encuentra un voltaje CC constante que por lo general proviene de un puente rectificador. La modulación de ancho de pulso PWM controla la magnitud y la frecuencia del voltaje de la salida; dicha modulación controlara los interruptores del inversor.
- Inversores de salida cuadrada: Para esta clase de inversores es necesario controlar la magnitud de la entrada en CC para de esta manera tener control sobre la magnitud de la salida en CA. La principal función de esta clase de inversor es la de controlar la frecuencia de la señal de salida.

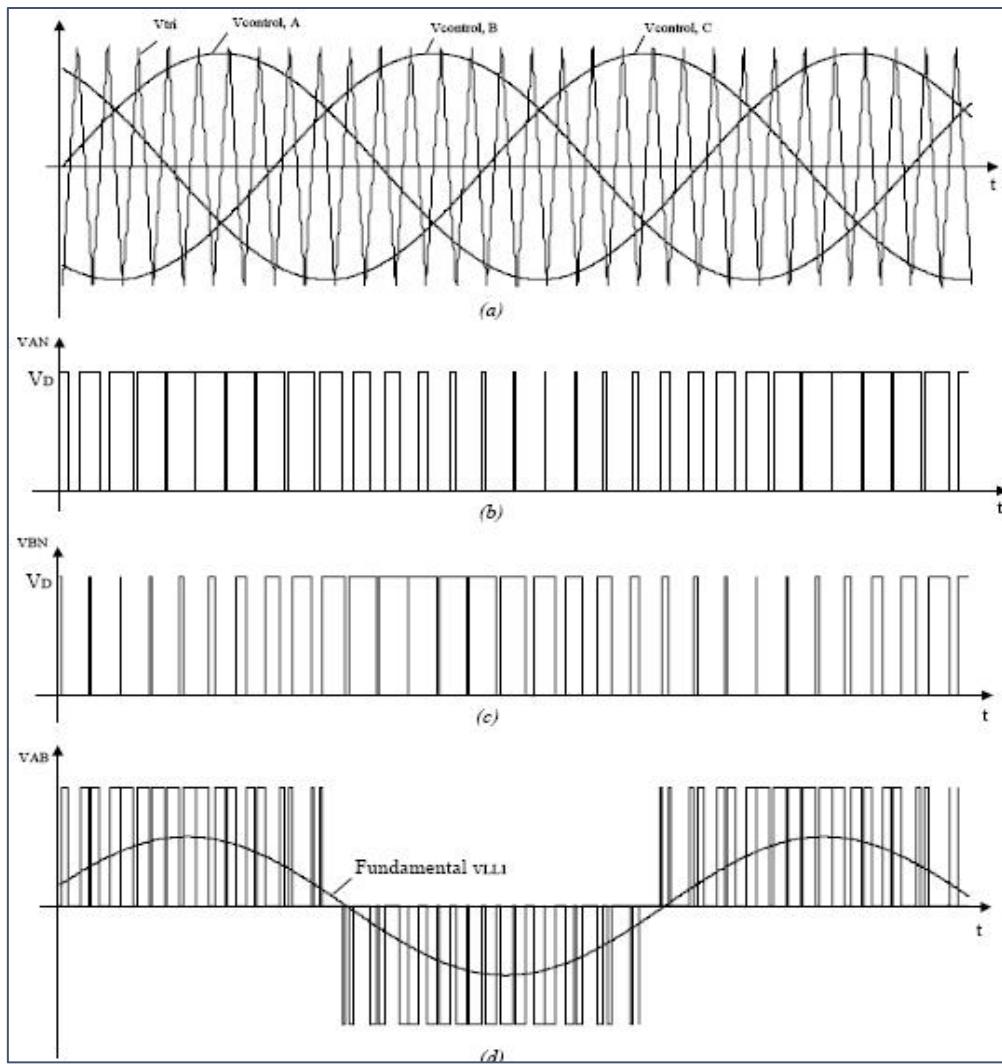
## Inversor PWM (SPWM)

En un inversor trifásico el objetivo del empleo de la modulación de ancho de pulso es modelar y controlar la tensión trifásica de salida en magnitud y frecuencia a partir de una tensión de entrada



VD constante. Una única onda triangular se compara con tres tensiones de control senoidales desfasadas entre sí 120º, para conseguir a la salida un sistema de tensiones trifásico equilibrado empleando la conmutación PWM. Efecto del tiempo muerto en inversores PWM trifásicos. Para inversores PWM trifásicos, las formas de onda de los valores medios instantáneos de las tensiones compuestas VAB(t),

VBC(t) y VCA(t) consisten, en el caso de interruptores ideales, en senoidales puras desfasadas 120º. En cambio, si los interruptores no son ideales, el tiempo muerto provoca que VAB(t), VBC(t) y VCA(t) sufren una distorsión cuando las intensidades iAB(t), iBC(t) e iCA(t) pasen por cero.



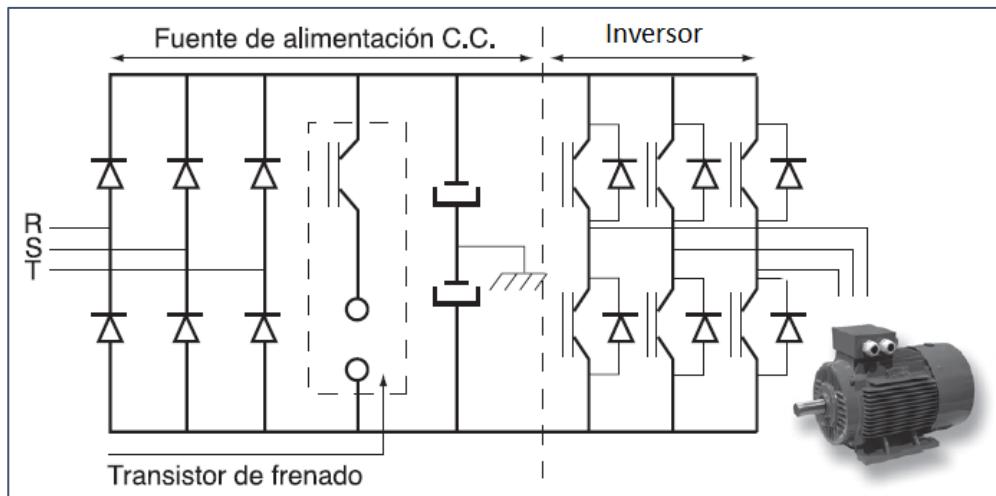
De esta forma, aparecen armónicos de baja frecuencia de orden:  $6k \pm 1$  ( $k=1, 2, 3, \dots$ ) de la frecuencia fundamental, esto es, armónicos impares múltiplos de la frecuencia fundamental excepto aquellos múltiplos de tres.

### Freno Dinámico

El freno dinámico se aplica cuando los motores eléctricos de tracción de un vehículo son usados como generadores para disminuir la velocidad de aquel. Se denomina freno reostático cuando la electricidad generada es disipada en forma de calor por medio de resistencias, y freno regenerativo cuando la energía producida es devuelta a la línea de alimentación o es almacenada en baterías para uso futuro. El freno dinámico reduce el desgaste de los componentes del sistema de freno convencional y, adicionalmente, puede reducir el consumo de energía. Entonces el propósito del frenado dinámico es utilizar la capacidad del inversor para detener (desacelerar) el motor y la carga. Esta función es necesaria cuando la aplicación presenta una o todas las características mencionadas a continuación:

- ✓ Alta inercia en la carga comparada con el torque del motor.
- ✓ La aplicación requiere frecuentes o bruscos cambios de velocidad.
- ✓ Las pérdidas en el sistema no alcanzan para detener el motor en el tiempo adecuado.

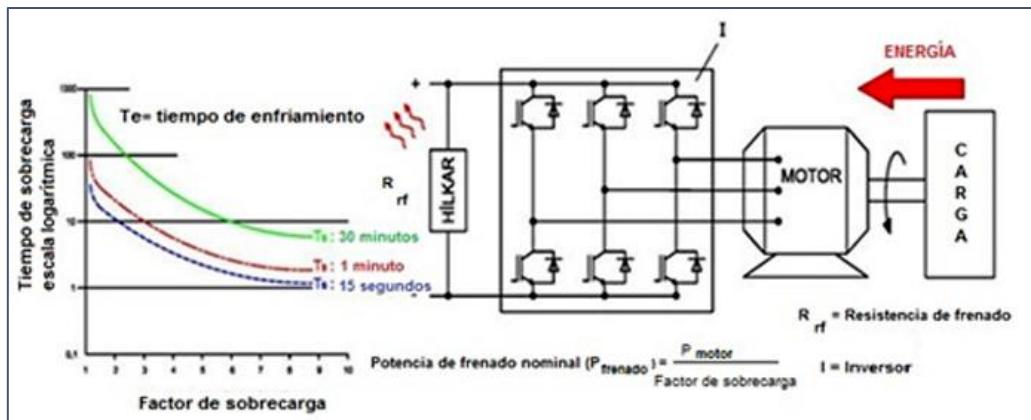
Un transistor más, llamado de frenado, permite direccionar la energía que devuelve el motor (durante el frenado regenerativo) hacia una resistencia exterior. A continuación se muestra un diagrama electrónico típico:



Cuando un inversor reduce su frecuencia de salida y desacelera la carga, el motor puede temporalmente transformarse en generador. Esto ocurre cuando la frecuencia de rotación del motor es mayor que la frecuencia de salida del inversor. Esta condición puede causar que la tensión en el bus de CC aumente, provocando un disparo por sobre tensión. En muchas aplicaciones, la condición de sobre tensión sirve como señal de alerta avisando que estamos excediendo la capacidad de frenado del sistema.

#### Resistencia de frenado:

Los motores eléctricos, en algunos casos, funcionan como generadores para la máquina que está operando y alimentan la red eléctrica. En los casos en que se requiere que el motor frene o desacelere a una velocidad nominal, una resistencia de valor nominal y potencia adecuados es conectada a terminales de freno dinámico, con el fin de convertir la energía generada por el motor a corriente continua en calor, a través de resistencias de frenado dinámicas. La potencia necesaria para una resistencia de frenado dinámico, para detener un motor que gira a velocidad máxima y a carga máxima, debe ser igual a la potencia del motor. Sin embargo, dado que el tiempo de frenado, generalmente, no es más que de unos segundos, una resistencia de frenado de potencia menor a la potencia nominal del motor, puede ser sobrecargada con el fin de proporcionar una forma económica de frenado.

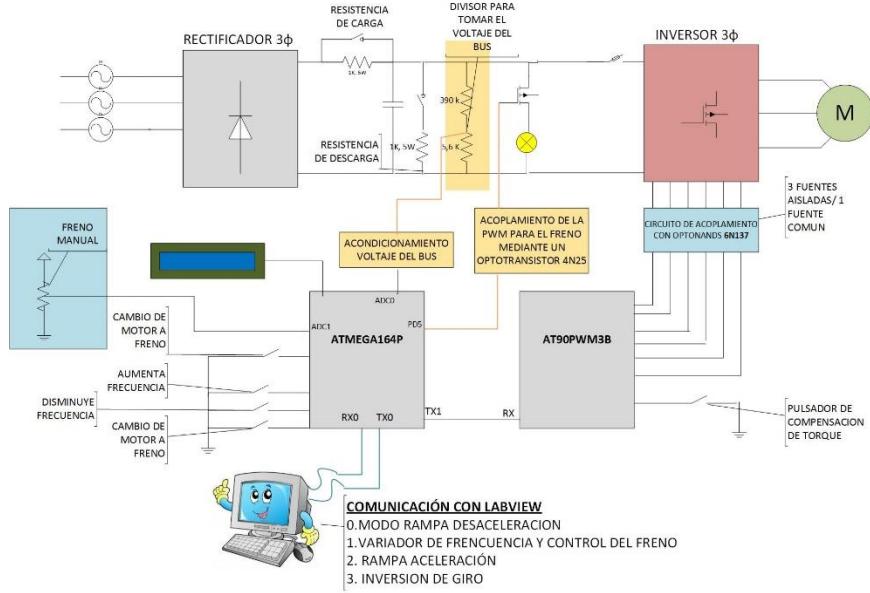


Entonces la función de las resistencias es disipar la energía de frenado, permitiendo el uso del variador en los cuadrantes 2 y 4 del diagrama par-velocidad. De este modo se logra el máximo aprovechamiento del par del motor, durante el momento de frenado y se conoce como frenado dinámico. Normalmente es un opcional ya que sólo es necesaria en aplicaciones donde se necesitan altos pares de frenado.



Resistor de Frenado comercial

## Diagrama de bloques del inversor



## Diseño e Implementación de Hardware

### Dimensionamiento del Capacitor:

Debido a que el voltaje en el bus de DC supera los 300V se escogió un capacitor de **400V** con una capacidad de **470uF**

### Calculo Resistencia de descarga y carga capacitor.

#### Resistencia de Descarga:

$$V_{DCmax} = 320 [V]$$

$$R_d = R_{descarga}$$

$$R_c = R_{carga}$$

$$V_C = V_o * e^{-t/Rd*C}$$

Para que se descargue en 15 segundos

$$V_o = 320 [V]$$

$$V_C = 0.05 V_0$$

$$Rd = \frac{t}{C * \ln(\frac{V_0}{V_C})}$$

$$Rd = \frac{60[s]}{470uF * \ln(\frac{320}{0.05 * 320})}$$

$$Rd = \frac{15[s]}{470 * 10^{-6} * \ln(20)}$$

$$Rd = 1065.34[\Omega]$$

$$Rd \approx 1 [K\Omega]$$

Potencia de disipación:

$$P = \frac{1}{T} \int Vc * i dt = \frac{1}{T} \int [Vo e^{\frac{-t}{RdC}} * \frac{V_0}{Rd} * e^{\frac{-t}{RdC}}] dt$$

$$P = \frac{1}{T} \frac{Vo^2}{Rd} \int \left[ e^{\frac{-2t}{RdC}} \right] dt$$

$$P = \frac{1}{T} \frac{Vo^2}{Rd} \left[ \frac{Rd * C}{2} * e^{\frac{-2t}{RdC}} \Big|_0^{2\pi} \right] dt$$

$$P = \frac{1}{T} \frac{Vo^2}{Rd} \left[ e^{\frac{-4RdC}{RdC}} - e^0 \right] dt$$

$$P = \frac{Vo^2}{4RdC} [1 - e^{-4}] dt$$

$$P = \frac{320^2}{4 * 1K} [1 - e^{-4}] dt$$

$$P = 2.5W \cong 5W$$

$\therefore$  Se considera  $Rd = 1k\Omega, 5W$

Para la resistencia de carga:

$$E = \frac{3\sqrt{2} V_{LL}}{\pi} \quad 6 \rightarrow \text{Rectificador } 3\emptyset$$

$$E = \frac{3\sqrt{2} * 220}{\pi}$$

$$E = 297[V] \approx 300$$

- $Vc = 320 - 0.4 * 320$

$$Vc = 192V \rightarrow \text{salto de voltaje}$$

- $Vc = \frac{Rd}{Rd+R} * E$

$$VcRd + VcRc = Rd * E$$

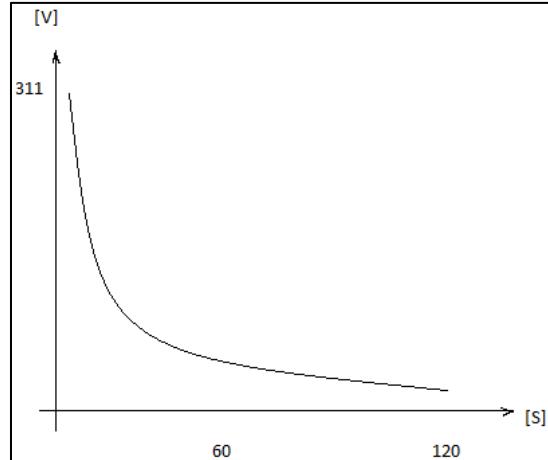
$$Rc = \frac{RdE - VcRd}{Vc}; Rd = 1K$$

$$Rc = 1 * 10^3 \left( \frac{300}{192} - 1 \right)$$

$$Rc = 562.5\Omega$$

Escojo un valor normalizado:

$$Rc = 1k\Omega$$



## Dimensionamiento de elementos

1)

$$Idc = \frac{P}{Vdc * n_{conv}}; \quad P = 2HP * 746W \quad y \quad Vdc = \frac{3\sqrt{2}Vll}{\pi}$$

$$Idc = \frac{1492 W}{\frac{3\sqrt{2}}{\pi} * Vll * n} = 5.9 A$$

$$Idiodo = \frac{6}{3} = 2A$$

$$Irms = \frac{1}{\sqrt{3}} Idc = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.14A$$

$$Vpi = Vdc * Pon(seg) = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} * Vt * N * 1.2 = 336.32V$$

Se selecciona diodo 1N5408:

- ✓ I=3A
- ✓ V=600V
- ✓ VPI=1000 V

2)

$$In = \frac{2HP * 746 W}{\sqrt{3} * 220 * 0.95 * 0.9} = 5.11A$$

$$Vpi = Vbus = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} * Vll * 1.2 = 336.32V$$

Se selecciona Mosfets IRF460:

- ✓ I=21 A
- ✓ V=500 V

Al ser el primer prototipo realizado se escogió elementos de mayor capacidad debido a la susceptibilidad de errores en las señales de control y forzar a los elementos.

### Compensación del torque

La compensación con torque es realizada mediante un pulsador externo del at90pwm3b y este se lo visualiza mediante un led que se enciende o se apaga según sea el caso. El funcionamiento se detalla en el código del programa así como en los diagramas de flujo respectivos.

$$T = \frac{V1^2 * R2 / sNs}{\left[ \left( R1 + \frac{Q2}{s} \right)^2 + (X1 + X2)^2 \right]}$$

$$T_{max} = \frac{V1^2 * 1/2Ns}{R1 + \sqrt{R1^2 + (x1 + x2)^2}}$$

$$T_{max} = \frac{V1^2 * P/4f\pi}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{x1 + x2}{R1}\right)^2}}$$

$\frac{x1+x2}{R1}$  A frecuencia nominal tiene valores fijos:

- 5: motores pequeños < 100HP
- 16: motores grandes > 100HP

$$Si \frac{V1}{f} = cte = \frac{V1'}{f'}$$

$$\frac{V1}{f} = \frac{V1'}{\frac{f}{4}}$$

$$V1' = \frac{1}{4}V1$$

$$\frac{x1' + x2'}{R1} = \frac{\omega L1 \left(\frac{1}{4}f1\right) + \omega L2 \left(\frac{1}{4}f1\right)}{R1}$$

$$\frac{x1' + x2'}{R1} = \frac{1}{4} \left( \frac{x1 + x2}{R1} \right)$$

- **f<sub>nom</sub>**:

$$T = \frac{V1^2 1/4\pi f * 1/R1}{1 + \sqrt{1 + (5)^2}} = \frac{1}{6.099} * \frac{V1^2 P}{4\pi(60)} * \frac{1}{R1} = 2.1795 * 10^{-4} * \frac{V1^2 P}{R1}$$

- **¼ f<sub>nom</sub>**:

$$T = \frac{\left(\frac{1}{4}V1\right)^2 P}{4\pi\left(\frac{1}{4}\right) 60 R1} * \frac{1}{1 + \sqrt{1 + (5)^2}} = 1.2748 * 10^{-4} * \frac{V1^2 P}{R1}$$

$$\frac{T_{max_{1/4f}}}{T_{max_f}} = 58.629\%$$

Si el motor arranca a bajo torque, puede que no alcance a vencer la inercia. Lo que se hace es aumentar el voltaje porque a bajar velocidades  $V/f \neq cte$ . Se debe hallar cuánto debe aumentar el voltaje del estator para aumentar el torque y obtener a  $1/4f_{nom}$  el  $T_{max}$  nominal.

Entonces:

$$V1' = k * V1 \rightarrow k = ?$$

A fnom:

$$T_{max} = 2.1745 * 10^{-4} * \frac{V1^2 P}{R1}$$

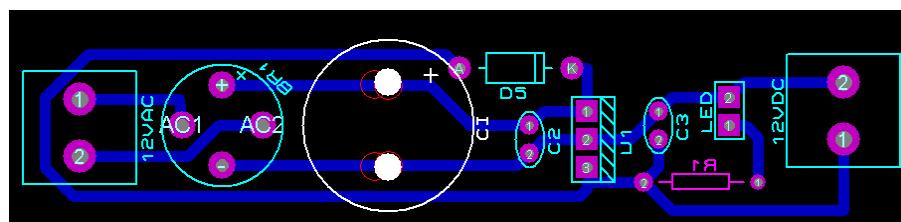
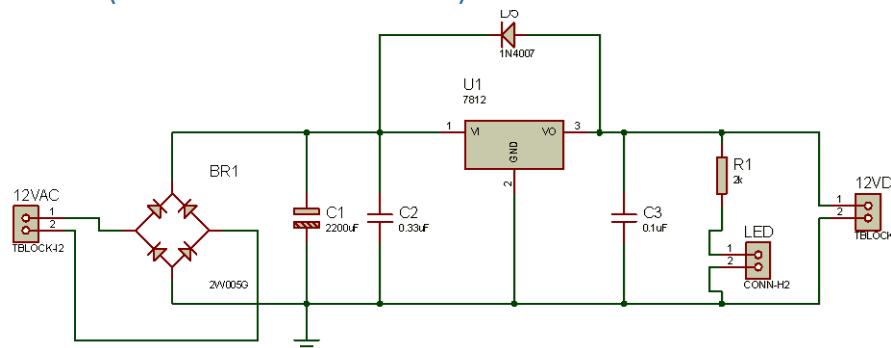
$$T = \frac{(kV1)^2 * P}{4\pi(1/4) * 60} * \frac{1}{R1} * \frac{1}{1 + \sqrt{1 + 5/4}}$$

$$T_{1/4f} = k^2 * 2.0398 * 10^{-3}$$

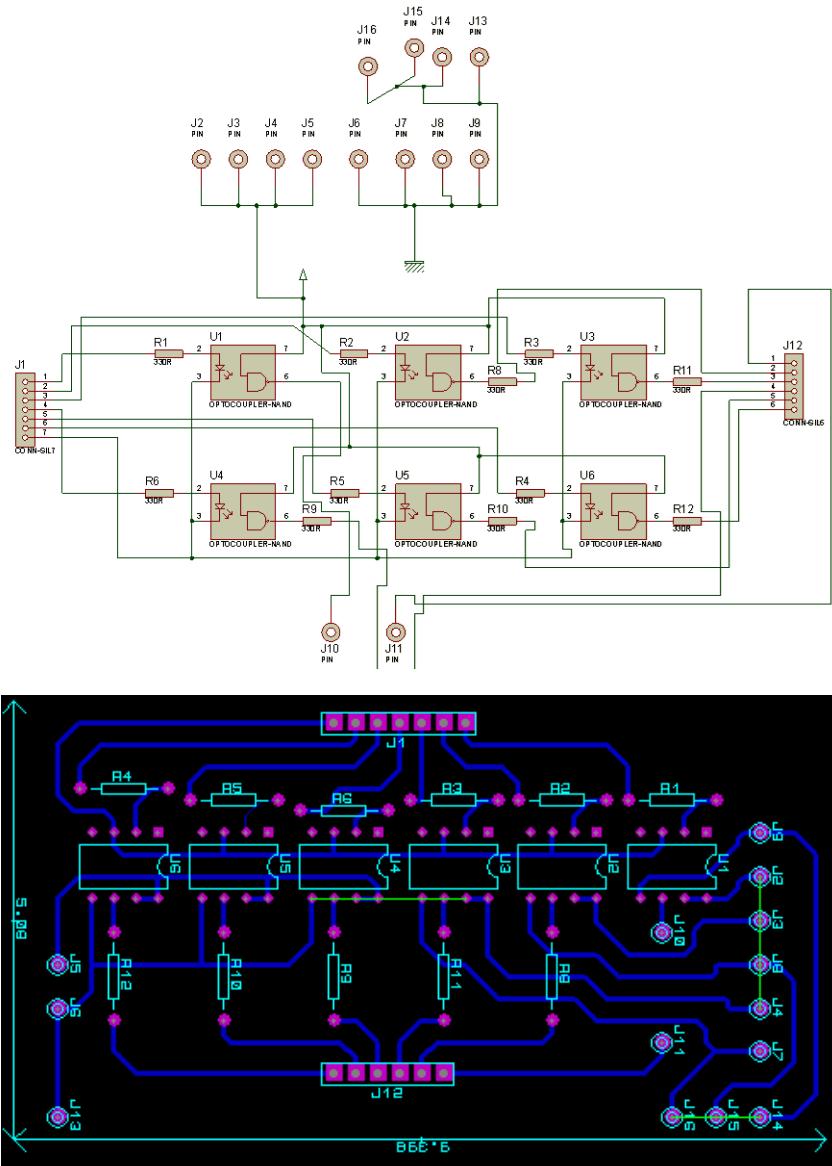
$$k^2 = \frac{2.1745 * 10^{-4}}{2.0398 * 10^{-3}}$$

$$k = 0.3265$$

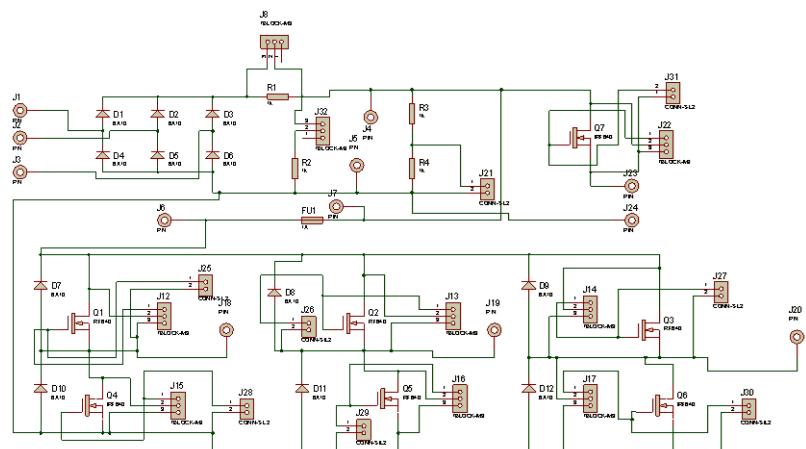
Placa de fuente (similar todas las fuentes)

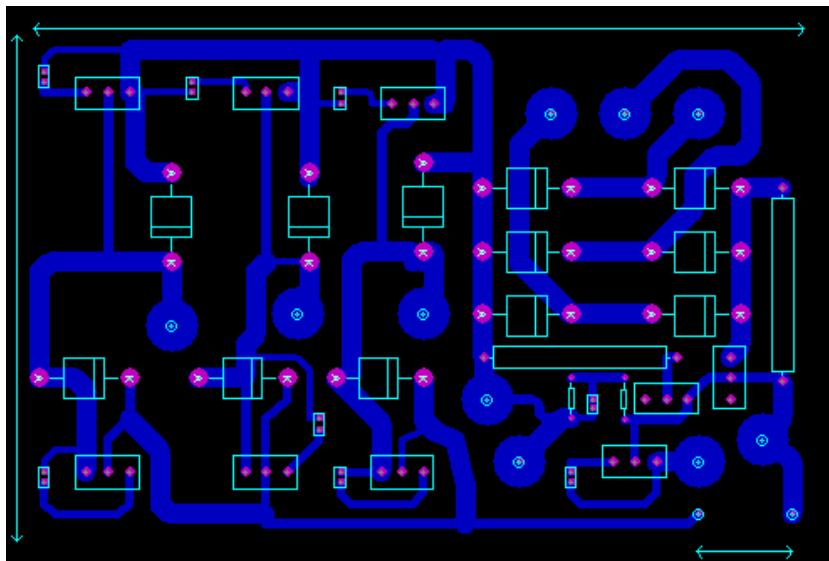


## Placas de disparo

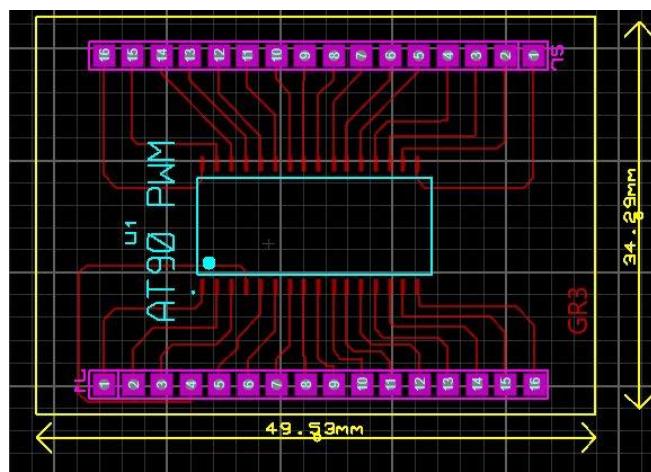
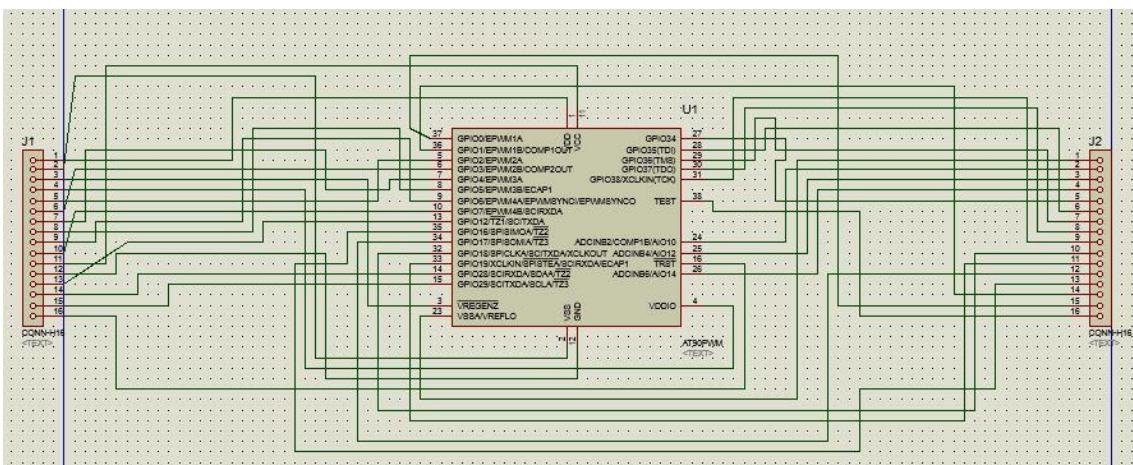


## Placas de potencia





Placas del microcontrolador



# Diseño e Implementación del Software de Control

Microcontrolador utilizado: [AT90PWM3B](#)



## Características:

- ✓ Alto rendimiento, bajo consumo de energía AVR 8-bit del microcontrolador
- ✓ 8 K bytes de memoria flash de programa en-Sistema programable
- ✓ 512 bytes del en-Sistema Programable EEPROM
- ✓ 512 Bytes Interna SRAM
- ✓ Programación de seguridad de bloqueo para programa flash y EEPROM de datos
- ✓ Características periféricos:
- ✓ Dos o tres ADC de alta velocidad PSC (etapa de potencia Controladores) con 10-bit ADC
- ✓ Generacion de PWMS invertidas con tiempo muerto
- ✓ Ciclo de trabajo PWM variable y frecuencia
- ✓ PSC2 con cuatro pines de salida y matriz de salida
- ✓ Un 8-bit del temporizador de uso general/contador con separada prescaler y captura
- ✓ Un temporizador de 16-bits de uso general/contador con preescalador.
- ✓ Maestro/esclavo SPI interfaz serial
- ✓ 4 interrupciones externas
- ✓ Características especiales del microcontrolador
- ✓ Baja velocidad de alimentación, reducción de ruido, y los modos de encendido Power On Reset y programable Brown Out detección
- ✓ Voltaje de funcionamiento: 2.7 V-5.5 V
- ✓ Extendido de temperatura de funcionamiento: -40C a + 105

## DESCRIPCION DEL MICROCONTROLADOR:

Para la generación de la SPWM se utiliza el siguiente modo disponible en el microcontrolador ya que presenta la ventaja de brindar directamente los tiempos muertos necesarios para el control.

Este microcontrolador presenta una aplicación disponible que es **POWER STAGE CONTROLLER (PSC).**

Cada PSC es compatible con un nivel lógico y es capaz de conducir un medio puente de transistores de potencia. Pueden trabajar de manera independiente mutua o sincronizada:

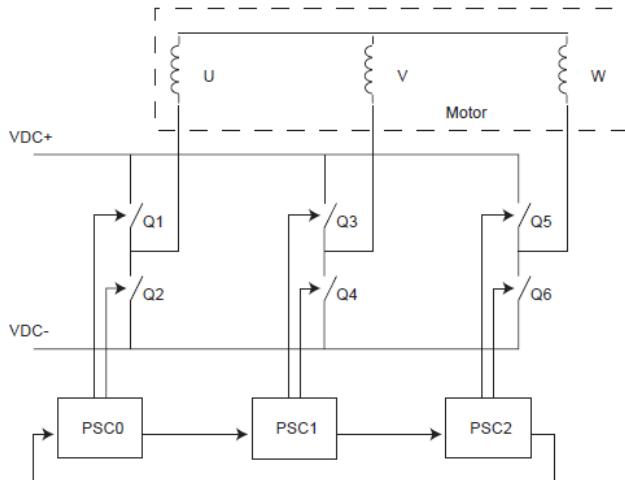
- ⊕ Cuando los PSC son independientes, el PSC puede realizar funciones independientes como Corrección Factor de Potencia, convertidor DC / DC, inversor de la energía.

- When synchronized, the PSC can drive bridge-dependent loads (DC, BLDC, AC current motors, etc.)

Each PSC can be seen as a PWM generator with two complementary outputs. It can provide an autorun mode for PSC without the need for software embedding,

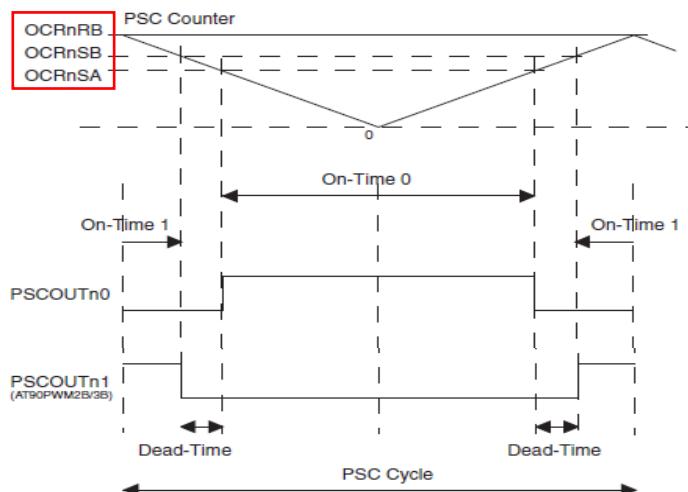
The PSCs can provide synchronized signals, for example for motor control:

**Figure 3-2. Example with three synchronized PSC (motor control ...)**



Note: Motor can be BLDC or asynchronous motor

The mode used for signal generation is the centered mode described below

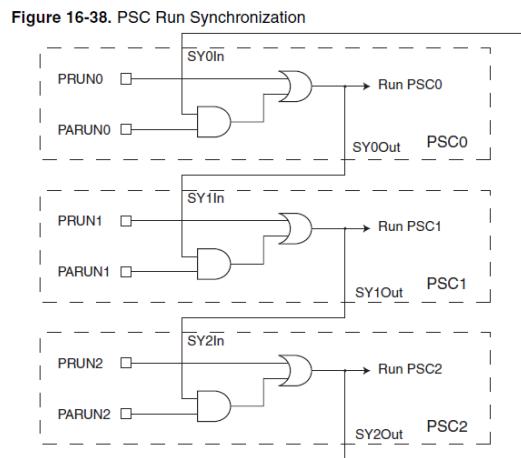


Thanks to the microcontroller's autorun function, three pairs of waveforms can be generated. The purpose of this is to generate a sinusoidal waveform for motor control.

The following example uses PSC0, PSC1 and PSC2. All 3 PSCs are in centered mode. PSC0, PSC1 and PSC2 are synchronized via the PARUNn bits. PSC0 and PSC1 are slaves, PSC2 is the master and starts all times with PRUN2.

The available outputs are: PSCOUT00, PSCOUT01, PSCOUT10, PSCOUT11, PSCOUT20 and PSCOUT21. PSCOUT11 and PSCOUT21.

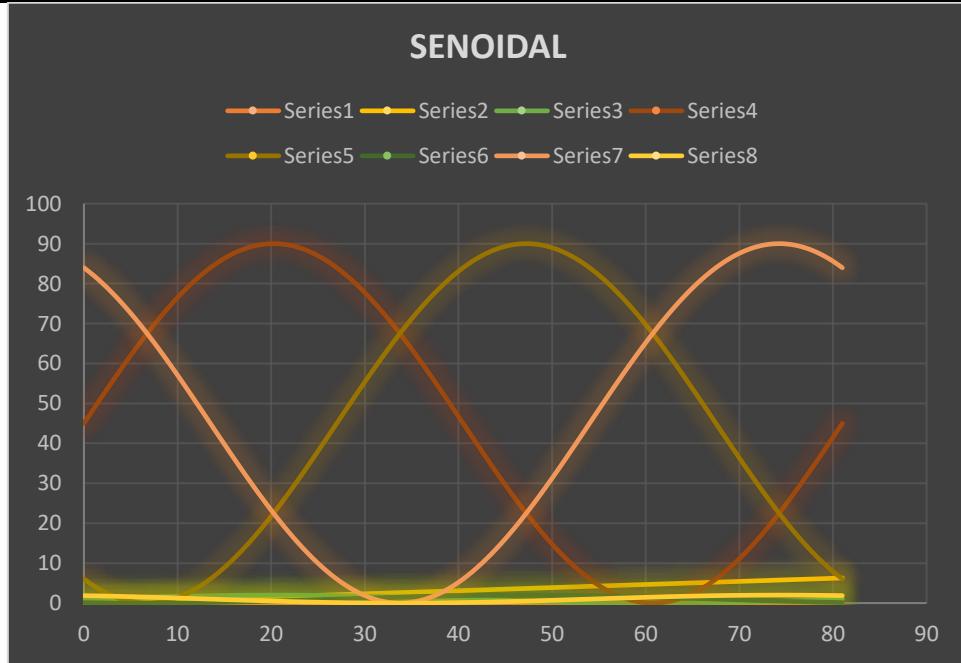
Para el programa realizado para el proyecto PSC0 es el master siendo 1 y 2 esclavos.



## Generación de tablas Senoidal

| GENERAR SENOIDAL  |                        |                 |                  |                                |                                |                  |                                |                 |
|-------------------|------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------|
| FRECUENCIA=60     |                        |                 |                  |                                |                                |                  |                                |                 |
| NUMERO DE VALORES | TIEMPO DE CADA MUESTRA | CONVERSION A PI | VALOR DEL SENO 1 | TABLA SENOIDAL 1 PARA EL MICRO | TABLA SENOIDAL 2 PARA EL MICRO | VALOR DEL SENO 2 | TABLA SENOIDAL 3 PARA EL MICRO | VALOR DEL SENO3 |
| 0                 | 0                      | 0               | 1                | 45                             | 6                              | 0.1339746        | 84                             | 1.8660254       |
| 1                 | 0.000205761            | 0.0775702       | 1.07749242       | 48                             | 4                              | 0.09783258       | 82                             | 1.824675        |
| 2                 | 0.000411523            | 0.1551404       | 1.15451879       | 52                             | 3                              | 0.0671163        | 80                             | 1.77836491      |
| 3                 | 0.000617284            | 0.2327106       | 1.23061587       | 55                             | 2                              | 0.04201049       | 78                             | 1.72737364      |
| 4                 | 0.000823045            | 0.3102808       | 1.305326         | 59                             | 1                              | 0.02266614       | 75                             | 1.67200786      |
| 5                 | 0.001028807            | 0.3878509       | 1.37819986       | 62                             | 0                              | 0.0091996        | 73                             | 1.61260055      |
| 6                 | 0.001234568            | 0.4654211       | 1.44879918       | 65                             | 0                              | 0.00169184       | 70                             | 1.54950898      |
| 7                 | 0.001440329            | 0.5429913       | 1.51669937       | 68                             | 0                              | 0.00018803       | 67                             | 1.4831126       |
| 8                 | 0.001646091            | 0.6205615       | 1.58149207       | 71                             | 0                              | 0.0046972        | 64                             | 1.41381072      |
| 9                 | 0.001851852            | 0.6981317       | 1.64278761       | 74                             | 1                              | 0.01519225       | 60                             | 1.34202014      |
| 10                | 0.002057613            | 0.7757019       | 1.70021735       | 77                             | 1                              | 0.03161004       | 57                             | 1.26817261      |
| 11                | 0.002263374            | 0.8532721       | 1.7534359        | 79                             | 2                              | 0.05385184       | 54                             | 1.19271226      |
| 12                | 0.002469136            | 0.9308423       | 1.80212319       | 81                             | 4                              | 0.08178389       | 50                             | 1.11609291      |
| 13                | 0.002674897            | 1.0084125       | 1.84598643       | 83                             | 5                              | 0.1152382        | 47                             | 1.03877537      |
| 14                | 0.002880658            | 1.0859826       | 1.8847618        | 85                             | 7                              | 0.15401357       | 43                             | 0.96122463      |
| 15                | 0.00308642             | 1.1635528       | 1.91821611       | 86                             | 9                              | 0.19787681       | 40                             | 0.88390709      |
| 16                | 0.003292181            | 1.241123        | 1.94614816       | 88                             | 11                             | 0.2465641        | 36                             | 0.80728774      |
| 17                | 0.003497942            | 1.3186932       | 1.96838996       | 89                             | 13                             | 0.29978265       | 33                             | 0.73182739      |
| 18                | 0.003703704            | 1.3962634       | 1.98480775       | 89                             | 16                             | 0.35721239       | 30                             | 0.65797986      |
| 19                | 0.003909465            | 1.4738336       | 1.9953028        | 90                             | 19                             | 0.41850793       | 26                             | 0.58618928      |
| 20                | 0.004115226            | 1.5514038       | 1.99981197       | 90                             | 22                             | 0.48330063       | 23                             | 0.5168874       |
| 21                | 0.004320988            | 1.628974        | 1.99830816       | 90                             | 25                             | 0.55120082       | 20                             | 0.45049102      |
| 22                | 0.004526749            | 1.7065442       | 1.9908004        | 90                             | 28                             | 0.62180014       | 17                             | 0.38739945      |
| 23                | 0.00473251             | 1.7841143       | 1.97733386       | 89                             | 31                             | 0.694674         | 15                             | 0.32799214      |
| 24                | 0.004938272            | 1.8616845       | 1.95798951       | 88                             | 35                             | 0.76938413       | 12                             | 0.27262636      |
| 25                | 0.005144033            | 1.9392547       | 1.9328837        | 87                             | 38                             | 0.84548121       | 10                             | 0.22163509      |
| 26                | 0.005349794            | 2.0168249       | 1.90216742       | 86                             | 42                             | 0.92250758       | 8                              | 0.175325        |
| 27                | 0.005555556            | 2.0943951       | 1.8660254        | 84                             | 45                             | 1                | 6                              | 0.1339746       |
| 28                | 0.005761317            | 2.1719653       | 1.824675         | 82                             | 48                             | 1.07749242       | 4                              | 0.09783258      |
| 29                | 0.005967078            | 2.2495355       | 1.77836491       | 80                             | 52                             | 1.15451879       | 3                              | 0.0671163       |
| 30                | 0.00617284             | 2.3271057       | 1.72737364       | 78                             | 55                             | 1.23061587       | 2                              | 0.04201049      |
| 31                | 0.006378601            | 2.4046759       | 1.67200786       | 75                             | 59                             | 1.305326         | 1                              | 0.02266614      |
| 32                | 0.006584362            | 2.482246        | 1.61260055       | 73                             | 62                             | 1.37819986       | 0                              | 0.0091996       |
| 33                | 0.006790123            | 2.5598162       | 1.54950898       | 70                             | 65                             | 1.44879918       | 0                              | 0.00169184      |
| 34                | 0.006995885            | 2.6373864       | 1.4831126        | 67                             | 68                             | 1.51669937       | 0                              | 0.00018803      |
| 35                | 0.007201646            | 2.7149566       | 1.41381072       | 64                             | 71                             | 1.58149207       | 0                              | 0.0046972       |
| 36                | 0.007407407            | 2.7925268       | 1.34202014       | 60                             | 74                             | 1.64278761       | 1                              | 0.01519225      |
| 37                | 0.007613169            | 2.870097        | 1.26817261       | 57                             | 77                             | 1.70021735       | 1                              | 0.03161004      |
| 38                | 0.00781893             | 2.9476672       | 1.19271226       | 54                             | 79                             | 1.7534359        | 2                              | 0.05385184      |
| 39                | 0.008024691            | 3.0252374       | 1.11609291       | 50                             | 81                             | 1.80212319       | 4                              | 0.08178389      |
| 40                | 0.008230453            | 3.1028076       | 1.03877537       | 47                             | 83                             | 1.84598643       | 5                              | 0.1152382       |
| 41                | 0.008436214            | 3.1803777       | 0.96122463       | 43                             | 85                             | 1.8847618        | 7                              | 0.15401357      |
| 42                | 0.008641975            | 3.2579479       | 0.88390709       | 40                             | 86                             | 1.91821611       | 9                              | 0.19787681      |
| 43                | 0.008847737            | 3.3355181       | 0.80728774       | 36                             | 88                             | 1.94614816       | 11                             | 0.2465641       |
| 44                | 0.009053498            | 3.4130883       | 0.73182739       | 33                             | 89                             | 1.96838996       | 13                             | 0.29978265      |
| 45                | 0.009259259            | 3.4906585       | 0.65797986       | 30                             | 89                             | 1.98480775       | 16                             | 0.35721239      |
| 46                | 0.009465021            | 3.5682287       | 0.58618928       | 26                             | 90                             | 1.9953028        | 19                             | 0.41850793      |
| 47                | 0.009670782            | 3.6457989       | 0.5168874        | 23                             | 90                             | 1.99981197       | 22                             | 0.48330063      |

|    |             |           |            |    |    |            |    |            |
|----|-------------|-----------|------------|----|----|------------|----|------------|
| 48 | 0.009876543 | 3.7233691 | 0.45049102 | 20 | 90 | 1.99830816 | 25 | 0.55120082 |
| 49 | 0.010082305 | 3.8009393 | 0.38739945 | 17 | 90 | 1.9908004  | 28 | 0.62180014 |
| 50 | 0.010288066 | 3.8785094 | 0.32799214 | 15 | 89 | 1.97733386 | 31 | 0.694674   |
| 51 | 0.010493827 | 3.9560796 | 0.27262636 | 12 | 88 | 1.95798951 | 35 | 0.76938413 |
| 52 | 0.010699588 | 4.0336498 | 0.22163509 | 10 | 87 | 1.9328837  | 38 | 0.84548121 |
| 53 | 0.01090535  | 4.11122   | 0.175325   | 8  | 86 | 1.90216742 | 42 | 0.92250758 |
| 54 | 0.011111111 | 4.1887902 | 0.1339746  | 6  | 84 | 1.8660254  | 45 | 1          |
| 55 | 0.011316872 | 4.2663604 | 0.09783258 | 4  | 82 | 1.824675   | 48 | 1.07749242 |
| 56 | 0.011522634 | 4.3439306 | 0.0671163  | 3  | 80 | 1.77836491 | 52 | 1.15451879 |
| 57 | 0.011728395 | 4.4215008 | 0.04201049 | 2  | 78 | 1.72737364 | 55 | 1.23061587 |
| 58 | 0.011934156 | 4.499071  | 0.02266614 | 1  | 75 | 1.67200786 | 59 | 1.305326   |
| 59 | 0.012139918 | 4.5766411 | 0.0091996  | 0  | 73 | 1.61260055 | 62 | 1.37819986 |
| 60 | 0.012345679 | 4.6542113 | 0.00169184 | 0  | 70 | 1.54950898 | 65 | 1.44879918 |
| 61 | 0.01255144  | 4.7317815 | 0.00018803 | 0  | 67 | 1.4831126  | 68 | 1.51669937 |
| 62 | 0.012757202 | 4.8093517 | 0.0046972  | 0  | 64 | 1.41381072 | 71 | 1.58149207 |
| 63 | 0.012962963 | 4.8869219 | 0.01519225 | 1  | 60 | 1.34202014 | 74 | 1.64278761 |
| 64 | 0.013168724 | 4.9644921 | 0.03161004 | 1  | 57 | 1.26817261 | 77 | 1.70021735 |
| 65 | 0.013374486 | 5.0420623 | 0.05385184 | 2  | 54 | 1.19271226 | 79 | 1.7534359  |
| 66 | 0.013580247 | 5.1196325 | 0.08178389 | 4  | 50 | 1.11609291 | 81 | 1.80212319 |
| 67 | 0.013786008 | 5.1972027 | 0.1152382  | 5  | 47 | 1.03877537 | 83 | 1.84598643 |
| 68 | 0.01399177  | 5.2747729 | 0.15401357 | 7  | 43 | 0.96122463 | 85 | 1.8847618  |
| 69 | 0.014197531 | 5.352343  | 0.19787681 | 9  | 40 | 0.88390709 | 86 | 1.91821611 |
| 70 | 0.014403292 | 5.4299132 | 0.2465641  | 11 | 36 | 0.80728774 | 88 | 1.94614816 |
| 71 | 0.014609053 | 5.5074834 | 0.29978265 | 13 | 33 | 0.73182739 | 89 | 1.96838996 |
| 72 | 0.014814815 | 5.5850536 | 0.35721239 | 16 | 30 | 0.65797986 | 89 | 1.98480775 |
| 73 | 0.015020576 | 5.6626238 | 0.41850793 | 19 | 26 | 0.58618928 | 90 | 1.9953028  |
| 74 | 0.015226337 | 5.740194  | 0.48330063 | 22 | 23 | 0.5168874  | 90 | 1.99981197 |
| 75 | 0.015432099 | 5.8177642 | 0.55120082 | 25 | 20 | 0.45049102 | 90 | 1.99830816 |
| 76 | 0.01563786  | 5.8953344 | 0.62180014 | 28 | 17 | 0.38739945 | 90 | 1.9908004  |
| 77 | 0.015843621 | 5.9729046 | 0.694674   | 31 | 15 | 0.32799214 | 89 | 1.97733386 |
| 78 | 0.016049383 | 6.0504747 | 0.76938413 | 35 | 12 | 0.27262636 | 88 | 1.95798951 |
| 79 | 0.016255144 | 6.1280449 | 0.84548121 | 38 | 10 | 0.22163509 | 87 | 1.9328837  |
| 80 | 0.016460905 | 6.2056151 | 0.92250758 | 42 | 8  | 0.175325   | 86 | 1.90216742 |
| 81 | 0.016666667 | 6.2831853 | 1          | 45 | 6  | 0.1339746  | 84 | 1.8660254  |

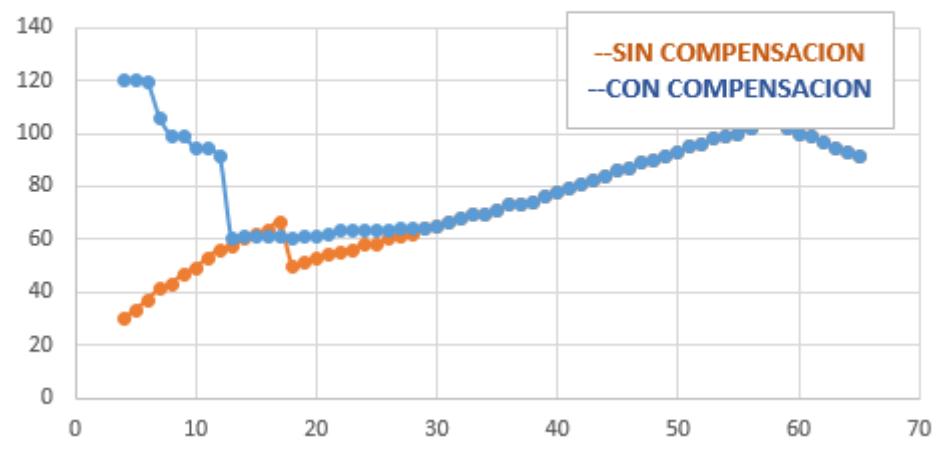


**Generación de tablas modulación:**

| FRECUENCIA | VALOR DE VOLTAJE DE SALIDA SIN COMPENSAR | VOLTAJE SALE SIN FACTOR | FACTO R TEORICO | FACTOR REAL DETERMINADO CON PRUEBAS | VOLTAJES COMPENSACION | FACTOR COMPENSACION TORQUE CON PRUEBAS |
|------------|--|-------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------|--|
| 1          | 3,67                                     |                         |                 |                                     | 36,34                 |  |
| 2          | 7,33                                     |                         |                 |                                     | 38,89                 |  |
| 3          | 11,00                                    |                         |                 |                                     | 41,43                 |  |
| 4          | 14,67                                    | 36                      | 0,41            | 30                                  | 43,98                 | 120                                    |
| 5          | 18,33                                    | 58                      | 0,32            | 33                                  | 46,52                 | 120                                    |
| 6          | 22,00                                    | 64                      | 0,34            | 37                                  | 49,07                 | 119                                    |
| 7          | 25,67                                    | 69                      | 0,37            | 41                                  | 51,61                 | 106                                    |
| 8          | 29,33                                    | 74                      | 0,40            | 43                                  | 54,16                 | 99                                     |
| 9          | 33,00                                    | 79                      | 0,42            | 47                                  | 56,70                 | 99                                     |
| 10         | 36,67                                    | 82                      | 0,45            | 49                                  | 59,25                 | 94                                     |
| 11         | 40,33                                    | 87                      | 0,46            | 53                                  | 61,79                 | 94                                     |
| 12         | 44,00                                    | 91                      | 0,48            | 56                                  | 64,34                 | 91                                     |
| 13         | 47,67                                    | 96                      | 0,50            | 57                                  | 66,88                 | 60                                     |
| 14         | 51,33                                    | 100                     | 0,51            | 60                                  | 69,43                 | 61                                     |
| 15         | 55,00                                    | 102                     | 0,54            | 62                                  | 71,97                 | 61                                     |
| 16         | 58,67                                    | 106                     | 0,55            | 63                                  | 74,51                 | 61                                     |
| 17         | 62,33                                    | 109                     | 0,57            | 66                                  | 77,06                 | 61                                     |
| 18         | 66,00                                    | 113                     | 0,58            | 50                                  | 79,60                 | 60                                     |
| 19         | 69,67                                    | 116                     | 0,60            | 51                                  | 82,15                 | 61                                     |
| 20         | 73,33                                    | 119                     | 0,62            | 53                                  | 84,69                 | 61                                     |
| 21         | 77,00                                    | 122                     | 0,63            | 54                                  | 87,24                 | 62                                     |
| 22         | 80,67                                    | 125                     | 0,65            | 55                                  | 89,78                 | 63                                     |
| 23         | 84,33                                    | 128                     | 0,66            | 56                                  | 92,33                 | 63                                     |
| 24         | 88,00                                    | 131                     | 0,67            | 58                                  | 94,87                 | 63                                     |
| 25         | 91,67                                    | 134                     | 0,68            | 58                                  | 97,42                 | 63                                     |
| 26         | 95,33                                    | 137                     | 0,70            | 60                                  | 99,96                 | 63                                     |
| 27         | 99,00                                    | 139                     | 0,71            | 61                                  | 102,51                | 64                                     |
| 28         | 102,67                                   | 142                     | 0,72            | 62                                  | 105,05                | 64                                     |
| 29         | 106,33                                   | 144                     | 0,74            | 64                                  | 107,60                | 64                                     |
| 30         | 110,00                                   | 147                     | 0,75            | 65                                  | 110,14                | 65                                     |
| 31         | 113,67                                   | 149                     | 0,76            | 66                                  | 242                   | 66                                     |
| 32         | 117,33                                   | 151                     | 0,78            | 68                                  | 249,333333            | 68                                     |
| 33         | 121,00                                   | 154                     | 0,79            | 69                                  | 253                   | 69                                     |
| 34         | 124,67                                   | 156                     | 0,80            | 69                                  | 253                   | 69                                     |
| 35         | 128,33                                   | 158                     | 0,81            | 71                                  | 260,333333            | 71                                     |
| 36         | 132,00                                   | 161                     | 0,82            | 73                                  | 267,666667            | 73                                     |
| 37         | 135,67                                   | 164                     | 0,83            | 73                                  | 267,666667            | 73                                     |
| 38         | 139,33                                   | 165                     | 0,84            | 74                                  | 271,333333            | 74                                     |
| 39         | 143,00                                   | 167                     | 0,86            | 76                                  | 278,666667            | 76                                     |

|    |        |     |      |     |            |     |
|----|--------|-----|------|-----|------------|-----|
| 40 | 146,67 | 169 | 0,87 | 78  | 286        | 78  |
| 41 | 150,33 | 171 | 0,88 | 79  | 289,666667 | 79  |
| 42 | 154,00 | 174 | 0,89 | 81  | 297        | 81  |
| 43 | 157,67 | 176 | 0,90 | 82  | 300,666667 | 82  |
| 44 | 161,33 | 177 | 0,91 | 84  | 308        | 84  |
| 45 | 165,00 | 179 | 0,92 | 86  | 315,333333 | 86  |
| 46 | 168,67 | 181 | 0,93 | 87  | 319        | 87  |
| 47 | 172,33 | 183 | 0,94 | 89  | 326,333333 | 89  |
| 48 | 176,00 | 185 | 0,95 | 90  | 330        | 90  |
| 49 | 179,67 | 188 | 0,96 | 91  | 333,666667 | 91  |
| 50 | 183,33 | 190 | 0,96 | 93  | 341        | 93  |
| 51 | 187,00 | 191 | 0,98 | 95  | 348,333333 | 95  |
| 52 | 190,67 | 193 | 0,99 | 96  | 352        | 96  |
| 53 | 194,33 | 195 | 1,00 | 98  | 359,333333 | 98  |
| 54 | 198,00 | 197 | 1,01 | 99  | 363        | 99  |
| 55 | 201,67 | 198 | 1,02 | 100 | 366,666667 | 100 |
| 56 | 205,33 | 200 | 1,03 | 102 | 374        | 102 |
| 57 | 209,00 | 202 | 1,03 | 104 | 381,333333 | 104 |
| 58 | 212,67 | 204 | 1,04 | 104 | 381,333333 | 104 |
| 59 | 216,33 | 206 | 1,05 | 102 | 374        | 102 |
| 60 | 220,00 | 208 | 1,06 | 100 | 366,666667 | 100 |
| 61 | 223,67 | 209 | 1,07 | 99  | 363        | 99  |
| 62 | 227,33 | 210 | 1,08 | 97  | 355,666667 | 97  |
| 63 | 231,00 | 211 | 1,09 | 94  | 344,666667 | 94  |
| 64 | 234,67 | 212 | 1,11 | 93  | 341        | 93  |
| 65 | 238,33 | 213 | 1,12 | 91  | 333,666667 | 91  |

**FACTORES E MODULACION CON COMPENSACION  
Y SIN COMPENSACION DE TORQUE**



## Programa del microcontrolador

```
/=====
*****PROYECTO DE DCONTROL DE MAQUINAS*****
*****DAVID SNACHEZ*****GRUPO:GR3
*****DIEGO ROMO*****SUBGRUPO:A Y B
****ESTEFANIA SAMANIEGO
****DAVID VELATEGUI
****PAUL CARDENAS
****ALEJANDRA ISCH
=====*/
//LIBRERIAS Y DEFINICION DE VARIABLES
#define F_CPU 8000000UL
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <stdint.h>
#include <util/delay.h>
int ON_TIME0;//VALORES A CARGAR A LOS REGSITROS PARA LA SPWM
int ON_TIME1;
int ON_TIME2;
unsigned int x=0;//VALORES QUE SERVIRAN PARA APUNTAR A DIFERENTES VALORES DE LA TABLA Y SACAR 3 ONDAS DESFASADAS 120°
unsigned int y=0;
unsigned int z=0;
int freq=4;//CAMBIO DE FRECUENCIA MANUAL
int freq_uart=0;
int inicial=0;
int factor=0;
int factor1=0;
int factor2=1;
int factor3=0;
int dato=0;
int cont=0;
int aux=0;
int aux1=0;
int prueba=0;
int calibracion=100;
int inversion=0;
int compensacion=0;
int cont2=0;
//TABLA SENOIDAL
const int
tabla[81]={45,48,52,55,59,62,65,68,71,74,77,79,81,83,85,86,88,89,89,90,90,90,90,8
9,88,87,86,84,82,80,78,75
,73,70,67,64,60,57,54,50,47,43,40,36,33,30,26,23,20,17,15,12,10,8,6,4,3,2,1,0,0,0
,0,1,1,2,4,5,7,9,11,13,16,19,22,
25,28,31,35,38,42,45};
//TABLA DE MSULACION SIN COMPENSACION DE TORQUE
//cada valor se tomo en base a pruebas
const int
modulacion[66]={0,0,0,0,30,33,37,41,43,47,49,53,56,57,60,62,63,66,50,51,53,54,55,
56,58,58,60,61,62,64,66
,68,69,69,71,73,73,74,76,80,79,81,82,84,86,87,89,90,91,95,95,96,98,99,100,
102,104,104,102,100,99,97,94,93,91,91};
//TABLA DE MODULACION CON COMPENSACION DE TORQUE
//cada valor fue tomado en base a pruebas y calculos de voltaje requerido para comepnsar
const int
compensar[66]={0,0,0,0,120,120,119,106,99,99,94,94,91,60,61,61,61,61,60,61,61,62,
63,63,63,63,64,64,64,65,66
,68,69,69,71,73,73,74,76,80,79,81,82,84,86,87,89,90,91,95,95,96,98,99,100,
102,104,104,102,100,99,97,94,93,91,91};
```

```

int *p=tabla;
//=====================================================================
//SUBRUTINA INICIALIZACION POWER STAGE CONTROL(PSC-PSC0-PSC1-PSC2)
//=====================================================================
void PSC_INIT(void)
{
    inicial=(6173/frec);
    if (frec<4)inicial=0;
    PLLCSR=(1<<PLLE);//32MHz
//PSC_0
    OCR0RB=inicial*2;//CARGO VALORES INICIALES A LOS REGISTROS
    OCR0SA=0;
    OCR0SB=inicial*2;
    PSOC0=(1<<POEN0A)|(1<<POEN0B);
    PCNF0=(1<<PMODE01)|(1<<PMODE00)|(0<<POP0);||(1<<PCLKSEL0);//MODO
CENTRADO/POP=0 SEÑALES INVERTIDAS POR LAS OPTONANDS
    PFRC0A=0;
    PFRC0B=0;
    PCTL0=(0<<PPRE01)|(1<<PPRE00)|(1<<PCCYC0)|(0<<PRUN0);//SINCRONIZO CON 2 Y
3 Y ESPERO PRUN=0---MASTER
    PIM0=(1<<PEOPE0);
//PRESCALER DE 32/trabaja el psc a 1MHz.
//PSC_1
    OCR1RB=inicial*2;
    OCR1SA=0;
    OCR1SB=inicial*2;
    PSOC1=(1<<POEN1A)|(1<<POEN1B);
    PCNF1=(1<<PMODE11)|(1<<PMODE10)|(0<<POP1);//MODO CENTRADO
    PFRC1A=0;
    PFRC1B=0;
    PCTL1=(0<<PPRE11)|(1<<PPRE10)|(1<<PARUN1)|(0<<PRUN1);//--SLAVE SEGUN PSC0
    PIM1=(1<<PEOPE1);
//PSC_2
    OCR2RB=inicial*2;
    OCR2SA=0;
    OCR2SB=inicial*2;
    PSOC2=(1<<POEN2A)|(1<<POEN2B);
    PCNF2=(1<<PMODE21)|(1<<PMODE20)|(0<<POP2);//MODO CENTRADO
    PFRC2A=0;
    PFRC2B=0;
    PCTL2=(0<<PPRE21)|(1<<PPRE20)|(1<<PARUN2)|(0<<PRUN2);//SLAVE SEGUN PSC1
    PIM2=(1<<PEOPE2);
    PCTL0=(1<<PPRE00)|(1<<PCCYC0)|(1<<PRUN0);//INICIA EL PSC;
}
//=====================================================================
//      SUBRUTINA CONFIGURACION DE INTERRUPCIONES
//=====================================================================
void INIT_INTERRUPTS(void)
{
    EICRA=(1<<ISC01)|(1<<ISC11);
    EIMSK=(1<<INT0)|(1<<INT1);
}

//=====================================================================
//      INTERRUPCION DEL PSC0
//=====================================================================
ISR (PSC0_EC_vect)
{
    if (inversion==0)//GIRO SENTIDO ANTIHORARIO
    {
        x=x+1;
}

```

```

        if (x>80)x=x-81;
        y=x+27;
        if (y>80)y=y-81;
        z=x+54;
        if (z>80)z=z-81;
    }
    if (inversion==1)//GIRO SENTIDO HORARIO
    {
        x=x+1;
        if (x>80)x=x-81;
        y=x+54;
        if (y>80)y=y-81;
        z=x+27;
        if (z>80)z=z-81;
    }
PCNF0 = (1<<PLOCK0)|(1<<PMODE01) | (1<<PMODE00)|(0<<POP0);//

if (compensacion==0)
{
    factor1=*(p+x)*2*modulacion[frec];//LAMO A LA LA TABLA SE SOLO
MODULACION
}
if (compensacion==1)
{
    factor1=*(p+x)*2*compensar[frec];//LLAMADO A LA TABLA DE
COMPENSACION
}
factor1=factor1/100;
ON_TIME0=factor1;
OCR0SA=ON_TIME0-6;//SE CARGAN LOS NUEVOS VALORES EN FUNCION DE LA
FRECUENCIA
OCR0SB=OCR0SA+12*2+6;// AL PONER DEAD_TIME=4/1Mhz DEAD TIME=4 us
PCNF0 = (0<<PLOCK0)|(1<<PMODE01) | (1<<PMODE00)|(0<<POP0);
}

//=====================================================================
//          INTERRUPCION DEL PSC1
//=====================================================================
ISR (PSC1_EC_vect)
{
    PCNF1 = (1<<PLOCK1)|(1<<PMODE11) | (1<<PMODE10)|(0<<POP1);

    if (compensacion==0)
    {
        factor1=*(p+y)*2*modulacion[frec];
    }
    if (compensacion==1)
    {
        factor1=*(p+y)*2*compensar[frec];
    }
    factor1=factor1/100;
    ON_TIME1=factor1;
    OCR1SA=ON_TIME1-6;
    OCR1SB=OCR1SA+12*2+6;
    PCNF1 = (0<<PLOCK1)|(1<<PMODE11) | (1<<PMODE10)|(0<<POP1);
}

//=====================================================================
//          INTERRUPCION DEL PSC2
//=====================================================================
ISR (PSC2_EC_vect)
{
    PCNF2 = (1<<PLOCK2)|(1<<PMODE21) | (1<<PMODE20)|(0<<POP2);
    if (compensacion==0)

```

```

{
    factor1=*(p+z)*2*modulacion[frec];
}
if (compensacion==1)
{
    factor1=*(p+z)*2*compensar[frec];
}

factor1=factor1/100;
ON_TIME2=factor1;
OCR2SA=ON_TIME2-6;
OCR2SB=OCR2SA+12*2+6;
PCNF2 = (0<<PLOCK2)|(1<<PMODE21) | (1<<PMODE20)|(0<<POP2);
}
//=====================================================================
// INICIALIZACION DE USART A 9600 BAUDS/8BITS/ASINCRONO
//=====================================================================
void INIT_UART()
{
    UCSRB|=(1<<RXCIE)|(1<<RXEN)|(1<<TXEN);
    UCSRC|=(1<<UCSZ0)|(1<<UCSZ1);
    UBRRL=51;
}
//=====================================================================
//      INTERRUPCION PARA COMPENSACION DE TORQUE
//=====================================================================
ISR(INT0_vect)
{
    cont2++;
    if (cont2==1)
    {
        compensacion=1;
        PORTB|=0B00100000;
    }
    if (cont2==2)
    {
        compensacion=0;
        cont2=0;
        PORTB&=0B11011111;
    }
}

}
//=====================================================================
//      INTERRUPCION RX
//=====================================================================
ISR (USART_RX_vect)
{
    aux1=UDR;
    if(aux1==255)//MODO SENTIDO ANTIHORARIO-NORMAL
    {
        cont=0;
        prueba=1;
        inversion=0;
    }
    if(aux1==254)//MODO SENTIDO HORARIO
    {
        cont=0;
        inversion=1;
        prueba=1;
    }
}

```

```

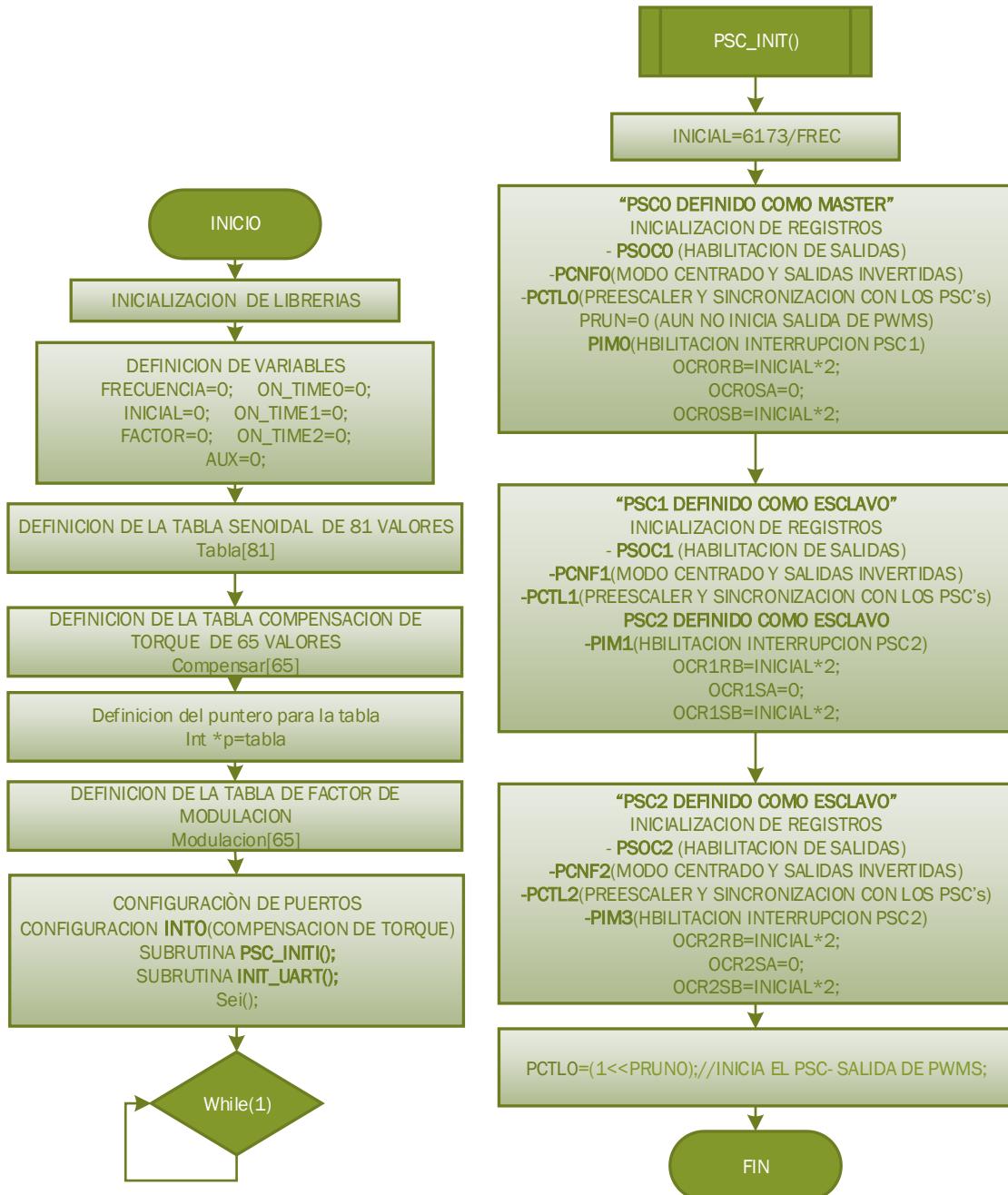
cont++;
if (cont==2 && prueba==1)
{
    freq=aux1;
    if (freq>65)freq=65;
    if (freq<4)//APAGA LOS PSC'S
    {
        PCTL1=(0<<PPRE11)|(1<<PPRE10)|(0<<PARUN1)|(0<<PRUN1); //--
SLAVE SEGUN PSC0
        PCTL2=(0<<PPRE21)|(1<<PPRE20)|(0<<PARUN2)|(0<<PRUN2); //SLAVE
SEGUN PSC1
        PCTL0=(1<<PPRE00)|(1<<PCCYC0)|(0<<PRUN0); //INICIA EL PSC;
        factor2=0;
    }
    if (freq>3 && freq<=65)
    {
        if (factor2==0)//ENCIENDE EL PSC UNA SOLA VEZ AL SUBIR DE LA
FRECUENCIA ESTABLECIDA
        {
            PCTL1=(0<<PPRE11)|(1<<PPRE10)|(0<<PARUN1)|(1<<PRUN1); //--SLAVE SEGUN PSC0
            PCTL2=(0<<PPRE21)|(1<<PPRE20)|(0<<PARUN2)|(1<<PRUN2); //SLAVE SEGUN PSC1
            PCTL0=(1<<PPRE00)|(1<<PCCYC0)|(1<<PRUN0); //INICIA EL
PSC;
            factor2=1;
        }
        //CARGAR VALORES SEGUN LA FRECUENCIA A LOS REGISTROS
        factor3=(6173/freq);
        OCR0RB=factor3*2;
        OCR1RB=factor3*2;
        OCR2RB=factor3*2;
    }
    prueba=0;
}
}

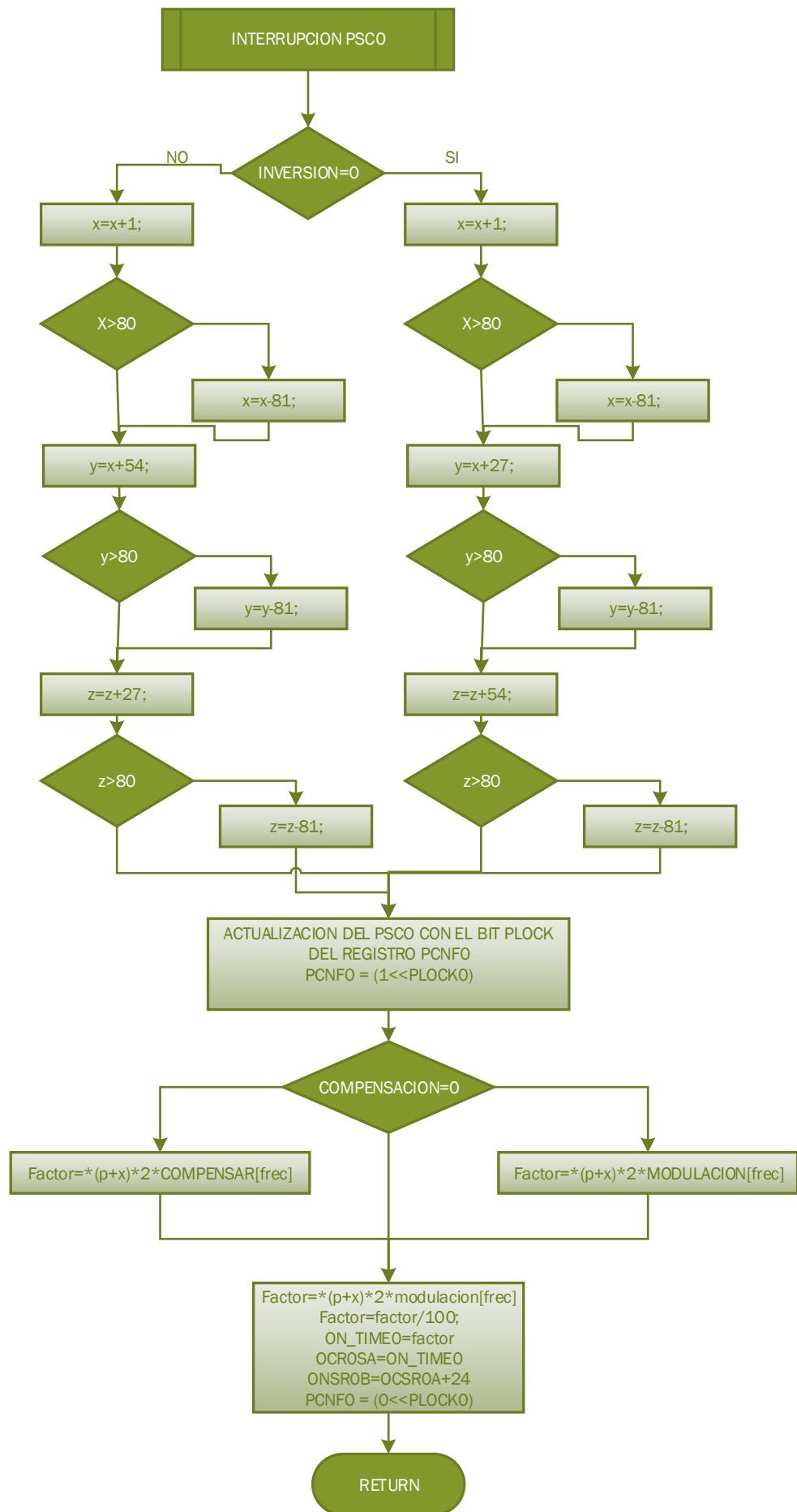
//=====
//          PROGRAMA PRINCIPAL
//=====

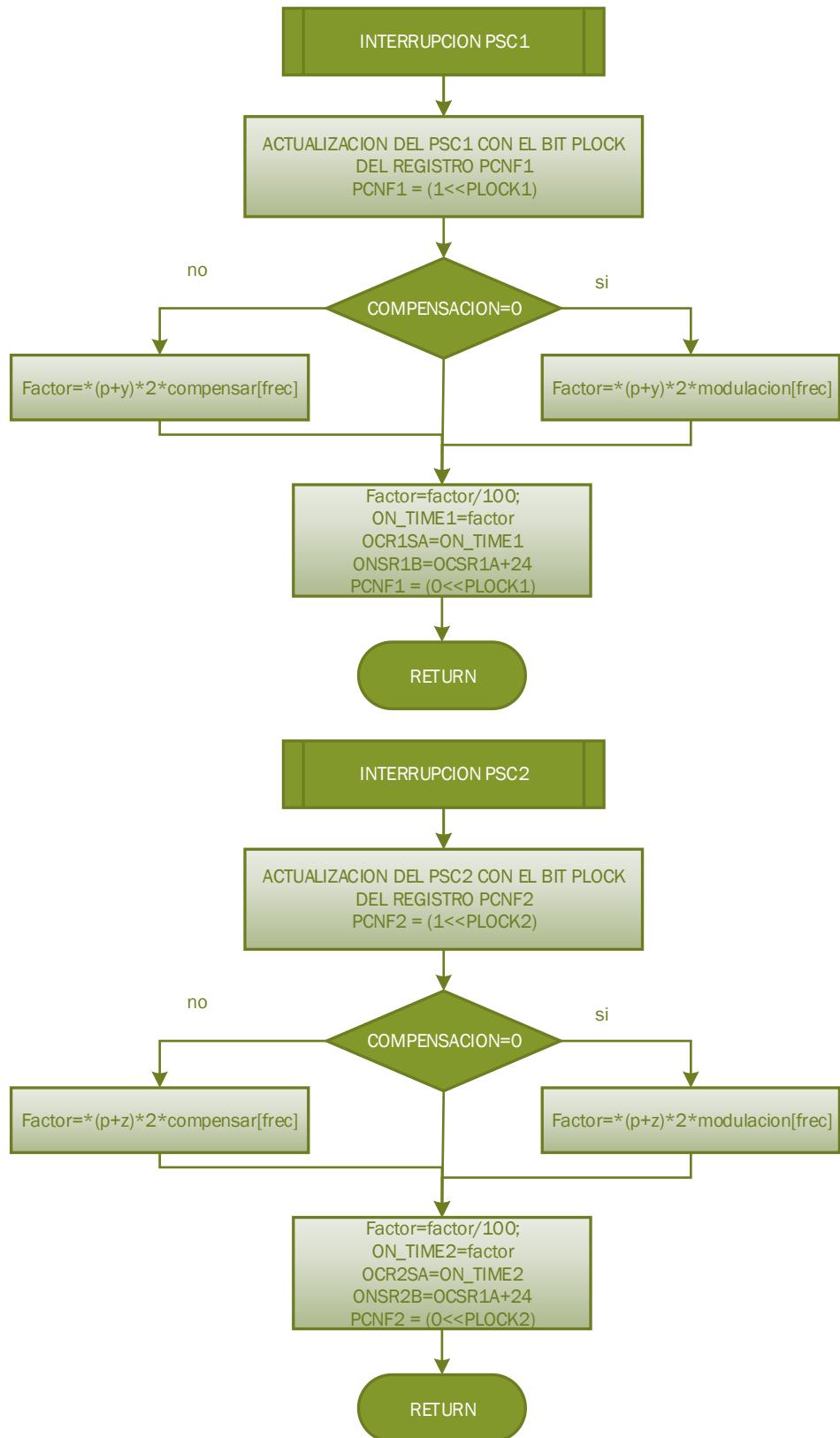
int main(void)
{
    //PUERTOS ACTIVAR PSC'S COMO SALIDAS---INT0 COMO ENTRADA
    DDRB=0B11100011;//PORTB5=SALIDA PARA VER LA COMPENSACION
    PORTB|=(1<<PB2); //PULL UP
    DDRC=0B00000001;
    DDRD=0B00000001;
    PORTD|=(1<<PD6); //PULL UP
    PSC_INIT();
    INIT_INTERRUPTS();
    INIT_UART();
    //INIT_UART();
    sei();
    while(1)
    {
    }
}

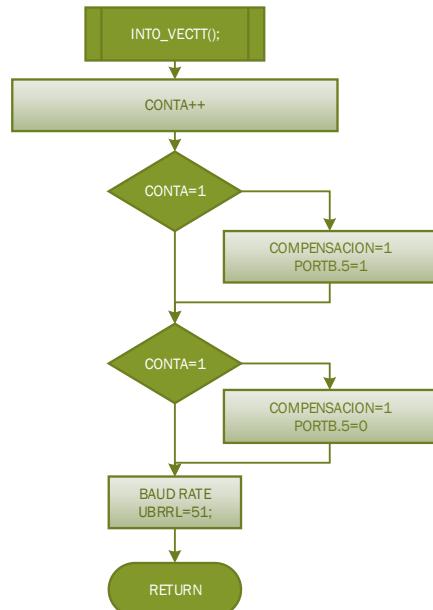
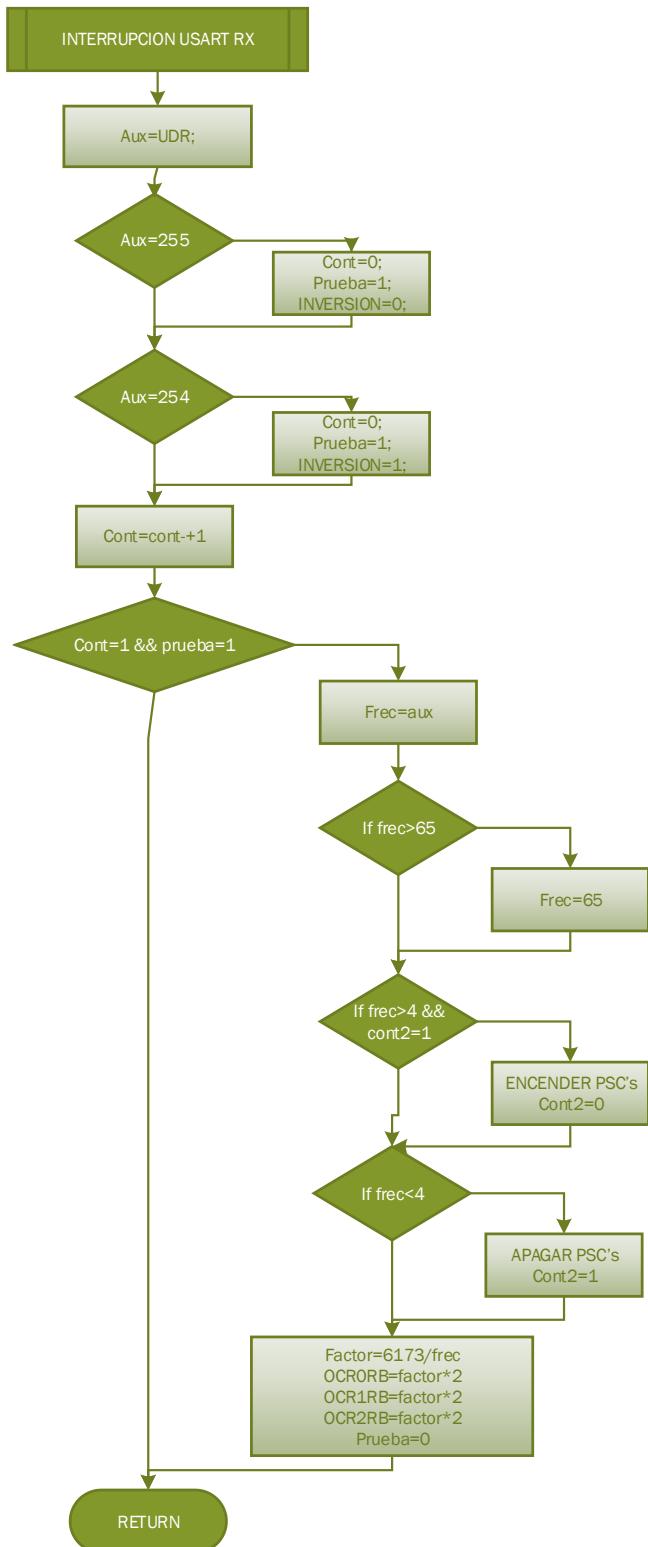
```

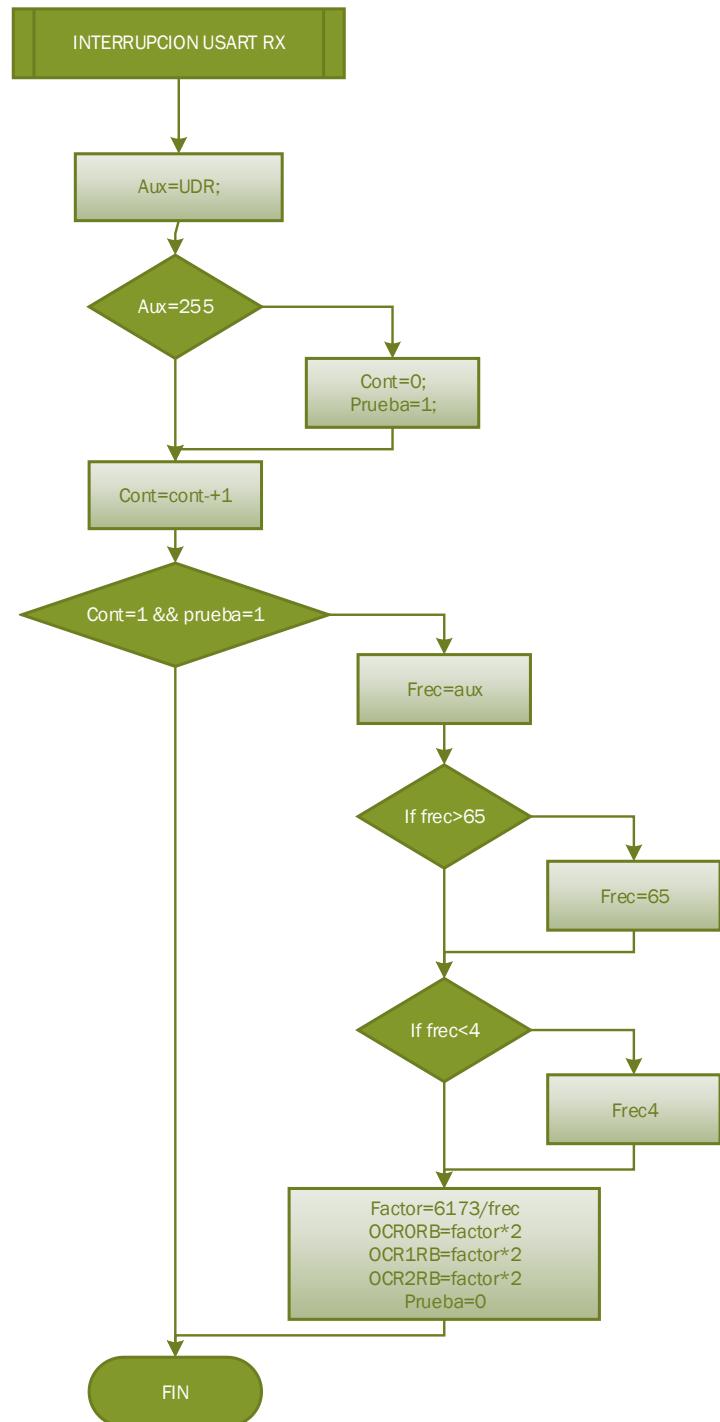
## Diagrama de flujo





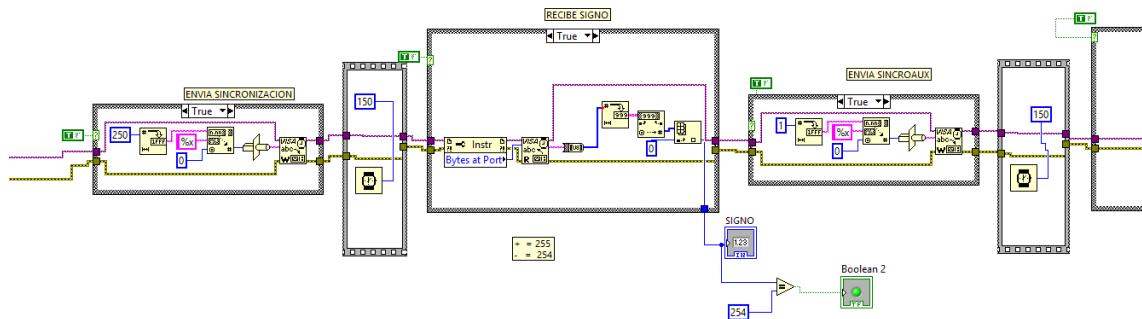


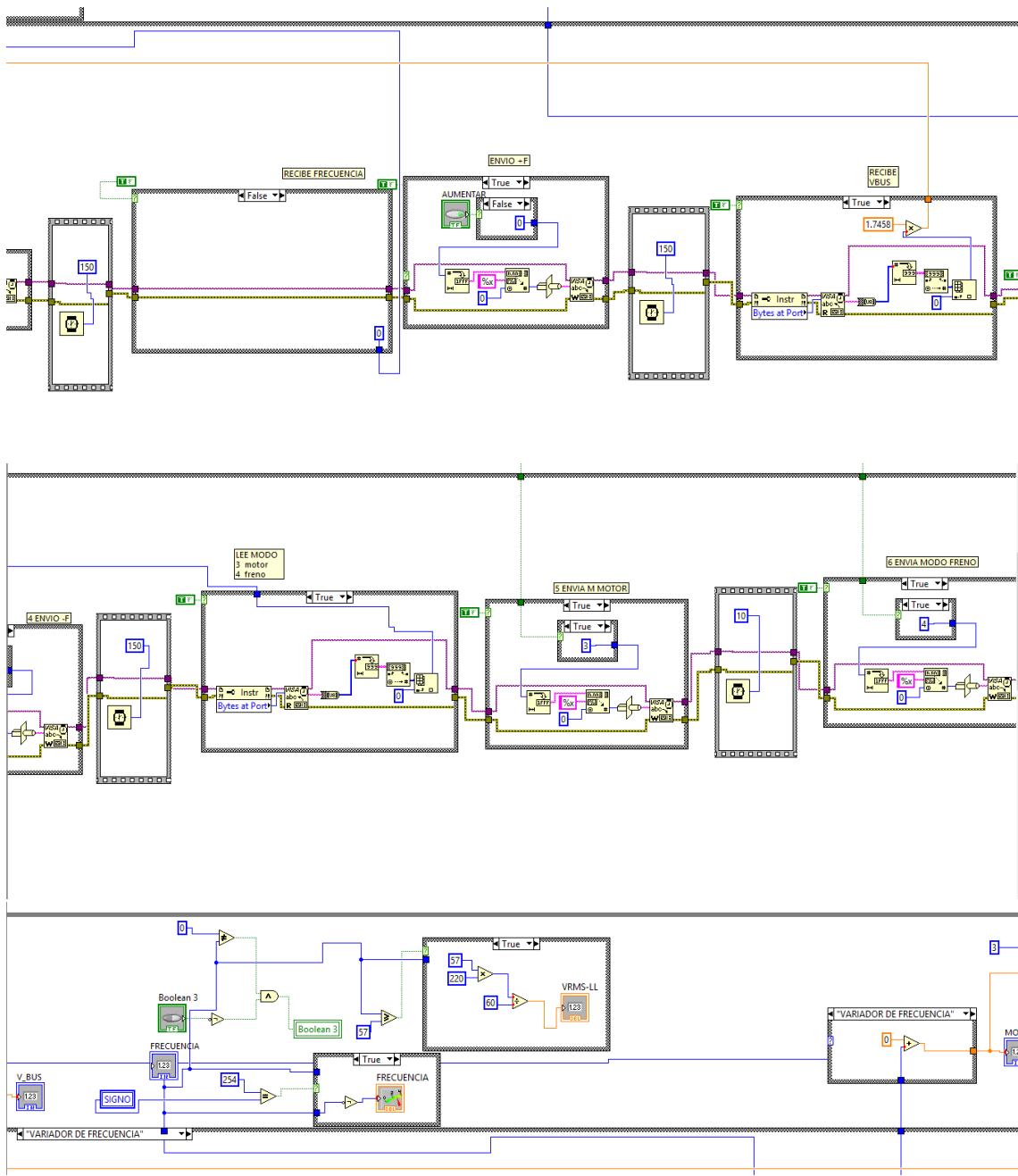




# Diseño e Implementación del Software de la interfaz

## Interfaz gráfica





## Programa del microcontrolador

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include "lcd.h"
#include <util/delay.h>
#define FOSC 8000000
#define BAUD 9600
#define MYUBRR FOSC/8/BAUD-1
int frecuencia;
char frecuencia_abs;
char signo;
char contador1,contador2,contador3,contador4;
char modo;
char teclado,modo;
char dato;
// RAMPA DECELERACION
```

```

char frecuencia_deceleracion;
char cont_fre_deceleracion;
char falla_t;
char enviovbus;
char frecuencia_inversion,cont_fre_inversion,signo_inversion;
char tomar;
// VARIABLES LECTURA AD
unsigned int voltaje_bus,set_voltaje;
unsigned int seleccion_lectura;
//VARIABLES PID
unsigned int kp,ki,kd;
unsigned int delta;
int error=0,errori=0,error_ant=0;
//VARIABLE SELECCION DEL FRENO
char pid_manual; // 1L PID
int aux_pid_manual;
char delta_manual;
//VARIABLES DEL FRENO
char modo,on_off_freno;
int lectura_AD(int seleccion_lectura);
char fre_ficticia(int frecuencia);
char signo_direccion(int frecuencia);
int ajuste(char frecuencia_abs);
int pid_freno(int set_voltaje, int voltaje_bus, int error, int errori, int error_ant);
char activacion_freno(char modo);
int main(void)
{
    //PUERTOS
    DDRB=0b11111011;PORTB=0b00000100;
    DDRC=0b00000000;
    DDRD=0b00100000;
    //LCD
    lcd_init(LCD_DISP_ON);
    lcd_clrscr();
    //SERIAL CON LABVIEW
    UBRR0=51;
    UBRR1=51;
    UCSRB = 0b10011000;
    UCSROC = 0b00000110;

    UCSR1B = 0b10011000;
    UCSR1C = 0b00000110;
    //INTERRUPCIONES EXTERNAS
    EICRA=0b00110000;
    EIMSK=0b00000100;
    //CONVERSOR AD
    ADMUX=0b01100000;
    ADCSRA=0b11000011;
    //TIMER 0
    TCCR0A=0b00000010;
    OCR0B=10; // relacion
    OCR0A=100; // frecuencia
    TIMSK0=0b00000110;
    TCCR0B=0b00000011;
    sei();
    set_voltaje=320;
    frecuencia=0;
    frecuencia_abs=0;
    modo=4;
    signo=255;
}

```

```

signo=255;
while(1)
{
    UDR1=signo;
    _delay_ms(1);
    lcd_gotoxy(1,0);lcd_write_value(frecuencia_abs,2);
    if (signo==255)
    {lcd_gotoxy(0,0); lcd_puts("+");}
    if (signo==254)
    {lcd_gotoxy(0,0); lcd_puts("-");}
    UDR1=frecuencia_abs;
    lcd_gotoxy(4,0);lcd_write_value(voltaje_bus,3);
    lcd_gotoxy(8,0);lcd_write_value(set_voltaje,3);

    lcd_gotoxy(13,0);lcd_write_value(modo,1);
    if (cont_fre_deceleracion==0)
    {frecuencia_deceleracion=fre_ficticia(frecuencia);}
    if (cont_fre_inversion==0)
    {
        frecuencia_inversion=fre_ficticia(frecuencia);
        signo_inversion=signo_direccion(frecuencia);
    }
    pid_manual=PINC&0b00001000;
    //*****PID*****
enviovbus=lectura_AD(0);
    voltaje_bus=enviovbus*1.7458; //lee de A0
    error=-set_voltaje+voltaje_bus;
    if (error<10)
    { errori=errori+error; }
    if (errori>65000)
    { errori=65000; }
    aux_pid_manual=pid_freno(set_voltaje,voltaje_bus,error,errori,error_ant);
    if (pid_manual==0b00001000)
    {delta=aux_pid_manual;}
    if(pid_manual==0b00000000)
    {delta=delta_manual=lectura_AD(1)*0.444;}
    if (delta==0)
    {
        TCCR0B=0b00000000;PORTD=(PIND&0b00001111)&on_off_freno;
    }
    else
    {
        TCCR0B=0b00000011;
        OCR0B=delta;
    }
    error_ant=error;
    //FIN PID *****FIN PID
    on_off_freno=activacion_freno(modo);
}
ISR(INT2_vect)//Decrementa FRECUENCIA
{
    teclado=PINC;
    if ((teclado&0b00000111)==0b00000110)
    {
        if (frecuencia<64)
        { frecuencia++; }
        frecuencia_abs=fre_ficticia(frecuencia);
        signo=signo_direccion(frecuencia);
        falla_t++;
    }
}

```

```

if ((teclado&0b00000111)==0b00000101)
{
    if (frecuencia>-64)
    { frecuencia--;
        frecuencia_abs=fre_ficticia(frecuencia);
        signo=signo_direccion(frecuencia);
    }
    if ((teclado&0b00000111)==0b00000011)
    {
        if (modo==3)
        {
            modo=4;
        }
        else
        {
            modo=3;
        }
    }
}
ISR(USART0_RX_vect)
{
    dato=UDR0; //recordar invalidar los otros contadores
    if (dato==250)
    {
        contador1=0;
        contador2=100;
        contador3=100;
        contador4=100;
    }
    if (dato==251)
    {
        contador2=0;
        contador1=100;
        contador3=100;
        contador4=100;
    }
    if (dato==252)
    {
        contador3=0;
        contador2=100;
        contador1=100;
        contador4=100;
    }
    if (dato==253)
    {
        contador4=0;
        contador1=100;
        contador2=100;
        contador3=100;
    }
    contador1++;contador2++;
    contador3++;contador4++;
    switch(contador1) //NORMAL
    {
        case 1:
        UDR0=signo;
        cont_fre_deceleracion=0;
        cont_fre_inversion=0;
        break;
        case 2:
        UDR0=frecuencia_abs;
        break;
        case 3:
        if (dato==249)

```

```

{
    if (frecuencia<64)
    {
        frecuencia++;
        frecuencia_abs=fre_ficticia(frecuencia);
        signo=signo_direccion(frecuencia);
    }
    UDR0=enviovbus;
    break;
    case 4:
    if (dato==248)
    {
        if (frecuencia>-64)
        {
            frecuencia--;
            frecuencia_abs=fre_ficticia(frecuencia);
            signo=signo_direccion(frecuencia);
        }
        UDR0=modo;
        break;
        case 5:
        if (dato==3) // Modo Motor
        { modo=3; }
        break;

        case 6:
        if (dato==4)// Modo Freno
        { modo=4; }
        break;
    }
    switch(contador2)
    {
        case 1:
        UDR0=frecuencia_deceleracion;
        cont_fre_deceleracion=1;
        cont_fre_inversion=0;
        break;
        case 2:
        UDR0=frecuencia_abs=fre_ficticia(frecuencia);
        break;
        case 3:
        igualar2dece:
        if (frecuencia_abs>dato)
        { frecuencia_abs--;
            goto igualar2dece;
        }
        frecuencia=ajuste(frecuencia_abs);
        UDR0=enviovbus;
        break;
        case 4:
        UDR0=modo;
        break;
        case 5:
        if (dato==3) // Modo Motor
        { modo=3; }
        break;
        case 6:
        if (dato==4)// Modo Freno
        { modo=4; }
        break;
    }
    switch(contador3)
}

```

```

{
    case 2:
        UDR0=frecuencia_abs=fre_ficticia(frecuencia);
        cont_fre_deceleracion=0;
        cont_fre_inversion=0;
        break;
    case 3:
        // CLAVE PARA RAMPAS
        igualar1_aceleracion:
        if (frecuencia_abs<dato)
        {
            frecuencia_abs++;
            goto igualar1_aceleracion;
        }
        frecuencia=ajuste(frecuencia_abs);
        UDR0=enviovbus;
        break;
    case 4:
        UDR0=modo;
        break;
    case 5:
        if (dato==3) // Modo Motor
        { modo=3; }
        break;

    case 6:
        if (dato==4)// Modo Freno
        { modo=4; }
        break;
}
switch(contador4)
{
    case 1:
        cont_fre_deceleracion=0;
        cont_fre_inversion=1;
        UDR0=signo_inversion;
        break;
    case 2:
        tomar=dato;
        UDR0=frecuencia_inversion;
        break;
    case 3:
        if (tomar==1)
        {signo=dato;}
        break;
    case 4:
        if (tomar==1)
        {
            frecuencia_abs=dato;
            frecuencia=frecuencia_abs;
            if (signo==254)
            { frecuencia=-1*frecuencia_abs;}
        }
        break;
}
}
ISR(TIMERO_COMPB_vect)
{
    PORTD=(PIND&0b00001111)&on_off_freno;
}

```

```

ISR(TIMERO_COMPA_vect)
{
    PORTD=(PIND|0b00100000)&on_off_freno;
}
char fre_ficticia(int frecuencia)
{
    char aux_fre_ficticia=0;
    if(frecuencia<0)
    {
        aux_fre_ficticia=frecuencia*(-1);
    }
    else
    {
        aux_fre_ficticia=frecuencia;
    }
    return(aux_fre_ficticia);
}
char signo_direccion(int frecuencia)
{
    char aux_signo_direccion=0;
    if(frecuencia<0)
    {
        aux_signo_direccion=254;
    }
    else
    {
        aux_signo_direccion=255;
    }
    return(aux_signo_direccion);
}
int ajuste(char frecuencia_abs)
{
    int aux_fre_ajuste=0;
    if (frecuencia>=0)
    {aux_fre_ajuste=frecuencia_abs;}
    if (frecuencia<0)
    {aux_fre_ajuste=frecuencia_abs*(-1);}
    return(aux_fre_ajuste);
}
int lectura_AD(int seleccion_lectura)
{
    int aux_AD=0;
    if (seleccion_lectura==0)
    {
        ADMUX=0b01100000;
        ADCSRA=0b11000011;
        espera_lectura0:
        if (ADCSRA==0b10010011)
        { aux_AD=ADCH; }
        else
        { goto espera_lectura0; }
    }
    if (seleccion_lectura==1)
    {
        ADMUX=0b01100001;
        ADCSRA=0b11000011;
        espera_lectura1:
        if (ADCSRA==0b10010011)
        { aux_AD=ADCH; }
        else

```

```

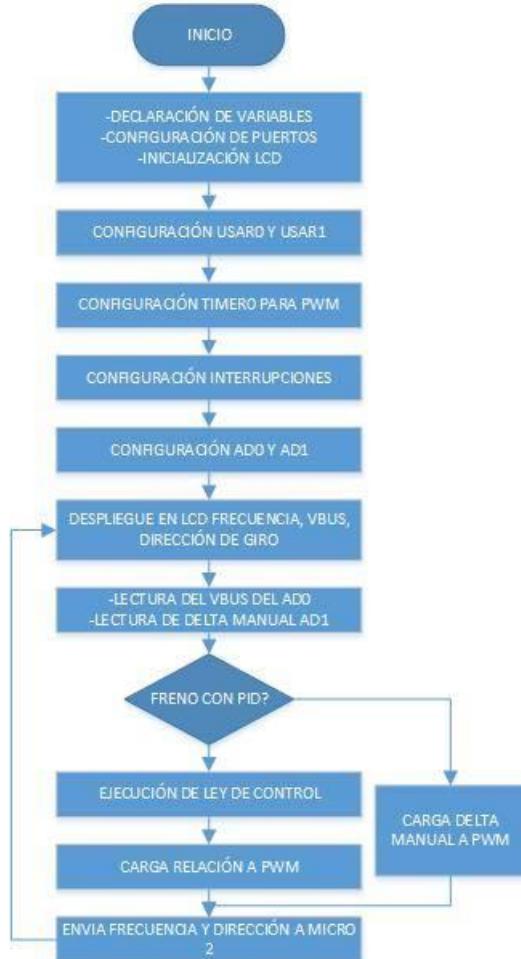
        { goto espera_lectura1; }
    }
    return(aux_AD);
}
int pid_freno(int set_voltaje, int voltaje_bus, int error, int errori, int error_ant)
{
    int salida_pid=0;
    salida_pid=(10*(error)+0.00005*(errori)+0.009*(error_ant-error));

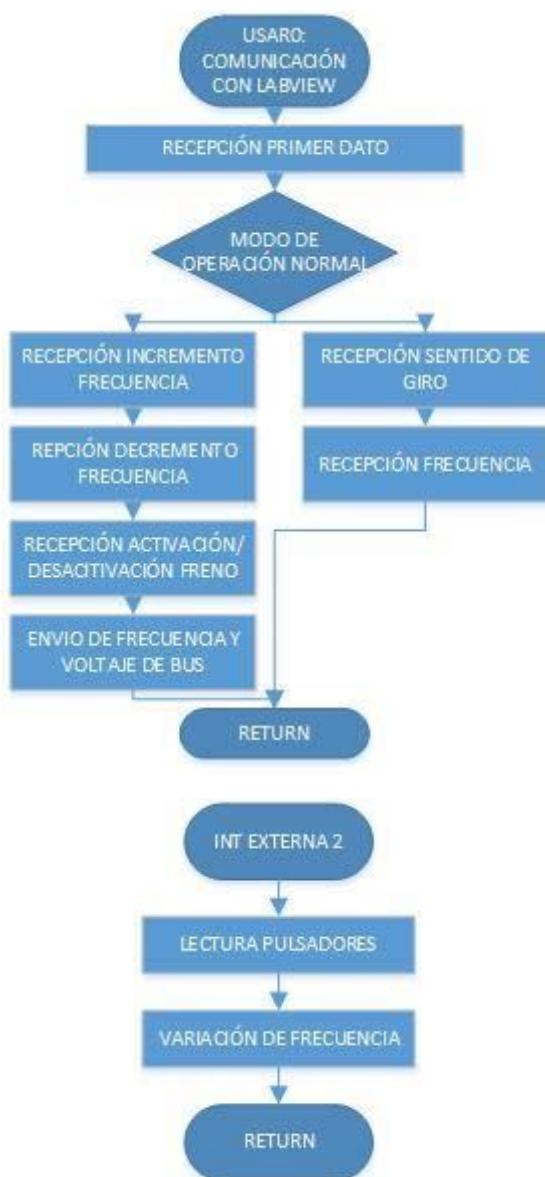
    if (salida_pid>99)
    { salida_pid=98; }
    if (salida_pid<0)
    { salida_pid=0; }
    return(salida_pid);
}
char activacion_freno(char modo)
{
    char aux_activacion=0;
    if (modo==4)
    { aux_activacion=0b00101111;}
    if (modo==3)
    {aux_activacion=0b00001111; }

    return(aux_activacion);
}

```

## Diagramas de flujo





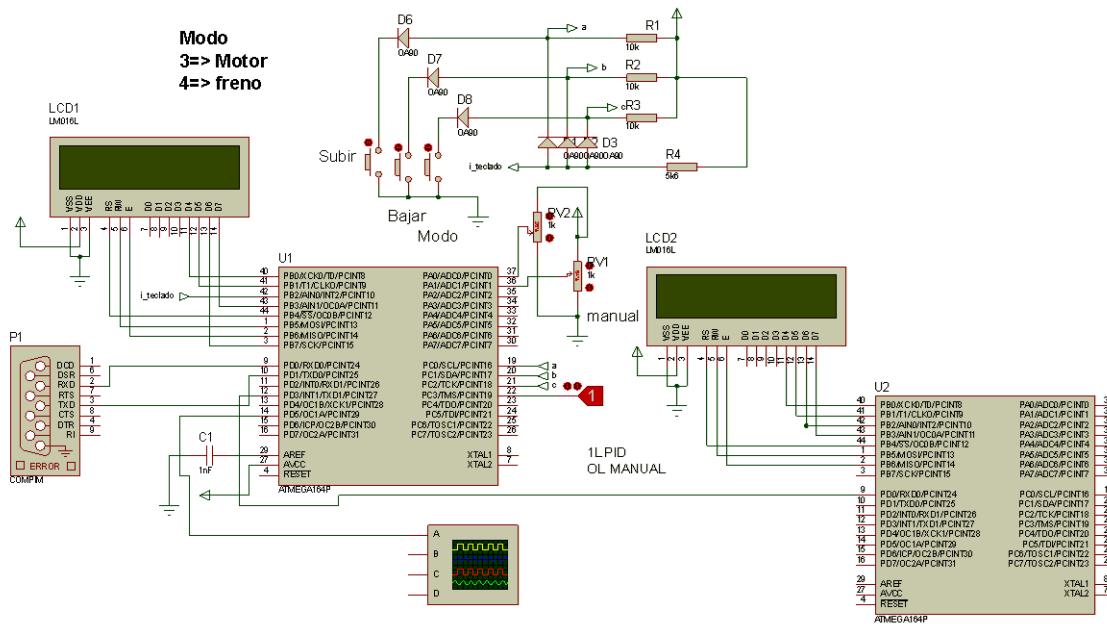
## Pruebas y Resultados

Las pruebas que se realizaron durante las fases de diseño e implementación del inversor trifásico son las siguientes:

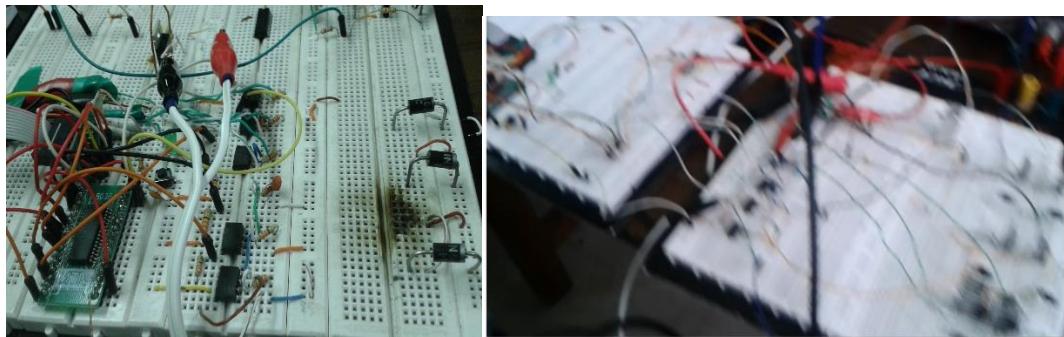
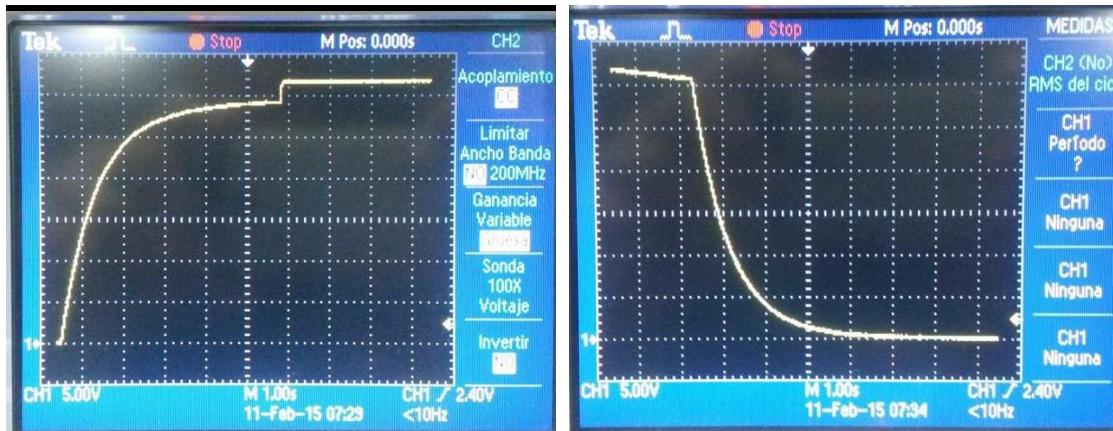
1. El inversor trifásico mediante modulación SPWM, se hicieron pruebas de frecuencia, incluyendo los pasos, y pruebas para la medición de tiempos muertos.
2. Se realizó pruebas del freno dinámico, comprobando el funcionamiento del control PID.
3. Se realizó control de la interfaz con el usuario, que esta funcione para controlar el cambio de frecuencia de trabajo y visualizar datos del motor.
4. Se comprobó el correcto funcionamiento de cada placa implementada.

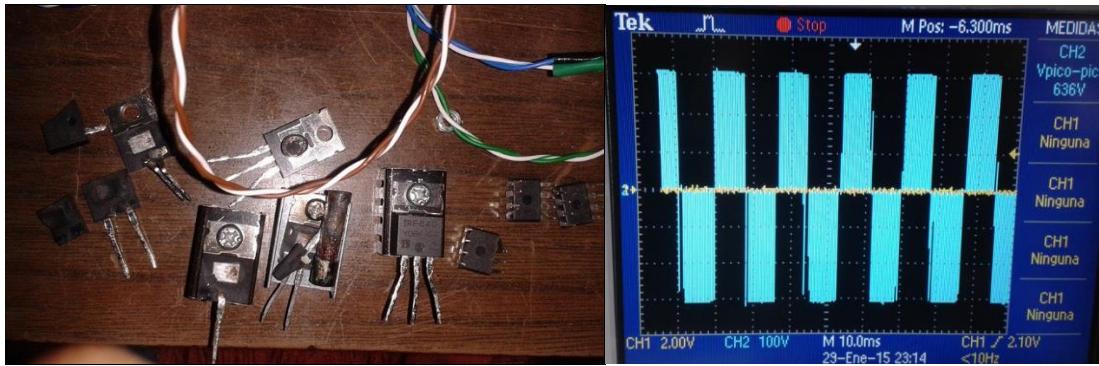
Los resultados en cada una de estas pruebas fueron positivos, alcanzando en cada paso los objetivos planteados.

## Circuito de pruebas de la interfaz por simulación



Carga y descarga del capacitor





## Conclusiones y Recomendaciones

- Al momento de utilizar el inversor con los focos como carga, este trabajo muy bien, sin ninguna señal de algún tipo de anomalías. Pero al momento de utilizarlo con el motor trifásico como carga, pudimos notar que el circuito de control funcionaba un instante y después se perdía el control y esto era debido a que el motor estaba introduciendo ruido al circuito y esto provocaba que el micro se estuviera reseteando de manera consecutiva. De modo que para evitar esto, conectamos un capacitor electrolítico de un valor alto directamente en los pines de polarización del micro, con ello evitamos que el micro siga siendo afectado por el ruido y así la etapa de control trabaje de manera adecuada.
- Pudo usarse un micro controlador que es dedicado para generar las señales PWM y SPWM de modo que se evitó mucho trabajo en cuanto a la programación de las señales SPWM puesto que con el micro utilizado (AT90) no es necesario introducir las tablas de las señales triangulares ya que el micro las genera por sí mismo, solo se introdujo la tabla para la señal senoidal.
- Se observó cómo al trabajar con el motor y debido a la inductancia propia del mismo los tiempos de encendido y apagado incrementaba produciendo corto circuitos, por lo cual se procedió a incrementar los tiempos muertos de 15us para contrarrestar dichos efectos.
- Se comprobó el correcto funcionamiento del sistema de variación de frecuencia de las señales de control mediante la disminución o incremento del tiempo de muestro de la onda sinusoidal ingresada en el microcontrolador, esto afectando directamente a la velocidad de giro del motor, además de comprobarse la correcta variación del índice de modulación para mantener el flujo constante en el motor, esto mediante mantener voltaje sobre frecuencia constante.
- Se observó el funcionamiento del circuito total aplicado al motor observándose como su velocidad variaba según la frecuencia aplicada, además se obtuvieron las formas de onda esperadas SPWM entre líneas en un rango de 3Hz a 60Hz.
- Se observó la aplicación directa del variador de velocidad y su funcionamiento, empezando por la rectificación de las ondas obtenidas desde la red y convertido a DC por medio del capacitor (conversor AC/DC), y la etapa de inversión en la cual mediante un control SPWM se lograba obtener voltaje y frecuencia variables para mantener un flujo constante (conversor DC/AC)

## Bibliografía

- [http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor\\_trif%C3%A1sico](http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_trif%C3%A1sico)
- [http://www4.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/electrotecnica\\_y\\_maquinas\\_electricas/apuntes/8\\_motores\\_de\\_induccion.pdf](http://www4.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/electrotecnica_y_maquinas_electricas/apuntes/8_motores_de_induccion.pdf)
- <http://es.slideshare.net/dante1665/teoria-completa-de-variadores>
- <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/fairchild/IRF840.pdf>
- <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/fairchild/IRFP460.pdf>
- <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/Sanken/mXqxvqs.pdf>
- <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/fairchild/6N137.pdf>
- <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/nationalsemiconductor/DS009299.PDF>
- <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/fairchild/4N25.pdf>

## Anexos

### Manual de Forma Local

Se tiene 4 pulsadores y un dipswitch, que tienen las siguientes funciones:

- 1) Uno para aumentar la frecuencia aplicada al motor
- 2) Uno para disminuir la frecuencia aplicada al motor, ambos pueden controlar en los dos sentidos de giro
- 3) Un pulsador para la activación o desactivación del Freno Dinámico
- 4) Un dipswitch para seleccionar entre Modo Manual o Automático.
- 5) Un pulsador de activación o desactivación de compensación de torque(Indicación en un led).

### Manual de Usuario Interfaz HMI

#### MODO 0----RAMPA DE DESACELERACION

- 1) INGRESAR TIEMPO DESACELERACION DIFERENTE DE CERO
- 2) PRESIONAR EL BOTON INICIAR
- 3) UNA VEZ TERMINADO EL TIEMPO PONER RESET TIEMPO

#### MODO 1----VARIADOR DE FRECUENCIA

- 1) INCREMENTAR LA FRECUENCIA EN UN SENTIDO O EN OTRO SENTIDO MEDIANTE BOTONES Y ESO SE VISUALIZA EN UN INDICADOR
- 2) SI SE DESEA CAMBIAR DE FRENO A MOTOR SE PRESIONA LOS BOTONES DE FRENO O MOTOR RESPECTIVAMENTE

#### MODO 2----RAMPA DE ACELERACION

- 1) INGRESAR TIEMPO ACELERACION DIFERENTE DE CERO
- 2) INGRESAR LA FRECUENCIA A LA QUE SE VA A ACELERAR
- 3) PRESIONAR EL BOTON INICIAR
- 4) UNA VEZ TERMINADO EL TIEMPO PONER RESET TIEMPO

#### MODO 3----INVERSION DE GIRO

- 1) ACTIVAR EL BOTON TOMA DE DATOS
- 2) INICIAR(SE INVIERTE A LA MISMA FRECUENCIA DEL SENTIDO ANTERIOR)
- 3) TERMINADO EL TIEMPO DE INVERSION DESACTIVAR TOMA DE DATOS
- 4) RESETEAR EL TIMER

## Presupuesto del proyecto

| Costos de Materiales                  |          |                  |             |
|---------------------------------------|----------|------------------|-------------|
| Item                                  | Cantidad | Costo individual | Costo total |
| <b>Portafusible</b>                   | 1        | 0.25             | 0.25        |
| <b>Fusibles</b>                       | 5        | 0.10             | 0.50        |
| <b>IRF840</b>                         | 35       | 1.28             | 44.80       |
| <b>IRFP460</b>                        | 6        | 4.10             | 24.60       |
| <b>Diodos 3A</b>                      | 12       | 0.15             | 1.80        |
| <b>ECG3087</b>                        | 6        | 0.60             | 3.60        |
| <b>Optonand 6n137</b>                 | 18       | 1.88             | 33.84       |
| <b>Puente de diodos</b>               | 7        | 0.30             | 2.10        |
| <b>Reguladores de voltajes:</b>       |          |                  |             |
| <b>5V</b>                             | 5        | 0.50             | 2.50        |
| <b>12V</b>                            | 2        | 0.50             | 1.00        |
| <b>AT90PWM3B</b>                      | 1        |                  | 0.00        |
| <b>Atmega164P</b>                     | 1        | 6.50             | 6.50        |
| <b>Zócalo 8 pines</b>                 | 6        | 0.11             | 0.66        |
| <b>LCD 16x2</b>                       | 1        | 6.18             | 6.18        |
| <b>Bornera doble</b>                  | 16       | 0.25             | 4.00        |
| <b>Bornera triple</b>                 | 9        | 0.31             | 2.79        |
| <b>Switch</b>                         | 3        | 0.22             | 0.66        |
| <b>Led rojo</b>                       | 6        | 0.10             | 0.60        |
| <b>Led verde</b>                      | 1        | 0.10             | 0.10        |
| <b>Disipador normal</b>               | 4        | 0.65             | 2.60        |
| <b>Disipadores grande</b>             | 7        |                  | 0.00        |
| <b>Transformadores:</b>               |          |                  |             |
| <b>120V-9V</b>                        | 1        | 4.88             | 4.88        |
| <b>120V-12V</b>                       | 3        | 4.57             | 13.71       |
| <b>120V-6V</b>                        | 1        | 3.00             | 3.00        |
| <b>LM324</b>                          | 1        | 0.27             | 0.27        |
| <b>Capacitor 25V 2200uF</b>           | 6        | 0.92             | 5.52        |
| <b>4n25</b>                           | 1        | 0.71             | 0.71        |
| <b>Resistencia 330Ω 1/4W</b>          | 12       | 0.02             | 0.24        |
| <b>Resistencia 1KΩ 5W</b>             | 2        | 0.37             | 0.74        |
| <b>Capacitor 100nF</b>                | 9        | 0.08             | 0.72        |
| <b>Diodos 1n4007</b>                  | 13       | 0.08             | 1.04        |
| <b>Zener 5V</b>                       | 1        | 0.12             | 0.12        |
| <b>Pulsadores</b>                     | 2        | 0.25             | 0.50        |
| <b>Potenciómetro 10KΩ</b>             | 3        | 0.25             | 0.75        |
| <b>Conector doble</b>                 | 7        | 0.20             | 1.40        |
| <b>Resistencias fuentes</b>           | 7        | 0.20             | 1.40        |
| <b>Resistencias acondicionamiento</b> | 10       | 0.20             | 2.00        |

| <b>Baquelita grande</b>                | 3                 | 1.57                      | 4.71        |                       |
|--|-------------------|---------------------------|-------------|-----------------------|
| <b>Jack banana</b>                     | 10                | 0.13                      | 1.30        |                       |
| <b>Capacitor 400V 470uF</b>            | 8                 | 7.89                      | 63.12       |                       |
| <b>Focos incandescente 220V</b>        | 2                 | 12.00                     | 24.00       |                       |
| <b>Protoboard pequeño</b>              | 1                 | 2.30                      | 2.30        |                       |
| <b>Bluetooth HC-05</b>                 | 1                 | 13.39                     | 13.39       |                       |
| <b>Protoboard grande</b>               | 1                 | 32.00                     | 32.00       |                       |
| <b>Tabla mediana</b>                   | 1                 | 4.00                      | 4.00        |                       |
| <b>Cable UTP Cat 6</b>                 | 1                 | 4.00                      | 4.00        |                       |
| <b>Estaño</b>                          | 1                 | 5.00                      | 5.00        |                       |
| <b>Brocas para baquelita</b>           | 5                 | 0.67                      | 3.35        |                       |
| <b>Tornillos</b>                       | 19                | 0.07                      | 1.33        |                       |
| <b>Pasta para soldar</b>               | 1                 | 10.00                     | 10.00       |                       |
|  | <b>TOTAL</b>      |                           | 344.58      |                       |
| <b>Costo de Ingeniería</b>             |                   |                           |             |                       |
|  | <b>Costo hora</b> | <b>Horas día promedio</b> | <b>Dias</b> | <b>Costo Unitario</b> |
| <b>Costo de Ingeniería por persona</b> | 10                | 5                         | 30          | 1500                  |
| <b>Involucrados</b>                    | 6                 |                           |             |                       |
| Costo total de ingeniería              | 9000              |                           |             |                       |
| <b>Costo total del proyecto</b>        | 9344.58           |                           |             |                       |

### **Inversor comercial**

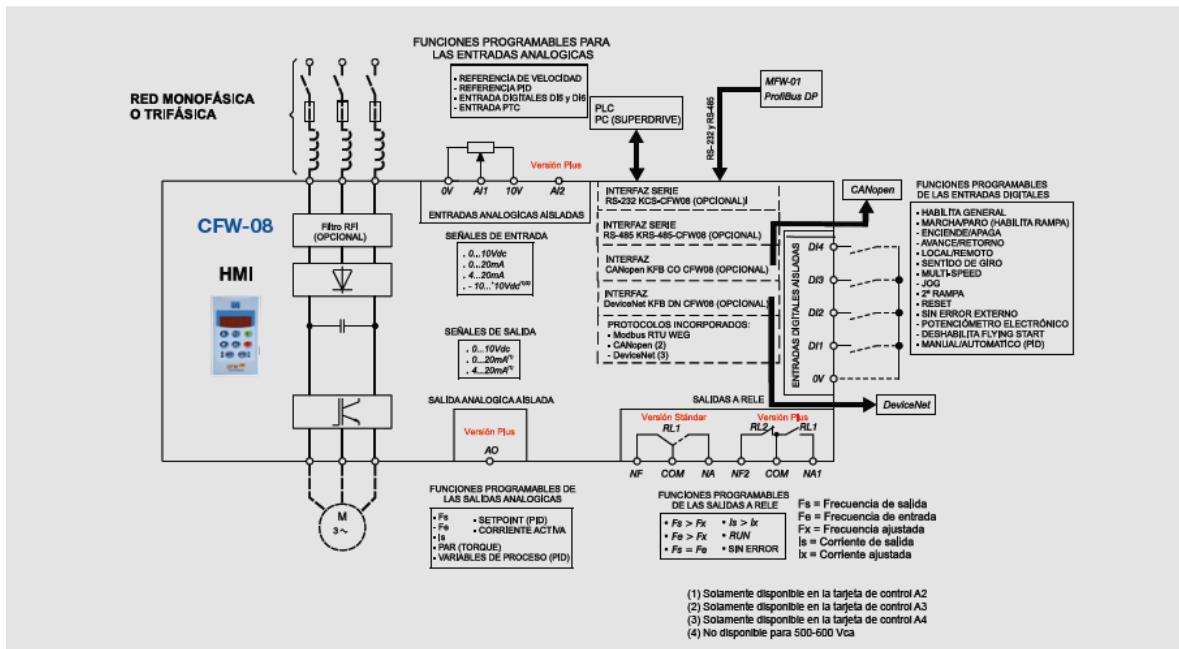
**Marca WEG Modelo**

**CFW 10**

**Costo inversor de 10A: \$270**

Los Convertidores de Frecuencia WEG son equipos destinados al control de velocidad de motores eléctricos de inducción trifásicos, para una amplia gama de aplicaciones industriales. Con tecnología de última generación y diseño moderno, los convertidores de Frecuencia WEG permiten una fácil instalación/operación y se adaptan perfectamente a las necesidades de los accionamientos con una excelente relación coste beneficio.

## Diagrama de Bloques



## Tensión del Motor 110Vca/127Vca y 220Vca/230Vca:

| Alimentación | Modelo         | Corriente Salida | IEC                  | NEMA         |
|--------------|----------------|------------------|----------------------|--------------|
|              |                |                  | A                    |              |
| 110-127V     | CFW100016S1112 | 1.6              | 50Hz<br>220V<br>230V | 60Hz<br>230V |
|              | CFW100026S1112 | 2.6              | 0.25                 | -            |
|              | CFW100040S1112 | 4                | 0.55                 | 0.5          |
|              | CFW100016S2024 | 1.6              | 0.75                 | 0.75         |
|              | CFW100026S2024 | 2.6              | 0.25                 | -            |
|              | CFW100040S2024 | 4                | 0.55                 | 0.5          |
|              | CFW100073S2024 | 7.3              | 0.75                 | 0.75         |
|              | CFW100100S2024 | 10               | 1.5                  | 2            |
|              | CFW100152T2024 | 15.2             | 2.2                  | 3            |
| 220-230V     | CFW100016T2024 | 1.6              | 0.25                 | -            |
|              | CFW100026T2024 | 2.6              | 0.55                 | 0.5          |
|              | CFW100040T2024 | 4                | 0.75                 | 0.75         |
|              | CFW100073T2024 | 7.3              | 1.5                  | 2            |
|              | CFW100100T2024 | 10               | 2.2                  | 3            |
|              | CFW100152T2024 | 15.2             | 4                    | 5            |

| MODELO                           |                                  | CFW-10 Estándar  | CFW-10 Clean   | CFW-10 Plus   |
|----------------------------------|----------------------------------|--|--|---|
| ALIMENTACION                     | Tensión                          | Monofásica<br>Monofásica /Trifásica  | 110 - 127Vca (+10%, -15%)<br>200 - 240Vca (+10%, -15%)                                     |   |
|                                  | Frecuencia                       |  | 50 / 60 Hz +/- 2 Hz (48 - 62 Hz)   |   |
|                                  | cos φ (Factor de desplazamiento) |  | > 0.98   |   |
|                                  | PROTECCION                       | Grado de Protección  |  | IP 20   |
| CONTROL                          |                                  | Tipo de alimentación   | Fuente Conmutada   |   |
|                                  |                                  | Método de control  | Modulación PWM sinusoidal (Space Vector Modulation), V / F lineal o cuadrática (escalar)   |   |
|                                  |                                  | Frecuencia de Conmutación  | Frecuencias ajustables de 2,5kHz hasta 15kHz   |   |
|                                  |                                  | Variación de frecuencia  | 0 - 300 Hz   |   |
|                                  |                                  | Resolución de frecuencia   | Ref. Analógica: 0,1% de Frecuencia máx. y Ref. Digital: 0,01 Hz (f<100Hz); 0,1Hz (f>100Hz) |   |
|                                  |                                  | Acuracidaad frecuencia salida  | Ref. Analógica: 0,5% y Ref. Digital: 0,01%   |   |
|                                  |                                  | Sobrecarga admisible   | 150% durante 60 seg. a cada 10 min. (1,5 x Inom)   |   |
| ENTRADAS                         | Analógicas                       | 1 entrada aislada 0...10Vcc,<br>0...20 mA o 4...20 mA                      | -  | 1 entrada aislada 0...10Vcc,<br>0...20mA o 4...20mA |
|                                  | Digitales                        | 4 entradas aisladas programables 12 Vdc                                    |  |   |
| SALIDAS                          | Relé                             | 1 salida programable, 1 contacto reversible (NO/NC)                        | -  | 1 salida programable, 1 contacto reversible (NO/NC) |
|                                  |                                  | Opciones de programación: Is>Ix; Fs>Fx; Fe>Fx; Fs=Fe; Run; Sin errores     |  |   |
| SEGURIDAD                        | Protecciones                     | Sobretensión y subtensión en el circuito intermedio                        |  |   |
|                                  |                                  | Sobretemperatura del Convertidor   |  |   |
|                                  |                                  | Sobrecorriente en la salida  |  |   |
|                                  |                                  | Sobrecarga en el motor (i x t)   |  |   |
|                                  |                                  | Error de hardware, defecto externo   |  |   |
|                                  |                                  | Cortocircuito en la salida   |  |   |
|                                  |                                  | Error de programación  |  |   |
| INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA<br>(HMI) | Mando                            | Arranca / Para, Parametrización (Programación de Funciones Especiales)     |  |   |
|                                  |                                  | Incrementa / Decrementa Parámetros, su contenido y la consiga de Velocidad |  |   |
|                                  |                                  | -  | -  | Potenciómetro para ajuste de la velocidad           |
|                                  |                                  | Frecuencia de salida (Hz)  |  |   |
|                                  | Supervisión (lectura)            | Tensión en el circuito intermedio (Vcc)                                    |  |   |
|                                  |                                  | Valor proporcional a la frecuencia (Ej. Tt/min)                            |  |   |
|                                  |                                  | Temperatura del disipador  |  |   |
|                                  |                                  | Corriente de salida al motor (A)   |  |   |
|                                  |                                  | Tensión de salida al motor (Vca)   |  |   |
|                                  |                                  |  |  |   |

Se puede apreciar que el costo del inversor desarrollado es sumamente elevado en especial por considerar el costo de ingeniería, esto se puede explicar fácilmente al tratarse de un prototipo lo cual provoca que si costo sea tan elevado a diferencia de un inversor comercial que por tratarse de producción en masa estos tienen costos más accesibles, limitándose únicamente a materiales, ya que la ingeniería se refleja enormemente en los primeros prototipos ya después en las producciones en masa se trata de copias del primero entonces el costo final del inversor baja.

En cuanto al beneficio obtenido el inversor comercial sigue siendo mayor puesto q estos son copias de un prototipo mucho más extenso que el diseñado por nosotros y aun en varias características sobresalimos, en términos generales las prestaciones que ofrece un modelo comercial son mayores así como su reducido costo por ser producciones en masa, y esto se puede ver por las características del inversor comercial, ya que este posea funciones adicionales a las que disponemos nosotros, los prototipos siempre resultan ser más caros y a mejores prestaciones del prototipo el costo será aún más grande, lo cual no es conveniente para una comercialización a no ser que se produzcan en masa y logren introducirse en el mercado de manera satisfactoria.

# Datasheets



**IRF840**

| Data Sheet | January 2002 |
|------------|--------------|
|------------|--------------|

## 8A, 500V, 0.850 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17425.

### Ordering Information

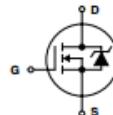
| PART NUMBER | PACKAGE  | BRAND  |
|-------------|----------|--------|
| IRF840      | TO-220AB | IRF840 |

NOTE: When ordering, include the entire part number.

### Features

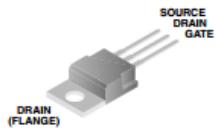
- 8A, 500V
- $r_{DS(ON)} = 0.850\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

### Symbol



### Packaging

JEDEC TO-220AB  
TOP VIEW



### Electrical Specifications $T_C = 25^\circ C$ , Unless Otherwise Specified

| PARAMETER  | SYMBOL       | TEST CONDITIONS  | MIN   | TYP  | MAX       | UNITS        |    |
|--|--------------|--|---|------|-----------|--------------|----|
| Drain to Source Breakdown Voltage                  | $BV_{DSS}$   | $V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$ (Figure 10)  | 500   | -    | -         | V            |    |
| Gate to Threshold Voltage                          | $V_{GS(TH)}$ | $V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu A$  | 2.0   | -    | 4.0       | V            |    |
| Zero-Gate Voltage Drain Current                    | $I_{DSS}$    | $V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V$   | -   | -    | 25        | $\mu A$      |    |
|  |              | $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ C$   | -   | -    | 250       | $\mu A$      |    |
| On-State Drain Current (Note 2)                    | $I_D(ON)$    | $V_{DS} > I_D(ON) \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10V$  | 8.0   | -    | -         | A            |    |
| Gate to Source Leakage Current                     | $I_{GSS}$    | $V_{GS} = \pm 20V$   | -   | -    | $\pm 100$ | nA           |    |
| Drain to Source On Resistance (Note 2)             | $r_{DS(ON)}$ | $V_{GS} = 10V, I_D = 4.4A$ (Figures 8, 9)  | -   | 0.8  | 0.85      | $\Omega$     |    |
| Forward Transconductance (Note 2)                  | $g_{fs}$     | $V_{DS} \geq 50V, I_D = 4.4A$ (Figure 12)  | 4.9   | 7.4  | -         | S            |    |
| Turn-On Delay Time                                 | $t_{D(ON)}$  | $V_{DD} = 250V, I_D \approx 8A, R_G = 9.1\Omega, R_L = 30\Omega$   | -   | 15   | 21        | ns           |    |
| Rise Time  | $t_r$        | MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature.   | -   | 21   | 35        | ns           |    |
| Turn-Off Delay Time                                | $t_{D(OFF)}$ |  | -   | 50   | 74        | ns           |    |
| Fall Time  | $t_f$        |  | -   | 20   | 30        | ns           |    |
| Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain) | $Q_{G(TOT)}$ | $V_{GS} = 10V, I_D = 8A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$<br>$I_{G(REF)} = 1.5mA$ (Figure 14) Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature | -   | 42   | 63        | nC           |    |
| Gate to Source Charge                              | $Q_{gs}$     |  | -   | 7.0  | -         | nC           |    |
| Gate to Drain "Miller" Charge                      | $Q_{gd}$     |  | -   | 22   | -         | nC           |    |
| Input Capacitance                                  | $C_{ISS}$    | $V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0MHz$ (Figure 11)  | -   | 1225 | -         | pF           |    |
| Output Capacitance                                 | $C_{OSS}$    |  | -   | 200  | -         | pF           |    |
| Reverse-Transfer Capacitance                       | $C_{RSS}$    |  | -   | 85   | -         | pF           |    |
| Internal Drain Inductance                          | $L_D$        | Measured from the Contact Screw on Tab to Center of Die<br>Measured from the Drain Lead, 6mm (0.25in) from Package to Center of Die                                      | Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Devices Inductances | -    | 3.5       | -            | nH |
|  |              |  |   | -    | 4.5       | -            | nH |
| Internal Source Inductance                         | $L_S$        | Measured from the Source Lead, 6mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad  |   | -    | 7.5       | -            | nH |
| Thermal Resistance Junction to Case                | $R_{thJC}$   |  | -   | -    | 1.0       | $^\circ C/W$ |    |
| Thermal Resistance Junction to Ambient             | $R_{thJA}$   | Free Air Operation   | -   | -    | 62.5      | $^\circ C/W$ |    |

**20A, 500V, 0.27Ω, N-Channel  
Power MOSFET**

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17465.

**Ordering Information**

| PART NUMBER | PACKAGE | BRAND   |
|-------------|---------|---------|
| IRFP460     | TO-247  | IRFP460 |

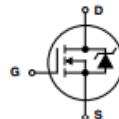
NOTE: When ordering, use the entire part number.

**Packaging**

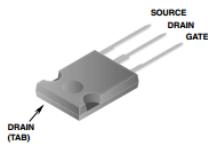
**Features**

- 20A, 500V
- $r_{DS(ON)} = 0.27\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

**Symbol**



JEDEC STYLE TO-247



**Electrical Specifications**  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

| PARAMETER                                       | SYMBOL              | TEST CONDITIONS   | MIN  | TYP  | MAX       | UNITS        |              |
|---|---------------------|---|--|------|-----------|--------------|--------------|
| Drain to Source Breakdown Voltage               | $BV_{DSS}$          | $I_D = 250\mu A, V_{GS} = 0V$ (Figure 10)   | 500  | -    | -         | V            |              |
| Gate Threshold Voltage                          | $V_{GS(\text{TH})}$ | $V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu A$   | 2  | -    | 4         | V            |              |
| Zero Gate Voltage Drain Current                 | $I_{DS}$            | $V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V$  | -  | -    | 25        | $\mu A$      |              |
|   |                     | $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ C$  | -  | -    | 250       | $\mu A$      |              |
| On-State Drain Current (Note 2)                 | $I_{D(\text{ON})}$  | $V_{DS} > I_{D(\text{ON})} \times r_{DS(\text{ON})\text{MAX}}, V_{GS} = 10V$  | 20   | -    | -         | A            |              |
| Gate to Source Leakage Current                  | $I_{GSS}$           | $V_{GS} = \pm 20V$  | -  | -    | $\pm 100$ | nA           |              |
| Drain to Source On Resistance (Note 2)          | $r_{DS(\text{ON})}$ | $I_D = 11A, V_{GS} = 10V$ (Figures 8, 9)  | -  | 0.24 | 0.27      | $\Omega$     |              |
| Forward Transconductance (Note 2)               | $g_{fs}$            | $V_{DS} = 50V, I_D > 11A$ (Figure 12)   | 13   | 19   | -         | S            |              |
| Turn-On Delay Time                              | $t_{d(\text{ON})}$  | $V_{DD} = 250V, I_D = 21A, R_{GS} = 4.3\Omega, R_D = 12\Omega, V_{GS} = 10V$ MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature                      | -  | 23   | 35        | ns           |              |
| Rise Time                                       | $t_r$               |   | -  | 81   | 120       | ns           |              |
| Turn-Off Delay Time                             | $t_{d(\text{OFF})}$ |   | -  | 85   | 130       | ns           |              |
| Fall Time                                       | $t_f$               |   | -  | 65   | 98        | ns           |              |
| Total Gate Charge (Gate to Source + Gate-Drain) | $Q_{g(\text{TOT})}$ | $V_{GS} = 10V, I_D = 21A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, I_{G(\text{REF})} = 1.5mA$ (Figure 14). Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature | -  | 120  | 190       | nC           |              |
| Gate to Source Charge                           | $Q_{gs}$            |   | -  | 18   | -         | nC           |              |
| Gate to Drain "Miller" Charge                   | $Q_{gd}$            |   | -  | 62   | -         | nC           |              |
| Input Capacitance                               | $C_{ISS}$           |   | -  | 4100 | -         | pF           |              |
| Output Capacitance                              | $C_{OSS}$           |   | -  | 480  | -         | pF           |              |
| Reverse Transfer Capacitance                    | $C_{RSS}$           |   | -  | 84   | -         | pF           |              |
| Internal Drain Inductance                       | $L_D$               | Measured from the Drain Lead, 6mm (0.25in) from Package to Center of Die  | Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Device Inductances | -    | 5.0       | -            | nH           |
| Internal Source Inductance                      | $L_S$               | Measured from the Source Lead, 6mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad   |  | -    | 13        | -            | nH           |
| Thermal Resistance Junction to Case             | $R_{\text{JC}}$     | -   |  | -    | 0.50      | $^\circ C/W$ |              |
| Thermal Resistance Junction to Ambient          | $R_{\text{JA}}$     | Free Air Operation  |  | -    | -         | 30           | $^\circ C/W$ |

Rectifier Diodes 600V

| V <sub>DM</sub><br>(V) | Package    | Part Number | I <sub>IN</sub><br>(A)<br>[ ] is with<br>Heatsink | I <sub>SM</sub><br>(A) | T <sub>J</sub><br>(°C) | T <sub>SJQ</sub><br>(°C) | V <sub>F</sub><br>(V)<br>max | I <sub>R</sub><br>(A) | I <sub>S</sub><br>(μA)                  | I <sub>S (H)</sub><br>(μA)              |                        | R <sub>th (j-l)</sub><br>(°C/W) | Mass<br>(g) | Fig.<br>No. | Page<br>No./<br>Page<br>Count |
|------------------------|------------|-------------|---|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|---|---|------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------------------------|
|                        |            |             |   |                        |                        |                          |                              |                       | V <sub>R</sub> = V <sub>DM</sub><br>max | V <sub>R</sub> = V <sub>DM</sub><br>max | T <sub>A</sub><br>(°C) |                                 |             |             |                               |
| 600                    | Axial      | AM01A       | 1.0   | 35                     | -40 to +150            | 0.98                     | 1.0                          | 10                    | 50                                      | 100                                     | 22                     | 0.13                            | 1           | 48          |                               |
|                        |            | EM01A       | 1.0   | 45                     | -40 to +150            | 0.97                     | 1.0                          | 10                    | 50                                      | 100                                     | 20                     | 0.2                             | 2           |             |                               |
|                        |            | EM 1A       | 1.0   | 45                     | -40 to +150            | 0.97                     | 1.0                          | 10                    | 50                                      | 100                                     | 17                     | 0.3                             | 3           |             |                               |
|                        |            | RM 1A       | 1.0   | 50                     | -40 to +150            | 0.95                     | 1.0                          | 5                     | 50                                      | 100                                     | 15                     | 0.4                             | 4           |             |                               |
|                        |            | EM 2A       | 1.2   | 80                     | -40 to +150            | 0.92                     | 1.2                          | 10                    | 50                                      | 100                                     | 17                     | 0.3                             | 5           |             |                               |
|                        |            | RM 11A      | 1.2   | 100                    | -40 to +150            | 0.92                     | 1.5                          | 10                    | 50                                      | 100                                     | 15                     | 0.4                             | 6           |             |                               |
|                        |            | RM 10A      | 1.2   | 150                    | -40 to +150            | 0.91                     | 1.5                          | 10                    | 50                                      | 100                                     | 15                     | 0.4                             | 7           |             |                               |
|                        |            | RM 2A       | 1.2   | 100                    | -40 to +150            | 0.91                     | 1.5                          | 10                    | 50                                      | 100                                     | 12                     | 0.6                             | 8           |             |                               |
|                        |            | RO 2A       | 1.2   | 80                     | -40 to +150            | 0.92                     | 1.5                          | 10                    | 50                                      | 100                                     | 12                     | 0.61                            | 9           |             |                               |
|                        |            | RM 3A       | 2.5   | 150                    | -40 to +150            | 0.95                     | 2.5                          | 10                    | 100                                     | 100                                     | 10                     | 1.0                             | 10          |             |                               |
|                        | Center-tap | RM 4A       | 1.7 (3.0)   | 200                    | -40 to +150            | 0.95                     | 3.0                          | 10                    | 50                                      | 100                                     | 8                      | 1.2                             | 11          | 49          |                               |
|                        |            | RM 4AM      | 1.8 (3.2)   | 350                    | -40 to +150            | 0.92                     | 3.5                          | 10                    | 50                                      | 100                                     | 8                      | 1.2                             | 12          |             |                               |
|                        | Bridge     | FMM-26S, R  | 10  | 100                    | -40 to +150            | 1.1                      | 5.0                          | 10                    | 100                                     | 100                                     | 4.0                    | 2.1                             | 13          | 50          |                               |
|                        |            | FMM-36S, R  | 20  | 120                    | -40 to +150            | 1.1                      | 10                           | 10                    | 100                                     | 100                                     | 2.0                    | 5.5                             | 14          |             |                               |
|                        |            | RBV-406     | 4.0   | 80                     | -40 to +150            | 1.1                      | 2.0                          | 10                    | 100                                     | 100                                     | 5.0                    | 4.05                            | 15          |             |                               |
|                        |            | RBV-406H    | 4.0   | 120                    | -40 to +150            | 0.92                     | 2.0                          | 10                    | 100                                     | 100                                     | 5.0                    | 4.05                            | 16          |             |                               |
|                        |            | RBV-406M    | 4.0   | 120                    | -40 to +150            | 1.0                      | 2.0                          | 10                    | 100                                     | 100                                     | 5.0                    | 4.05                            | 17          |             |                               |
|                        |            | RBV-606     | 6.0   | 120                    | -40 to +150            | 1.05                     | 3.0                          | 10                    | 100                                     | 100                                     | 3.0                    | 6.45                            | 18          |             |                               |
|                        |            | RBV-606H    | 6.0   | 140                    | -40 to +150            | 1.05                     | 3.0                          | 10                    | 200                                     | 100                                     | 3.0                    | 6.45                            | 19          |             |                               |
|                        |            | RBV-4086H   | 8.0   | 120                    | -40 to +150            | 1.1                      | 4.0                          | 10                    | 100                                     | 100 [T]                                 | 2.0                    | 4.05                            | 20          |             |                               |
|                        |            | RBV-4106M   | 10  | 120                    | -40 to +150            | 1.0                      | 5.0                          | 10                    | 100                                     | 100                                     | 2.0                    | 4.05                            | 21          |             |                               |
|                        |            | RBV-1306    | 13  | 80                     | -40 to +150            | 1.2                      | 6.5                          | 10                    | 100                                     | 100                                     | 1.5                    | 6.45                            | 22          | 53          |                               |
|                        |            | RBV-1506S   | 15  | 150                    | -40 to +150            | 1.1                      | 7.5                          | 10                    | 200                                     | 100                                     | 1.5                    | 6.45                            | 23          |             |                               |
|                        |            | RBV-1506J   | 15  | 150                    | -40 to +175            | 1.1                      | 7.5                          | 10                    | 200                                     | 150 [T]                                 | 1.5                    | 6.45                            | 24          |             |                               |
|                        |            | RBV-1506    | 15  | 200                    | -40 to +150            | 1.05                     | 7.5                          | 50                    | 200                                     | 100                                     | 1.5                    | 6.45                            | 25          | 54          |                               |
|                        |            | RBV-2506    | 25  | 350                    | -40 to +150            | 1.05                     | 12.5                         | 50                    | 200                                     | 100                                     | 1.5                    | 6.45                            | 26          |             |                               |

**SINGLE-CHANNEL**

6N137  
HCPL-2601  
HCPL-2611

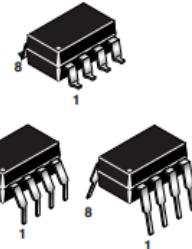
**DUAL-CHANNEL**

HCPL-2630  
HCPL-2631

**DESCRIPTION**

The 6N137, HCPL-2601/2611 single-channel and HCPL-2630/2631 dual-channel optocouplers consist of a 850 nm AlGaAs LED, optically coupled to a very high speed integrated photodetector logic gate with a strobeable output. This output features an open collector, thereby permitting wired OR outputs. The coupled parameters are guaranteed over the temperature range of -40°C to +85°C. A maximum input signal of 5 mA will provide a minimum output sink current of 13 mA (fan out of 8).

An internal noise shield provides superior common mode rejection of typically 10 kV/μs. The HCPL-2601 and HCPL-2631 has a minimum CMR of 5 kV/μs. The HCPL-2611 has a minimum CMR of 10 kV/μs.

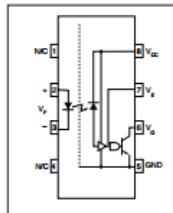


**FEATURES**

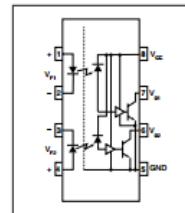
- Very high speed-10 MBit/s
- Superior CMR-10 kV/μs
- Double working voltage-480V
- Fan-out of 8 over -40°C to +85°C
- Logic gate output
- Strobeable output
- Wired OR-open collector
- U.L. recognized (File # E90700)

**APPLICATIONS**

- Ground loop elimination
- LSTTL to TTL, LSTTL or 5-volt CMOS
- Line receiver, data transmission
- Data multiplexing
- Switching power supplies
- Pulse transformer replacement
- Computer-peripheral interface



6N137  
HCPL-2601  
HCPL-2611



HCPL-2630  
HCPL-2631

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>A</sub> = -40°C to +85°C Unless otherwise specified.)**

**INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS**

| Parameter                           | Test Conditions   | Symbol                           | Min | Typ** | Max  | Unit  |
|-------------------------------------|---|----------------------------------|-----|-------|------|-------|
| <b>EMITTER</b>                      | (I <sub>F</sub> = 10 mA)  |                                  |     | 1.8   |      |       |
| Input Forward Voltage               | (T <sub>A</sub> = 25°C)   | V <sub>F</sub>                   |     | 1.4   | 1.75 | V     |
| Input Reverse Breakdown Voltage     | (I <sub>R</sub> = 10 μA)  | B <sub>VR</sub>                  | 5.0 |       |      | V     |
| Input Capacitance                   | (V <sub>F</sub> = 0, f = 1 MHz)   | C <sub>IN</sub>                  |     | 60    |      | pF    |
| Input Diode Temperature Coefficient | (I <sub>F</sub> = 10 mA)  | ΔV <sub>F</sub> /ΔT <sub>A</sub> |     | -1.4  |      | mV/°C |
| <b>DETECTOR</b>                     |   |                                  |     |       |      |       |
| High Level Supply Current           | Single Channel (V <sub>CC</sub> = 5.5 V, I <sub>F</sub> = 0 mA)<br>Dual Channel (V <sub>E</sub> = 0.5 V)  | I <sub>CCH</sub>                 |     | 7     | 10   | mA    |
| Low Level Supply Current            | Single Channel (V <sub>CC</sub> = 5.5 V, I <sub>F</sub> = 10 mA)<br>Dual Channel (V <sub>E</sub> = 0.5 V) | I <sub>CCL</sub>                 |     | 9     | 13   | mA    |
| Low Level Enable Current            | (V <sub>CC</sub> = 5.5 V, V <sub>E</sub> = 0.5 V)   | I <sub>EL</sub>                  |     | -0.8  | -1.6 | mA    |
| High Level Enable Current           | (V <sub>CC</sub> = 5.5 V, V <sub>E</sub> = 2.0 V)   | I <sub>EH</sub>                  |     | -0.6  | -1.6 | mA    |
| High Level Enable Voltage           | (V <sub>CC</sub> = 5.5 V, I <sub>F</sub> = 10 mA)   | V <sub>EH</sub>                  | 2.0 |       |      | V     |
| Low Level Enable Voltage            | (V <sub>CC</sub> = 5.5 V, I <sub>F</sub> = 10 mA) (Note 3)  | V <sub>EL</sub>                  |     |       | 0.8  | V     |

# LM124/LM224/LM324/LM2902

## Low Power Quad Operational Amplifiers

### General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional  $\pm 15V$  power supplies.

### Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

### Advantages

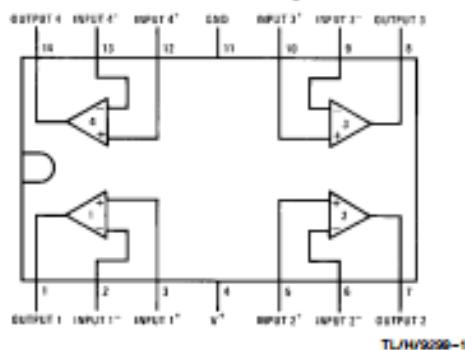
- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows direct sensing near GND and  $V_{OUT}$  also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

### Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
  - Single supply 3V to 32V
  - or dual supplies  $\pm 1.5V$  to  $\pm 16V$
- Very low supply current drain ( $700\ \mu A$ )—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV and offset current 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0V to  $V^+ - 1.5V$

### Connection Diagram

Dual-In-Line Package

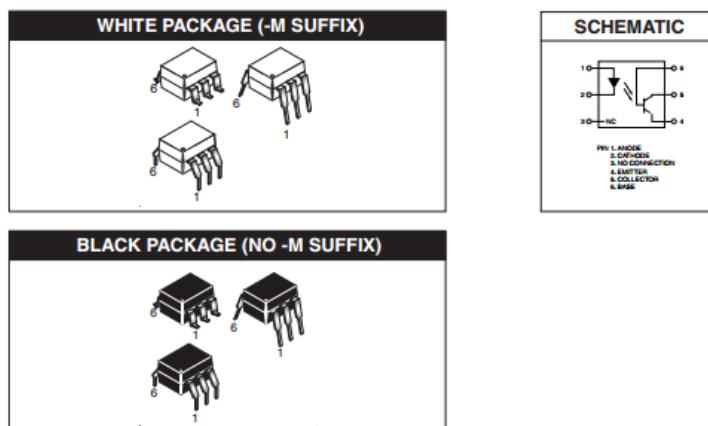


Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883\*\*,  
LM124AJ/883\*, LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324M,  
LM324AM, LM2902M, LM324N, LM324AN or LM2902N

See NS Package Number J14A, M14A or N14A

|      |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4N25 | 4N26  | 4N27  | 4N28  | 4N35  | 4N36  |
| 4N37 | H11A1 | H11A2 | H11A3 | H11A4 | H11A5 |



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)**

**INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS**

| Parameter                           | Test Conditions                               | Symbol     | Min | Typ*  | Max  | Unit          |
|-------------------------------------|---|------------|-----|-------|------|---------------|
| <b>EMITTER</b>                      |   |            |     |       |      |               |
| Input Forward Voltage               | ( $I_F = 10 \text{ mA}$ )                     | $V_F$      |     | 1.18  | 1.50 | V             |
| Reverse Leakage Current             | ( $V_R = 6.0 \text{ V}$ )                     | $I_R$      |     | 0.001 | 10   | $\mu\text{A}$ |
| <b>DETECTOR</b>                     |   |            |     |       |      |               |
| Collector-Emitter Breakdown Voltage | ( $I_C = 1.0 \text{ mA}, I_F = 0$ )           | $BV_{CEO}$ | 30  | 100   |      | V             |
| Collector-Base Breakdown Voltage    | ( $I_C = 100 \mu\text{A}, I_F = 0$ )          | $BV_{CBO}$ | 70  | 120   |      | V             |
| Emitter-Collector Breakdown Voltage | ( $I_E = 100 \mu\text{A}, I_F = 0$ )          | $BV_{ECO}$ | 7   | 10    |      | V             |
| Collector-Emitter Dark Current      | ( $V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 0$ )          | $I_{CEO}$  |     | 1     | 50   | nA            |
| Collector-Base Dark Current         | ( $V_{CB} = 10 \text{ V}$ )                   | $I_{CBO}$  |     |       | 20   | nA            |
| Capacitance                         | ( $V_{CE} = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$ ) | $C_{CE}$   |     | 8     |      | pF            |

## Fotografías figuras de onda y circuitos de potencia

