

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARRANCADOR SUAVE APLICADO A UN
MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO.**

**DAVID ROLANDO ECHEVERRÍA BOHÓRQUEZ
JORGE ALBERTO VILLANUEVA RUEDA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2008**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARRANCADOR SUAVE APLICADO A UN
MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO.**

DAVID ROLANDO ECHEVERRÍA BOHÓRQUEZ
JORGE ALBERTO VILLANUEVA RUEDA

Trabajo de grado realizado para obtener el título de
Ingeniero Electrónico

Director

Ing., Mg. JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2008**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. ESTRUCTURA DEL PROYECTO	14
1.1 PLANTEAMIENTO	14
1.2 JUSTIFICACIÓN	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 CONTROLADOR O REGULADOR DE VOLTAJE AC MONOFÁSICO. 16	
2.1.1 Importancia de una red SNUBBER.	22
2.1.2 Que es la estática dV/dt	22
2.1.3 Mejorar el dV/dt.	22
2.2 CONTROLADOR O REGULADOR DE VOLTAJE DE AC TRIFÁSICO 23	
2.2.1 Modos de trabajo del los SCR con carga conectada en Y.	27
2.3 MOTOR DE INDUCCIÓN	31
2.3.1 Estator del motor de inducción.	32
2.3.2 Rotor del motor de inducción.	33
2.3.3 Deslizamiento de una maquina de inducción.	36
2.3.4 Características par-velocidad del motor de inducción.	37
2.3.5 Clases de diseño de motores de inducción.	39
2.3.6 Código NEMA para el motor de inducción.	41
2.3.7 Factor de potencia en los motores de inducción trifásico.	41
2.3.8 Métodos de arranque de un motor de inducción.	43
3. ARRANCADORES SUAVES COMERCIALES	53
3.1 ARRANCADOR SUAVE DE SIEMENS.	53
3.1.1 Modo de funcionamiento de arrancadores suaves electrónicos SIRIUS 3RW44.	53
3.1.2 Campo de aplicación, criterios de selección y ventajas.	55
3.1.3 Duración de marcha y frecuencia de maniobras.	56
3.1.4 Altura sobre el nivel de mar y temperaturas ambiente admisibles.	57
3.1.5 Arrancador suave en conexión con protección contra cortocircuitos.	58
3.1.6 Tipos de arranque con un arrancador suave de SIEMENS.	60
3.2 ARRANCADOR SUAVE DE ABB.	64
3.2.1 Armónicos en un arrancador suave de ABB.	66
3.2.2 Definición de coordinación	66
3.3 ARRANCADOR SUAVE DE TELEMECANIQUE.	67
4. DIMENSIONAMIENTO DE UN ARRANCADOR SUAVE EN LA INDUSTRIA. 69	
4.1 CORRIENTE NOMINAL DEL MOTOR.	69
4.2 APLICACIÓN.	69
5. DISEÑO DEL ARRANCADOR SUAVE	71
5.1 ETAPA DE POTENCIA.	71

5.1.1	Conexión en delta interna.	72
5.1.2	Limitación de la corriente en arranque como protección para el motor inducción trifásico	75
5.1.3	Aislamiento de los pulsos de disparo.	76
5.1.4	Detector de cruce por cero.	76
5.1.5	Fuente de alimentación.	77
5.2	ETAPA DE CONTROL.	77
5.2.1	Microcontrolador	78
5.2.2	Pantalla LCD.	79
5.2.3	Pulsadores libres de rebote.	81
6.	DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL	83
6.1	ACTIVACIÓN DE LOS TIRISTORES	83
6.2	SISTEMA DE MENU Y LCD.	85
6.3	CONFIGURACIÓN DE INTERRUPCIONES.	88
6.4	INTERRUPCIÓN EXTERNA INT0	90
6.5	INTERRUPCIÓN POR TIMER1	91
7.	CONCLUSIONES	94
	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXOS	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Controlador de voltaje AC bidireccional monofásico.....	16
Figura 2 Controlador de voltaje AC unidireccional monofásico.	17
Figura 3 Forma de onda del voltaje de entrada V_{12}	18
Figura 4 Forma de onda del voltaje V_{34} . Con carga resistiva.	18
Figura 5 Forma de onda del voltaje V_{34} . Con carga resistiva y ángulo de retraso mayor.	19
Figura 6 Forma de onda del voltaje V_{34} . Con carga inductiva.	20
Figura 7 Forma de onda de la corriente con carga inductiva.	21
Figura 8 Solución al disparo del tiristor cuando la carga es inductiva.	21
Figura 9 Configuración del circuito de regulador AC bidireccional conectado en Y.	24
Figura 10 Configuración del circuito regulador AC unidireccional conectado en Y.	24
Figura 11 Configuración del circuito regulador AC unidireccional conectado en delta.	25
Figura 12 Configuración del circuito regulador AC conectado en polígono.	25
Figura 13 Configuración del circuito regulador AC bidireccional conectado en delta.	26
Figura 14 Configuración del circuito regulador AC bidireccional tiristores dentro del delta.	26
Figura 15 Principales partes de un motor de asíncrono de escobillas.	31
Figura 16 Principales partes de un motor de asíncrono de jaula.	32
Figura 17 Estator típico.	33
Figura 18 Principales partes de un rotor típico.	33
Figura 19 curvas par-velocidad de cada uno de los tipos de rotor de jaula.	35
Figura 20 Curva característica par-velocidad de un motor de inducción.	37
Figura 21 Curva par-velocidad que muestra los rangos extendidos de operación.	38
Figura 22 Curvas características típicas para diferentes diseños de rotores.	39
Figura 23 Diagrama indicador de potencia activa, reactiva y el $\cos\phi$	42
Figura 24 Método de dos vatímetros para la medición del factor de potencia.	42
Figura 25 Curvas de corriente/velocidad y par/velocidad del arranque directo.	46
Figura 26 Curvas de corriente/velocidad y par/velocidad del arranque por autotransformador.	48
Figura 27 Curvas de corriente/velocidad y par/velocidad del arranque por resistencia en el estator.	49
Figura 28 Curvas de corriente/velocidad y par/velocidad del arranque estrella-triangulo.	51
Figura 29 Corriente de arranque reducida, motor asíncrono trifásico con arranque suave SIRIUS 3RW44.	54
Figura 30 Par de arranque reducido, motor asíncrono trifásico con arranque suave SIRIUS 3RW44.	54
Figura 31 Duración de marcha DM.	57
Figura 32 Disminución en función de la altura sobre el nivel del mar.	58

Figura 33 Esquema de circuito, arrancador suave 3WR44 en conexión.	59
Figura 34 Principio de funcionamiento rampa de tensión.	60
Figura 35 Principio de funcionamiento rampa de tensión, característica del par de motor.	61
Figura 36 Principio de impulso de despegue, regulación de par.	63
Figura 37 Limitación de corriente con arrancador suave.	64
Figura 38 Curvas de corriente/velocidad y par velocidad del arranque electrónico.	68
Figura 39 Diagrama de bloques del sistema.	71
Figura 40 Esquemático básico de la etapa de potencia.	72
Figura 41 Conexión delta interna básica con carga inductiva.	73
Figura 42 Conexión delta interna básica con carga resistiva.	73
Figura 43 Placa del motor de inducción trifásico utilizado en el proyecto.	74
Figura 44 Discontinuidad de la corriente dependiendo de alfa.	74
Figura 45 Fusible protector en un devanado del motor de inducción.	75
Figura 46 Interfaz entre el control electrónico y el triac de potencia.	76
Figura 47 Detector de cruce por cero.	77
Figura 48 Fuente de alimentación 5.1V DC.	77
Figura 49 Diagrama esquemático del circuito de control.	78
Figura 50 Dspic 30f4013 o 30f3014.	79
Figura 51 Pantalla LCD 2x16.	80
Figura 52 Conexión del LCD, en configuración de 4 bits.	81
Figura 53 Circuitos eliminadores de rebote de los pulsadores.	82
Figura 54 Secuencia de activación de los triac's para ángulos menores a 60°.	83
Figura 55 Diagrama de flujo del menú principal.	86
Figura 56 Diagrama de flujo del Submenú Motor en vacío.	87
Figura 57 Diagrama de flujo de Submenú del motor con Carga.	88
Figura 58 Diagrama de flujo de configuración de interrupciones para arranque en vacío.	89
Figura 59 Diagrama de flujo de la interrupción INTO.	90
Figura 60 Diagrama de flujo del timer 1.	91
Figura 61 Continuación 1 del Diagrama de flujo del timer 1.	92
Figura 62 Continuación 2 del Diagrama de flujo del timer 1.	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de convertidores de AC trifásico	30
Tabla 2 Arranque en KVA/hp para cada letra del código NEMA.	41
Tabla 3 Aplicaciones típicas y sobredimensionamiento.	69
Tabla 4 Arranque normal (CLASE 10)	70
Tabla 5 Arranque pesado (CLASE 20).....	70
Tabla 6 Arranque muy pesado (CLASE 30).....	70
Tabla 7 Terminales de Pantalla LCD 2x16.....	80
Tabla 8 Equivalencia entre el ángulo de disparo y el registro de posición.	84
Tabla 9 Calculo de los ciclos de red para alfa en un arranque de 5 segundo.....	85

Gracias a Dios por la vida y la salud que
me dio para salir adelante y cumplir mí meta.
A la Universidad pontificia Bolivariana por la
preparación a lo largo de mi carrera.
Gracias a mis padres por su apoyo incondicional.
Gracias al Ing,Mg. Juan Carlos y al Dr. Omar Pinzon
por el conocimiento transmitido y el interés por el proyecto.
A la Ing. Karen Lozada Rincón por darme fuerza y animo con sus palabras.

Jorge Alberto Villanueva Rueda.

A Dios por las virtudes que poseo.
A mis padres y hermana por sus sabios
consejos y apoyo incondicional.
A dos personas muy especiales
Lizzeth Tavera y Natalia Echeverria

David Rolando Echeverría Bohórquez.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos las facultades, que hicieron posible este trabajo.

A nuestros padres por el apoyo financiero y moral.

Un agradecimiento especial a nuestro director de tesis el ingeniero Juan Carlos Villamizar, por el gran aporte, para llevar a feliz termino este proyecto.

A todas las personas que creyeron en nosotros y aportaron sus conocimientos en este proyecto.

RESUMEN

Para iniciar un motor de inducción trifásico, se suele emplear el método de arranque directo en línea, que tiene alto par de arranque y una corriente en el motor de inducción siete veces mayor a la nominal, esto causa un incrementado en la temperatura del rotor y del estator produciendo daños y disminuyendo la vida útil del motor. En aplicaciones industriales, cuando el motor de inducción es conectado a una banda transportadora, un alto par durante el arranque puede hacer caer el producto transportado posibilitando daños en el mismo.

Para evitar estos inconvenientes, se emplea el método del arranque suave, que consiste en suministrar al motor una baja corriente que se incrementa de acuerdo al tiempo de duración del arranque.

El arrancador suave implementado se diseño por etapas, la etapa de control y la etapa de potencia, teniendo en cuenta el aislamiento eléctrico con el uso de dispositivos ópticamente aislados. Se escogió la configuración en delta, con triacs conectados en serie con las bobinas, porque la corriente de arranque en esta conexión no sobrepasa la corriente nominal del motor y además posibilita el uso de triacs, reduciendo el número de tiristores empleados en el arranque.

En la etapa de control se selecciono al microcontrolador dspic30f4013 debido a su alto rendimiento en este tipo de aplicaciones.

Se llevaron a cabo arranques suaves al motor de inducción mediante un dispositivo diseñado y construido con este fin; se midió el voltaje y la corriente en vacío del motor de inducción para diferentes tiempos de arranque.

ABSTRACT

The three-phase induction motor is start generally using the method of direct online starter, which has high torque and a current in the induction motor of seven times higher than nominal, this causes an increase in temperature of the rotor and stator causing damage and reducing engine life. In industrial applications, where the induction motor is connected to a conveyor belt, a high torque during starting can drop the load possible damage to it.

To avoid these drawbacks, we used the method of soft start, which is to provide a low current to the motor to be increased according to the duration of the start.

The soft starter design was implemented in stages, the stage of control and power stage, taking into account the electrical insulation with the use of optically isolated. The delta configuration with triacs connected in series with the coils, was chosen in this project, because the starting current in this connection does not exceed the rated current of the motor and also enables the use of triacs, reducing the number of thyristors used in the start.

In the stage of control was selected the DSPIC30f4013 microcontroller because It have high performance in such applications.

Were carried out the soft starting the induction motor using a device designed and built for this purpose, measured the voltage and current in vacuum of the induction motor for different starting times.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales máquinas empleadas en el sector industrial es el motor de inducción trifásico o asíncrono; que es usado en moledoras, sierras, rompedoras, mezcladores, transportadoras, ventiladores, compresores y bombas entre otros, son aplicaciones en donde la velocidad del motor no requiere variación. Los métodos utilizados para poner en marcha esta máquina, son en su mayoría arrancadores electromecánicos convencionales, tales como: conexión directa a la red eléctrica, disminución del voltaje por auto-transformador, conexión conmutada estrella-delta y adición de resistencias (o reactancia) en el estator.

La corriente máxima en el motor de inducción se produce en el momento del arranque, antes de alcanzar la corriente nominal, por tanto el motor se encuentra expuesto a un riesgo constante de daños por sobrecalentamiento, lo que reduce su vida útil.

Un arrancador suave (Soft - Starter) se usa en la industria para poner en marcha y detener los motores de inducción trifásicos, dando como resultado una corriente en el motor al momento del arranque que se aproxima a la corriente nominal, a diferencia de los otros métodos que tienden a alejarse de dicha corriente; la construcción de un arrancador suave o de estado sólido depende del tipo de aplicación para la que sea destinado.

El método usado en este proyecto tiene como principio un convertidor AC/AC trifásico que usa rectificadores controlados de Silicio (SCR's) conectados en antiparalelo o Triac por fase, para controlar electrónicamente la tensión de entrada al momento del arranque y detención en el motor, lo que permite reducir la intensidad de corriente del estator, par y el esfuerzo mecánico de la máquina.

Con el uso del tiristor como interruptor, se pueden conectar y desconectar cargas a la red eléctrica local a alta velocidad de forma silenciosa sin producir arcos eléctricos, ni desgastes mecánicos. Usando el método de control de ángulo de fase se modifica el ángulo de disparo del tiristor en relación con la onda de tensión de entrada, permitiendo variar progresivamente el valor RMS de voltaje, aplicado al motor; este método será utilizado para el actual proyecto.

1. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO

Implementar en el laboratorio de maquinas de la UPB un arranque suave a un motor de inducción trifásico, comparándolo con un arranque directo en línea sin carga. Variar el tiempo de duración del arranque suave de acuerdo a su clase y aplicación que se requiere en la industria.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El uso de arrancadores suaves en los motores trifásicos de inducción impide las altas corrientes de estator en el momento de arranque y parada presentes en los métodos convencionales, ya que estas sobrecalientan al motor, disminuyendo su vida útil y ocasionando sobrecostos de mantenimiento.

Se examinaba la posibilidad de implementar un método más óptimo para arrancar los motores de inducción trifásicos en el laboratorio de maquinas de la UPB, para que sus estudiantes analicen las características del arranque suave en comparación con un directo, y comprendan el principio de funcionamiento de los arrancadores suaves.

Se emplea un arranque suave en los sistemas con bombas para evitar los daños causados por el golpe de ariete o en bandas transportadoras para evitar movimientos bruscos al momento del arranque que ocasionen pérdidas o daños del producto, por esto es importante que el estudiante conozca donde se emplea un arranque suave y las grandes ventajas que tiene su uso en las principales aplicaciones industriales donde no se requiere variar la velocidad del motor.

Existen en la industria aplicaciones de alto desempeño que requieren un apropiado dimensionamiento del arrancador suave a utilizar de acuerdo a varios parámetros importantes, se planteo una metodología para que el estudiante dimensione apropiadamente un arrancador suave para una aplicación industrial.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y Construir un arrancador suave trifásico.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

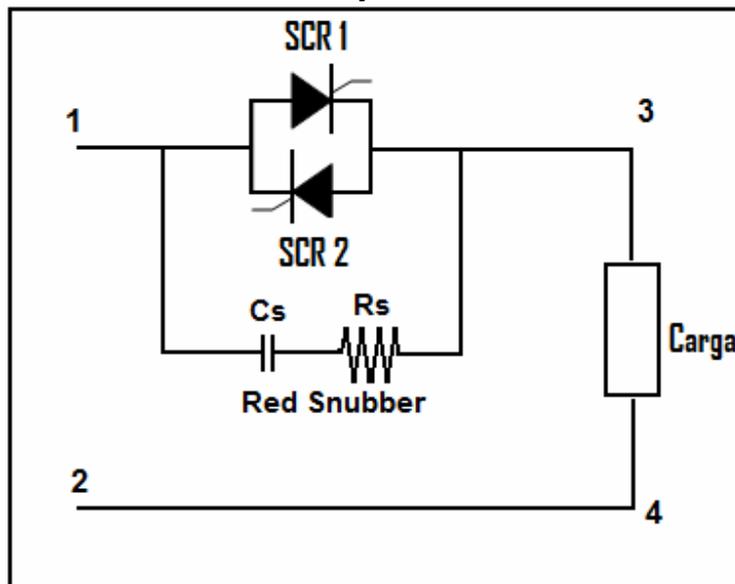
- Limitar la corriente de estator en el momento del arranque de un motor de inducción trifásico.
- Implementar un control de voltaje AC de línea completo para que también regule la corriente y el par.
- Conocer los estándares dados por IEC y NEMA que enmarcan a los arrancadores suaves de motores de AC trifásicos.
- Dimensionar el arrancador suave para que maneje un motor de inducción trifásico de 1.2 HP.
- Representar los arranques que se realizan en la industria, para cargas clase 10, clase 20 y clase 30.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONTROLADOR O REGULADOR DE VOLTAJE AC MONOFÁSICO.

En esta aplicación los semiconductores (SCR o Triac's) se utilizan para regular la potencia que fluye de una fuente de voltaje AC variando el valor eficaz o RMS aplicado a la carga. En la Figura 1 se muestran dos tiristores conectados en anti-paralelo o Back to Back que se emplean para que cada uno controle un semiciclo del voltaje de entrada de AC. Dependiendo de las aplicaciones los controladores se clasifican en dos tipos: controladores monofásicos y controladores trifásicos, cada uno de estos puede ser unidireccional (o de media onda) donde la corriente de regreso no está controlada por un SCR sino por un diodo como se observa en la figura 2, por este elemento el rango de control es limitado, además con voltaje de salida asimétrico con componentes en DC y el otro tipo es el bidireccional (o de onda completa) que es el empleado para el proyecto del arrancador suave trifásico por no tener las desventajas del controlador unidireccional.

Figura 1 Controlador de voltaje AC bidireccional monofásico.

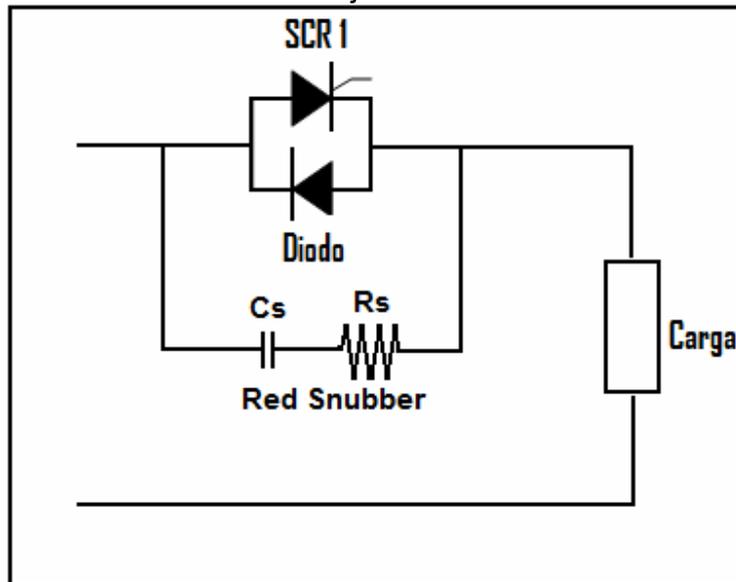


Fuente: Los autores

Para el control de transferencia de potencia a la carga se utilizan dos métodos: control de abrir-cerrar que consiste en conectar la fuente de AC a la carga por un número de ciclos y luego desconectarla por otros cuantos ciclos, donde los tiristores son activados en el mismo instante del cruce por cero. El otro método es el control de ángulo de fase que es descrito e implementado en este trabajo de grado, donde a diferencia del método anterior es retrasado el ángulo de disparo de compuerta del SCR, por este motivo solo una porción del semiciclo es conectada a

la carga. La activación del otro tiristor encargado de la corriente de regreso debe conservarse a 180° del anterior disparo con el fin de obtener una señal de salida alterna y simétrica. Una implementación importante de los semiconductores de potencia es en modo de conmutación, y por lo tanto este es el tipo básico de circuitos de semiconductores de potencia.

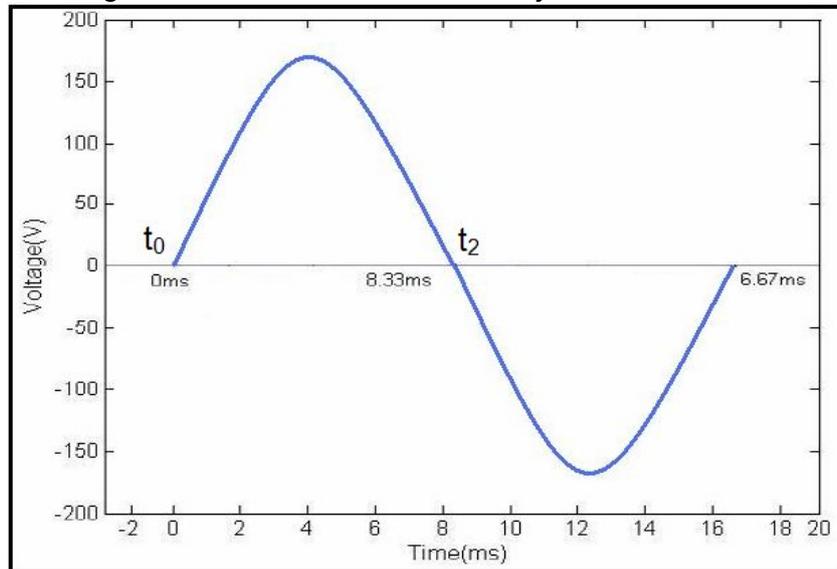
Figura 2 Controlador de voltaje AC unidireccional monofásico.



Fuente: Los autores

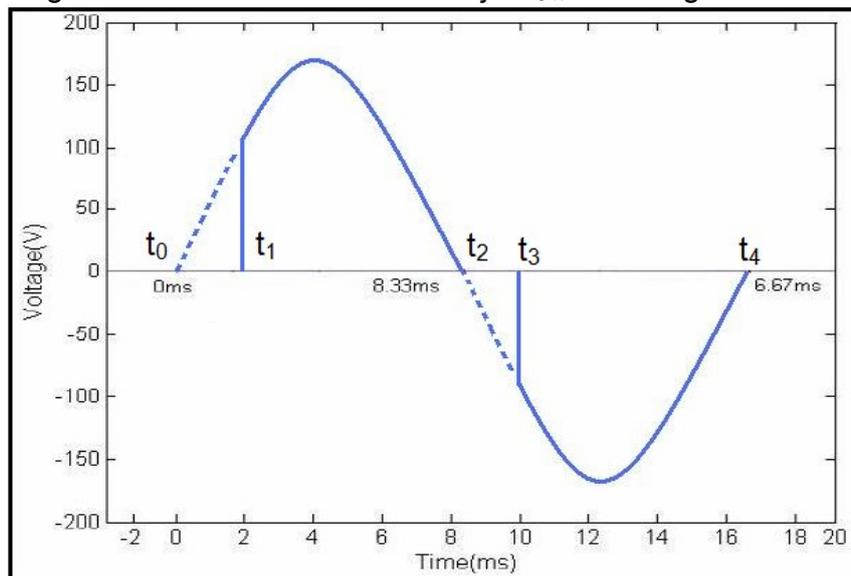
En las figuras 3, 4, 5 y 6 se muestran las formas de onda del circuito. La forma de onda del voltaje de entrada se enseña en la figura 3 donde el punto 1 de la figura 2 es positivo con respecto al punto 2 en el primer semiciclo y negativo durante el segundo semiciclo. La forma de onda del voltaje de salida para una carga resistiva se muestra en la figura 4, en el momento que la tensión de alimentación es positiva el voltaje en la carga es cero debido a que el tiristor SCR1 no se encuentra encendido, teniendo en cuenta que se puede activar si el voltaje en ánodo es mayor que en cátodo y además que en compuerta exista una excitación.

Figura 3 Forma de onda del voltaje de entrada V_{12} .



Fuente: Los autores

Figura 4 Forma de onda del voltaje V_{34} . Con carga resistiva.



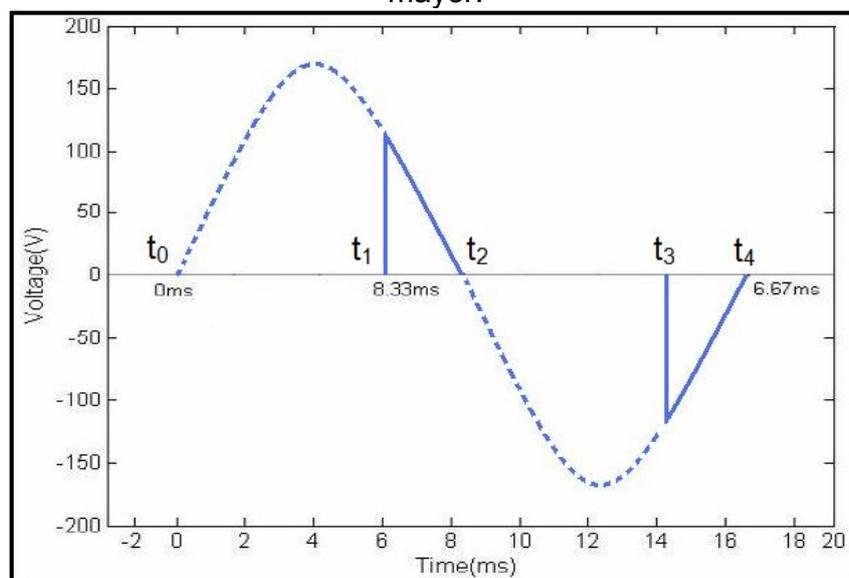
Fuente: Los autores

En t_1 la compuerta del SCR1 es excitada y lo activa presentando una muy baja impedancia de la tensión, el punto 3 de la figura 2 es casi el mismo que el punto 1, saltando la forma de onda del voltaje de la carga a casi el valor de la entrada. En el momento t_2 cuando el voltaje de entrada se invierte el SCR1 no permite circular el flujo de corriente y esta cae a cero. Otra vez la tensión de salida es cero, hasta que el SCR2 se dispara en t_3 en este momento es negativa la línea de entrada de

voltaje de AC. Los tiempos de activación de los Tiristores t_1 , t_3 son variables, la figura 5 muestra un mayor ángulo a partir del cruce por cero, esto ilustra el principio de cómo variar el voltaje RMS suministrado a una carga durante un ciclo de entrada.

Cuando la carga es inductiva los tiristores no se apagan directamente cuando la fuente de tensión se invierte, la forma de onda de voltaje para una carga inductiva se muestra en la figura 6. Cuando el SCR1 se dispara en t_1 conduce la corriente de carga, pero cuando el voltaje de entrada de la red comienza a invertirse, es decir hacerse negativo en t_2 la corriente del SCR1 no se reduce para llegar a cero, debido a que la carga inductiva no puede ser disipada instantáneamente obligando al SCR1 a permanecer conduciendo. Mientras las corrientes fluyen en contra de un potencial positivo de la carga a la fuente; Este fenómeno es conocido como regeneración, este tiempo depende también del “ángulo de retraso de disparo del tiristor y el ángulo del factor de potencia de la carga”¹. En el momento t_{2t} la corriente de carga recae a un valor lo suficiente bajo para permitir que el SCR1 se apague y el voltaje de carga cae a cero hasta que el próximo SCR2 sea disparado.

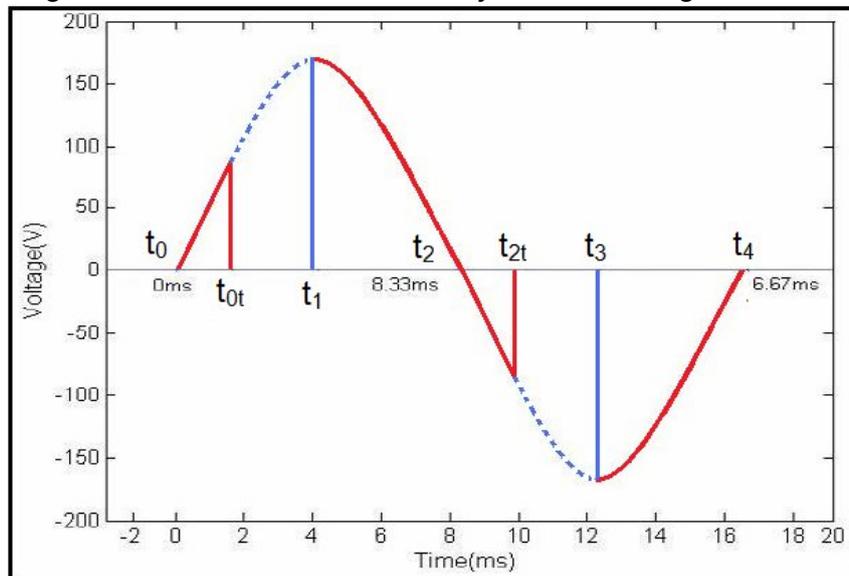
Figura 5 Forma de onda del voltaje V_{34} . Con carga resistiva y ángulo de retraso mayor.



Fuente: Los autores

¹ Muhammad H. Rashid. Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones. 3ª edición Pearson Education. México. Pag.198.

Figura 6 Forma de onda del voltaje V_{34} . Con carga inductiva.



Fuente: Los autores

Un controlador de voltaje AC conformado por tiristores es relativamente eficiente, ya que se basa en el principio de bloqueo cuando la energía no es deseada, en lugar de disipar a través del dispositivo de control como lo hace el método de arranque de resistencia en serie con el estator, y también ofrece un sistema que es más ligero y pequeño que los métodos convencionales.

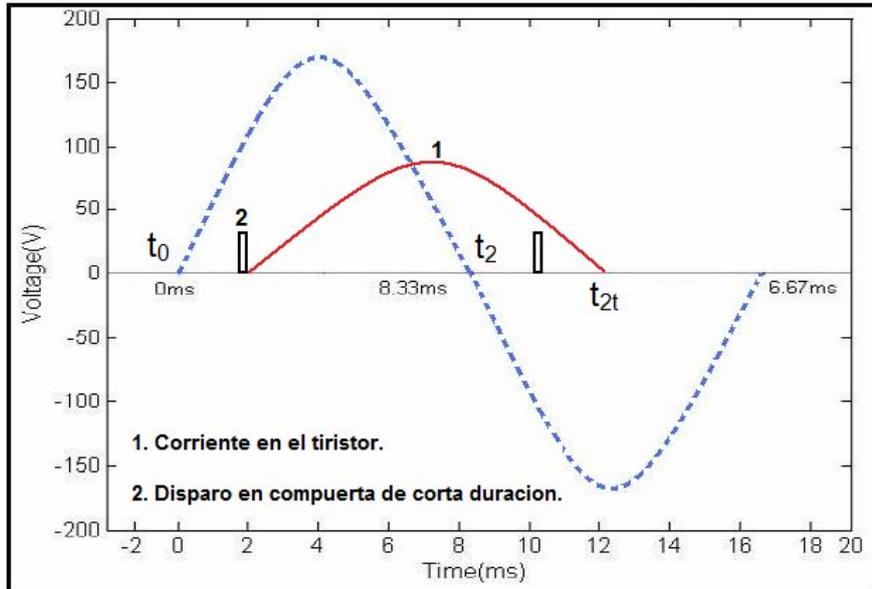
El tiempo que el SCR conduce de más allá de π cuando la carga es inductiva, como se observa en la figura 7 como por ejemplo teniendo un motor como carga es un inconveniente, porque para cargas resistivas la señal inyectada en compuerta del SCR puede ser un pulso de corta duración, pero ahora esto no será apropiado.

Como se observa en la figura 7 cuando se dispara el SCR2 (ángulos de retraso entre 180 y 359 grados) que va a controlar el semiciclo negativo de la señal de voltaje de entrada el SCR1 (ángulos de retraso entre 0 y 179 grados) que controla el semiciclo positivo continua conduciendo la corriente a la carga hasta que esta sea cero en mas allá de $t_2 = \pi$ (pi), este fenómeno es debido a la inductancia de la carga. En el momento que el SCR1 del deja de conducir el pulso en compuerta del SCR2 no está activo y como consecuencia el SCR2 no se activara. Dando como resultado una señales asimétricas de voltaje y corriente a la salida.

Para solucionar este inconveniente se utiliza un tren de pulsos que empieza en el ángulo de retraso de disparo del SCR y terminan en el siguiente cruce por cero de la señal de voltaje de entrada ver figura 8. No es recomendable reemplazar el tren

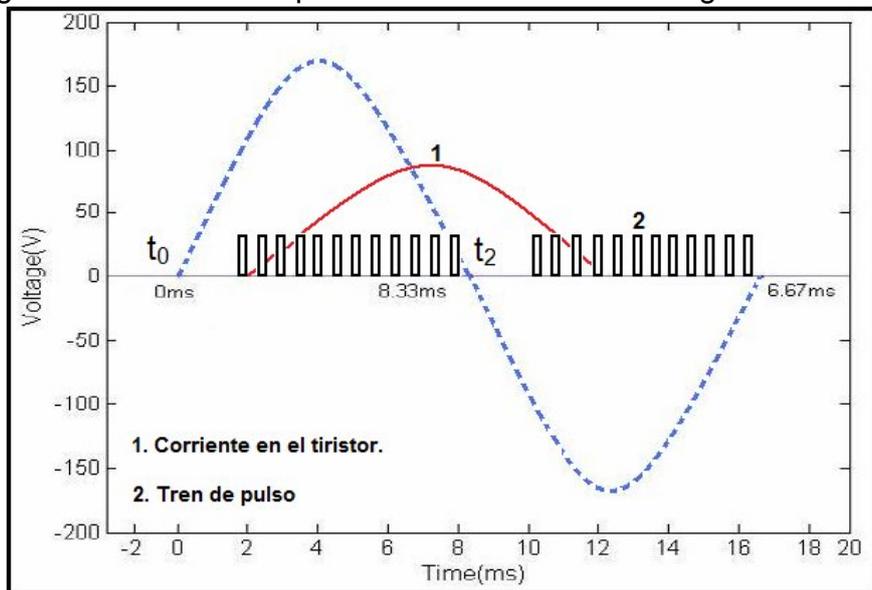
de pulsos por un pulso continuo de larga duración porque “aumenta la pérdida de conmutación de los tiristores”²

Figura 7 Forma de onda de la corriente con carga inductiva.



Fuente: Los autores

Figura 8 Solución al disparo del tiristor cuando la carga es inductiva.



Fuente: Los autores

² Muhammad H. Rashid. Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones. 3ª edición Pearson Education. México. Pag. 200.

2.1.1 Importancia de una red SNUBBER.

Los semiconductores presentan en sus hojas de especificaciones del fabricante unos límites de voltaje y corriente, son tan estrictos que si se superan el dispositivo se puede dañar.

“La red $R_s C_s$ se utiliza para el control de los transitorios de voltaje, estos pueden encender falsamente al tiristor. Esta red se llama Snubber que ayuda a la conmutación, su principal función es absorber la energía de los elementos reactivos. La red Snubber es simple, consiste en una resistencia y un condensador en serie, ubicados en paralelo con el tiristor. Estos componentes con una carga inductiva forman un circuito RLC Siguiendo la teoría de la ecuación diferencial.

Muchas combinaciones de $R_s C_s$ proporcionan resultados aceptables sin embargo, circuitos Snubber calculados de forma inadecuadamente causan falsos gatilleos y un daño al dispositivo semiconductor.

No hay método sencillo para la selección de la resistencia R_s y el condensado C_s de la red Snubber que se requieren para limitar la conmutación de dV/dt . En activación y desactivación del tiristor el circuito recibe un impulso de la tensión de línea que depende del factor de potencia de la carga. El valor de R_s y C_s puede variar dependiendo de la carga. El valor de C_s se puede aumentar para reducir la conmutación de dV/dt , R_s puede amentarse para reducir la resonancia, aumentar la amortiguación, con el objetivo de acercarlos a la ficha de datos del tiristor.

2.1.2 Que es la estática dV/dt

Es una medida de la capacidad del tiristor de mantenerse en estado bloqueado bajo influencias de tensiones transitorias.

2.1.3 Mejorar el dV/dt .

Los mayores dV/dt son causados por los cruce por cero de la línea de alimentación o cuando no hay tensión inicial en todo el tiristor. La estática dV/dt puede ser mejorada con una resistencia externa en la compuerta, esta proporciona un camino de fuga a los dV/dt , corrientes inducidas por el circuito de control o por el mismo tiristor. Algunos dispositivos no sensibles han

cortocircuitado una resistencia, con esta característica de diseño mejora la inmunidad al ruido y a altas temperaturas.”³

2.2 CONTROLADOR O REGULADOR DE VOLTAJE DE AC TRIFÁSICO

En una red trifásica se pueden usar diferentes configuraciones para controlar o regular el flujo de potencia a la carga, que también, al igual que los monofásicos puede ser de dos tipos unidireccional o bidireccional, estos se pueden ver de las figuras 9 a la 14; Las configuraciones de los circuitos de las figuras 9, 13, y 14 son los más usados para carga conectadas en estrella o en delta. En el caso de la figura 13 solo fluye la corriente de línea y no hay corriente fluyendo por el neutro, por lo tanto, dos tiristores de diferentes fases deben conducir al mismo tiempo. El análisis de controladores AC monofásico es válido para el trifásico.

Una característica importante para la configuración del circuito de la figura 14 que los SCR's están dentro de la carga conectada en delta, es que reduce la corriente nominal de los tiristores por $\sqrt{3}$ en comparación con la configuración del circuito de la figura 9 conexión en Y. En la figura 14 en ocasiones los SCR se pueden remplazar por Triac's, esta razón se explica con más detalle en el capítulo de diseño del arrancador suave. Sin embargo, el voltaje nominal es básicamente el mismo. Para este circuito los seis bornes de la carga como por ejemplo un motor deben estar disponibles para ser conectados.

A continuación se tomará como referencia la configuración del circuito de la figura 9 para explicar el funcionamiento del regulador AC trifásico con carga resistiva. Como se puede apreciar en la figura 9 el circuito no tiene neutro y por ende se debe trabajar con las tensiones de línea y para hacer los disparos de los SCR se tiene como referencia la tensión V_{AB} .

Las tensiones de línea están dadas por:

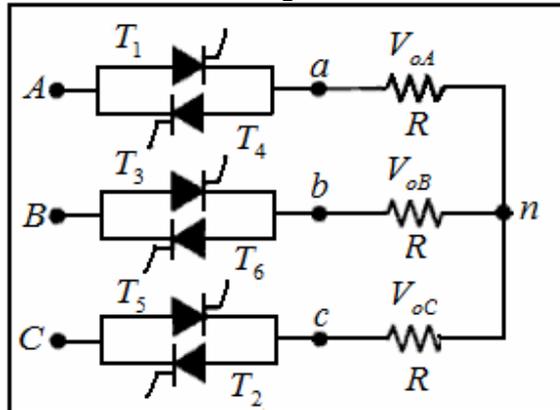
$$V_A = \sqrt{2}V \text{sen} \omega t \quad (1)$$

$$V_{AB} = (\sqrt{3}\sqrt{2}V) \text{sen} \left(\omega t + \frac{\pi}{6} \right) \quad (2)$$

$$V_{AC} = (\sqrt{3}\sqrt{2}V) \text{sen} \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) \quad (3)$$

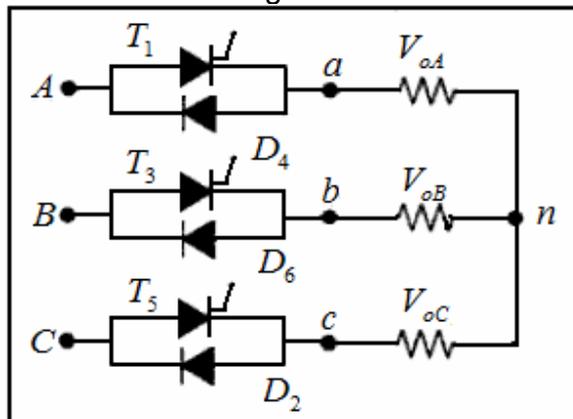
³On Semiconductor. Thyristor Device Data. Triac's, SCR's, Surge Suppressors, and Triggers. Rev. 7, May-2000. Pág. 159.

Figura 9 Configuración del circuito de regulador AC bidireccional conectado en Y.



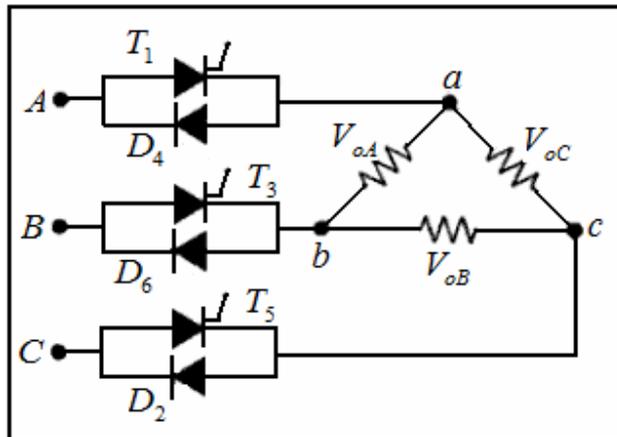
Fuente: Muhammad H. Rashid. Power Electronics Handbook. International Standard Book Number 0-12-581650-2 .Academic Press.Canadá.

Figura 10 Configuración del circuito regulador AC unidireccional conectado en Y.



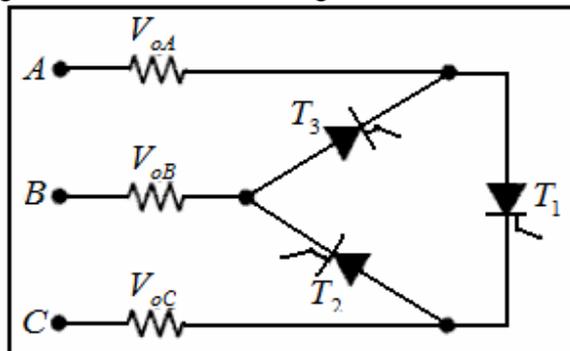
Fuente: Muhammad H. Rashid. Power Electronics Handbook. International Standard Book Number 0-12-581650-2 .Academic Press.Canadá.

Figura 11 Configuración del circuito regulador AC unidireccional conectado en delta.



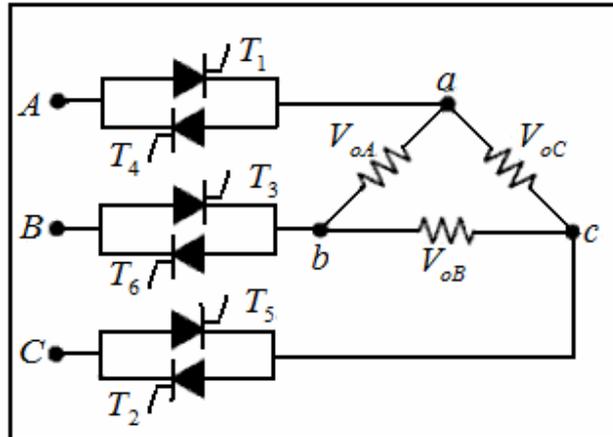
Fuente: Muhammad H. Rashid. Power Electronics Handbook. International Standard Book Number 0-12-581650-2 .Academic Press.Canadá.

Figura 12 Configuración del circuito regulador AC conectado en polígono.



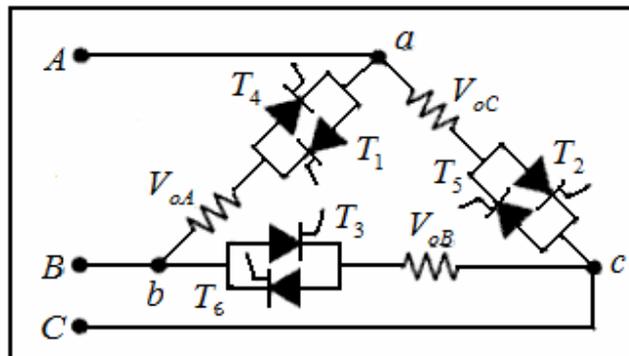
Fuente: Muhammad H. Rashid. Power Electronics Handbook. International Standard Book Number 0-12-581650-2 .Academic Press.Canadá.

Figura 13 Configuración del circuito regulador AC bidireccional conectado en delta.



Fuente: Muhammad H. Rashid. Power Electronics Handbook. International Standard Book Number 0-12-581650-2 .Academic Press.Canadá.

Figura 14 Configuración del circuito regulador AC bidireccional tiristores dentro del delta.



Fuente: Muhammad H. Rashid. Power Electronics Handbook. International Standard Book Number 0-12-581650-2 .Academic Press.Canadá

El flujo de la corriente hacia la carga es controlado por medio de los SCR T_1 , T_3 , T_5 y la trayectoria de regreso es controlada por los SCR T_2 , T_4 , T_6 . La secuencia de los disparos es T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 , T_6 . Para que pueda circular corriente en la carga dos o tres tiristores de diferentes fases deben conducir al tiempo y un único pulso en las compuertas no es acertado porque los tiempos de conmutación instantánea en cada tiristor son diferentes. Cuando es carga inductiva el comportamiento de la corriente es igual al monofásico, lo que se recurre a un tren de pulsos como disparo en compuerta. Para una carga resistiva, el tiristor puede conducir el voltaje de línea solo hasta 180° . La conducción puede comenzar en 30° y terminar en 180° , entonces el rango del ángulo conducción del tiristor (α) es de solo 150° .

Para mantener el equilibrio o balance de la corriente de línea, es necesario hacer disparos simétricos a los tiristores. Por lo tanto, la secuencia de disparo para el grupo que controlan la corriente de ida (T_1, T_3, T_5) es; α , α más 120° y α más 240° respectivamente, y similarmente ocurre con los tiristores que controlan la corriente de regreso (T_2, T_4, T_6) es; α más 180° , α más 300° y α más 420° o α más 60° .

Dependiendo del valor del ángulo de conducción α , hay tres diferentes modos de conmutación de las tiristores. Es importante recordar que mínimo dos tiristores deben conducir al tiempo, que sus disparos tienen una separación de 60° , y dependiendo del caso el tren de pulso de compuerta del tiristor debe llegar hasta el cruce por cero del voltaje de fase que está controlando, o conducir 30° más allá de este punto que se denomina disparo extendido, ósea que para un sistema regulador de AC trifásico con carga resistiva también es necesario emplear un tren de pulsos en la compuerta de cada uno de los tiristores como si la carga fuese inductiva.

Cuando se hace el pulso en compuerta de T_1 comienza a conducir en α y termina en 180° esto puede ser suficiente. Sin embargo, cuando α es mayor o igual a 120° ($\alpha \geq 120$) debe hacerse un disparo extendido que llega hasta 210° , como norma; para $\alpha < 120^\circ$ la duración del tren de pulso está dada por 180° menos α y en caso que sea $\alpha \geq 120^\circ$ estará dado por 210° menos α .

2.2.1 Modos de trabajo del los SCR con carga conectada en Y.

- **Modo I ($90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$)**

En este modo dos tiristores de diferentes fases conducen simultáneamente o existen periodos en los que ninguno conduce. Si $\alpha > 150^\circ$ solo un tiristor conduce y por tanto el voltaje en la carga será cero por no tener camino para que la corriente circule. Entonces los voltajes en la carga (V_{oa}, V_{ob}, V_{oc}) de la figura 9 pueden ser cero o la mitad del voltaje de línea (V_L). La salida es discontinua y la forma de onda es de dos pulsos de voltaje en cada semiciclo. El voltaje en la carga sería:

V_{oa} puede ser $\frac{1}{2} V_{AB}$ y $\frac{1}{2} V_{AC}$ o cero voltios.

V_{ob} puede ser $\frac{1}{2} V_{BC}$ y $\frac{1}{2} V_{BA}$ o cero voltios.

V_{oc} puede ser $\frac{1}{2} V_{CA}$ y $\frac{1}{2} V_{CB}$ o cero voltios.

El valor RMS del voltaje de carga se calcula por:

$$V_{an} = V_{OA} = \left[2 \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha + \left(\frac{5\pi}{6}\right)} \left(\frac{\sqrt{3}\sqrt{2}V}{2} \text{sen}\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \right)^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Por simplicidad, se referencia la función seno y sus límites son cambiados por $\pi/6$, el análisis se hace similar a un regulador AC monofásico:

$$\begin{aligned} V_{OA} &= \left[2 \frac{1}{\pi} \int_{\alpha + \frac{\pi}{6}}^{\pi} \left(\frac{\sqrt{3}\sqrt{2}V}{2} \text{sen}(\omega t) \right)^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \sqrt{3}V \left\{ \frac{1}{2\pi} \left[\pi - \alpha - \frac{\pi}{6} + \frac{1}{2} \text{sen}2\left(\alpha + \frac{\pi}{6}\right) \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &= V_L \left[\frac{1}{2\pi} \left(\frac{5\pi}{6} - \alpha + \frac{1}{4} \text{sen}2\alpha + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos 2\alpha \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5) \end{aligned}$$

- **Modo II ($60^\circ \leq \alpha < 90^\circ$).**

En este modo dos tiristores de diferente fase siempre conducen, por lo tanto el voltaje de carga es siempre $\frac{1}{2} V_L$, el voltaje en las cargas son:

V_{oa} puede ser $\frac{1}{2} V_{AB}$ y $\frac{1}{2} V_{AC}$.

V_{ob} puede ser $\frac{1}{2} V_{BC}$ y $\frac{1}{2} V_{BA}$.

V_{oc} puede ser $\frac{1}{2} V_{CA}$ y $\frac{1}{2} V_{CB}$.

El valor RMS del voltaje de carga se calcula por:

$$V_{OA} = \left(\left(2 \frac{1}{\pi} \right) \int_{\alpha}^{\alpha + \left(\frac{\pi}{3}\right)} \left[\frac{\sqrt{3}\sqrt{2}V}{2} \text{sen}\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \right]^2 d(\omega t) \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{2}{\pi} \int_{\alpha + \frac{\pi}{6}}^{\alpha + \frac{\pi}{2}} \left[\frac{\sqrt{3}\sqrt{2}V}{2} \text{sen}(\omega t) \right]^2 d(\omega t) \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= V_L \left[\frac{1}{2\pi} \left(\frac{\pi}{3} + \frac{3}{4} \text{sen}2\alpha + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos 2\alpha \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

• **Modo III ($0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$).**

Es este modo hay dos partes del análisis; el primero cuando hay tres tiristores de diferentes fases conduciendo simultáneamente generando un voltaje de carga similar al voltaje de fase de entrada y el segundo cuando solo lo hacen dos dispositivos y el voltaje en la carga será la mitad del voltaje de línea. Estas dos condiciones de conmutación se alternan.

Cuando conducen tres tiristores:

V_{oa} será el voltaje V_A .
 V_{ob} será el voltaje V_B .
 V_{oc} será el voltaje V_C .

Cuando conducen dos tiristores:

V_{oa} puede ser $\frac{1}{2} V_{AB}$ y $\frac{1}{2} V_{AC}$
 V_{ob} puede ser $\frac{1}{2} V_{BC}$ y $\frac{1}{2} V_{BA}$
 V_{oc} puede ser $\frac{1}{2} V_{CA}$ y $\frac{1}{2} V_{CB}$

El valor RMS del voltaje de carga se calcula por:

$$V_{OA} = \left\{ \frac{2}{\pi} \left[\int_{\alpha}^{\frac{\pi}{3}} V_A^2 d(\omega t) + \int_{\alpha}^{\alpha + \frac{\pi}{3}} \left(\frac{V_{AB}}{2} \right)^2 d(\omega t) + \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} V_A^2 d(\omega t) + \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\alpha + \frac{2\pi}{3}} \frac{V_{AC}}{2} d(\omega t) + \int_{\alpha + \frac{2\pi}{3}}^{\pi} V_A^2 d(\omega t) \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Donde:

$$V_A = \sqrt{2}V\text{sen}(\omega t)$$

$$V_{AB} = \sqrt{3}\sqrt{2}V\text{sen}\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$V_{AC} = \sqrt{3}\sqrt{2}V\text{sen}\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right)$$

Entonces:

$$V_{an} = V_{OA} = V_L \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\alpha}{2} + \frac{\text{sen}2\alpha}{4} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

La tabla1 muestra los principales parámetros de los controladores de voltaje de AC trifásicos usados con mayor frecuencia.

Tabla 1 Parámetros de convertidores de AC trifásico

Configuración (figura No)	Máximo ángulo de Control de Retardo (Grados)	Máxima corriente de línea de entrada	Máxima potencia de disipación en la carga	Tiristor		Corriente del tiristor	
				$\frac{V_{RWm}}{V_{AC}}$	$\frac{Peak}{I_{AC}}$	$\frac{Mean}{I_{AC}}$	$\frac{RMS}{I_{AC}}$
9	150	$\frac{V_{AC}}{\sqrt{3}R}$	$3I_{AC}^2R$	1.225	1.414	0.45	0.707
13	150	$\frac{\sqrt{3}V_{AC}}{R}$	I_{AC}^2R	1.225	1.414	0.45	0.707
14	180	$\frac{\sqrt{3}V_{AC}}{R}$	I_{AC}^2R	1.414	0.816	0.26	0.408

Fuente: Los autores

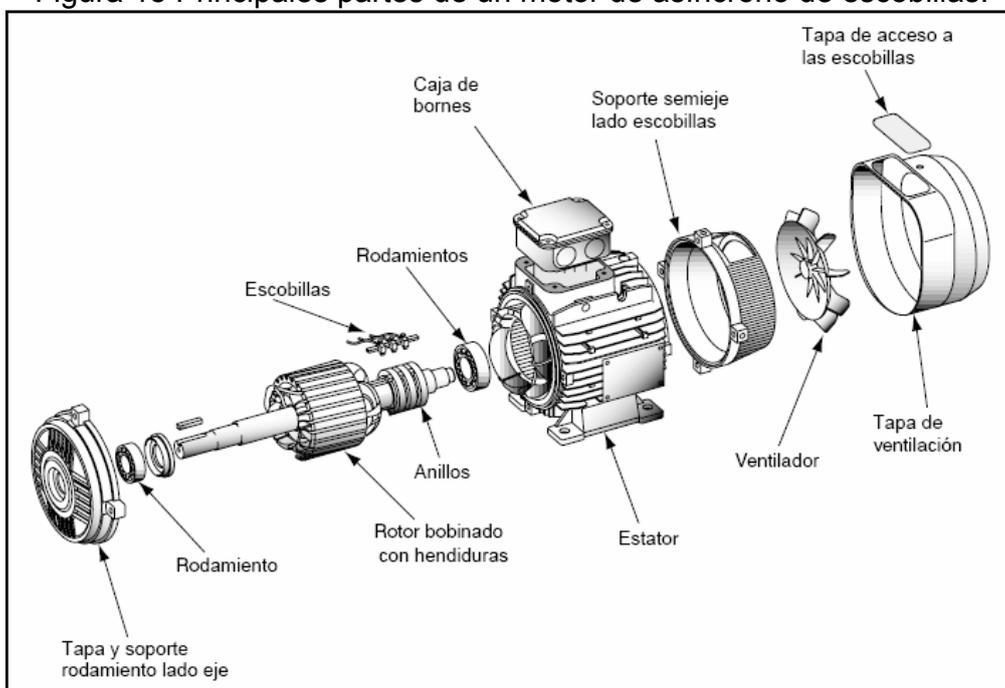
2.3 MOTOR DE INDUCCIÓN

La maquina eléctrica de inducción trifásica o asíncrona que se impone en un gran de numero de aplicaciones por las siguientes ventajas: Normalizados, robustos, fácil mantenimiento, fácil de instalar y bajo costo, se clasifica en dos formas según su arquitectura de funcionamiento, en la figura 15 se enseñan las partes principales del motor asíncrono de anillos, pero en la actualidad el elemento con más aplicación sobre todo en el arrastre de las maquinas en la industria es el motor asíncrono de jaula se muestra en la figura 16.

En las máquinas de inducción circulan corrientes alternas tanto en el estator como en el rotor. El devanado del estator es trifásico y de dos o más polos, similares a los que emplean las máquinas síncronas. El bobinado del rotor no tiene alimentación propia y puede ser de tipo bobinado o jaula de ardilla.

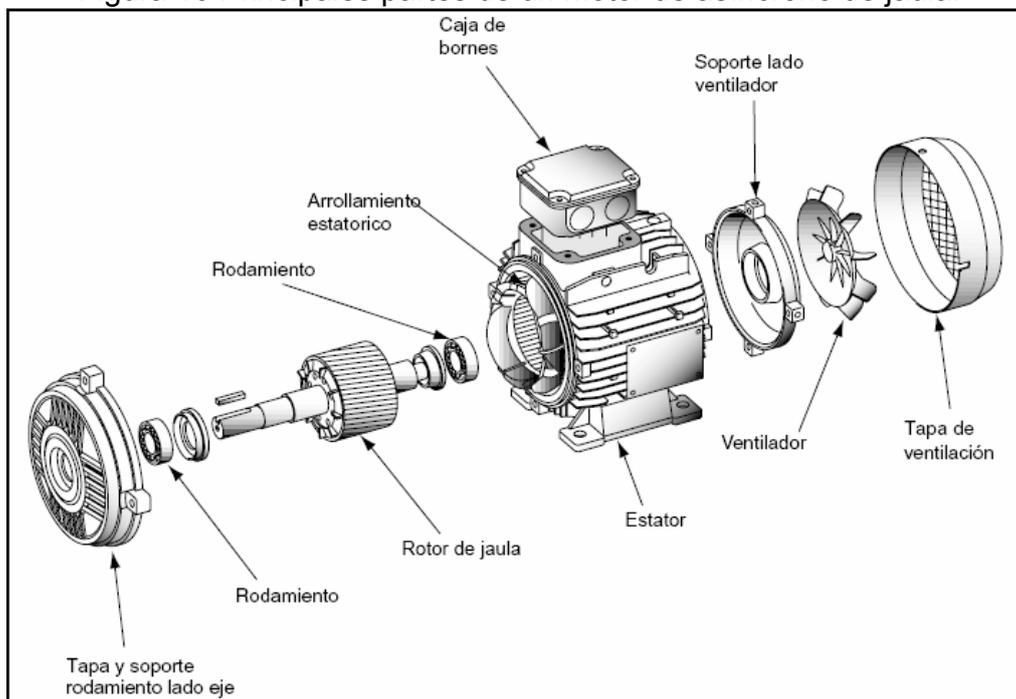
En un motor de inducción el rotor no recibe la energía por conducción sino por inducción. Por ende un motor de inducción es un transformador con un devanado secundario giratorio. En realidad no hay contactos móviles entre el estator y el rotor, a diferencia de los motores de corriente continua (CC) y síncronos donde ambos tienen doble alimentación.

Figura 15 Principales partes de un motor de asíncrono de escobillas.



Fuente: E. Gaucheron. Schneider Electric España, S.A. Cuaderno técnico. Los motores eléctricos mejorando su protección. Telemecanique. Edición marzo 2005.

Figura 16 Principales partes de un motor de asíncrono de jaula.



Fuente: E. Gaucheron. Schneider Electric España, S.A. Cuaderno técnico. Los motores eléctricos mejorando su protección. Telemecanique. Edición marzo 2005.

2.3.1 Estator del motor de inducción.

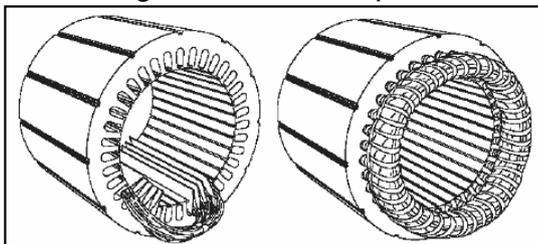
“Es la parte fija del motor. Una cubierta de acero o aleación ligera rodea una corona de laminas delgadas (del orden de 0,5 mm de grosor) de acero al silicio. Las láminas están aisladas entre sí por oxidación o mediante barnices aislantes como se muestra en la figura 17. El laminado del circuito magnético reduce las pérdidas por histéresis y por corrientes de Foucault o corriente parasitas.

Las láminas tienen unas ranuras en las que se colocan los arrollamientos estatóricos destinados a producir el campo giratorio (tres arrollamientos en caso de un motor trifásico).

Cada arrollamiento está constituido por varias bobinas. La forma de conexión de estas bobinas entre sí determina el número de pares de polos del motor, y por tanto, su velocidad de rotación.”⁴

⁴ E. Gaucheron. Schneider Electric España, S.A. Cuaderno técnico. Los motores eléctricos mejorando su protección. Telemecanique. Edición marzo 2005. Pag. 7.

Figura 17 Estator típico.

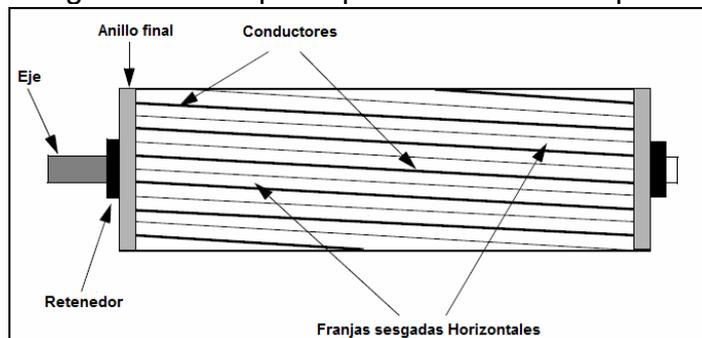


Fuente: Rakesh Parekh. AC induction Motor fundamentals. Microchip Technology Inc.2003

2.3.2 Rotor del motor de inducción.

“Es el elemento móvil del motor. Igual que el circuito magnético del estator, está constituido por un apilamiento de láminas finas aisladas entre sí y forman un cilindro alrededor del árbol o eje motor como se muestra en la figura 18. Este elemento, por su tecnología permite distinguir dos familias de motores asíncronos: uno, cuyo rotor se denomina de jaula, y otro, cuyo rotor bobinado, se denomina de anillos.

Figura 18 Principales partes de un rotor típico.



Fuente: Rakesh Parekh. AC induction Motor fundamentals. Microchip Technology Inc.2003

2.3.2.1 Rotor de jaula resistente.

El rotor resistente suele ser de jaula simple. La jaula está cerrada por dos anillos resistentes (aleación especial, poca sección, anillos de acero inoxidable). Estos motores a par nominal tienen un gran deslizamiento. Su par de arranque es elevado y la corriente de arranque es baja como se observa en la figura 19. El rotor tiene muchas pérdidas y trae como consecuencia que el rendimiento del motor sea bajo.

Estos motores se utilizan principalmente en aplicaciones donde es conveniente que exista deslizamiento para variar la velocidad en función del par, por ejemplo:

- En el caso de varios motores unidos mecánicamente entre los que debe quedar repartida la carga, como por ejemplo, los trenes de rodillos de una laminadora, o el arrastre de un puente grúa.
- La necesidad de un gran par de arranque y una corriente limitada (polipastos o cintas transportadoras).

2.3.2.2 Rotor de jaula simple.

En los huecos o muescas dispuestas a lo largo del rotor se colocan conductores conectados en cada extremo a una corona metálica; estos conductores desarrollan el par motor generado por el campo giratorio. Para que el par sea homogéneo, los conductores están ligeramente inclinados respecto al eje del motor. El conjunto tiene el aspecto de una jaula de ardilla, de ahí el nombre de este tipo de rotor.

Generalmente, la jaula de ardilla está completamente moldeada (únicamente se fabrican estas jaulas insertando los conductores en las ranuras en el caso de motores muy grandes). El aluminio se inyecta a presión, y las aletas de refrigeración, colocadas en la misma operación, aseguran el cortocircuito de los conductores del rotor.

Estos motores tienen un par de arranque relativamente bajo y la corriente de arranque es superior a la nominal figura 19, Por el contrario, tienen un deslizamiento muy pequeño a par nominal.

Se utilizan principalmente para grandes potencias para mejorar el rendimiento de las instalaciones con bombas y ventiladores. Se asocian también a los convertidores de frecuencia de velocidad variable, con lo que los problemas de par y de corriente de arranque quedan completamente resueltos.

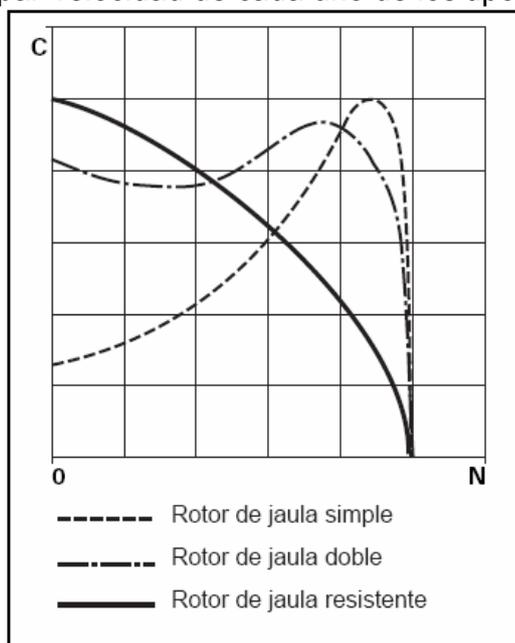
2.3.2.3 Rotor de doble jaula.

Consta de dos jaulas concéntricas, una exterior, de poca sección con gran resistencia y otra interior de mayor sección con menor resistencia. En el inicio del arranque, las corrientes rotóricas son de frecuencia elevada y por el efecto pelicular que se produce la totalidad de la corriente rotórica circula por la periferia del rotor y por tanto por una sección reducida en los conductores. Así, al principio del arranque, siendo todavía las corrientes de frecuencia elevada,

la corriente no circula más que por la caja exterior. El par producido por la jaula exterior resistente es importante y con baja corriente figura 19.

Al final del arranque, la frecuencia en el rotor disminuye y resulta más fácil la circulación del flujo por la jaula interior. El motor se comporta entonces aparentemente como si hubiera sido construido como una única jaula de baja resistencia. En régimen permanente, la velocidad es solamente un poco menor que la de un motor de jaula simple.

Figura 19 curvas par-velocidad de cada uno de los tipos de rotor de jaula.



Fuente: E. Gaucheron. Schneider Electric España, S.A. Cuaderno técnico. Los motores eléctricos mejorando su protección. Telemecanique. Edición marzo 2005.

2.3.2.4 Rotor de ranuras profundas.

Es la versión estándar. Los conductores rotóricos se moldean en las ranuras del rotor, que tienen forma trapezoidal, con el lado menor del trapecio situado hacia el exterior del rotor. El funcionamiento es similar al de un motor de doble jaula: la intensidad de corriente rotórica varía en función inversa de su frecuencia. Así:

- Al principio del arranque, el par es mayor y la corriente menor.
- En régimen permanente, la velocidad es sensiblemente igual a la de un motor de jaula simple.

2.3.2.5 Rotor con anillos (motor de rotor bobinado).

En las ranuras practicadas en la periferia del rotor se colocan unos bobinados idénticos a los del estator. Generalmente el rotor es trifásico. Un extremo de cada uno de los arrollamientos se conecta a un punto común (conexión estrella).

Los extremos libres pueden conectarse o a un conector centrífugo o a tres anillos de cobre, aislados que giran con el rotor. Sobre estos anillos frotan unas escobillas, a base de grafito, conectadas al dispositivo de arranque. En función del valor de las resistencias insertadas en el circuito rotórico, este tipo de motor puede desarrollar un par de arranque que llega hasta 2,5 veces el par nominal.

La corriente de arranque es casi proporcional al par desarrollado en el eje del motor. Esta solución deja paso progresivamente a los sistemas electrónicos asociados a motores de jaula estándar. En efecto, estos últimos permiten resolver los problemas de mantenimiento (sustitución de las escobillas de alimentación del rotor gastadas, y mantenimiento de las resistencias de arranque), reducir la energía disipada en las resistencias y mejorar de manera importante el rendimiento de la instalación.

2.3.3 Deslizamiento de una maquina de inducción.

No puede existir par motor si no existe corriente inducida circulando por la espira. Este par depende de la corriente que circula por la espira, y no puede existir si no existe variación de flujo en la espira. Por tanto, es necesario tener una diferencia de velocidad entre la espira y el campo giratorio. Por este motivo, el motor eléctrico que funciona según este principio se denomina motor asíncrono. La diferencia entre la velocidad de sincronismo (N_s) y la de la espira (N) se denomina deslizamiento (g) y se expresa en % de la velocidad de sincronismo.

$$g = [(N_s - N) / N_s] \times 100$$

Durante el funcionamiento, la frecuencia de la corriente rotórica se obtiene multiplicando la frecuencia de alimentación por el deslizamiento. Por tanto, durante el arranque, la frecuencia de corriente rotórica es la máxima.

El deslizamiento en régimen permanente es variable y depende de la carga del motor y del valor de la tensión de alimentación que se le aplica: es tanto menor cuanto menor es la carga, y aumenta si el motor está subalimentado.”⁵

⁵ E. Gaucheron. Schneider Electric España, S.A. Cuaderno técnico. Los motores eléctricos mejorando su protección. Telemecanique. Edición marzo 2005. Pag. 6.

Cuando se conocen todos los parámetros del modelo de una maquina de inducción y la fuente de alimentación, el deslizamiento determina el punto de operación. Por esta razón se utiliza esta variable para definir el estado de la maquina.

2.3.4 Características par-velocidad del motor de inducción.

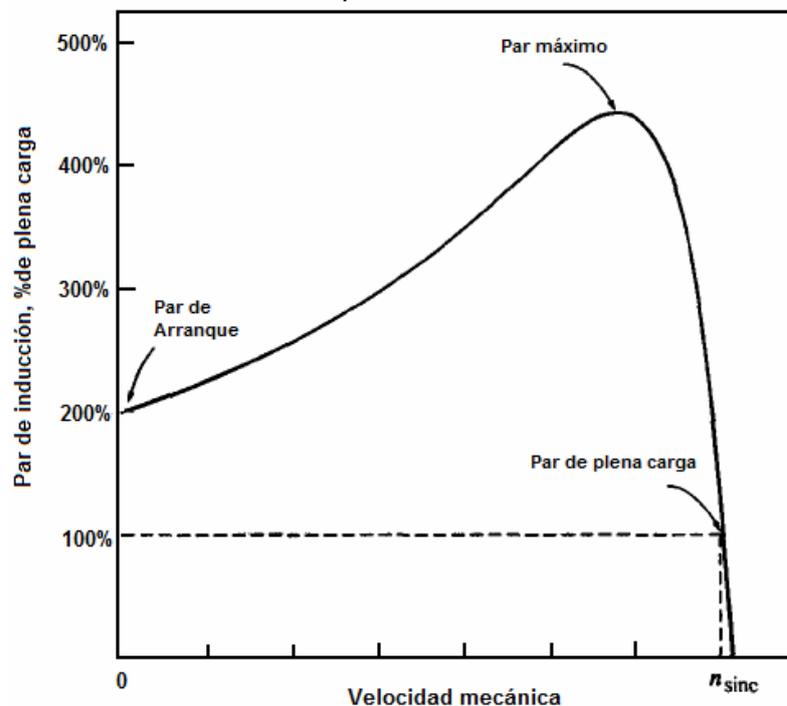
La curva característica de par-velocidad del motor de inducción figura 20 y 21 provee varios elementos de información importantes sobre la operación de los motores de inducción.

“El par inducido del motor es cero a la velocidad síncrona.

La curva par- velocidad es aproximadamente lineal entre vacío y plena carga; ya que cuando crece el deslizamiento, crecen linealmente: la corriente rotórica, el campo magnético del rotor, y el par inducido.

El par máximo o de desviación, equivale a 2 ó 3 veces el par nominal y no puede ser excedido.

Figura 20 Curva característica par-velocidad de un motor de inducción.



Fuente: Stephen S. Chapman. Maquinas Eléctricas. 3ª edición. Mc Graw Hill. Colombia. 2000.

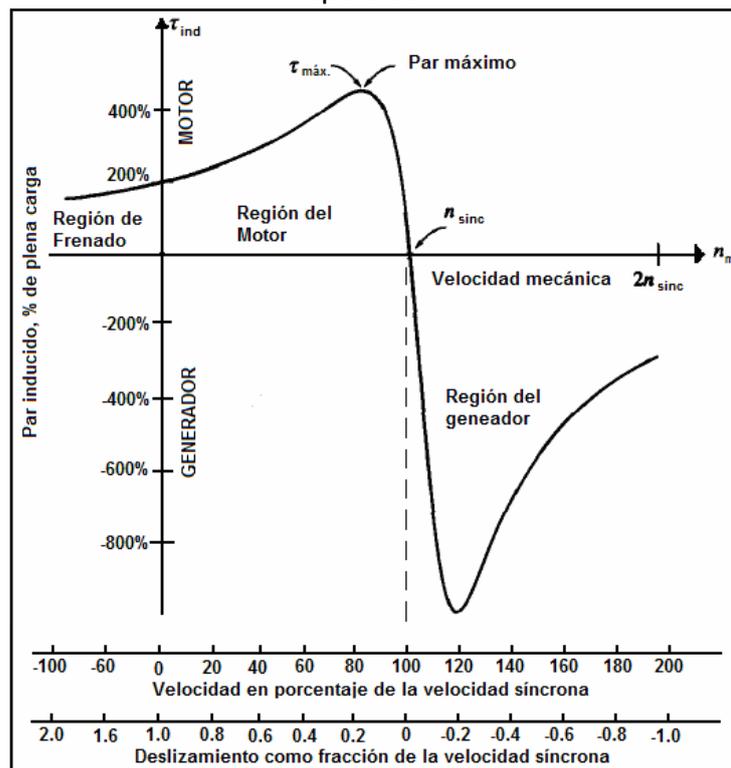
El par de arranque es ligeramente mayor al par de plena carga, de modo que el motor arrancará portando cualquier carga que pueda alimentar a plena potencia.

Para un deslizamiento dado, el par inductivo varia con el cuadrado del voltaje aplicado. Este hecho es de utilidad para el control de la velocidad de los motores de inducción.

La máquina de inducción opera como generador en contadas ocasiones, porque la operación en este régimen no es eficiente, esto ocurre cuando la velocidad del rotor es mayor que la síncrona.

Para frenar con rapidez el motor, se conmutan dos fases, que significa invertir la dirección de rotación del campo magnético⁶.

Figura 21 Curva par-velocidad que muestra los rangos extendidos de operación.



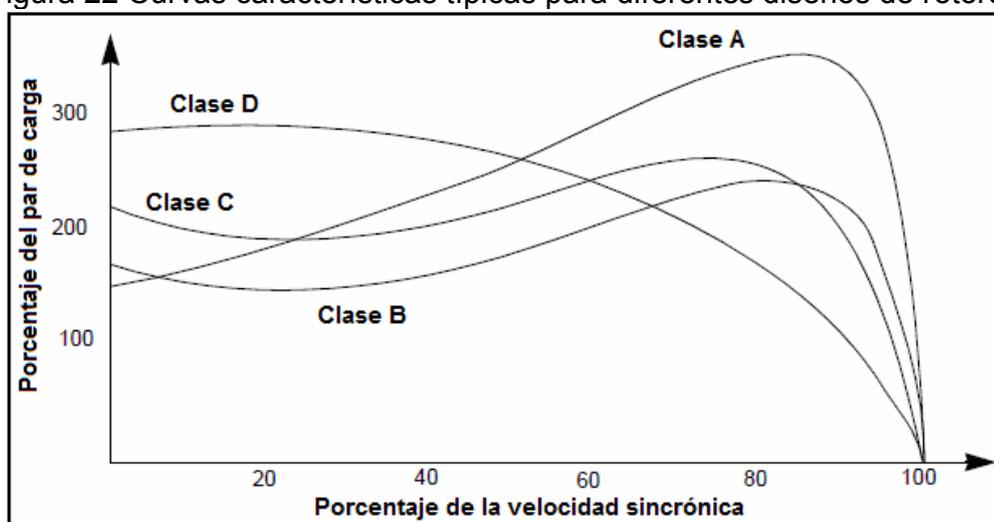
Fuente: Stephen S. Chapman. Maquinas Eléctricas. 3ª edición. Mc Graw Hill. Colombia. 2000.

⁶ Stephen S. Chapman. Máquinas Eléctricas. 3ª edición. Mc Graw Hill. Pág. 419.

2.3.5 Clases de diseño de motores de inducción.

“La National Electric Manufacturers association (NEMA) en los Estados Unidos y la International electrotechnical Comision (IEC) en Europa, han desarrollado un sistema de identificación mediante letras para los motores comerciales. Es posible producir gran variedad de curvas par-velocidad como se muestra en la figura 22, cambiando las características del rotor de los motores de inducción. Para ayudar a la industria a seleccionar de modo adecuado los motores destinados a diversas aplicaciones en el rango completo de caballos de fuerza.

Figura 22 Curvas características típicas para diferentes diseños de rotores.



Fuente: Rakesh Parekh. AC induction Motor fundamentals. Microchip Technology Inc.2003

2.3.5.1 Diseño clase A.

Son de diseño estándar, con un par de arranque normal, corriente de arranque normal y bajo deslizamiento. El deslizamiento a plena carga de los motores de clase A debe ser menor de 5%. El par Máximo equivale entre 200 y 300% del par de plena carga y ocurre a un bajo deslizamiento (menor de 20%). El par de arranque de este diseño equivale por lo menos, al nominal de los motores grandes y es 200% o más del par nominal de los motores pequeños. El problema principal de esta clase de diseño es la extremadamente alta corriente de irrupción en el arranque. Los flujos de corriente en el arranque equivalen a entre 500 y 800% de la corriente nominal. Si la potencia sobrepasa 7.5 hp, se debe utilizar alguna forma de arranque en él, para evitar problemas de caída de voltaje en el sistema de potencia al cual se hallan conectados. Estos motores se utilizan en ventiladores, sopladores, bombas, tornos y otras maquinas.

2.3.5.2 Diseño clase B.

Se les llama motores de propósito general y a este tipo pertenecen la mayoría de los motores con rotor de jaula de ardilla, tienen par de arranque normal, baja corriente de arranque y bajo deslizamiento. Este motor produce casi el mismo par de arranque que el motor de clase A con cerca de 25% menos corriente. El par máximo es mayor o igual a 200% del par de carga nominal, pero menor que el del diseño clase A, debido al aumento de la reactancia del rotor. El deslizamiento del rotor es relativamente bajo (menor del 5%), aun a plena carga. Las aplicaciones son similares a las de los motores de diseños clase A, pero los de diseño clase B son preferidos debido a que requieren poca corriente de arranque. Los motores de diseño clase B han reemplazado ampliamente a los motores de diseño clase A en las nuevas instalaciones.

2.3.5.3 Diseño clase C.

Tienen alto par de arranque con baja corriente de arranque y bajo deslizamiento (menor del 5%) a plena carga. El par máximo es un poco menor que el de los motores clase A, mientras que el par de arranque es hasta 250% del par de plena carga. Estos motores son construidos con rotores de doble jaula; por tanto, son más costosos que los de clase A y B. se utilizan para cargas con alto par de arranque, como bombas, compresor y transportador.

2.3.5.4 Diseño clase D.

Tienen alto par de arranque (275% o más del par nominal) y una baja corriente de arranque, pero también tiene alto deslizamiento a plena carga. En esencia son motores de inducción clase A comunes, pero las barras de rotor son más pequeñas y la resistencia del material es más elevada. La alta resistencia del rotor desplaza el par máximo hacia una velocidad muy baja. También es posible que el par máximo ocurra a velocidad cero (100% de deslizamiento). Estos motores se utilizan en aplicaciones que requieren acelerar cargas de inercia muy altas, en especial grandes volantes utilizados en troqueladoras o en cortadoras.

Además de estos cuatro diseños, NEMA reconoció las clases de diseño E y F que fueron llamadas motores de inducción de arranque suave. Estos diseños se distinguieron por tener muy bajas corrientes de arranque y se utilizaron para cargas de bajo par de arranque en situaciones en que las corrientes de arranque eran un problema. Estos diseños están obsoletos hoy en día⁷.

⁷ Bhag S. Guru, Huseyin R. Hiziroglu. Máquinas Eléctricas y Transformadores. 3ª edición. Oxford university Press. Pág. 554.

2.3.6 Código NEMA para el motor de inducción.

El código se ha establecido para calcular la corriente del rotor cuando el motor se está arrancando. Este código establece el límite de la magnitud de la corriente que el motor puede tener en condiciones de arranque. Estos límites se han dado en términos de la potencia aparente de arranque del motor en función de sus caballos de fuerza. La Tabla 1 muestra el arranque en KVA por caballos de fuerza para cada letra del código. La letra de código NEMA indica el rango en kilovoltio amperio por caballo de fuerza para un motor. Cada letra del código se extiende hasta, pero no incluye, el límite inferior de la próxima clase. La corriente de arranque de un motor de inducción se puede determinar:

$$I_L = \frac{(\text{Caballos_de_fuerza})(\text{factor_del_codigo_de_Letras})}{\sqrt{3}(\text{voltaje_No\ min\ al})} \quad (9)$$

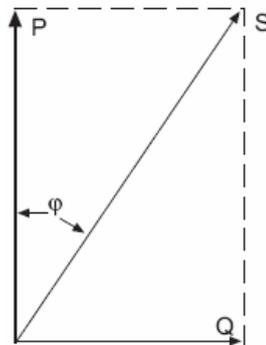
Tabla 2 Arranque en KVA/hp para cada letra del código NEMA.

Código de letra	Rotor bloqueado kVA/hp	Código de letra	Rotor bloqueado kVA/hp
A	0 - 3.15	L	9.00 - 10.00
B	3.15 - 3.55	M	10.00 - 11.20
C	3.55 - 4.00	N	11.20 - 12.50
D	4.00 - 4.50	P	12.50 - 14.00
E	4.50 - 5.00	R	14.00 - 16.00
F	5.00 - 5.60	S	16.00 - 18.00
G	5.60 - 6.30	T	18.00 - 20.00
H	6.30 - 7.10	U	20.00 - 22.40
J	7.10 - 8.00	V	22.40 – adelante
K	8.00 - 9.00		

2.3.7 Factor de potencia en los motores de inducción trifásico.

El factor de potencia es la diferencia de fase medida entre la tensión y la corriente en un circuito de voltaje AC por el coseno del ángulo. Un motor como el de inducción siempre consume potencia activa, que es convertida en movimientos mecánicos. La potencia reactiva no tiene ninguna acción, pero es necesaria para la magnetización de la maquina. En la figura 23 se muestra el diagrama de potencia activa (P) y potencia reactiva (Q) que dan como resultado la potencia S. La relación entre potencia activa que se da en KW y la potencia reactiva que se da en KVA se conoce como factor de potencia, un valor normal de este factor es entre 0.7 y 0.9.

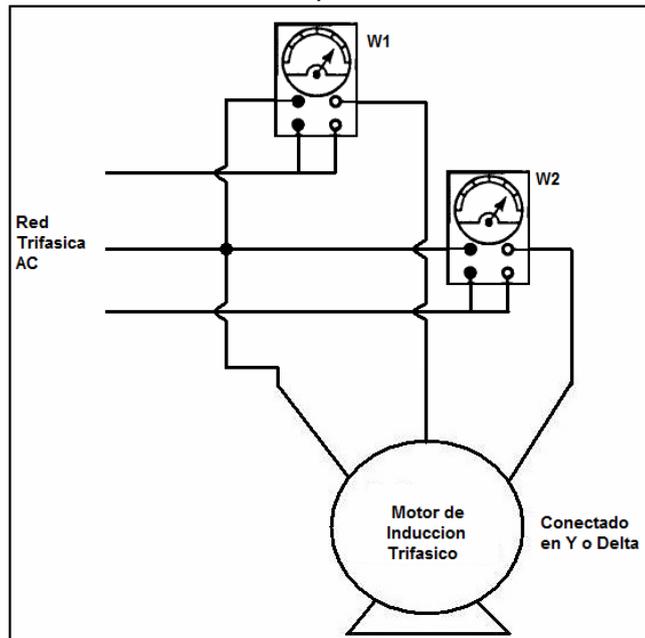
Figura 23 Diagrama indicador de potencia activa, reactiva y el $\cos\phi$.



Fuente: propia de los autores

Debido a la alta utilización de los motores de inducción trifásicos en la industria, es deseable conocer los consumos de energía y el punto de funcionamiento del factor de potencia de estas máquinas. Una sencilla técnica para determinar estos parámetros es el uso de dos vatímetros como se observa en la figura 24. Este método es para medir el factor de potencia, es una técnica para evaluar el motor de inducción trifásico y es útil cuando la placa está deteriorada y sus especificaciones no están visibles. La potencia de entrada es simplemente la suma de las dos lecturas de los vatímetros, el factor de potencia también se calcula a partir de estos dos valores. En la práctica, el método resulta ser bastante sencillo.

Figura 24 Método de dos vatímetros para la medición del factor de potencia.



Fuente: Los autores

Las lecturas de W_1 y W_2 son positivas cuando el motor se utiliza a plena carga. Para conocer la potencia de entrada y el factor de potencia se utilizan las siguientes formulas:

$$potencia_de_entrada = (W_1 + W_2) \quad (10)$$

$$\tan \theta = \sqrt{3} \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1 + W_2} \right) \quad (11)$$

$$Factor_de_potencia = \cos^{-1} \theta \quad (12)$$

Conectar un motor como carga en una red eléctrica es importante tener en cuenta el factor de potencia del sistema. Los motores de inducción por si solos causan un retraso en el factor de potencia. Este factor del motor de inducción disminuye a medida que disminuye la carga.

2.3.8 Métodos de arranque de un motor de inducción.

“Cuando se utiliza una máquina de inducción para arrancar y accionar una carga mecánica a una velocidad determinada, es posible que sucedan tres situaciones diferentes:

El par eléctrico de arranque que suministra la máquina puede ser inferior al par mecánico que requiere la carga en reposo para comenzar a moverse. En esta situación la máquina no puede acelerar, el rotor está detenido o bloqueado. La corriente es varias veces la corriente nominal y si no se pone remedio a esta situación, la máquina corre un serio riesgo de dañarse por calentamiento excesivo.

El par eléctrico es exactamente igual al par de la carga. Esta situación tiene los mismos problemas que el primer caso. Si los pares, eléctrico y mecánico están equilibrados, no es posible acelerar la máquina.

El par eléctrico de arranque es mayor que el par mecánico de la carga. En estas condiciones, existe un par acelerante que permite incrementar la velocidad del rotor, hasta un punto de la característica par eléctrico-deslizamiento donde se equilibran los pares de la máquina y de la carga. Si la velocidad alcanzada en este punto es cercana a la velocidad sincrónica, la corriente disminuye a un nivel que permite la operación en régimen permanente.

Cuando la máquina opera en este punto, un pequeño incremento de la carga mecánica, reduce la velocidad e incrementa el par eléctrico de accionamiento, obteniéndose un nuevo punto de operación.

Un problema importante en la operación de la máquina de inducción es la elevada corriente que esta absorbe durante el proceso de arranque. La corriente de arranque de una máquina de inducción se encuentra entre tres y seis veces la corriente nominal de la máquina, y en algunas ocasiones aún más. La caída de tensión en los conductores de alimentación y en el sistema puede sobrepasar el máximo permitido. La tensión de alimentación de la máquina no debe estar nunca por debajo del 5% de su valor nominal, hay que recordar que el par eléctrico se reduce con el cuadrado de la tensión de alimentación, y la máquina puede ser incapaz de acelerar la carga mecánica.

Existen cargas mecánicas que a baja velocidad no ofrecen resistencia importante y su par mecánico se incrementa paulatinamente con la velocidad. En este caso es posible utilizar sistemas de arranque de la máquina de inducción a tensión reducida que contribuyen a disminuir la magnitud de la corriente en la máquina durante el proceso de aceleración. Un arranque a tensión reducida, incrementa el tiempo de aceleración de la máquina y su carga mecánica, pero las corrientes disminuyen en la misma proporción que la tensión aplicada.

Algunas máquinas de inducción que se utilizan en sistemas relativamente débiles, como puede ser el caso de los ascensores y elevadores residenciales, se diseñan con reactancias de dispersión muy grandes, para reducir la corriente durante el proceso de arranque a dos o tres veces la corriente nominal, disminuyendo de esta forma el impacto de los frecuentes arranques en el perfil de tensión de la red eléctrica.

Para reducir la corriente durante el proceso de aceleración de la carga mecánica se han utilizado varios sistemas. Estos arrancadores difieren unos de otros en el método de reducción de tensión. Algunos utilizan el cambio de conexiones de las bobinas de la máquina, otros utilizan transformadores o auto-transformadores y los más modernos se diseñan mediante convertidores electrónicos de potencia. Los arrancadores son costosos para ser aplicados a máquinas pequeñas, y el impacto de la corriente de arranque en estas máquinas no es importante ni para la máquina, ni para la red. Es necesario recordar que una máquina pequeña tiene una relación superficie-volumen muy grande y esto le permite disipar bien sus pérdidas.

En motores con jaula de ardilla se recurre, en general, al método de reducir la tensión aplicada al arranque, reduciéndose con esto la corriente de arranque y disminuyendo la carga reactiva de la red, también tiene la desventaja que el

par de partida, se reduce a su vez en forma proporcional al cuadrado de la tensión.”⁸

2.3.8.1 Arranque a plena tensión

“Se trata del modo de arranque más sencillo en el que el estator se acopla directamente a la red. El motor se basa en sus características naturales para arrancar. En el momento de poner el motor a la tensión, este actúa como un transformador cuyo secundario, formado por la jaula muy poco resistente del rotor, está en cortocircuito. La corriente inducida en el rotor es importante. La corriente primaria y la secundaria son prácticamente proporcionales. Por tanto, se obtiene una punta de corriente importante en la red:

$I_{\text{arranque}} = 5 \text{ a } 8 I_{\text{nominal}}$.

El par de arranque medio es:

$C_{\text{arranque}} = 0,5 \text{ a } 1,5 C_{\text{nominal}}$.

Las curvas de corriente y par al momento de hacer un arranque directo en línea a un motor de inducción se muestra en la figura 25.

A pesar de las ventajas que conlleva la sencillez del equipo, elevado par de arranque, arranque rápido y bajo costo, sólo es posible utilizar el arranque directo en los siguientes casos:

- La potencia del motor es débil con respecto a la de la red, para limitar las perturbaciones que provoca la corriente requerida.
- La máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico como por ejemplo un reductor que impide el arranque brusco.
- El par de arranque debe ser elevado.

Por el contrario, siempre que:

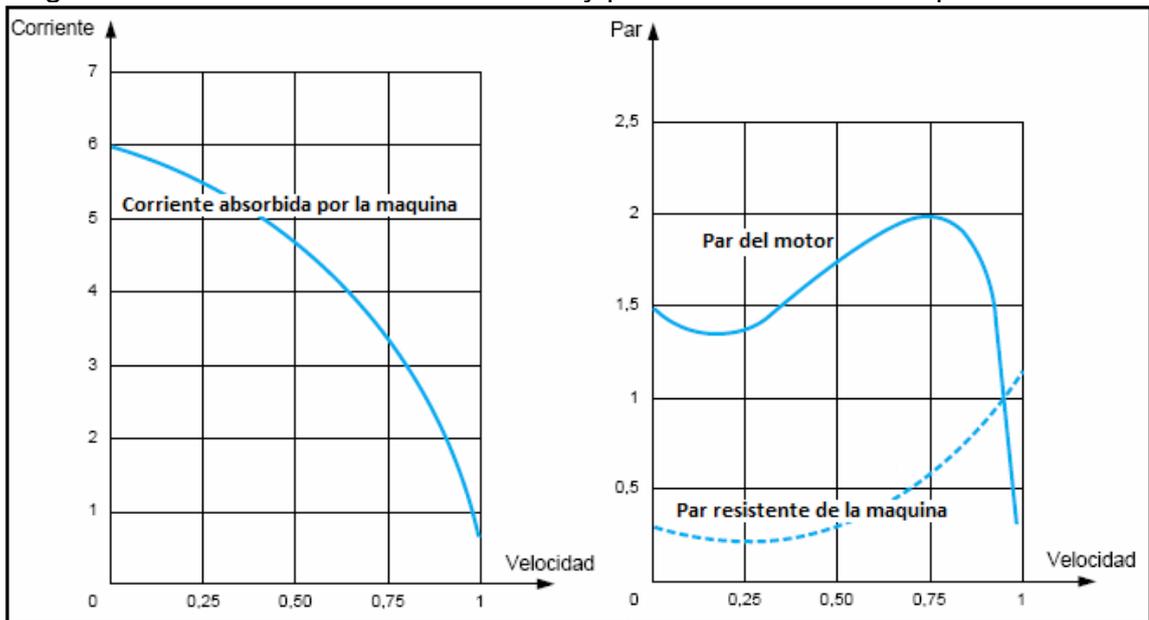
- La caída de tensión provocada por la corriente requerida pueda perturbar el buen funcionamiento de otros aparatos conectados a la misma línea.
- La máquina accionada no pueda admitir sacudidas mecánicas.

⁸ Prof. José Manuel Aller. Operación de las Maquinas de Inducción Capitulo 11. Conversión de Energía Eléctrica. Universidad Simón Bolívar. Colombia. Pág. 224.

- La seguridad o la comodidad de los usuarios se vea comprometida (por ejemplo, en el caso de las escaleras mecánicas),

Será imprescindible recurrir a disminuir la corriente o el par de arranque. En estos casos, el medio más utilizado consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida.

Figura 25 Curvas de corriente/velocidad y par/velocidad del arranque directo.



Fuente: Schneider Electric España, S.A. Manual electrotécnico. Tecnologías de control industrial. Telemecanique. Edición Junio 1999.

2.3.8.2 Arranque por autotransformador.

El motor se alimenta a tensión reducida mediante un autotransformador que, una vez finalizado el arranque, queda fuera del circuito. El arranque se lleva a cabo en tres tiempos:

En el primer tiempo, el autotransformador comienza por acoplarse en estrella y, a continuación, el motor se acopla a la red a través de una parte de los devanados del autotransformador. El arranque se lleva a cabo a una tensión reducida que se calcula en función de la relación de transformación. Generalmente, el transformador está dotado de tomas que permiten seleccionar la relación de transformación y, por tanto, el valor más adecuado de la tensión reducida.

Antes de pasar al acoplamiento a plena tensión, la estrella se abre. En ese momento, la fracción de bobinado conectada a la red crea una inductancia en serie con el motor. Esta operación se realiza cuando se alcanza la velocidad de equilibrio, al final del primer tiempo.

El acoplamiento a plena tensión interviene a partir del segundo tiempo, normalmente muy corto (una fracción de segundo). Las inductancias en serie con el motor se cortocircuitan y, a continuación, el autotransformador queda fuera del circuito.

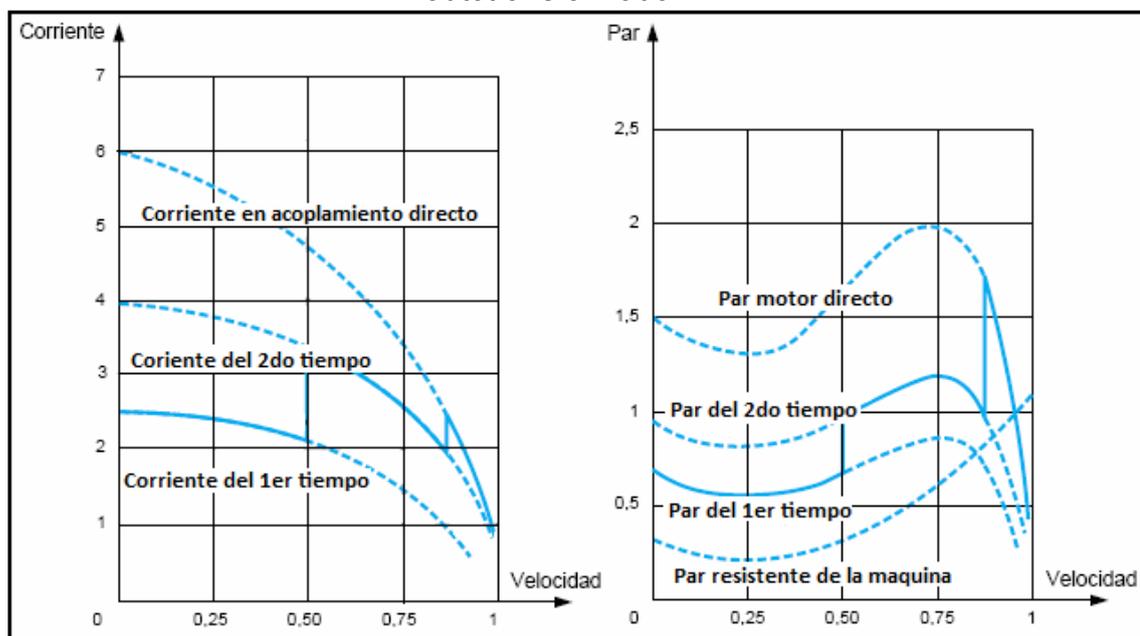
La corriente y el par de arranque varían en la misma proporción ver figura 26. Se dividen por $(U_{\text{red}} / U_{\text{reducida}})^2$ y se obtienen los valores siguientes:

$$I_d = 1.7 \text{ a } 4 I_n$$

$$C_d = 0.5 \text{ a } 0.85 C_n.$$

El arranque se lleva a cabo sin interrupción de corriente en el motor, lo que evita que se produzcan fenómenos transitorios. No obstante, si no se toman ciertas precauciones pueden aparecer fenómenos transitorios de igual naturaleza durante el acoplamiento a plena tensión. De hecho, el valor de la inductancia en serie con el motor tras la apertura de la estrella es importante si se compara con la del motor. Como consecuencia, se produce una caída de tensión considerable que acarrea una punta de corriente transitoria elevada en el momento del acoplamiento a plena tensión. El circuito magnético del autotransformador incluye un entrehierro que disminuye el valor de la inductancia para disminuir este problema. Dicho valor se calcula de modo que, al abrirse la estrella en el segundo tiempo, no haya variación de tensión en los bornes del motor. El entrehierro aumenta la corriente de magnetización del autotransformador. Dicha corriente aumenta la corriente solicitada en la red durante el primer tiempo del arranque. Este modo de arranque suele utilizarse en los motores con potencia superior a 100 Kw. Sin embargo, el precio de los equipos es relativamente alto debido al elevado costo del autotransformador.

Figura 26 Curvas de corriente/velocidad y par/velocidad del arranque por autotransformador.



Fuente: Schneider Electric España, S.A. Manual electrotécnico. Tecnologías de control industrial. Telemecanique. Edición Junio 1999.

2.3.8.3 Arranque por resistencia en el estator.

El principio consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida mediante la inserción de resistencias en serie con los devanados.

Una vez estabilizada la velocidad, las resistencias se eliminan y el motor se acopla directamente a la red. Normalmente, se utiliza un temporizador para controlar la operación. Durante este tipo de arranque, el acoplamiento de los devanados del motor no se modifica. Por tanto, no es necesario que las dos extremidades de cada devanado sobresalgan de la placa de bornes.

El valor de la resistencia se calcula en base a la punta de corriente que no se debe superar durante el arranque, o al valor mínimo del par de arranque necesario teniendo en cuenta el par resistente de la máquina accionada. Generalmente, los valores de corriente y de par de arranque son ver figura 27:

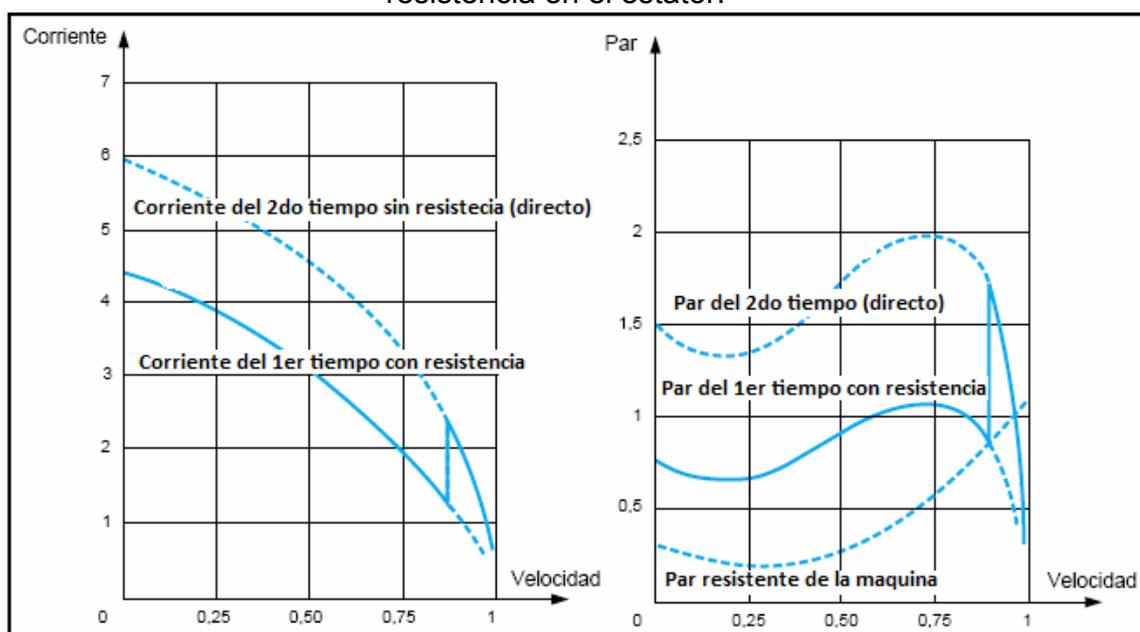
$$I_d = 4.5 I_n$$

$$C_d = 0.75 C_n.$$

Durante la fase de aceleración con las resistencias, la tensión que se aplica a las bornes del motor no es constante. Equivale a la tensión de la red menos la caída de tensión en la resistencia de arranque.

La caída de tensión es proporcional a la corriente absorbida por el motor. Dado que la corriente disminuye a medida que se acelera el motor, sucede lo mismo con la caída de tensión de la resistencia. Por tanto, la tensión que se aplica a las bornes del motor es mínima en el momento del arranque y aumenta progresivamente.

Figura 27 Curvas de corriente/velocidad y par/velocidad del arranque por resistencia en el estator.



Fuente: Schneider Electric España, S.A. Manual electrotécnico. Tecnologías de control industrial. Telemecanique. Edición Junio 1999.

Dado que el par es proporcional al cuadrado de la tensión de las bornes del motor, aumenta más rápidamente que en el caso del arranque estrella-triángulo, en el que la tensión permanece invariable mientras dura el acoplamiento en estrella. Este tipo de arranque es, por tanto, apropiado para las máquinas cuyo par resistente crece con la velocidad, por ejemplo los ventiladores.

Su inconveniente consiste en que la punta de corriente es relativamente importante durante el arranque. Sería posible reducirla mediante el aumento del valor de la resistencia, pero esta medida conllevaría una caída de tensión adicional en las bornes del motor y, por tanto, una considerable reducción del

par de arranque. Por el contrario, la eliminación de la resistencia al finalizar el arranque se lleva a cabo sin interrumpir la alimentación del motor y, por tanto, sin fenómenos transitorios.

2.3.8.4 Arranque Estrella-Delta.

Sólo es posible utilizar este modo de arranque en motores en los que las dos extremidades de cada uno de los tres devanados estatóricos vuelvan a la placa de bornes. Por otra parte, el bobinado debe realizarse de manera que el acoplamiento en triángulo corresponda con la tensión de la red: por ejemplo, en el caso de una red trifásica de 380 V, es preciso utilizar un motor bobinado a 380 V en triángulo y 660 V en estrella.

El principio consiste en arrancar el motor acoplando los devanados en estrella a la tensión de la red, lo que equivale a dividir la tensión nominal del motor en estrella por $\sqrt{3}$ (en el ejemplo anterior, la tensión de la red $380\text{ V} = 660\text{ V} / \sqrt{3}$). La punta de corriente durante el arranque se divide por 3: $I_d = 1,5$ a $2,6 I_n$.

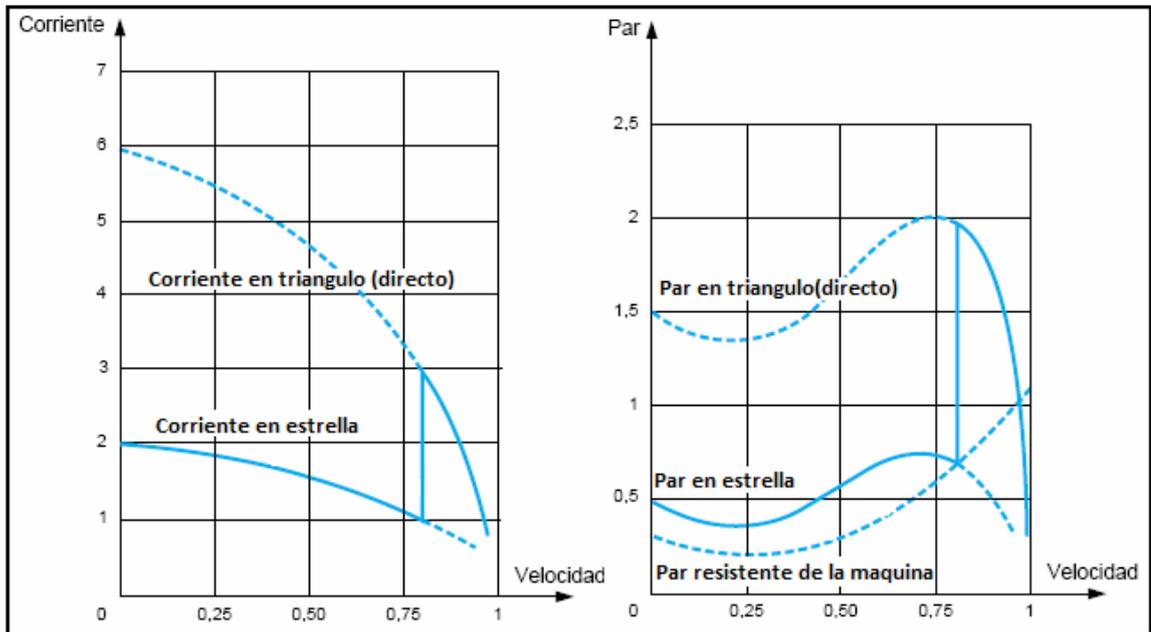
Un motor de 380 V / 660 V acoplado en estrella a su tensión nominal de 660 V absorbe una corriente $\sqrt{3}$ veces menor que si se acopla en triángulo a 380 V. Dado que el acoplamiento en estrella se realiza a 380 V, la corriente se divide nuevamente por $\sqrt{3}$. Por tanto, se divide por un total de 3.

El par de arranque se divide igualmente por 3, ya que es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación ver figura 28:

$$C_d = 0.2 \text{ a } 0.5 C_n$$

La velocidad del motor se estabiliza cuando se equilibran el par del motor y el par resistente, normalmente entre el 75 y 85% de la velocidad nominal. En ese momento, los devanados se acoplan en triángulo y el motor rinde según sus características naturales. Un temporizador se encarga de controlar la transición del acoplamiento en estrella al acoplamiento en triángulo. El cierre del contactor de triángulo se produce con un retardo de 30 a 50 milisegundos tras la apertura del contactor de estrella, lo que evita un cortocircuito entre fases al no poder encontrarse ambos cerrados al mismo tiempo.

Figura 28 Curvas de corriente/velocidad y par/velocidad del arranque estrella-triángulo.



Fuente: Schneider Electric España, S.A. Manual electrotecnico.Tecnologias de control industrial. Telemecanique. Edición junio 1999.

La corriente que recorre los devanados se interrumpe con la apertura del contactor de estrella y se restablece con el cierre del contactor de triángulo. El paso al acoplamiento en triángulo va acompañado de una punta de corriente transitoria, tan breve como importante, debida a la f_{cem} del motor.

El arranque estrella-triángulo es apropiado para las máquinas cuyo par resistente es débil o que arrancan en vacío. Dependiendo del régimen transitorio en el momento del acoplamiento en triángulo, puede ser necesario utilizar una variante que limite los fenómenos transitorios cuando se supera cierta potencia:

- Temporización de 1 a 2 segundos al paso estrella-triángulo. Esta medida permite disminuir la f_{cem} y, por tanto, la punta de corriente transitoria. Esta variante sólo puede utilizarse en máquinas cuya inercia sea suficiente para evitar una deceleración excesiva durante la temporización.
- Arranque en 3 tiempos: estrella-triángulo + resistencia-triángulo. El corte se mantiene, pero la resistencia se pone en serie aproximadamente durante tres segundos con los devanados acoplados en triángulo. Esta medida reduce la punta de corriente transitoria.

- Arranque en estrella-triángulo + resistencia-triángulo sin corte.

La resistencia se pone en serie con los devanados inmediatamente antes de la apertura del contactor de estrella. Esta medida evita cualquier corte de corriente y, por tanto, la aparición de fenómenos transitorios.

El uso de estas variantes conlleva la instalación de componentes adicionales y el consiguiente aumento del costo total.”⁹

2.3.8.5 Método de Arranque Suave (Soft-Start)

El método de arranque suave es similar al de resistencia o inductancia en serie con el motor. El arrancador está constituido principalmente por dispositivos de estado sólido para controlar la tensión y por lo tanto el flujo de corriente hacia el motor. Gráficamente se puede decir que el arrancador suave se conecta en serie con las líneas de alimentación aplicadas al motor, o también se puede conectar en el interior del motor conectado en delta para controlar la tensión aplicada en cada bobina.

La configuración de dos tiristores en antiparalelo o back to back funciona como interruptores de estado sólido que están encendidos por una parte de cada ciclo, Tienen como ventaja mejora la eficiencia relativa en comparación con otros métodos. Otra importante ventaja de los arrancadores suaves es que la tensión media puede ser modificada para adaptarse a las condiciones iniciales, variando el ángulo de conducción de los tiristores el voltaje de salida puede ser aumentado o disminuido, se logra fácilmente gracias a la electrónica de control. La electrónica de control puede ser programada para proporcionar un voltaje de salida sobre la base de una secuencia de tiempo, esto es un circuito abierto, también puede ser un circuito cerrado; controlando el voltaje de salida basado en mediciones de características como velocidad y corriente.

⁹ Schneider Electric España, S.A. Manual electrotécnico. Tecnologías de control industrial. Telemecanique. Edición Junio 1999. Pág. 72.

3. ARRANCADORES SUAVES COMERCIALES

3.1 ARRANCADOR SUAVE DE SIEMENS.

3.1.1 Modo de funcionamiento de arrancadores suaves electrónicos SIRIUS 3RW44.

“Los arrancadores suaves 3RW44 integran dos tiristores en conexión antiparalelo por cada fase (un tiristor por cada semionda negativa y positiva, respectivamente).

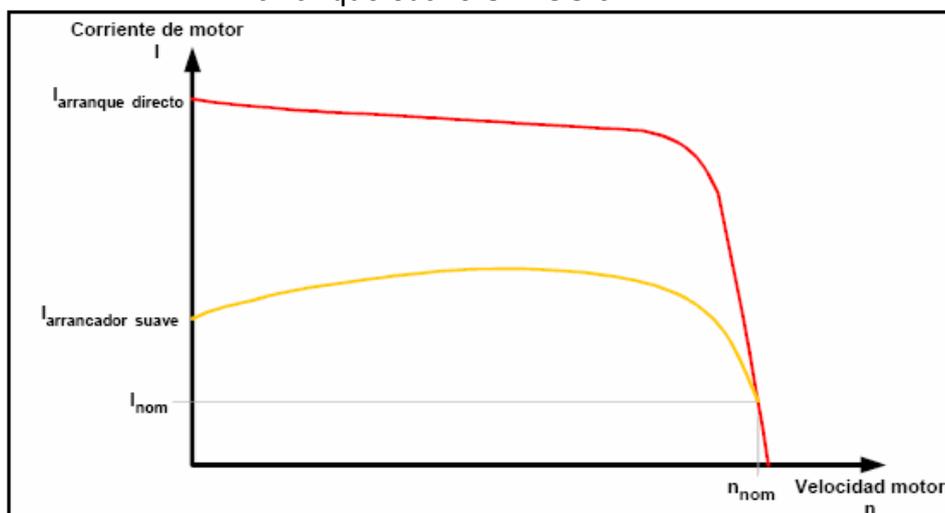
Desplazando la fase y por medio de diferentes procedimientos de regulación, se aumenta el valor efectivo de la tensión de motor a partir de la tensión o el par de arranque ajustable hasta alcanzar la tensión asignada del motor para un tiempo de arranque seleccionable.

La corriente del motor varía en función de la tensión aplicada, de manera que la corriente de arranque se reduce por el factor de dicha tensión. El par de motor y la tensión aplicada presentan una relación cuadrática, de manera que el par de arranque se reduce en relación cuadrática con la tensión aplicada en el motor.

Las figuras 29 y 30 muestran las características de la corriente y del par de arranque de un motor asíncrono trifásico con arrancador suave de Siemens.”¹⁰

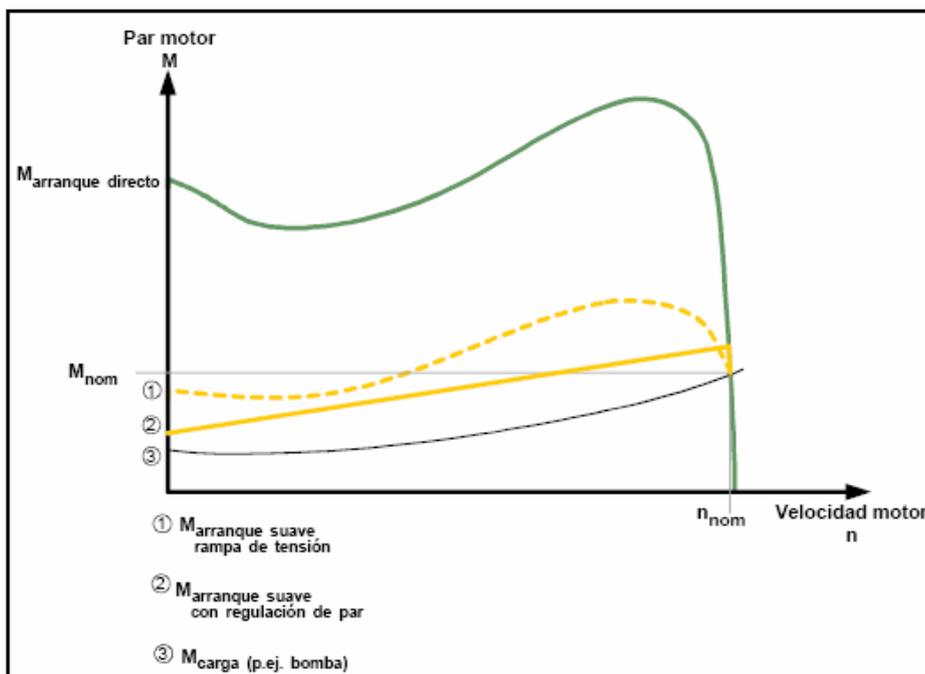
¹⁰ Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Ref. 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007. Pág. 16

Figura 29 Corriente de arranque reducida, motor asíncrono trifásico con arranque suave SIRIUS 3RW44.



Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

Figura 30 Par de arranque reducido, motor asíncrono trifásico con arranque suave SIRIUS 3RW44.



Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

“Así, gracias al control de la tensión de arranque del motor, el arrancador suave también regula la corriente y el par de arranque que se generan en el motor. Ese principio también aplica en la fase de desconexión, de manera que se reduce paulatinamente el par de motor y se detiene suavemente la aplicación de que se trate.

Al contrario de la desconexión y el arranque regulados en función de la frecuencia de los convertidores de frecuencia, durante esa operación se mantendrá estable la frecuencia a nivel de la frecuencia de red.

Una vez que el motor funcione con carga nominal, los tiristores quedan totalmente controlados y se aplica la tensión de red en los bornes del motor. En funcionamiento normal, se puentean los tiristores por medio de contactos bypass integrados, ya que en ese modo no se regula la tensión del motor. De esta forma, se limita el nivel de calor perdido proveniente la energía disipada del tiristor en funcionamiento continuo, evitando que se caliente el entorno de los aparatos de maniobra.

3.1.2 Campo de aplicación, criterios de selección y ventajas.

El arrancador suave 3RW44 constituye una alternativa a los arrancadores estrella-triángulo y convertidores de frecuencia. Las ventajas más destacables consisten en las funciones de arranque y parada suave, la conmutación continua y sin picos de corriente, así como las pequeñas dimensiones. Los arrancadores tipo 3RW44 son ideales para muchos accionamientos que hasta el momento sólo funcionaban con convertidores de frecuencia y que no requieran ninguna regulación de la velocidad, un elevado par de arranque, o bien alcanzar casi el nivel de corriente nominal al arrancar. Posibles aplicaciones y ventajas al utilizar un arrancador suave:

Cintas de transporte, instalaciones de transporte

- Arrancar uniformemente.
- Frenar uniformemente.

Bombas centrífugas, bombas de émbolo

- Evitar golpes de ariete.
- Prolongar la vida útil de la tubería.

Agitadores, mezcladoras

- Reducción de la corriente de arranque.

Ventiladores

- Reducido desgaste de engranajes y correas trapezoidales.

Los arrancadores suaves SIRIUS 3RW44 cumplen los requerimientos de la norma IEC/EN 60947-4-2 (baja tensión de mando en semiconductores AC y los arrancadores de motores)

Los arrancadores suaves electrónicos 3RW44 están concebidos para las aplicaciones con arranque normal. En las aplicaciones con arranque duro, o bien con frecuentes arranques es posible que exista la necesidad de utilizar un arrancador más potente.

En las configuraciones con prolongados tiempos de arranque, así como en configuraciones con paradas suaves, desaceleración para bomba o frenado por corriente continua, se recomienda integrar un sensor en el motor para compensar la elevada corriente que se produce en comparación con la deceleración natural.

Las derivaciones de motor no pueden incluir ningún elemento capacitivo (como por ejemplo compensadores) situado entre el arrancador suave y el propio motor. No se pueden utilizar filtros activos en las configuraciones con arrancador suave. Todos los elementos del circuito de corriente principal (como por ejemplo fusibles y aparatos de maniobra) se deben dimensionar para el arranque directo y a partir de las condiciones de cortocircuito existentes en el lugar de uso y se deben pedir en unidad independiente.

Los interruptores automáticos (disparadores) se deben seleccionar teniendo en cuenta el contenido en armónicos de la corriente de arranque.

Para dimensionar correctamente un arrancador suave es imprescindible tener en cuenta el tiempo de arranque de la aplicación de que se trate. Cuanto más prolongado sea el arranque, mayor carga térmica se produce en los tiristores del arrancador. Los arrancadores 3RW44 están concebidos para el funcionamiento continuo en condiciones de arranque normal (CLASE 10), temperatura ambiente de 40 °C y frecuencia fija de maniobras. Esos valores también se detallan en los Datos técnicos. Si es necesario, se debe sobredimensionar el arrancador según las condiciones efectivas de la aplicación.

El tamaño del arrancador suave SIRIUS 3RW44 se debe seleccionar a partir de la corriente de motor asignada (corriente asignada arrancador suave \geq corriente de motor asignada).

3.1.3 Duración de marcha y frecuencia de maniobras.

Los arrancadores 3RW44 ofrecen una frecuencia de maniobras y una duración de marcha relativa determinadas a partir de la corriente de motor asignada y el

tiempo de arranque. Si es necesario, se debe dimensionar el arrancador según las condiciones efectivas de la aplicación.

La duración de marcha relativa DM (expresada en %) es la relación periodo de carga/duración del ciclo en consumidores con frecuentes maniobras, en la figura 31 se muestra la duración de marcha.

La duración DM se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

$$DM = t_s + t_b / t_s + t_b + t_p$$

Siendo:

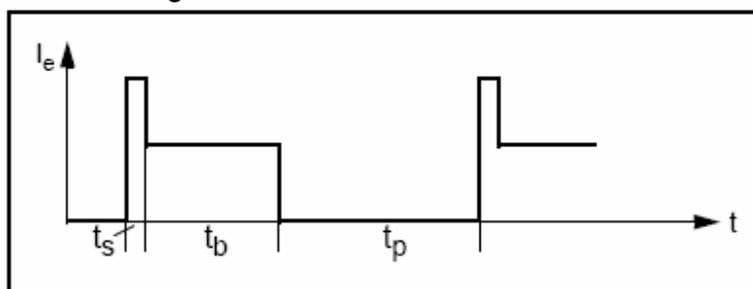
DM Duración de marcha [%]

t_s Tiempo de arranque [s]

t_b Tiempo de funcionamiento [s]

t_p Duración de pausa [s]

Figura 31 Duración de marcha DM.



Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

Es imprescindible respetar la máxima frecuencia de maniobras admisible para evitar sobrecargas térmicas en los aparatos.

3.1.4 Altura sobre el nivel de mar y temperaturas ambiente admisibles.

Se admite el funcionamiento hasta una altura máxima sobre el nivel de mar de 5000 m (arrancadores para niveles superiores a 5000 m, sobre demanda).

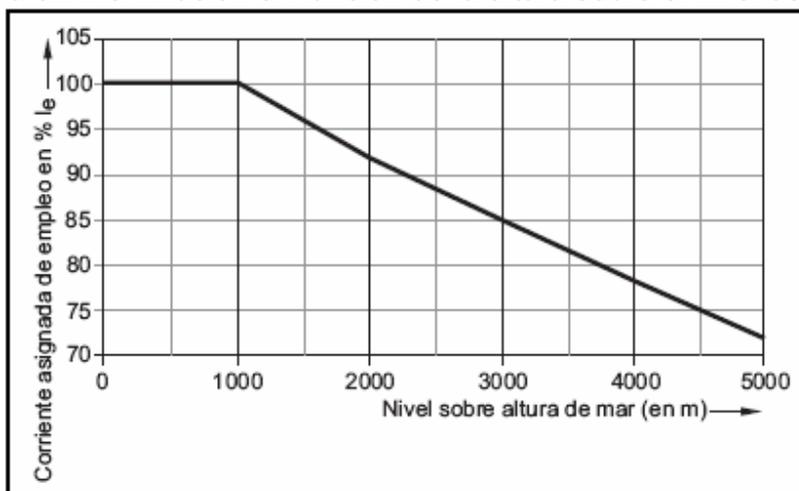
Por razones térmicas, se debe disminuir la corriente asignada de empleo a partir de un nivel de 1000 m sobre el nivel de mar.

Dada la limitada resistencia de aislamiento, se debe disminuir aún más la corriente de servicio asignada a partir de un nivel de 2000 m. Utilizando el

3RW44 entre 2000 m a 5000 m sobre el nivel de mar, las tensiones asignadas no pueden superar un nivel de ≤ 460 V.

La figura 32 muestra la disminución de la corriente asignada en función de la altura sobre el nivel de mar. La corriente asignada de empleo I_e se debe disminuir a partir de una altura de 1000 m sobre el nivel de mar.

Figura 32 Disminución en función de la altura sobre el nivel del mar.



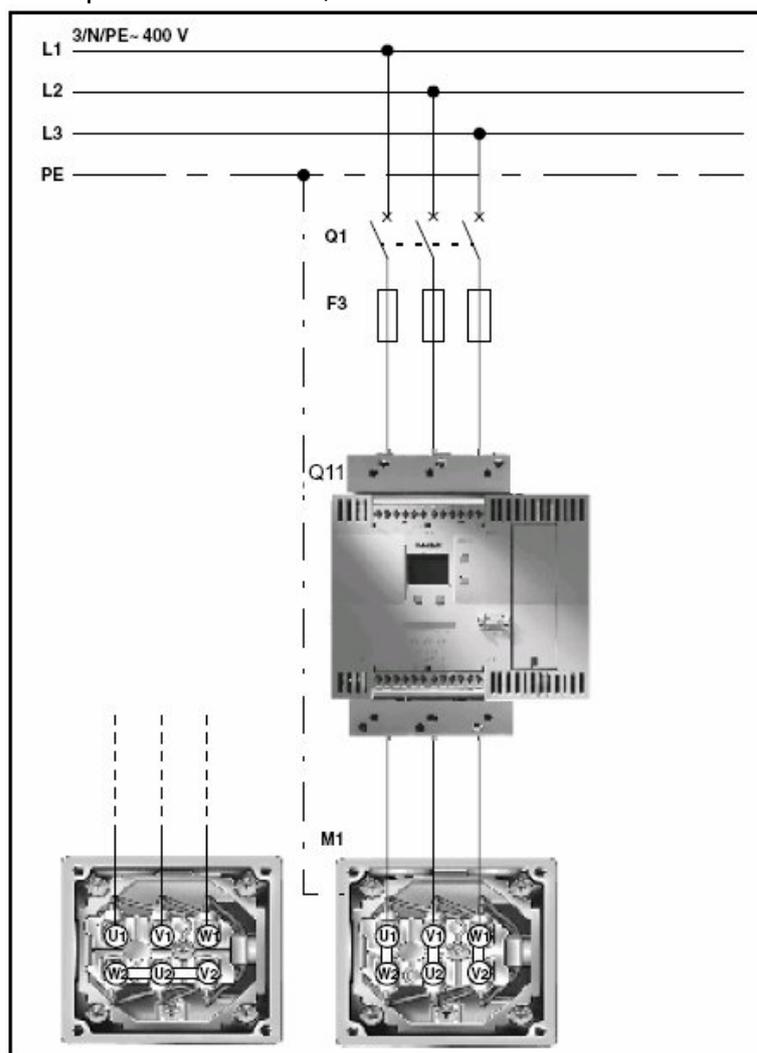
Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

3.1.5 Arrancador suave en conexión con protección contra cortocircuitos.

El arrancador suave SIRIUS 3RW44 se conecta entre el interruptor seccionador o automático y el motor de la derivación como se muestra en la figura 33.

El 3RW44 detecta automáticamente y sin la intervención del usuario el tipo de conexión efectivo y visualiza ese valor bajo el menú de "Estado/Tipo conexión" (En el caso concreto, se visualiza el valor "Estrella/triángulo"). En el caso de conexiones erróneas, o bien sin tener conectado el motor, se visualiza el valor de "Desconocido" en el display.

Figura 33 Esquema de circuito, arrancador suave 3WR44 en conexión.



Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

El arrancador suave está equipado con una protección contra sobrecargas en los tiristores. No obstante, cuando se produce un cortocircuito, por ejemplo debido a un defecto en el arrollamiento del motor o en consecuencia de un cortocircuito en el cable de alimentación, esa función integrada no puede proteger adecuadamente los tiristores. Para tales casos, se deben integrar fusibles estáticos.

No se pueden conectar condensadores en los bornes de salida del arrancador suave. Peligro de dañar el arrancador, no pueden funcionar en conexión paralela filtros activos, por ejemplo para compensar la potencia reactiva, junto al aparato de control del motor.

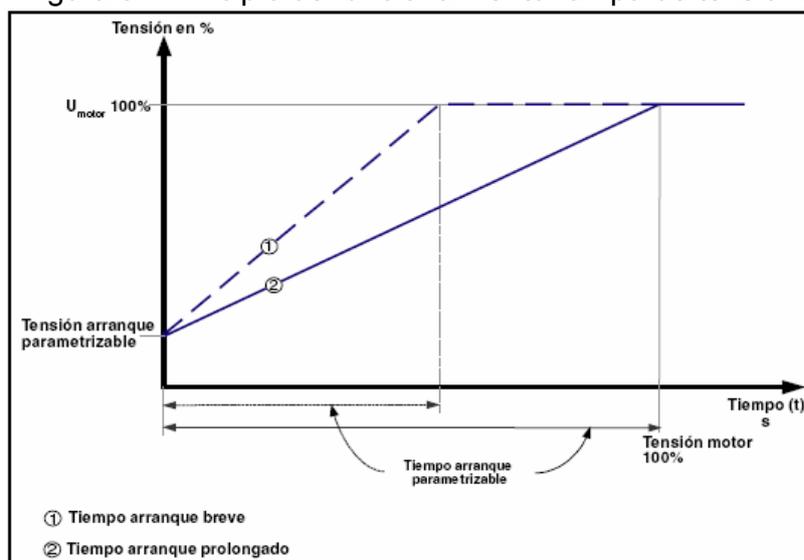
3.1.6 Tipos de arranque con un arrancador suave de SIEMENS.

Gracias al amplio rango de opciones que ofrece el arrancador suave SIRIUS 3RW44, se pueden seleccionar diferentes funciones de arranque y optimizar el proceso de arranque según la aplicación y configuración de que se trate.

- **Rampa de tensión.**

En el caso del SIRIUS 3RW44, el modo de arranque suave más simple es por medio de una rampa de tensión como se enseña en la figura 34. La tensión en los bornes del motor se aumenta dentro del tiempo de arranque ajustable a partir de la tensión de arranque parametrizable hasta alcanzar el nivel de la tensión de red. Ese tipo de arranque se puede seleccionar por medio del menú de inicio rápido.

Figura 34 Principio de funcionamiento rampa de tensión.



Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

La tensión de arranque determina el par de arranque del motor como se muestra en la figura 35. Cuanto menor sea la tensión de arranque, menores el par y la corriente de arranque. El nivel de la tensión de arranque debe asegurar que el comando de arranque, emitido al arrancador suave, provoca que el motor arranque de forma inmediata y suave.

El tiempo de arranque especifica el periodo de tiempo para el aumento de la tensión del motor desde la tensión de arranque hasta alcanzar el nivel de la

El principio de rampa de tensión es ideal para cualquier tipo de aplicación. Siempre que por razones de prueba se utilicen motores de potencia reducida en comparación con la futura aplicación, es aconsejable seleccionar el tipo de arranque "rampa de tensión". En el caso de las máquinas que requieren un impulso de despegue (por ejemplo moladoras y rompedores)."¹¹

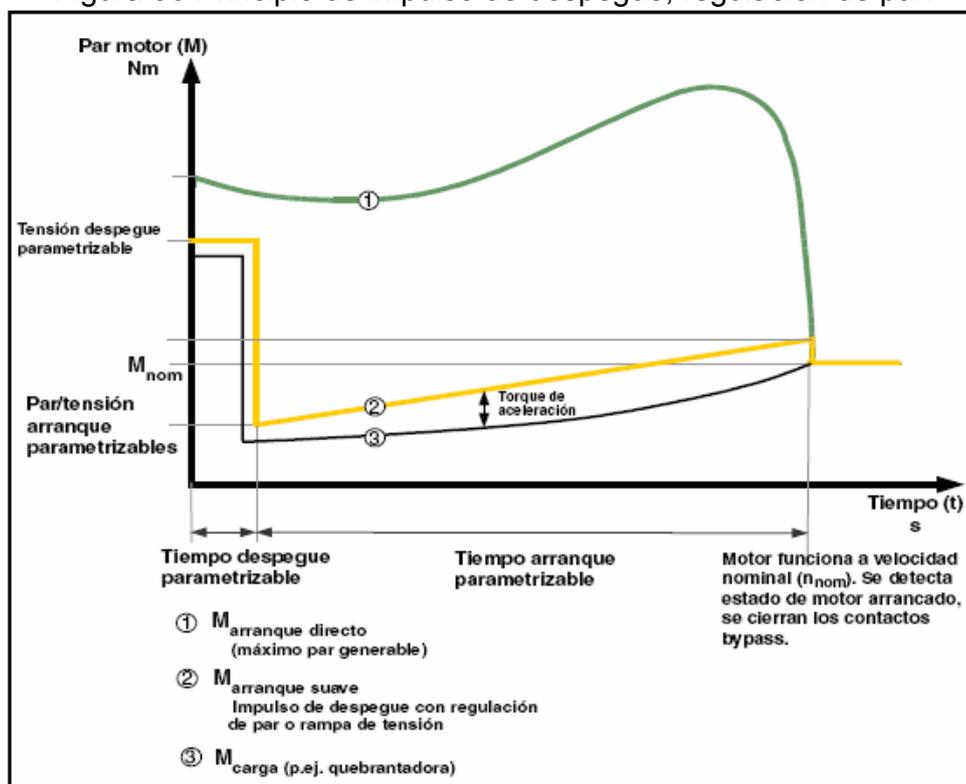
El método de rampa de tensión se puede combinar con un impulso que se genera por medio de un nivel de tensión alto de corto tiempo, esto es implementado cuando la carga necesita un despegue. Entre las aplicaciones más importantes que necesitan esta combinación son las moladoras, las rompedoras y accionamiento con cojinetes deslizantes. El arranque tipo rampa de tensión es diseñado e implementado en el actual proyecto. El impulso de despegue, el método de regulación de par y de regulación de corriente son mencionados y descritos teóricamente.

“La tensión de despegue determina el nivel del par de despegue que se debe generar como se muestra en la figura 36. Como máximo, puede corresponder al 100 % del par de motor generado en el arranque directo. La intensidad del impulso, como mínimo, debe provocar que el motor active el arrancador suave en el momento de generar el comando de arranque.

El tiempo de despegue determina el periodo de aplicación de la tensión de despegue. Transcurrido el tiempo de despegue, el arrancador cambia al modo de arranque seleccionado, por ejemplo rampa de tensión o regulación del par de motor. Se debe ajustar un tiempo de despegue lo suficientemente prolongado como para asegurar que el motor no se detiene, sino que seguirá acelerando en el modo de arranque especificado una vez transcurrido el tiempo ajustado.

¹¹ Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Ref. 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007. Pág. 18

Figura 36 Principio de impulso de despegue, regulación de par.



Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

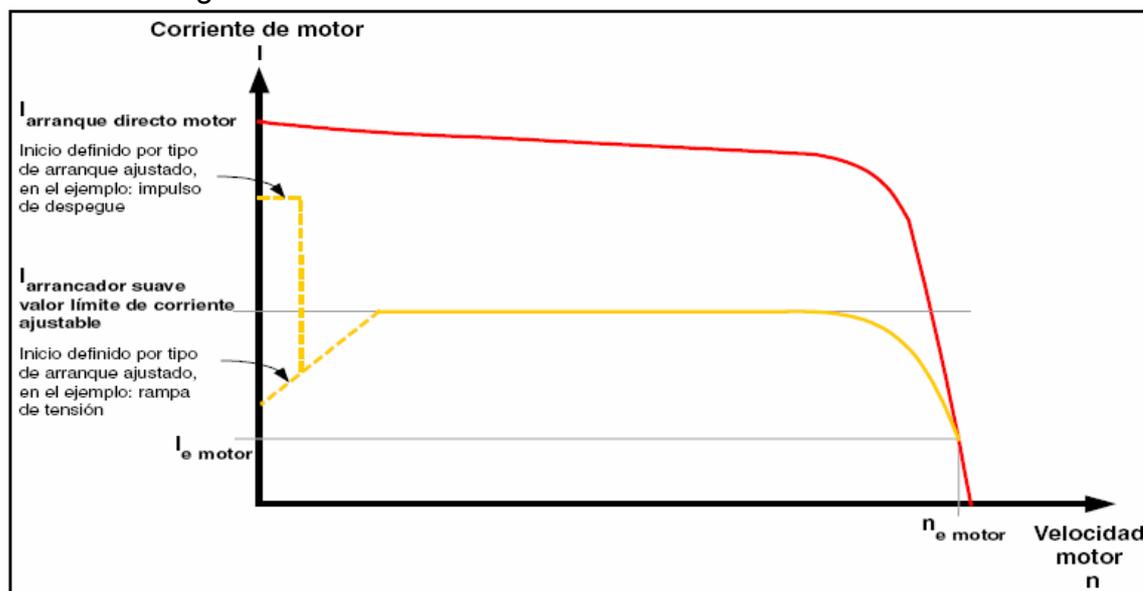
- **Limitación de corriente en combinación el tipo rampa de tensión o regulación de par.**

El arrancador mide continuamente la corriente de fase (corriente de motor) por medio de los convertidores de intensidad integrados.

El operario puede indicar el valor límite de corriente para el arranque del motor en el arrancador suave. Esa función se puede activar en combinación con los tipos de arranque "rampa de tensión + limitación de corriente" o "regulación de par + limitación de corriente", siempre que se haya introducido el valor deseado en el correspondiente parámetro.

Como se muestra en la figura 37, en la fase del arranque, se limita la corriente de fase hasta alcanzar un nivel inferior al valor indicador. La limitación de corriente queda suprimida por un impulso de despegue definido en la fase de despegue.

Figura 37 Limitación de corriente con arrancador suave.



Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

El valor límite de corriente constituye un factor de la corriente de motor asignada y permite limitar la corriente de arranque. Al alcanzar el nivel ajustado, el arrancador suave disminuye o regula la tensión del motor de manera tal que no se rebase el valor límite de corriente. El valor límite de corriente ajustado asegurará, como mínimo, el suficiente par de motor como para alcanzar la velocidad nominal del accionamiento. El valor típico será tres a cuatro veces la corriente asignada de empleo (I_e) del motor.¹²

3.2 ARRANCADOR SUAVE DE ABB.

“Todos los arrancadores suaves de baja tensión diseñados por ABB son desarrollados y fabricados de acuerdo con las normas establecidas en la IEC (comisión electrotécnica internacional) que es una parte de la organización internacional de normas, ISO.

Cuando un producto es verificado de acuerdo con sus normas EN estándar (EN 60947-4-2 para arrancadores suaves) el producto entonces cumple la Directiva de baja tensión y la directiva de compatibilidad electromagnética, y es permitido el uso del marcado CE en los productos. En este caso el marcado CE no cubre la directiva de la máquina en relación con la conexión para

¹² Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Ref. 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007. Pág. 99.

ejecutar el motor. El marcado CE no es una etiqueta de calidad, es la prueba de confiabilidad con las directivas europeas en relación con el producto.

Las especificaciones usadas para los arrancadores suaves son:

IEC 60947-1
IEC 60947-4-2
EN 60947-1
EN 60947-4-2
UL 508
CSA C22.2 No. 14 - M91
LRS 00/00154

Un arrancador suave tiene diferentes características a los otros métodos de inicio. Hay tiristores en el circuito principal, el voltaje y el motor está regulado con una placa de circuito impreso. El arrancador suave hace uso de que cuando el motor está a tensión baja durante el arranque, la corriente de arranque y par de arranque también son bajos.

Durante la primera parte del arranque la tensión del motor es tan baja que solo es capaz de ajustar una cadena, acomodar los engranajes, mover una correa etc. En otras palabras los indeseados tirones durante en arranque.

Poco a poco, la tensión y el par aumentan de manera que la maquina empieza a acelerar. Una ventaja de la utilización de este método de arranque es la posibilidad de ajustar el par a la necesidad exacta si la maquina ha sido cargada o no.

Otra característica del arrancador suave es la función de parada suave, que es muy útil para detener las bombas cuando se presenta el martilleo en sistemas de tuberías que transportan líquidos.

La parada suave también se puede emplear en la detención o parada de cintas transportadoras para evitar daños al material que se transporta y a las correas de la banda cuando la parada es muy rápida y brusca.

La selección de un arrancador suave según ABB para diferentes aplicaciones se realiza de acuerdo a la potencia del motor. En algunos casos es necesario seleccionar un mayor arrancador que la potencia nominal del motor en función de las condiciones iniciales (arranque pesado, sucesivos arranques por hora, etc.) la capacidad del arranque de un arrancador suave es mucho mejor dependiendo de la capacidad de los tiristores y la disipación de calor.

Cuando son usados los By-pass o vías de circulación con un arrancador suave a veces es posible seleccionar un arrancador suave con una potencia nominal

ligeramente inferior a la potencia nominal del motor, cumpliendo que el arrancador suave va a trabajar durante el inicio y parada solamente, y no continuamente.

3.2.1 Armónicos en un arrancador suave de ABB.

Los armónicos no deseados son niveles de tensión y corriente existentes en casi todos los sistemas electrónicos de hoy y siempre son un múltiplo de la frecuencia nominal.

Los armónicos típicos son 3^a armónico, 5^a armónico, 7^a armónico, 9^a armónico etc. En un arrancador suave los armónicos se contribuyen al innecesario calentamiento del motor, cables y otros equipos que pueden reducir la vida útil de estos dispositivos si se exponen durante un largo periodo de tiempo.

A veces también puede alterar las funciones de la electrónica y sistemas siendo un fenómeno bastante complejo.

La cuestión de contenido de armónicos en general para aplicaciones con arrancadores suaves en lo absoluto no es pertinente. Un filtro es siempre necesario en las redes públicas cuando los armónicos se generan continuamente y muy a menudo se usa también en las redes industriales. Los arrancadores suaves de ABB cumplen con las directivas EMC.

3.2.2 Definición de coordinación

“La coordinación de las protecciones consiste en asociar un dispositivo de protección contra los cortocircuitos (fusibles o disyuntor magnético) con un contactor y un dispositivo de protección contra las sobrecargas, con el fin de interrumpir las corrientes de sobrecarga (1 a 10 veces la corriente nominal del motor) o de cortocircuito (> 10 veces la corriente nominal) lo más rápidamente posible y sin riesgo para las personas y las instalaciones.”¹³

La coordinación para los arrancadores suaves de ABB se realiza de acuerdo a la IEC 60947-4-2 y EN 60947-4-2. Las disposiciones de las normas 60947-1 son reglas generales, que son aplicables a la IEC 60947-4-2 que es donde se piden especificaciones.

¹³ Schneider Electric España, S.A. Manual electrotécnico. Tecnologías de control industrial. Telemecanique. Edición Junio 1999. Pág. 34.

La norma IEC 60947-4-2 define dos tipos de coordinación según el nivel de continuidad del servicio. La norma IEC 60947-1, la regla general es aplicable a esta norma cuando se piden especificaciones.

El primer tipo requiere la coordinación en condiciones de corto circuito, el dispositivo no deberá causar peligro a personas o instalaciones y puede no ser adecuado para continuar prestando sus servicios sin reparación y sustitución de piezas.

El tipo dos requiere la coordinación en condición bajo corto circuito, no deberá causar daños a personas o instalación y deberán ser adecuados para futuros usos. Para controladores híbridos y arrancadores, el riesgo que se tiene al contacto con la soldadura debe ser reconocida, en este caso el fabricante deberá indicar las medidas que se deben adoptar en relación con el mantenimiento con los equipos.”¹⁴

3.3 ARRANCADOR SUAVE DE TELEMECANIQUE.

“La alimentación del motor durante la puesta en tensión se realiza mediante una subida progresiva de la tensión, lo que posibilita un arranque sin sacudidas y reduce el pico de corriente. Para obtener este resultado, se utiliza un graduador de tiristores montados en antiparalelo en cada fase de la red.

La subida progresiva de la tensión de salida puede controlarse por medio de la rampa de aceleración, que depende del valor de la corriente de limitación, o vincularse a ambos parámetros.

Un arrancador electrónico progresivo como el Altistart 3 es un graduador de 6 tiristores que se utiliza para arrancar y parar de manera controlada los motores trifásicos de jaula. Garantiza:

- El control de las características de funcionamiento, principalmente durante los períodos de arranque y parada.
- La protección térmica del motor y del arrancador.
- La protección mecánica de la máquina accionada, mediante la supresión de las sacudidas de par y la reducción de la corriente solicitada.

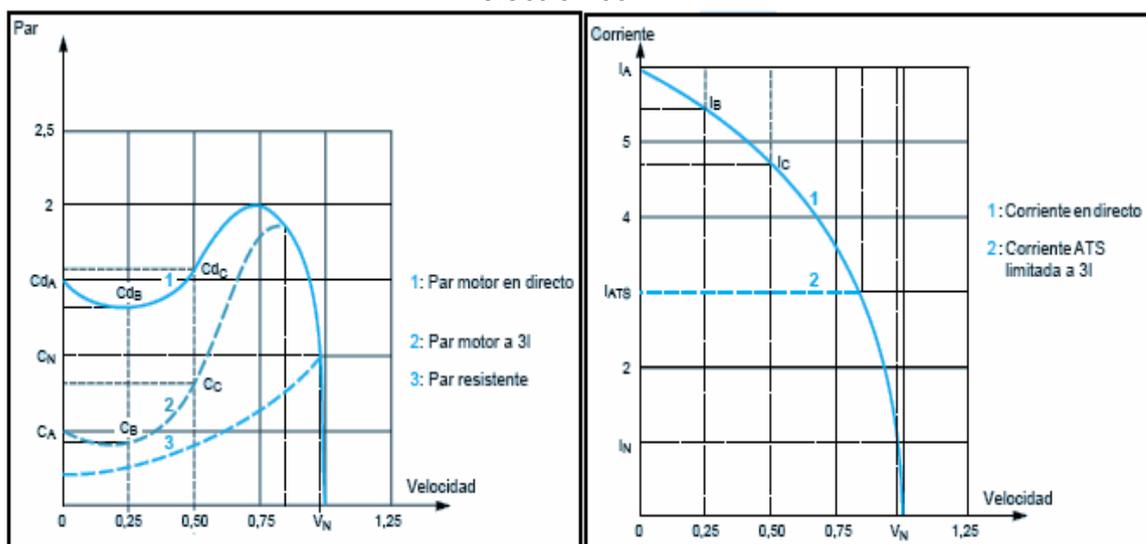
¹⁴ Magnus Kjellberg, Sören Kling. Softstarter Handbook. ABB Automation Technology Products AB Control. Edition February 2003. Pág.10.

La corriente del arrancador Altistart 3 de telemecanique (I_{ATS} en el ejemplo de la figura 38) puede regularse de 2 a 5 I_n , lo que proporciona un par de arranque regulable entre 0,1 y 0,7 del par de arranque en directo.

Permite arrancar todo tipo de motores asíncronos. Puede cortocircuitarse para arrancar por medio de un contactor y mantener al mismo tiempo el dominio del circuito de control. A todo ello hay que añadir la posibilidad de:

- Desaceleración progresiva.
- Parada frenada.¹⁵

Figura 38 Curvas de corriente/velocidad y par velocidad del arranque electrónico.



Fuente: Schneider Electric España, S.A. Manual electrotecnico.Tecnologias de control industrial. Telemecanique. Edición junio 1999.

¹⁵ Schneider Electric España, S.A. Manual electrotecnico.Tecnologias de control industrial. Telemecanique. Edición Junio 1999. Pag.78

4. DIMENSIONAMIENTO DE UN ARRANCADOR SUAVE EN LA INDUSTRIA.

La óptima selección de un arrancador suave, puede reducir el costo del sistema a implementar y además garantizar un mejor funcionamiento del mismo. Entre los principales parámetros a tener en cuenta al momento de seleccionar un arrancador suave son:

4.1 CORRIENTE NOMINAL DEL MOTOR.

El valor de la corriente esta especificada en la placa de características del motor de inducción, es la corriente en estado permanente con carga, esta corriente no es igual a la del arranque.

4.2 APLICACIÓN.

El tipo de aplicación establece la necesidad de sobredimensionar el arrancador suave. Las aplicaciones están estandarizadas por IEC en clases de arranque, donde principalmente se especifica el tiempo necesario para el arranque del motor de inducción bajo una aplicación específica. En la tabla 3 se muestra la clase del arranque y la necesidad de sobredimensionar el arrancador según sea la aplicación. Existen diferentes clases, 5, 10, 20 y 30 donde se puede hacer una equivalencia al tiempo en segundos del arranque. Entonces la clase 30 es la de mayor tiempo. En las tablas 4, 5 y 6 se enseña como Siemens configura su arrancador suave SIRIUS, en diversas aplicaciones.

Tabla 3 Aplicaciones típicas y sobredimensionamiento.

APLICACIÓN	CLASE DE ARRANQUE	SOBREDIMENSIONAMIENTO
Banda transportadora	10(normal)	Innecesario
Bomba	10(normal)	Innecesario
Agitadora	20(pesado)	Un tamaño
Ventilador grande	30(muy pesado)	Dos tamaños
Molino	30(muy pesado)	Dos tamaños

Fuente: Fuente: Siemens. Revista quinto elemento. Automation & control. Referencia: en trámite .Edición julio-2007.

Los arrancadores suaves comerciales especifican la temperatura máxima a la que se mantiene la corriente nominal. Un ambiente de trabajo con una temperatura mayor suele disminuir la capacidad de la corriente nominal.

Tabla 4 Arranque normal (CLASE 10)

Arranque normal CLASE 10					
Parámetros del arranque		CINTAS TRANSPORTADORAS	COMPRESORES	VENTILADORES PEQUEÑOS	BOMBAS
Rampa de tensión y limitación de corriente	Tensión de arranque (%)	70	50	30	30
	Tiempo de arranque (s)	10	10	10	10
	Valor límite de corriente	Desactivado	4*I _N	4*I _N	Desactivado
Rampa par del motor	Par de arranque	60	40	20	10
	Par final	150	150	150	150
	Tiempo de arranque	10	10	10	10

Fuente: Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

Tabla 5 Arranque pesado (CLASE 20)

Arranque pesado CLASE 20				
Parámetros del arranque		MEZCLADORAS	CENTRIFUGADORAS	BOMBAS
Rampa de tensión y limitación de corriente	Tensión de arranque (%)	30	30	30
	Tiempo de arranque (s)	30	30	30
	Valor límite de corriente	4*I _N	4*I _N	4*I _N
Rampa par del motor	Par de arranque	30	30	30
	Par final	150	150	150
	Tiempo de arranque	30	30	30

Fuente: Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

Tabla 6 Arranque muy pesado (CLASE 30)

Arranque muy pesado CLASE 30				
Parámetros del arranque		VENTILADORES GRANDES	MOLEDORAS	TRITURADORAS
Rampa de tensión y limitación de corriente	Tensión de arranque (%)	30	50	50
	Tiempo de arranque (s)	60	60	60
	Valor límite de corriente	4*I _N	4*I _N	4*I _N
Rampa par del motor	Par de arranque	20	50	50
	Par final	150	150	150
	Tiempo de arranque	60	60	60

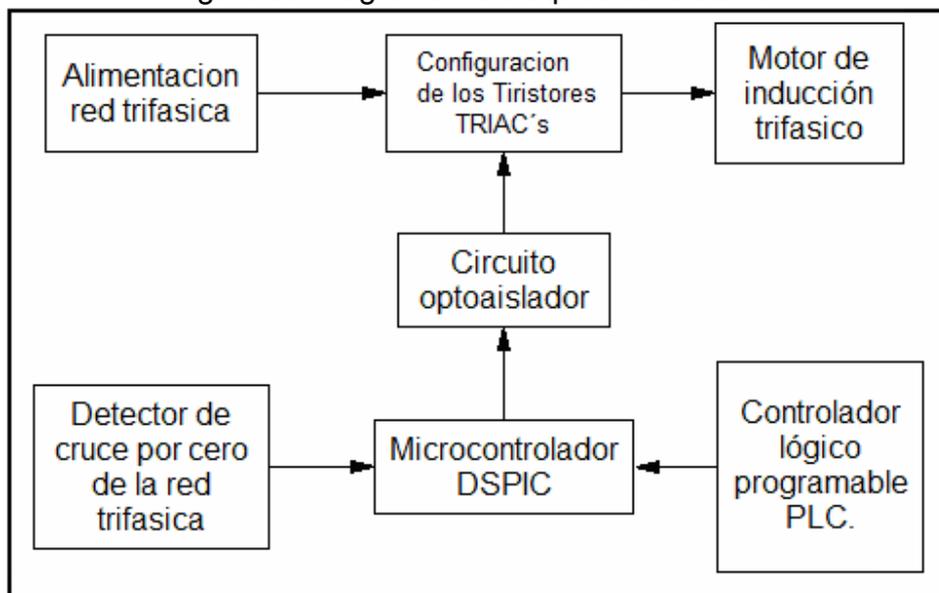
Fuente: Fuente: Siemens. Sirius. Arrancador Suave 3RW44. Manual de sistema. Referencia 3ZX1012-0RW44-1AE1. Edición 03-2007.

5. DISEÑO DEL ARRANCADOR SUAVE

La figura 39 muestra un diagrama de bloque de las principales partes del diseño del arrancador suave trifásico. La importancia de mantener aislado el circuito de control con el de potencia en el arrancador suave, radica en que no se afectan los circuitos de control en caso de presentarse un cortocircuito en el de potencia por efecto inesperado. Tomando esto en consideración el arrancador suave se divide en dos etapas:

- Etapa de potencia.
- Etapa de control.

Figura 39 Diagrama de bloques del sistema.

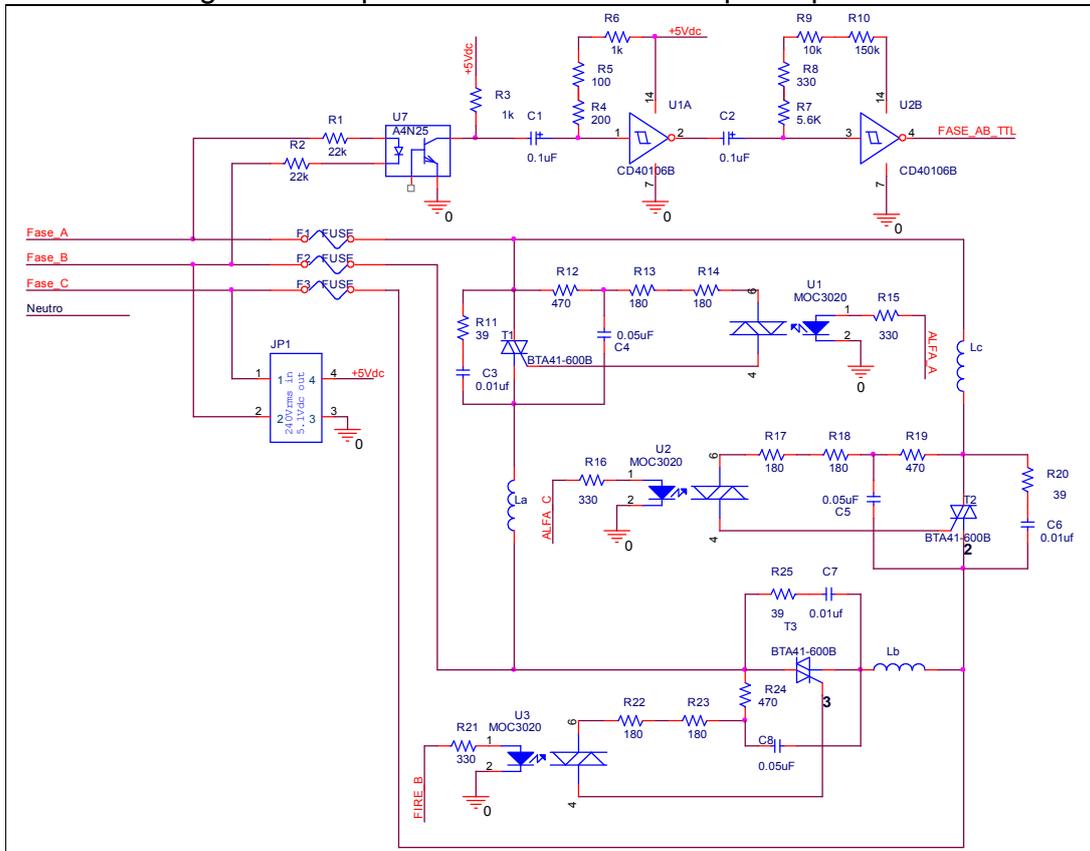


Fuente: Los autores

5.1 ETAPA DE POTENCIA.

El esquema del circuito de la etapa de potencia se muestra en la figura 40. La selección del motor, dispositivos de estado sólido, circuitos de protección, fuente de alimentación y la configuración del regulador AC trifásico hacen parte de esta etapa.

Figura 40 Esquemático básico de la etapa de potencia



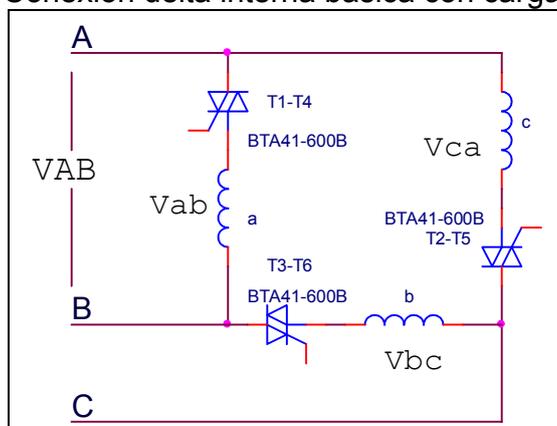
Fuente: Los autores

5.1.1 Conexión en delta interna.

Se selecciono la configuración del regulador AC en delta interna como se muestra en la figura 41 debido a que representa algunos beneficios como:

La corriente que circula por los dispositivos semiconductores se reduce al 58 % en comparado con la corriente de línea, también permite cambiar el par de SCR's en antiparalelo por un Triac, reduciendo el costo del arrancador suave.

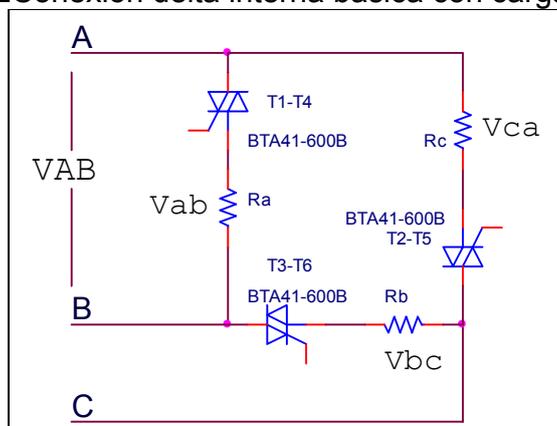
Figura 41 Conexión delta interna básica con carga inductiva.



Fuente: Los autores

Antes de conectar el motor de inducción en delta interna, el sistema se evalúa con una carga resistiva para no ocasionar posibles daños al mismo. La configuración del circuito con carga resistiva se muestra en la figura 42.

Figura 42 Conexión delta interna básica con carga resistiva



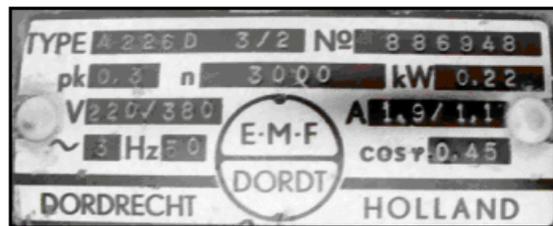
Fuente: Los autores

Durante la ejecución del arranque, el voltaje DC obtenido en V_{ab} , V_{bc} y V_{ca} debe ser aproximadamente 0 volt. El voltaje AC esta dado por Ecuación 13 y debe ser corroborado en el osciloscopio digital.

Para simular la carga resistiva se usan bombillos de 240 V_{rms} a 2.6 W, donde la corriente RMS que circula en la carga es: $I_{rms} = P/V_{rms}$; $I_{rms} = 2.6w/240V$ entonces la I_{rms} en la carga es 10.83 mA que es soportada por el dispositivo triac.

La placa del motor de inducción utilizado en el presente proyecto se muestra en la figura 43 y su corriente nominal a 220 V_{rms} es igual 1.9 Amp

Figura 43 Placa del motor de inducción trifásico utilizado en el proyecto.



Fuente: Los autores

El intervalo final o ángulo de retraso de disparo de los Triac's más bajo durante el arranque está en función del ángulo del factor de potencia del motor ($\cos \varphi$)=0,45 o un ángulo de 63,25°. Y su voltaje esta dado por:

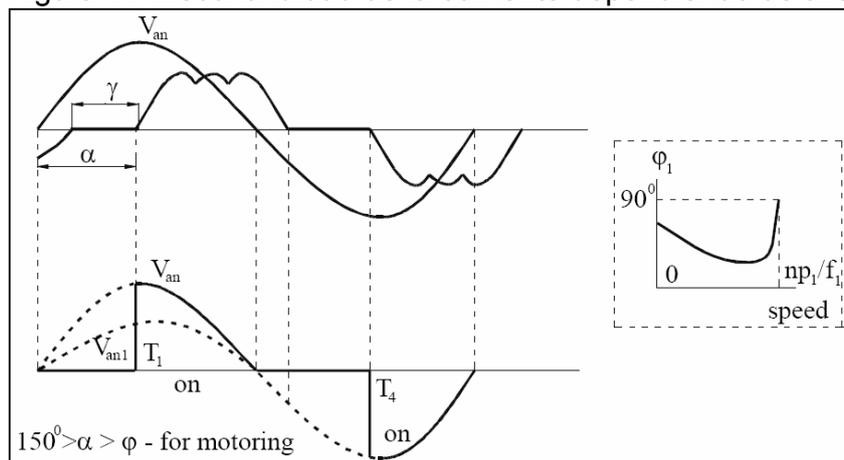
$$V_{ab} = 240 * \left\{ \frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} * \text{sen}(2 * \alpha) \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

$$V_{ab} = 240 * \left\{ \frac{1}{180} \left[(180 - 63) + \frac{1}{2} * \text{sen}(2 * 63) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{ab} = 211V_{rms}$$

Se debe tener cuidado en mantener $\alpha > \varphi$; como se ve en la figura 44. El ángulo del factor de potencia del motor varía con la velocidad del mismo y relaciona la continuidad de corriente en el estator dependiendo de α .

Figura 44 Discontinuidad de la corriente dependiendo de alfa



Fuente: Ion Boldea, Syed A Nasar. The Induction Machine Handbook. CRC press. Noviembre 2001.

La configuración del arranque suave para el motor de inducción determina el valor mínimo de voltaje del arranque. Si para el motor de inducción trifásico trabajado en el presente proyecto de grado se determinó 175° como ángulo de inicio del arranque. 175° es un valor aproximado a 180° que es el máximo ángulo de control que proporciona la configuración delta interna. El voltaje para ese ángulo está dado por:

$$V_{ab} = 240 * \left\{ \frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{1}{2} * \text{sen}(2 * \alpha) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{ab} = 240 * \left\{ \frac{1}{\pi} \left[(\pi - 3.055) + \frac{1}{2} * \text{sen}(2 * 3.055) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{ab} = 2.66 _ V_{rms}$$

5.1.2 Limitación de la corriente en arranque como protección para el motor inducción trifásico

La corriente nominal (I_n) del motor de inducción trifásico se incrementa en un determinado número de veces según el tipo de arranque implementado. La corriente de arranque (I_{arr}) en el motor de inducción con un arrancador suave en configuración delta está dada por:

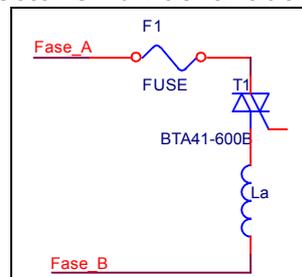
$$I_{arr} = 3 * I_n$$

$$I_{arr} = 3 * 1.9$$

$$I_{arr} = 5.7 \text{ Amp.}$$

Para evitar corrientes superiores que ocasionen daños al motor, se limita la corriente con un fusible comercial un poco inferior a 5.7 Amp en cada devanado del motor de inducción.

Figura 45 Fusible protector en un devanado del motor de inducción.

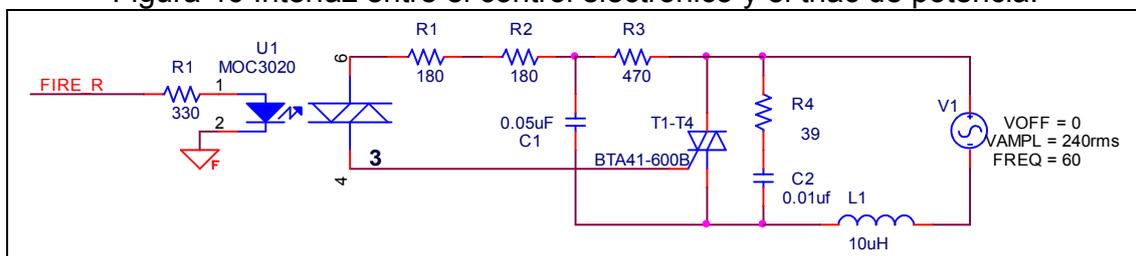


Fuente: Los autores

5.1.3 Aislamiento de los pulsos de disparo.

Para aislar las señales de disparo que llegan al triac generadas por el micro controlador, se utiliza el optotriac MOC3020, un optoacoplador que permite un paso máximo de 30mA en su Led interno. Tiene una protección para voltajes pico de 400V y es implementado para la activación de Triac's sensibles en compuerta. El circuito para el aislamiento se muestra en la figura 46, que también implementa la configuración de la red Snubber para proteger al triac de potencia y al optotriac de altos transientes de voltaje.

Figura 46 Interfaz entre el control electrónico y el triac de potencia.



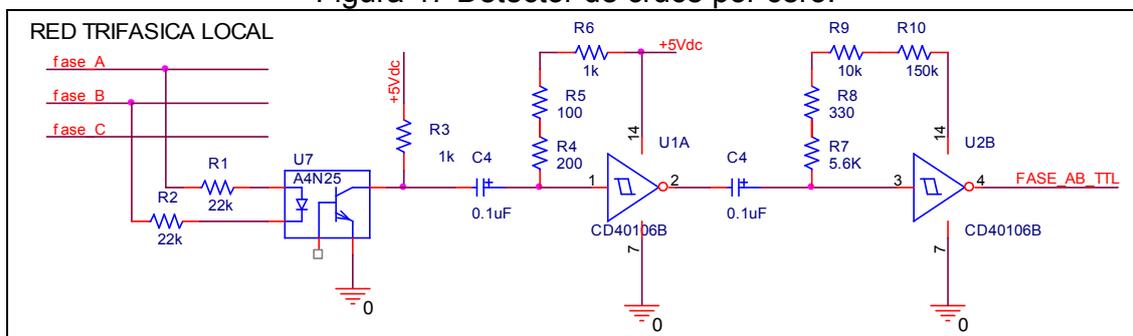
Fuente: Los autores

5.1.4 Detector de cruce por cero.

La configuración del circuito del detector de cruce por cero se muestra en la figura 47, está diseñado para hacer una réplica en niveles TTL de la señal de voltaje de entrada V_{AB} ; cuando la señal de voltaje V_{AB} está en el semiciclo positivo el LED interno del 4N25 entra en conducción y activa el transistor interno. Tiene un inconveniente debido a que el LED se enciende al voltaje de diodo (0.7 V) y el sistema tardara un corto tiempo en activarse después del cruce por cero.

Para sincronizar el detector con el cruce por cero se usa un arreglo de compuertas inversoras con Smith-trigger (CD40106B) como detector de flanco, con la opción de ajustar el periodo de la señal. Esto permite dar una mayor precisión al circuito detector de cruce por cero.

Figura 47 Detector de cruce por cero.

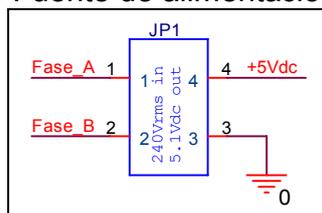


Fuente: Los autores

5.1.5 Fuente de alimentación.

Como fuente de voltaje para el microcontrolador, LCD, y los demás circuitos que requieren corriente continua se utilizó un convertidor de voltaje AC/DC Sony de 240V_{rms} con una salida de 5.1 V en DC a 450mA.

Figura 48 Fuente de alimentación 5.1V DC



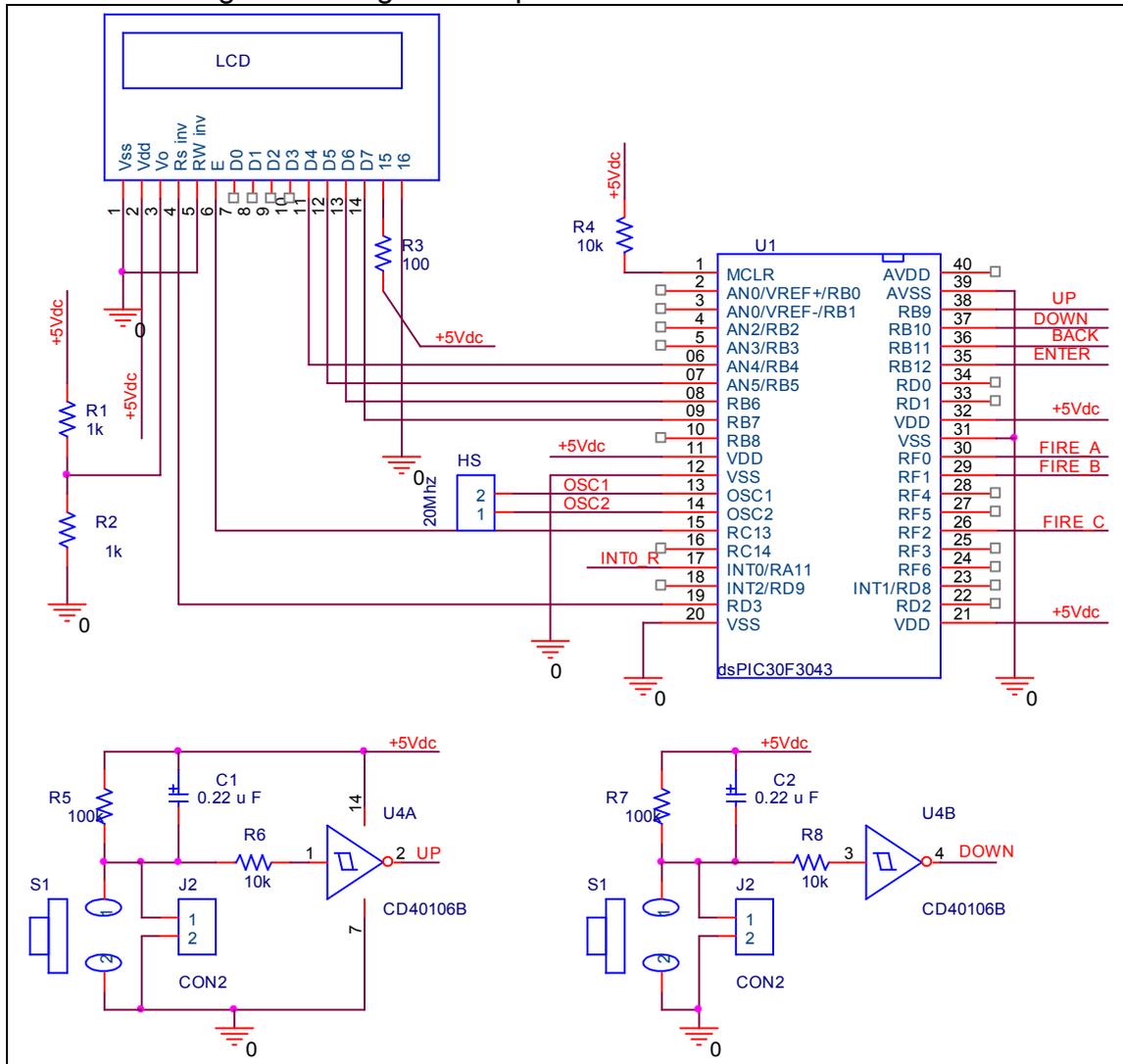
Fuente: Los autores

En aplicaciones industriales cuando al eje del motor se le adiciona carga mecánica y/o cuando el tiempo de operación es prolongado se hace necesario adicionarle al esquema de potencia un circuito by-pass que está constituido por contactares o relés conectados en paralelo a los tiristores. Cuando termina el arranque suave los by-pass conectan el motor directamente a la red eléctrica trifásica, en ese mismo instante se debe apagar los tiristores.

5.2 ETAPA DE CONTROL.

La etapa de control está conformada por el microcontrolador, la pantalla de cristal líquida (LCD) y los circuitos pulsadores libres de rebote. La configuración del circuito principal de la etapa de control se muestra en el figura 49.

Figura 49 Diagrama esquemático del circuito de control



Fuente: Los autores

5.2.1 Microcontrolador

Como circuito controlador se selecciono el Dspic 30f4013 un controlador digital de señal de alto rendimiento fabricado por microchip a continuación se muestra sus principales características:

- Arquitectura Harvard modificada
- 84 instrucciones base
- 2 Kbytes de memoria RAM.
- 1 Kbytes no volátil de datos en memora EEPROM.
- Registros de 16bits

- 40Mhz de entrada externa de reloj
- 4Mhz- 10Mhz con PLL activo (4x, 8x, 16x)
- 3 fuentes de interrupción externa

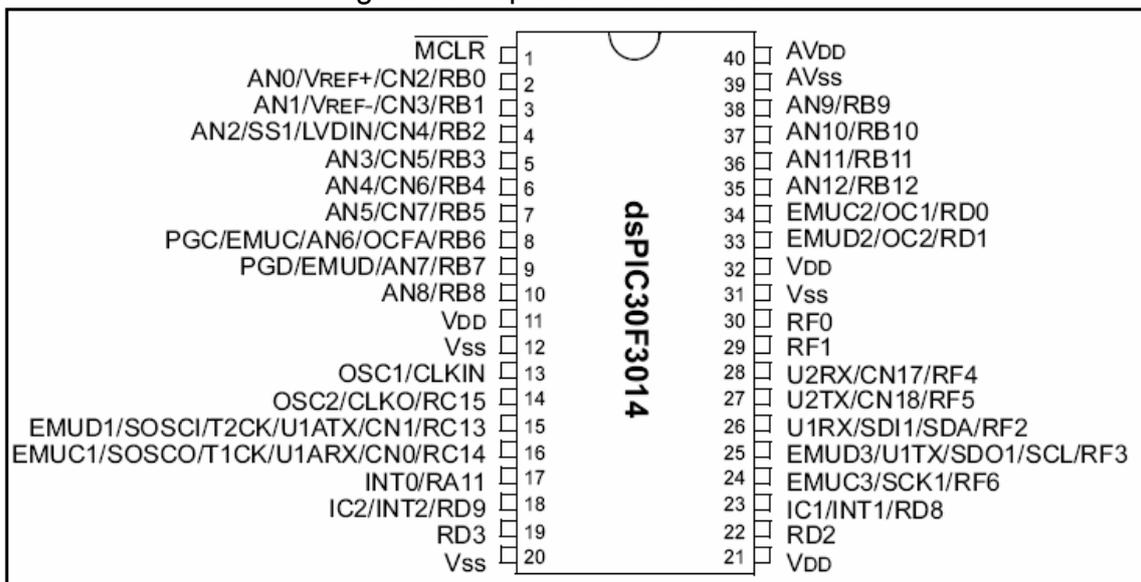
Características de periféricos:

- Dos módulos UART, con buffers FIFO
- Módulos Timers de 16 bit,

Características análogas:

- Conversor análogo digital de 12-bits con:
 - Tasa de conversión de 100 Ksps
 - 13 canales

Figura 50 Dspic 30f4013 o 30f3014.



Fuente: Microchip. dsPIC30F3014, dsPIC30F4013. Data Sheet High-Performance Digital Signal Controllers. Microchip technology Inc.2004.

5.2.2 Pantalla LCD.

Los arrancadores suaves requieren visualizar información del estado actual de trabajo, para ello se emplea la pantalla de cristal líquido alfanumérica (LCD) de 2x16. Este dispositivo de interfaz visual es mostrado en la figura 51 y sus pines se describen en la tabla 7.

Figura 51 Pantalla LCD 2x16



Fuente: proyecto-test-hm1.googlecode.com/files/Cap_No_07.pdf

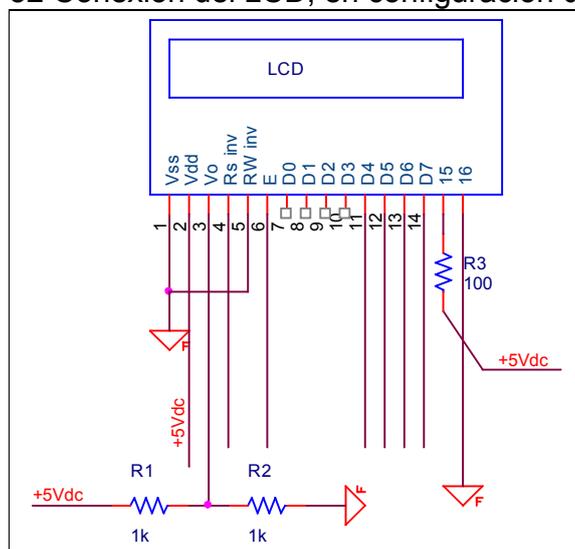
Tabla 7 Terminales de Pantalla LCD 2x16

Terminal	Nombre	Función	Descripción
1	Vss	Energía	Referencia Gnd
2	Vdd	Energía	+ 5 V DC
3	Vee	Ajuste contraste	Variable de 0-5 V
4	RS	Comando	Dato/comando
5	R/W	Comando	Lectura/escritura
6	E	Comando	Habilitación
7	D0	E/S	Dato LSB
8	D1	E/S	Dato
9	D2	E/S	Dato
10	D3	E/S	Dato
11	D4	E/S	Dato
12	D5	E/S	Dato
13	D6	E/S	Dato
14	D7	E/S	Dato

Fuente: proyecto-test-hm1.googlecode.com/files/Cap_No_07.pdf

Este tipo de pantallas permite la recepción de comandos de 8 o 4 bits. Para dejar libres algunos pines del puerto B del microcontrolador Dspic 30f4013 para posteriores aplicaciones. Se trabajó el envío de comandos en la configuración de 4 bits y su conexión se muestra en la figura 52.

Figura 52 Conexión del LCD, en configuración de 4 bits



Fuente: Los autores

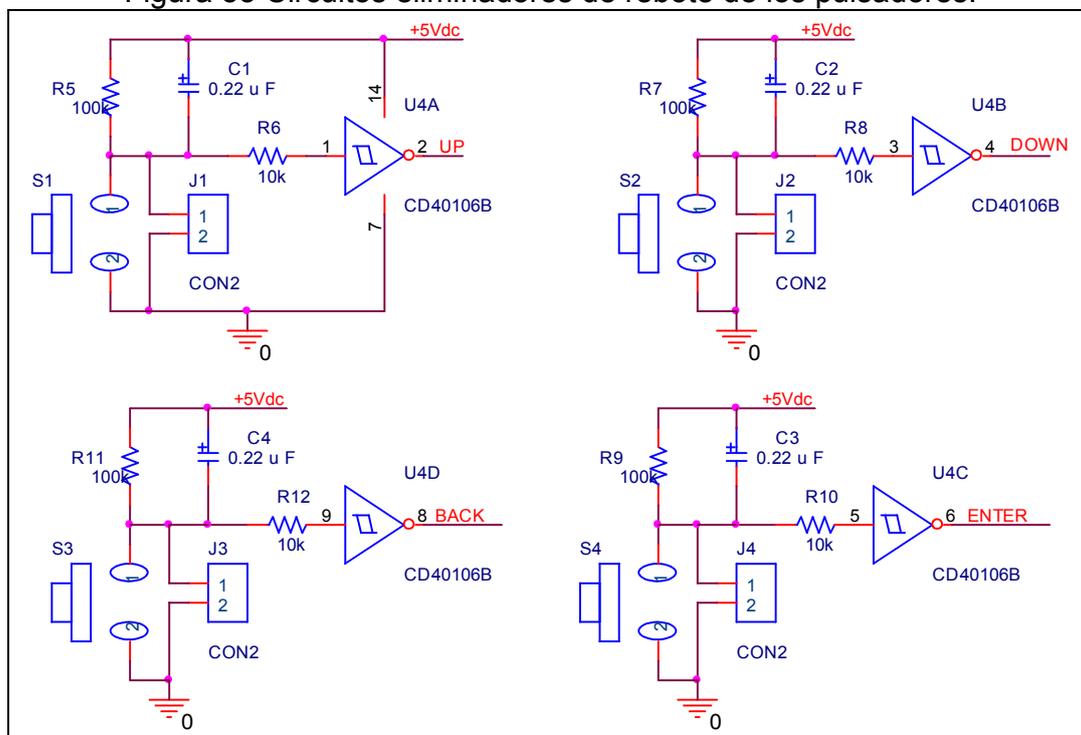
5.2.3 Pulsadores libres de rebote.

Para accionar con de arrancador suave se disponen de 4 pulsadores encargados del desplazamiento por el menú y selección de modo de trabajo. Estos pulsadores se diseñaron libres de rebote por hardware y su esquema se muestra en la figura 53.

Los pulsadores cumplen con las siguientes funciones:

- Pulsadores Up y Down: los cuales sirven para desplazarse por las diferentes opciones que se aprecian en los menús.
- Pulsador de Enter: sirve para seleccionar la opción deseada mostrada en el LCD.
- Pulsador Back: permite retornar al menú principal.

Figura 53 Circuitos eliminadores de rebote de los pulsadores.



Fuente: Los autores

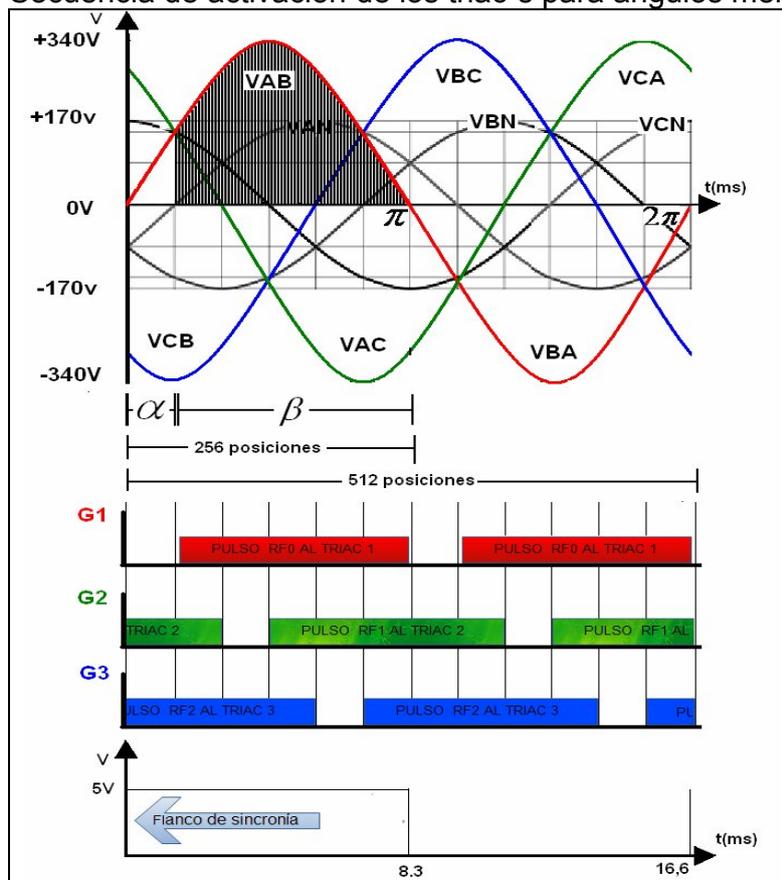
6. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE CONTROL

El programa desarrollado para el microcontrolador dspic 30f4013 tiene como principales funciones controlar la activación de los Triac's, referenciar los cruces por cero de red, realizar conteos, enviar comandos al LCD y saber el estado de los 4 pulsadores encargados de la navegación por el menú.

6.1 ACTIVACIÓN DE LOS TIRISTORES

Tres diferentes secuencias de pulso generan el microcontrolador para activar los tiristores una vez detectado el cruce por cero con flanco positivo. La explicación del proceso está referida a las figuras 40 y 49. Si alfa es menor a 60° , la secuencia es Triac1-Triac2-Triac3- Triac1- Triac2- Triac3 como de muestra en la figura 54, si alfa es menor a 120° la secuencia es Triac3-Triac1-Triac2- Triac3- Triac1-Triac2 y para ángulos menores a 180° la secuencia Triac2- Triac3- Triac1- Triac2- Triac3- Triac1.

Figura 54 Secuencia de activación de los triac's para ángulos menores a 60°



Fuente: Los autores

La resolución del ángulo de control en la señal de compuerta, está dada por:

$$\text{Resolución de alfa} = 180^\circ / 256 = 0.703^\circ$$

Esta resolución indica el tiempo de ocurrencia de la interrupción por timer1.

Para los ángulos en donde los voltajes de línea cruzan por cero. En la tabla 8 se muestra su equivalencia a una posición entre 256, ya que el microcontrolador no opera con el valor del ángulo sino con un registro de posición.

Tabla 8 Equivalencia entre el ángulo de disparo y el registro de posición.

alfa	Registro posición
0	0
60	86
120	171
180	256
240	342
300	427
360	512

Fuente: propia de los autores

El ángulo alfa en el inicio del arranque es 175.7° en la posición 250, el alfa mínimo con el que se termina es 63° en la posición 90, por efectos de cálculos este valor se aproxima a 100 que es la posición final 100, con fin de garantizar discontinuidad en la corriente del estator.

El tiempo del arranque es directamente proporcional al número de ciclos empleados durante el mismo, para calcular el número de ciclos de red, en que un mismo valor de ángulo se repite, se emplea la ecuación 14.

$$\#ciclos_angle = \left(\frac{60 * t_{arr}}{|P_f - P_i|} \right) \quad (14)$$

Donde:

t_{arr} = tiempo de arranque,

P_f = posición del alfa final

P_i = posición del alfa inicial

$\#ciclos_angle$ = numero de ciclos de red, para un mismo valor de alfa.

En la tabla 9 se muestran las variables usadas para calcular el número de ciclos de red para alfa en un arranque de 5seg.

Tabla 9 Calculo de los ciclos de red para alfa en un arranque de 5 segundo.

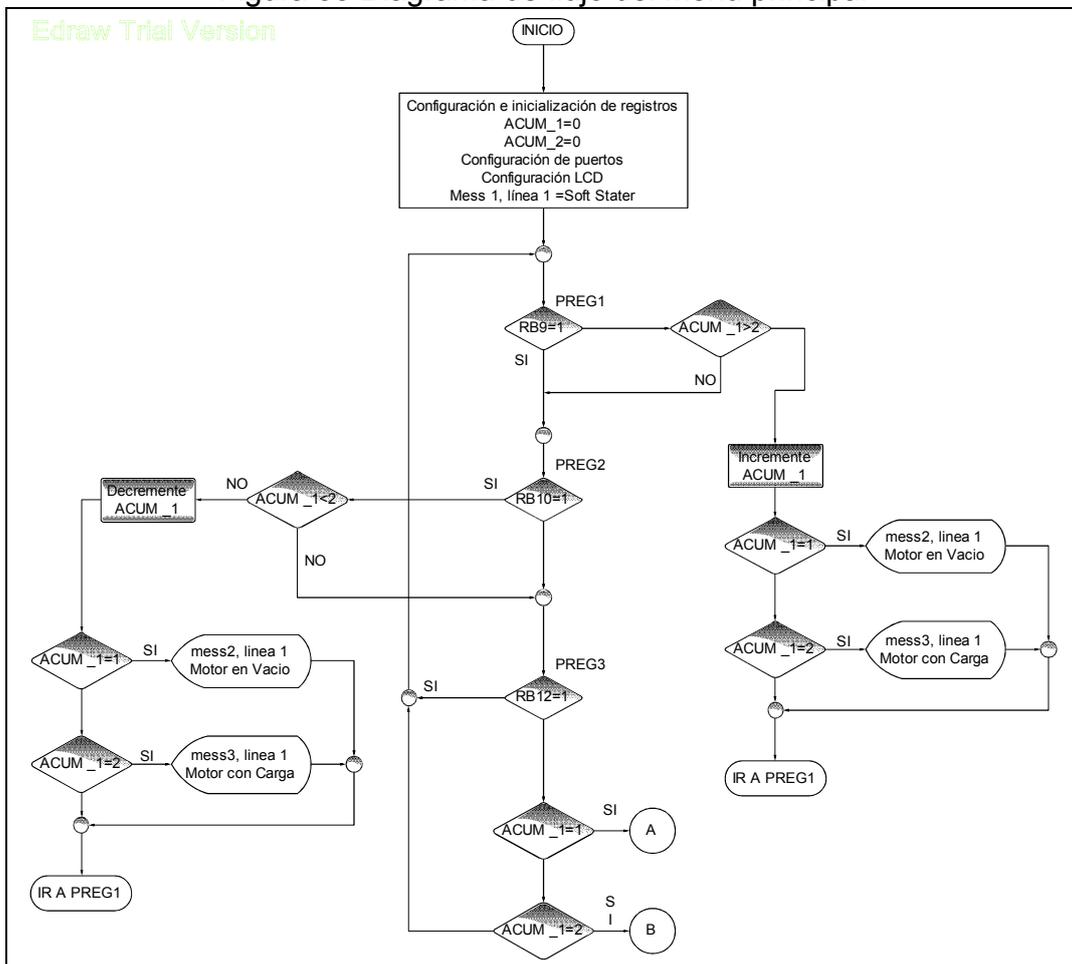
Arranque en vacío 5 seg.		
frecuencia ciclo	60	Ciclos/seg.
tiempo de arranque (tarr)	5	Seg.
ciclos en arranque ($60 * t_{arr}$)	300	ciclos
posición inicial de alfa (P_i)	250	
posición final de alfa (P_f)	100	
ángulos usados ($ P_f - P_i $)	150	
#ciclos_angle	2	Ciclos por ángulo

Fuente: propia de los autores

6.2 SISTEMA DE MENÚ Y LCD.

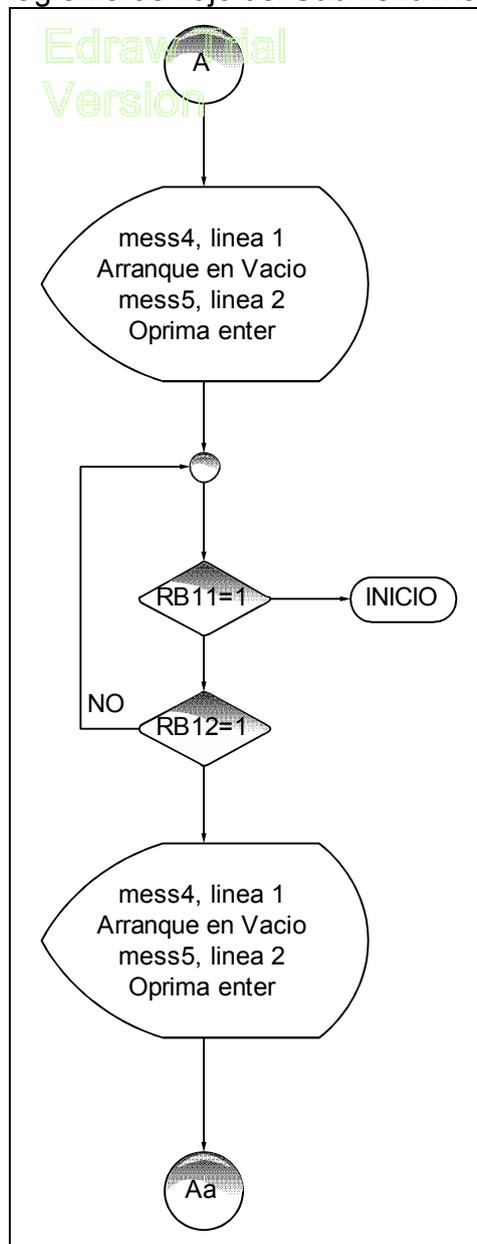
El LCD es el encargado de visualizar el menú donde se encuentran los diferentes tipos de arranque que se desea ejecutar. Está compuesto de dos submenús, el primero llamado Motor en vacío el cual está diseñado para arranques sin carga en motores trifásicos de baja potencia con una duración de cinco segundos. El Segundo submenú se denomina Motor con carga, y está pensado para arranques según la clase de carga con tiempos de arranque más prolongados. Los diagramas de flujo de las figuras 55,56 y 57 describen estos procesos.

Figura 55 Diagrama de flujo del menú principal



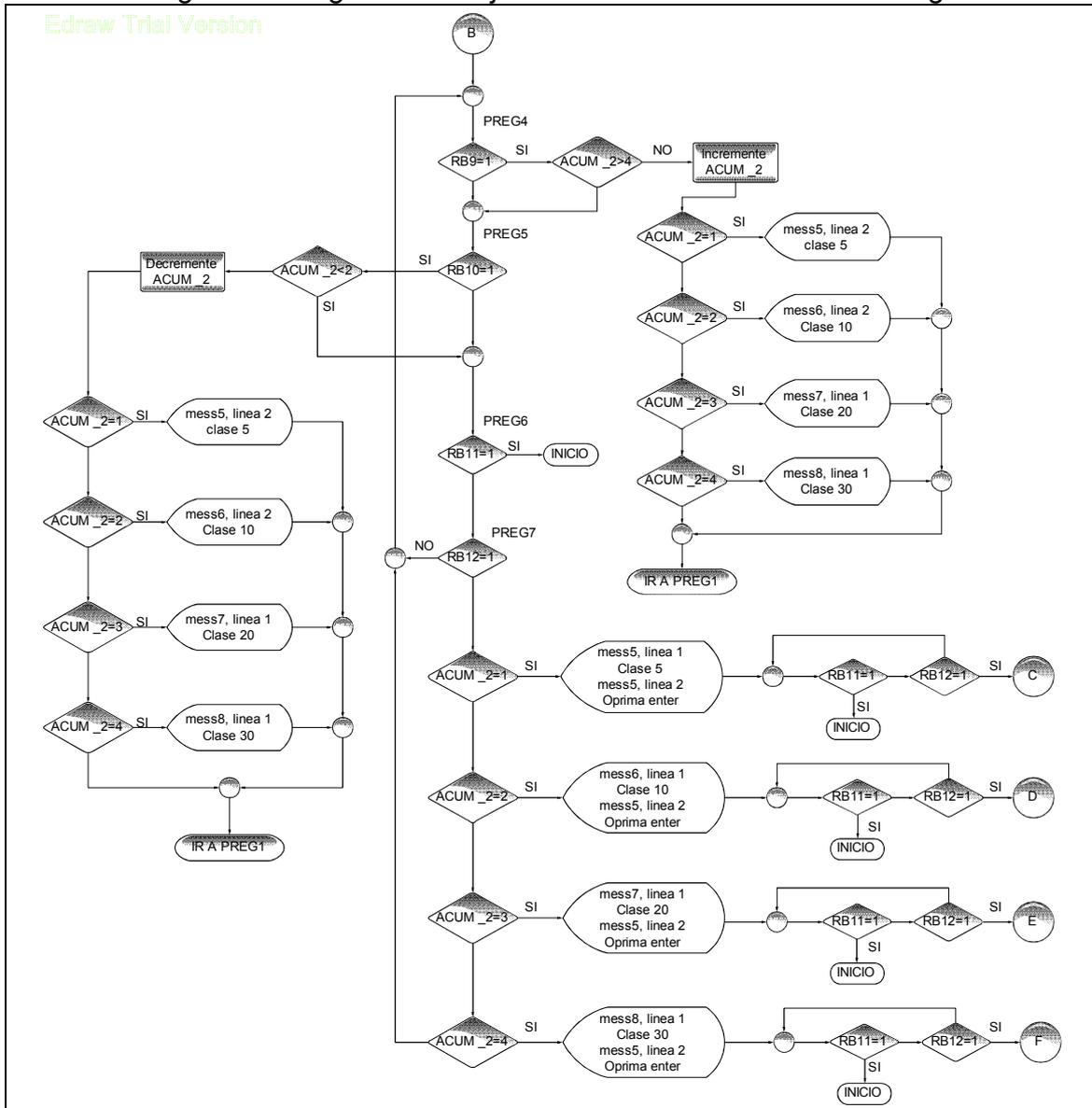
Fuente: propia de los autores

Figura 56 Diagrama de flujo del Submenú Motor en vacío.



Fuente: Los autores

Figura 57 Diagrama de flujo de Submenú del motor con Carga



Fuente: Los autores

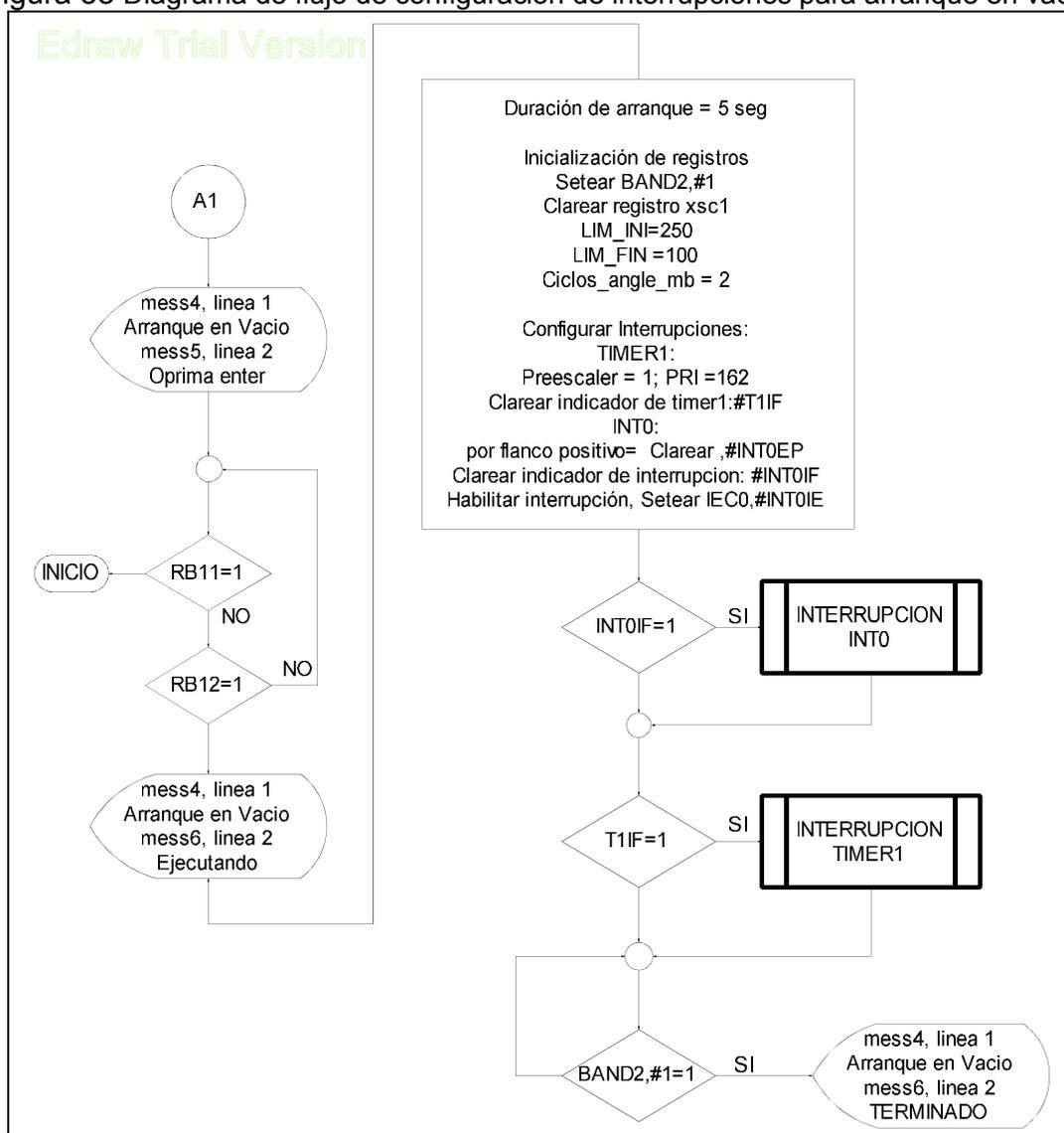
6.3 CONFIGURACIÓN DE INTERRUPCIONES.

Las interrupciones INT0 y TIMER1 del microcontrolador que intervienen en el arranque se configuran antes de comenzar.

El bit 1 del registro band2, permanece en alto mientras el arranque se ejecuta.

El registro LIM_FIN se carga con 100, y LIM_INI = 250, para delimitar los ángulos que intervienen, se debe especificar por cuantos ciclos de red alfa permanece en un mismo valor de ángulo para un arranque de 5seg. La figura 58 muestra el diagrama de flujo para un arranque en vacio.

Figura 58 Diagrama de flujo de configuración de interrupciones para arranque en vacio.

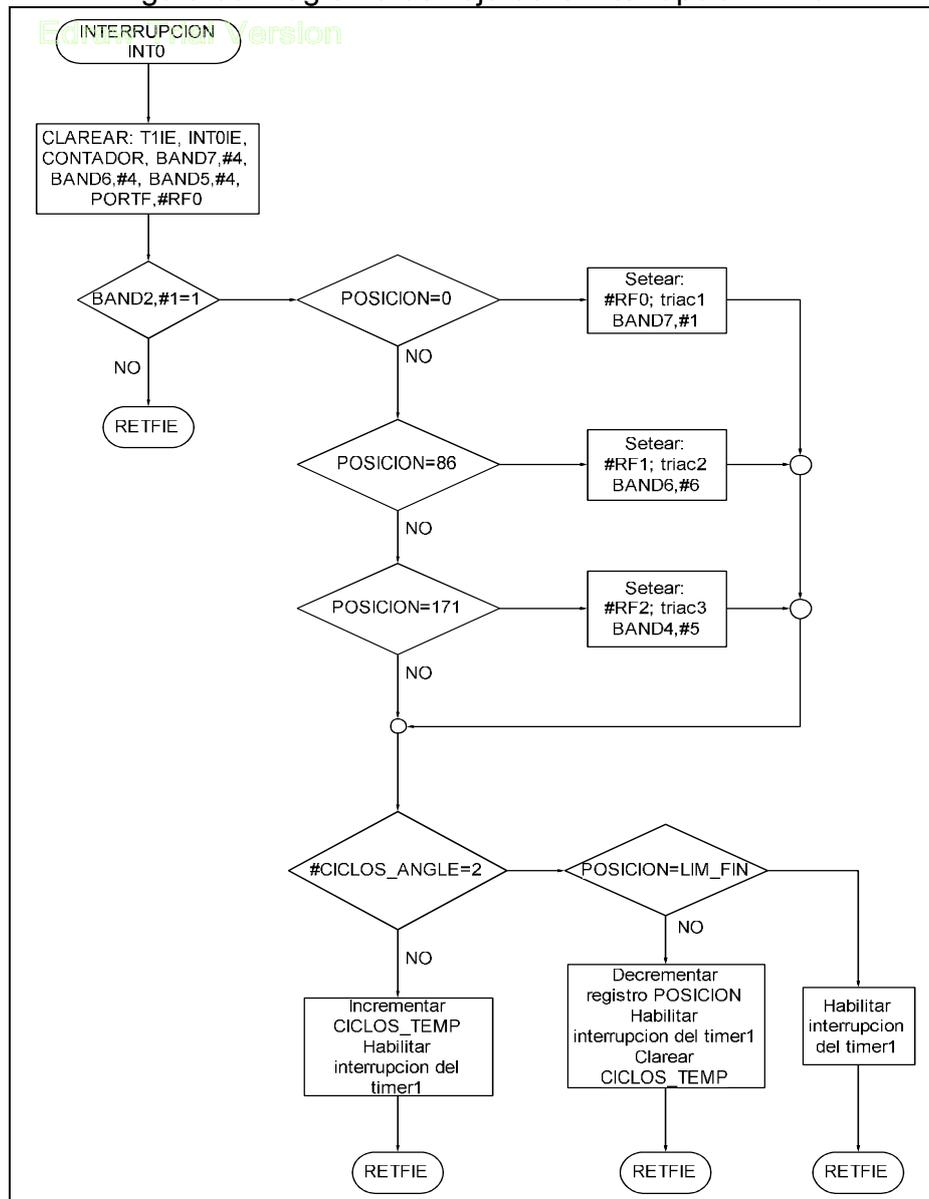


Fuente: Los autores

6.4 INTERRUPCIÓN EXTERNA INT0

El microcontrolador cuenta con tres interrupciones externas de las cuales solo fue necesario utilizar la interrupción INT0 y es configurada para detectar el flaco positivo de la señal de voltaje de línea V_{AB} que ocurre cada 60Hz. Cuando termina la interrupción externa se habilita la interrupción por Timer1, el diagrama de flujo del proceso se muestra en la figura 59

Figura 59 Diagrama de flujo de la interrupción INT0.

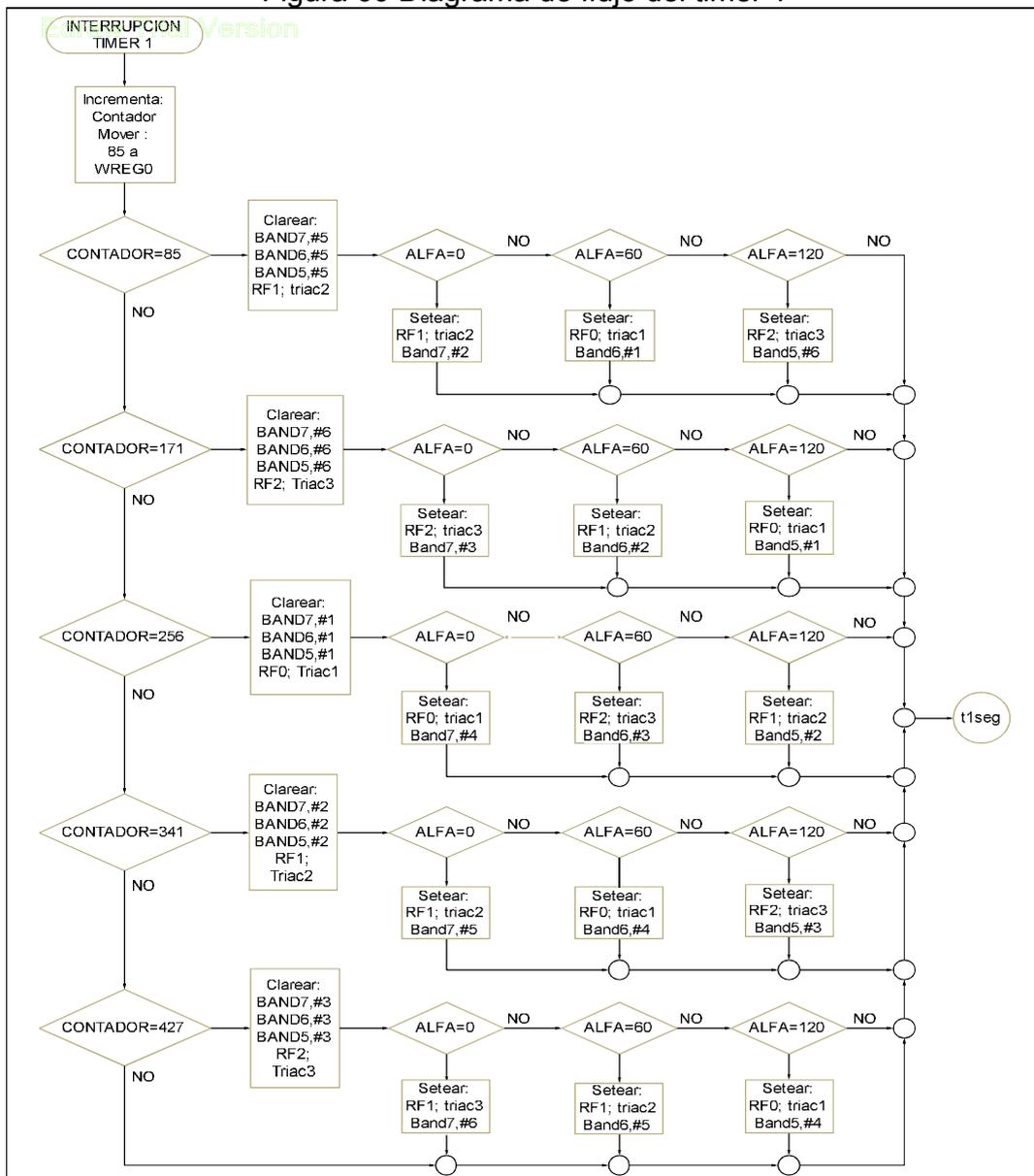


Fuente: Los autores

6.5 INTERRUPCIÓN POR TIMER1

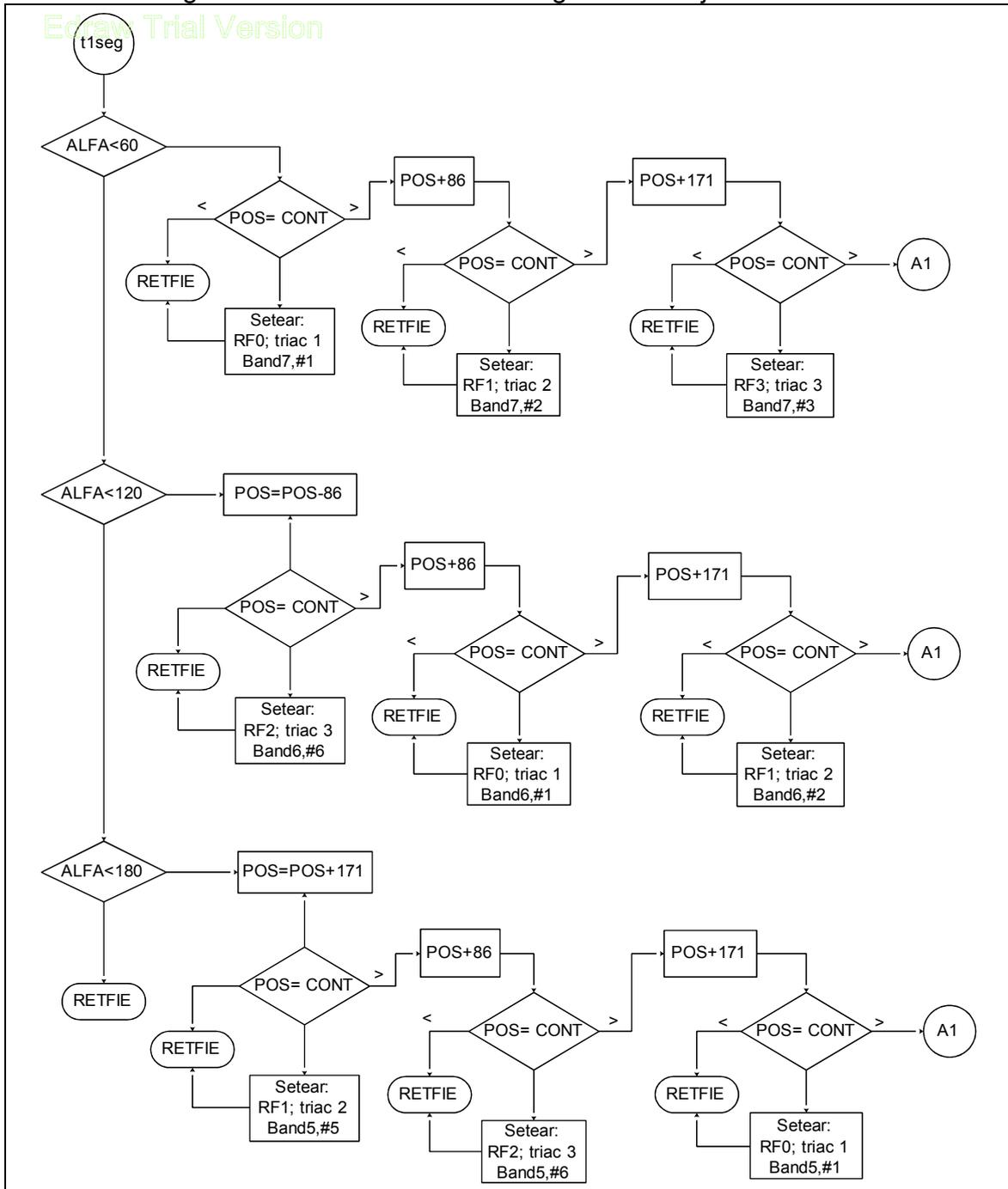
La interrupción por timer1 ocurre cada 32 microsegundos e incrementa un registro llamado contador que se compara con el valor del registro posición que representa el ángulo alfa dentro del microcontrolador, cuando son iguales ambos registros se ejecuta la respectiva secuencia. Estos procesos son mostrados en las figuras 60, 61 y 62 mediante diagramas de flujo.

Figura 60 Diagrama de flujo del timer 1



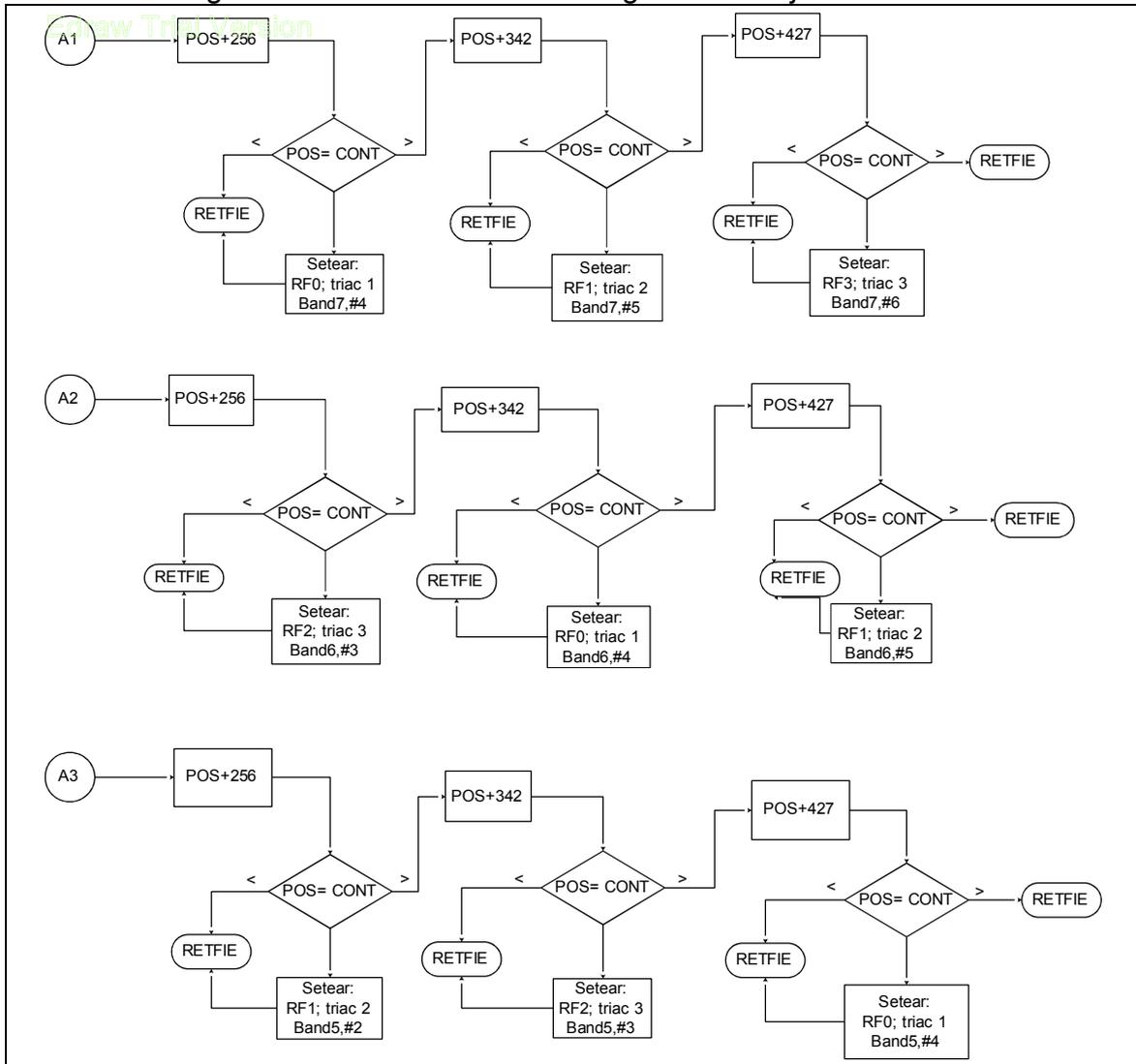
Fuente: Los autores

Figura 61 Continuación 1 del Diagrama de flujo del timer 1



Fuente: Los autores

Figura 62 Continuación 2 del Diagrama de flujo del timer 1



Fuente: Los autores

7. CONCLUSIONES

- La conexión del arrancador suave en delta interna en el motor de inducción trifásico, redujo la corriente en el momento del arranque con respecto a un arranque directo realizado al motor de inducción trifásico trabajado en el proyecto.
- Se comprobó la necesidad de aislar el circuito de control del de potencia, para mantener en una adecuada operación del microcontrolador sin ruido e interferencia y una protección contra cortocircuitos.
- La duración del tiempo de arranque está relacionado con el tipo de carga asociada al motor, y estándares internacionales que enmarcan el tipo de arranque.
- En el control del arranque de un motor de inducción trifásico se debe conocer el ángulo del factor de potencia del motor para determinar el mínimo ángulos de disparo del tiristor.
- En la configuración del controlador de voltaje de AC dentro del delta la corriente de salida tiene un comportamiento discontinuo.
- En algunas configuraciones de controladores de voltaje de AC donde solo conduce un SCR al tiempo, el par de SCR en antiparalelo se puede reemplazar por un Triac, con este cambio los costos del sistema disminuyen.

BIBLIOGRAFÍA

Muhammad H. Rashid. Electrónica de Potencia : Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones. 3a.ed. -- México : Pearson Education, 2004

Boldea Ion, Nasar Syed A. The induction machine handbook. Electric Power Engineering serie. CRC. press.2001.968P.

Sueker Keith H. Power Electronics Design. A Practitioner's Guide. Primera edicion. United States of America. Newnes. 2005. 272P.

Stepher S. Chapman. Electric Machinery Fundamentals. Cuarta edicion. United States of America. McGraw Hill Higher Education. 2004. 746P.

Hickey Robert B. Electrical Engineer's Portable Handbook. Segunda edicion. United States of America. McGraw-Hill. 2003. 575P.

Barnes Malcolm. Practical Variable Speed Drives and Power Electronics. Primera edicion. Great Britain. Newnes. 2003 .304P.

Emadi Ali. Energy-Efficient Electric Motors. Tercera edicion. New York. Newnes. 2005. 304P

Fitzgerald A. E, Kingsley Jr Charles & Umans Stephen D. Electric Machinery. United States of America. McGraw-Hill. 2002. 704P.

ANEXOS

Código de programación en lenguaje ensamblador del arrancador suave

```

.EQU  CONTADOR,#0X0802
.EQU  ALFA,#0X0804
.EQU  LIM_INI,#0X0806
.EQU  LIM_FIN,#0X0808
.EQU  PASO_ANGLE,#0X080A
.EQU  ANGLE_USO,#0X080C
.EQU  TOTAL_CICLOS,#0X080E
.EQU  CICLOS_ANGLE_MB,#0X0810
.EQU  XSC1,#0X0812
.EQU  BAND1,#0X0814
.EQU  BAND2,#0X082A
.EQU  R0E,#0X0816
.EQU  DATO_ENVIO,#0X0818
.EQU  LCD_TEMP,#0X081A
.EQU  PRIMERO,#0X081C
.EQU  SEGUNDO,#0X081E
.EQU  TERCERO,#0X0820
.EQU  CUARTO,#0X0822
.EQU  QUINTO,#0X0824
.EQU  ACUMULADOR,#0X0826
.EQU  RET,#0X0828
.EQU  ACUMULADOR_MD1,#0X082C
.EQU  ACUMULADOR_MD2,#0X082E
.EQU  UNIDADES,#0X0830
.EQU  DECENAS,#0X0832
.EQU  CENTENAS,#0X0834
.EQU  UNIDX,#0X0836
.EQU  DECEX,#0X0838
.EQU  CENTX,#0X083A
.EQU  CONTADOR_R,#0X083C
.EQU  CONTADOR_T,#0X083E
.EQU  CONTADOR_S,#0X0840
.EQU  ALFA_I,#0X0842
.EQU  ALFA_II,#0X0844
.EQU  CLASS_TIME,#0X0848
.EQU  CONTA_SYNC,#0X084A
.EQU  BAND3,#0X084C
.EQU  BAND4,#0X084E
.EQU  BAND7,#0X0850
.EQU  BAND6,#0X0852
.EQU  BAND5,#0X0854

.INCLUDE "P30F4013.INC"
.GLOBAL  __reset
.GLOBAL  __INT0Interrupt
.GLOBAL  __T1Interrupt
.TEXT

MOV #0X0870,W15
MOV #0X08FE,W0
MOV W0,SPLIM
GOTO INICIO

;=====
;      INTERRUPCION
;=====
__INT0Interrupt:
PUSH.S
CLR  TMR1
BCLR IEC0,#INT0IE
GOTO APOS
SALIRINT0:
      BCLR  IFS0,#INT0IF
      POP.S
      RETFIE
APOS:
      CLR  CONTADOR
      BCLR BAND7,#4
      BCLR BAND6,#4
      BCLR BAND4,#4
      BCLR PORTB,#RB0
      MOV  #0,W0
      CP   ALFA
      BRA  Z,ANGLE_0_0
      MOV  #85,W0
      CP   ALFA
      BRA  Z,ANGLE_60_0
      MOV  #171,W0
      CP   ALFA
      BRA  Z,ANGLE_120_0
      GOTO MODE_SOFT

ANGLE_0_0:
      BSET PORTB,#RB0
      BSET BAND7,#1
      GOTO MODE_SOFT

ANGLE_60_0:
      BSET PORTB,#RB2
      BSET BAND6,#6
      GOTO MODE_SOFT

ANGLE_120_0:
      BSET PORTB,#RB1
      BSET BAND4,#5
      GOTO MODE_SOFT

__reset:

```

```

MODE_SOFT:
    BTSC BAND1,#1
    GOTO MOD_STOP
    BTSC BAND2,#0
    GOTO MOD_MANUAL

    BTSC BAND2,#1
    GOTO MOD_BASIC0
    BTSC BAND2,#3
    GOTO MOD_PALANCA

    BTSC BAND2,#4
    GOTO MOD_OPCIONAL

    BCLR IEC0,#INT0IE

    BCLR IEC0,#T1IE
    GOTO SALIRINT0

MOD_MANUAL:
SEG_MANUAL_0:
    BCLR IFS0,#T1IF
    BSET IEC0,#T1IE
    GOTO SALIRINT0

MOD_BASIC0:
    MOV CICLOS_ANGLE_MB,W0

    CP XSC1
    BRA Z,CAMB_ANGLE_MB

    MOV XSC1,W0
    INC W0,W0
    MOV W0,XSC1
    BCLR IFS0,#T1IF
    BSET IEC0,#T1IE
    GOTO SALIRINT0

CAMB_ANGLE_MB:
    MOV LIM_FIN,W0
    CP ALFA
    BRA Z,SALE_MDB_ARRAN
    CLR XSC1
    DEC ALFA
    BCLR IFS0,#T1IF
    BSET IEC0,#T1IE
    GOTO SALIRINT0

MOD_STOP:
    MOV CICLOS_ANGLE_MB,W0

    CP XSC1

CAMB_ANGLE_ST:
    MOV LIM_FIN,W0
    CP ALFA
    BRA Z,SALE_MOD_STOP
    CLR XSC1
    INC ALFA
    BCLR IFS0,#T1IF
    BSET IEC0,#T1IE
    GOTO SALIRINT0

SALE_MOD_STOP:
    CLR BAND1
    BCLR PORTB,#RB0
    CLR BAND7
    BCLR PORTB,#RB1
    CLR BAND6
    BCLR PORTB,#RB2
    CLR BAND4
    BCLR IFS0,#T1IF
    BCLR IEC0,#T1IE
    BCLR IFS0,#INT0IF
    BCLR IEC0,#INT0IE
    GOTO SALIRINT0

SALE_MDB_ARRAN:
    CLR BAND2
    BCLR PORTB,#RB0
    CLR BAND7
    BCLR PORTB,#RB1
    CLR BAND6
    BCLR PORTB,#RB2
    CLR BAND4
    BCLR IFS0,#T1IF
    BCLR IEC0,#T1IE
    BCLR IFS0,#INT0IF
    BCLR IEC0,#INT0IE
    GOTO SALIRINT0

MOD_PALANCA:
    NOP
    GOTO SALIRINT0

MOD_OPCIONAL:
    NOP
    GOTO SALIRINT0

```

```

=====
;
;   TIMER
;
=====
__T1Interrupt:
    PUSH.S
    INC    CONTADOR
    MOV    #85,W0
    CP    CONTADOR
    BRA    Z,_CLR_1
    MOV    #171,W0
    CP    CONTADOR
    BRA    Z,_CLR_2
    MOV    #256,W0
    CP    CONTADOR
    BRA    Z,_CLR_3
    MOV    #341,W0
    CP    CONTADOR
    BRA    Z,_CLR_4
    MOV    #427,W0
    CP    CONTADOR
    BRA    Z,_CLR_5
    GOTO  SEG_T1

_CLR_1:
    BCLR  BAND7,#5
    BCLR  BAND6,#5
    BCLR  BAND4,#5
    BCLR  PORTB,#RB1
    MOV    #0,W0
    CP    ALFA
    BRA    Z,ANGLE_0_85
    MOV    #85,W0
    CP    ALFA
    BRA    Z,ANGLE_60_85
    MOV    #171,W0
    CP    ALFA
    BRA    Z,ANGLE_120_85
    GOTO  SEG_T1

ANGLE_0_85:
    BSET  PORTB,#RB1
    BSET  BAND7,#2
    GOTO  SEG_T1

ANGLE_60_85:
    BSET  PORTB,#RB0
    BSET  BAND6,#1
    GOTO  SEG_T1

ANGLE_120_85:
    BSET  PORTB,#RB2
    BSET  BAND4,#6
    GOTO  SEG_T1

```

```

_CLR_2:
    BCLR  BAND7,#6
    BCLR  BAND6,#6
    BCLR  BAND4,#6
    BCLR  PORTB,#RB2
    MOV    #0,W0
    CP    ALFA
    BRA    Z,ANGLE_0_171
    MOV    #85,W0
    CP    ALFA
    BRA    Z,ANGLE_60_171
    MOV    #171,W0
    CP    ALFA
    BRA    Z,ANGLE_120_171
    GOTO  SEG_T1

ANGLE_0_171:
    BSET  PORTB,#RB2
    BSET  BAND7,#3
    GOTO  SEG_T1

ANGLE_60_171:
    BSET  PORTB,#RB1
    BSET  BAND6,#2
    GOTO  SEG_T1

ANGLE_120_171:
    BSET  PORTB,#RB0
    BSET  BAND4,#1
    GOTO  SEG_T1

_CLR_3:
    BCLR  BAND7,#1
    BCLR  BAND6,#1
    BCLR  BAND4,#1
    BCLR  PORTB,#RB0
    MOV    #0,W0
    CP    ALFA
    BRA    Z,ANGLE_0_180
    MOV    #85,W0
    CP    ALFA
    BRA    Z,ANGLE_60_180
    MOV    #171,W0
    CP    ALFA
    BRA    Z,ANGLE_120_180
    GOTO  SEG_T1

ANGLE_0_180:
    BSET  PORTB,#RB0
    BSET  BAND7,#4
    GOTO  SEG_T1

ANGLE_60_180:

```

```

        BSET  PORTB,#RB2
        BSET  BAND6,#3
        GOTO  SEG_T1

ANGLE_120_180:
        BSET  PORTB,#RB1
        BSET  BAND4,#2
        GOTO  SEG_T1

_CLR_4:
        BCLR  BAND7,#2
        BCLR  BAND6,#2
        BCLR  BAND4,#2
        BCLR  PORTB,#RB1
        MOV   #0,W0
        CP    ALFA
        BRA   Z,ANGLE_0_341
        MOV   #85,W0
        CP    ALFA
        BRA   Z,ANGLE_60_341
        MOV   #171,W0
        CP    ALFA
        BRA   Z,ANGLE_120_341
        GOTO  SEG_T1

ANGLE_0_341:
        BSET  PORTB,#RB1
        BSET  BAND7,#5
        GOTO  SEG_T1

ANGLE_60_341:
        BSET  PORTB,#RB0
        BSET  BAND6,#4
        GOTO  SEG_T1

ANGLE_120_341:
        BSET  PORTB,#RB2
        BSET  BAND4,#3
        GOTO  SEG_T1

_CLR_5:
        BCLR  BAND7,#3
        BCLR  BAND6,#3
        BCLR  BAND4,#3
        BCLR  PORTB,#RB2
        BCLR  INTCON2,#INT0EP
        BCLR  IFS0,#INT0IF
        BSET  IEC0,#INT0IE
        BCLR  PORTB,#RB1
        MOV   #0,W0
        CP    ALFA
        BRA   Z,ANGLE_0_427
        MOV   #85,W0
        CP    ALFA
        BRA   Z,ANGLE_60_427
        MOV   #171,W0
        CP    ALFA
        BRA   Z,ANGLE_120_427
        GOTO  SEG_T1

ANGLE_0_427:
        BSET  PORTB,#RB2
        BSET  BAND7,#6
        GOTO  SEG_T1

ANGLE_60_427:
        BSET  PORTB,#RB1
        BSET  BAND6,#5
        GOTO  SEG_T1

ANGLE_120_427:
        BSET  PORTB,#RB0
        BSET  BAND4,#4
        GOTO  SEG_T1
        GOTO  SEG_T1

SEG_T1:
        MOV   #0,W0
        CP    ALFA
        BRA   Z,MOD0III
        MOV   #85,W0
        CP    ALFA
        BRA   Z,MOD0II
        MOV   #171,W0
        CP    ALFA
        BRA   Z,MOD0I

SALTO1:
        MOV   #85,W0
        CP    ALFA
        BRA   LT,MOD0III
        MOV   #171,W0
        CP    ALFA
        BRA   LT,MOD0II
        MOV   #256,W0
        CP    ALFA
        BRA   LT,MOD0I

SALIRT1:
        BCLR  IFS0,#T1IF
        POP.S
        RETFIE
;=====
;                               MODO III
;=====

MOD0III:
        BTSC  BAND7,#5
        GOTO  BTGSCR5_III

```

```

CONT1_III:
    BTSC BAND7,#6
    GOTO BTGSCR6_III
    GOTO PREG_0_III

BTGSCR5_III:
    BTG PORTB,#RB1
    GOTO CONT1_III

BTGSCR6_III:
    BTG PORTB,#RB2
    GOTO PREG_0_III

PREG_0_III:
    MOV ALFA,W0

    CP CONTADOR
    BRA LT,SALIRT1
    BRA Z,ON_SCRIII_1
    BTSC BAND7,#1
    GOTO BTG_SCRIII_1
    GOTO PREG_1_III

PREG_1_III:
    MOV ALFA,W0
    ADD #85,W0
    CP CONTADOR
    BRA LT,SALIRT1
    BRA Z,ON_SCRIII_2
    BTSC BAND7,#2
    GOTO BTG_SCRIII_2
    GOTO PREG_2_III

PREG_2_III:
    MOV ALFA,W0
    ADD #171,W0
    CP CONTADOR
    BRA LT,SALIRT1
    BRA Z,ON_SCRIII_3
    BTSC BAND7,#3
    GOTO BTG_SCRIII_3
    GOTO PREG_3_III

PREG_3_III:
    MOV ALFA,W0
    ADD #256,W0
    CP CONTADOR
    BRA LT,SALIRT1
    BRA Z,ON_SCRIII_4
    BTSC BAND7,#4
    GOTO BTG_SCRIII_4
    GOTO PREG_4_III

PREG_4_III:
    MOV ALFA,W0
    ADD #341,W0
    CP CONTADOR
    BRA LT,SALIRT1
    BRA Z,ON_SCRIII_5

PREG_5_III:
    MOV ALFA,W0
    ADD #427,W0
    CP CONTADOR
    BRA LT,SALIRT1
    BRA Z,ON_SCRIII_6

PREG_6_III:
    MOV #512,W0
    CP CONTADOR
    BRA LT,SALIRT1
    BCLR BAND4,#1
    GOTO SALIRT1

BTG_SCRIII_1_0:
    BTG PORTB,#RB0
    BTSC BAND4,#2
    BTG PORTB,#RB1
    BTSC BAND4,#3
    BTG PORTB,#RB2
    BTSC BAND4,#2
    GOTO PREG_1_III
    GOTO SALIRT1

BTG_SCRIII_2_0:
    BTG PORTB,#RB1
    BTSC BAND4,#3
    GOTO PREG_2_III
    GOTO SALIRT1

BTG_SCRIII_3_0:
    BTG PORTB,#RB2; SCR1
    BTSC BAND4,#1
    GOTO PREG_3_III
    GOTO SALIRT1

BTG_SCRIII_4_0:
    BTG PORTB,#RB0; SCR1
    BTSC BAND4,#2
    GOTO PREG_4_III
    GOTO SALIRT1

BTG_SCRIII_5_0:
    BTG PORTB,#RB1
    BTSC BAND4,#3
    GOTO PREG_5_III
    GOTO SALIRT1

```



```

CP    CONTADOR
BRA   LT,SALIRT1
BRA   Z,ON_SCRII_3
BTSC  BAND6,#3
GOTO  BTG_SCRII_3
GOTO  PREG_4_II

PREG_4_II:
MOV   ALFA_II,W0
ADD   #341,W0
CP    CONTADOR
BRA   LT,SALIRT1
BRA   Z,ON_SCRII_4
BTSC  BAND6,#4
GOTO  BTG_SCRII_4
GOTO  PREG_5_II

PREG_5_II:
MOV   ALFA_II,W0
ADD   #427,W0
CP    CONTADOR
BRA   LT,SALIRT1
BRA   Z,ON_SCRII_5

PREG_6_II:
MOV   ALFA_II,W0
ADD   #512,W0
CP    CONTADOR
BRA   Z,SALIRT1
GOTO  SALIRT1

BTG_SCRII_6:
BTG   PORTB,#RB2
GOTO  PREG_1_II

BTG_SCRII_1:
BTG   PORTB,#RB0
GOTO  PREG_2_II

BTG_SCRII_2:
BTG   PORTB,#RB1
GOTO  PREG_3_II

BTG_SCRII_3:
BTG   PORTB,#RB2
GOTO  PREG_4_II

BTG_SCRII_4:
BTG   PORTB,#RB0
GOTO  PREG_5_II

BTG_SCRII_5:
BTG   PORTB,#RB1
GOTO  PREG_6_II

ON_SCRII_6:
BSET  PORTB,#RB2
BSET  BAND6,#6
GOTO  SALIRT1

ON_SCRII_1:
BSET  PORTB,#RB0
BSET  BAND6,#1
GOTO  SALIRT1

ON_SCRII_2:
BSET  PORTB,#RB1
BSET  BAND6,#2
GOTO  SALIRT1

ON_SCRII_3:
BSET  PORTB,#RB2
BSET  BAND6,#3
GOTO  SALIRT1

ON_SCRII_4:
BSET  PORTB,#RB0
BSET  BAND6,#4
GOTO  SALIRT1

ON_SCRII_5:
BSET  PORTB,#RB1
BSET  BAND6,#5
GOTO  SALIRT1

;=====
;                               MODO I
;=====
MODOI:
MOV   #171,W0
CP    ALFA
BRA   Z,CONTIII
MOV   ALFA,W0
SUB   #171,W0
MOV   W0,ALFA_I
GOTO  PREG_0_IB

CONTIII:
MOV   ALFA,W0
SUB   #170,W0
MOV   W0,ALFA_I
GOTO  PREG_0_IB

PREG_0_IB:
BTSC  BAND4,#5
GOTO  BTG_SCRIB_5
MOV   ALFA_I,W0
CP    CONTADOR
BRA   LT,SALIRT1

```

```

        BRA    Z,ON_SCRIB_5

PREG_1_IB:
    BTSC    BAND4,#6
    GOTO    BTG_SCRIB_6
    MOV     ALFA_I,W0
    ADD     #85,W0
    CP      CONTADOR
    BRA     LT,SALIRT1
    BRA     Z,ON_SCRIB_6

PREG_2_IB:
    BTSC    BAND4,#1
    GOTO    BTG_SCRIB_1
    MOV     ALFA_I,W0
    ADD     #171,W0
    CP      CONTADOR
    BRA     LT,SALIRT1
    BRA     Z,ON_SCRIB_1

PREG_3_IB:
    BTSC    BAND4,#2
    GOTO    BTG_SCRIB_2
    MOV     ALFA_I,W0
    ADD     #256,W0
    CP      CONTADOR
    BRA     LT,SALIRT1
    BRA     Z,ON_SCRIB_2

PREG_4_IB:
    BTSC    BAND4,#3
    GOTO    BTG_SCRIB_3
    MOV     ALFA_I,W0
    ADD     #341,W0
    CP      CONTADOR
    BRA     LT,SALIRT1
    BRA     Z,ON_SCRIB_3

PREG_5_IB:
    BTSC    BAND4,#4
    GOTO    BTG_SCRIB_4
    MOV     ALFA_I,W0
    ADD     #427,W0
    CP      CONTADOR
    BRA     LT,SALIRT1
    BRA     Z,ON_SCRIB_4

PREG_6_IB:MOV
    ALFA_I,W0
    ADD     #512,W0
    CP      CONTADOR
    BRA     LT,SALIRT1
    GOTO    SALIRT1

CLR_SCR4_1A3:
    BCLR    BAND4,#1
    BCLR    PORTB,#RB0
    GOTO    PREG_0_IB

BTG_SCRIB_5:
    BTG     PORTB,#RB1
    GOTO    PREG_1_IB

BTG_SCRIB_6:
    BTG     PORTB,#RB2
    GOTO    PREG_2_IB

BTG_SCRIB_1:
    BTG     PORTB,#RB0
    GOTO    PREG_3_IB

BTG_SCRIB_2:
    BTG     PORTB,#RB1
    GOTO    PREG_4_IB

BTG_SCRIB_3:
    BTG     PORTB,#RB2
    GOTO    PREG_5_IB

BTG_SCRIB_4:
    BTG     PORTB,#RB0
    GOTO    PREG_6_IB

ON_SCRIB_5:
    BSET    PORTB,#RB1
    BSET    BAND4,#5
    GOTO    SALIRT1

ON_SCRIB_6:
    BSET    PORTB,#RB2
    BSET    BAND4,#6
    GOTO    SALIRT1

ON_SCRIB_1:
    BSET    PORTB,#RB0
    BSET    BAND4,#1
    GOTO    SALIRT1

ON_SCRIB_2:
    BSET    PORTB,#RB1
    BSET    BAND4,#2
    GOTO    SALIRT1

ON_SCRIB_3:
    BSET    PORTB,#RB2
    BSET    BAND4,#3
    GOTO    SALIRT1

```

```

ON_SCRIB_4:
    BSET  PORTB,#RB0
    BSET  BAND4,#4
    GOTO  SALIRT1

=====
;
;      INICIO
;
=====

INICIO:
    BCLR  CORCON,#IPL3
    BCLR  SR,#IPL2
    BSET  SR,#IPL1
    BSET  SR,#IPL0
    MOV   #0XFFFF,W0
    MOV   W0,ADPCFG
    BCLR  TRISB,#RB4
    BCLR  TRISB,#RB5
    BCLR  TRISB,#RB6
    BCLR  TRISB,#RB7
    BCLR  TRISD,#RD3
    BCLR  TRISC,#RC13
    BSET  TRISF,#RF1
    BSET  TRISF,#RF3
    BSET  TRISF,#RF2
;
    BSET  TRISF,#RF4
    BCLR  TRISB,#RB0
    BCLR  TRISB,#RB1
    BCLR  TRISB,#RB2
    BCLR  TRISD,#RD2
    CLR   PORTD
    CLR   PORTB
    CLR   CONTADOR_R
    CLR   CONTADOR_T
    CLR   CONTADOR_S
    CLR   ALFA
    CLR   ANGLE_USO
    CALL  CLEAR_BAND
    CALL  LCDINICIO
    CALL  MESS_BIEN

INICIO_BUCLE:
    CLR   W4
    MOV   #0,W0
    MOV   W0,ACUMULADOR
    MOV   W0,ACUMULADOR_MD1
    MOV   W0,ACUMULADOR_MD2
    MOV   #01,W0
    MOV   W0,PRIMERO
    MOV   #02,W0
    MOV   W0,SEGUNDO
    MOV   #03,W0
    MOV   W0,TERCERO

MOV   #04,W0
MOV   W0,CUARTO
MOV   #05,W0
MOV   W0,QUINTO

=====
;
;      SLECCIONAR EL MODO
;
=====

PREGUNTA1:
    BTSC  PORTF,#1
    GOTO  ANTI_UP

PREGUNTA2:
    BTSC  PORTF,#3
    GOTO  ANTI_DOWN

PREGUNTA3:
    BTSC  PORTF,#2
    GOTO  ANTI_ENTER
    GOTO  PREGUNTA1

ANTI_UP:
    MOV   #4,W0
    CP    ACUMULADOR
    BRA   Z,MENU4
    INC   ACUMULADOR
    MOV   ACUMULADOR,W0
    CP    PRIMERO
    BRA   Z,MENU1
    GOTO  SIGUIENTE

ANTI_DOWN:
    MOV   #2,W0
    CP    ACUMULADOR
    BRA   LT,PREGUNTA3
    DEC   ACUMULADOR
    MOV   ACUMULADOR,W0
    CP    PRIMERO
    BRA   Z,MENU1
    GOTO  SIGUIENTE

SIGUIENTE:
    MOV   ACUMULADOR,W0
    CP    SEGUNDO
    BRA   Z,MENU2
    GOTO  SIGUIENTE2

SIGUIENTE2:
    MOV   ACUMULADOR,W0
    CP    TERCERO
    BRA   Z,MENU3
    GOTO  SIGUIENTE3

```

```

SIGUIENTE3:
    MOV ACUMULADOR,W0
    CP CUARTO
    BRA Z,MENU4
    GOTO PREGUNTA1

MENU1:
    CALL CUADRA_LCD
    CALL MESS_MD1
    GOTO PREGUNTA1

MENU2:
    CALL CUADRA_LCD
    CALL MESS_MD2
    GOTO PREGUNTA1

MENU3:
    CALL CUADRA_LCD
    CALL MESS_MD3
    GOTO PREGUNTA1

MENU4:
    CALL CUADRA_LCD
    CALL MESS_MD4
    GOTO PREGUNTA1

ANTI_ENTER:
    MOV #1,W0
    CP ACUMULADOR
    BRA Z,ENTER_MD1
    MOV #2,W0
    CP ACUMULADOR
    BRA Z,ENTER_MD2
    MOV #3,W0
    CP ACUMULADOR
    BRA Z,ENTER_MD3
    MOV #4,W0
    CP ACUMULADOR
    BRA Z,ENTER_MD4
    DEC ACUMULADOR
    GOTO PREGUNTA1

ENTER_MD1:
    NOP
    MOV #1,W0
    MOV W0,ACUMULADOR_MD1
    CALL CUADRA_LCD
    CALL MESS_MD1
    CALL MESS_CLASE5
    GOTO PREG1_MD1

ENTER_MD2:
    NOP
    MOV #1,W0
    MOV W0,ACUMULADOR_MD2

CALL CUADRA_LCD
CALL MESS_MD2
CALL MESS_CLASE5
GOTO PREG1_MD2

ENTER_MD3:
    CALL DENTRO_MANUAL

ENTER_MD4:
    CALL CUADRA_LCD
    CALL MESS_ENTER_MODAL
    MOV #4,W0
    CALL DATO
    GOTO PREGUNTA1

;=====
; MODO MANUAL
;=====

DENTRO_MANUAL:
    CLR W4
    CLR W5
    CLR W6
    CLR W7
    CLR W8
    CLR W0
    CLR W10
    CLR W11
    CLR W12
    CLR SR
    CLR UNIDADES
    CLR DECENAS
    CLR CENTENAS
    CLR UNIDX
    CLR DECEX
    CLR CENTX
    CALL CLEAR_BAND
    MOV #173,W0
    MOV W0,ALFA
    MOV #250,W0
    MOV W0,LIM_INI
    MOV #3,W0
    MOV W0,LIM_FIN
    BSET BAND2,#0
    CALL START_T1
    CALL START_INT

SABERES:
    BTSC PORTF,#RF1
    GOTO OPR1

SEG:
    BTSC PORTF,#RF3
    GOTO OPR2

SEGWE:

```

```

        BTSC PORTF,#RF4
        GOTO FIN_MDS
        GOTO SABERES
FIN_MDS:
        CLR BAND2
        GOTO INICIO_BUCLE

OPRI1:
        MOV LIM_INI,W0
        CP ALFA
        BRA GT,SEG
        MOV LIM_FIN,W0
        CP ALFA
        BRA LT,SEG
        MOV ALFA,W10
        INC W10,W10
        MOV W10,ALFA
        CALL AJUSTEVL
        CALL ENVILCD

PREG1:
        BTSC PORTF,#RF1
        GOTO SALT2
        GOTO SEG

SALT2:
        CALL DELAY4

        GOTO SALT3
        GOTO SEG

SALT3:
        MOV LIM_INI,W0
        CP ALFA
        BRA GT,SEG
        MOV LIM_FIN,W0
        CP ALFA
        BRA LT,SEG
        MOV LIM_INI,W12
        CP W10,W12
        BRA Z,SALT4
        MOV LIM_FIN,W12
        CP W10,W12
        BRA Z,SALT4D
        MOV ALFA,W10
        INC W10,W10
        MOV W10,ALFA

SALT4:
        CALL AJUSTEVL
        CALL ENVILCD
;
        CALL DELAY1

        GOTO PREG2

OPRI2:
        MOV LIM_INI,W0
        CP ALFA
        BRA GT,SABERES
        MOV LIM_FIN,W0
        CP ALFA
        BRA LT,SABERES
        MOV ALFA,W10
        DEC W10,W10
        MOV W10,ALFA
        CALL AJUSTEVL
        CALL ENVILCD

PREG1D:
        BTSC PORTF,#RF3
        GOTO SALT2D
        GOTO SABERES

SALT2D:
        CALL DELAY4

PREG2D:
        BTSC PORTF,#RF3
        GOTO SALT3D
        GOTO SABERES

SALT3D:
        MOV LIM_INI,W0
        CP ALFA
        BRA GT,SABERES
        MOV LIM_FIN,W0
        CP ALFA
        BRA LT,SABERES
        MOV LIM_INI,W12
        CP W10,W12
        BRA Z,SALT4
        MOV LIM_FIN,W12
        CP W10,W12
        BRA Z,SALT4D
        MOV ALFA,W10
        DEC W10,W10
        MOV W10,ALFA

SALT4D:
        CALL AJUSTEVL
        CALL ENVILCD
        GOTO PREG2D

ENVILCD:
        CALL LCDINICIO
        CALL LCD_LINEA2

MSIG2:
        MOV CENTX,W0

```

```

MSI1:    CALL DATO
        MOV  DECEX,W0
        CALL DATO

LSIG1:   MOV  UNIDX,W0
        CALL DATO
        CALL DELAY
        RETURN

;=====
AJUSTEVL:
IGUALESC:  NOP
ESMAYORC:
        MOV  ALFA,W3
        MOV  #100,W5
        REPEAT #17
        DIV.U W3,W5
        MOV  W0,CENTENAS
        MOV  W1,W3
        MOV  #10,W5
        REPEAT #17
        DIV.U W3,W5
        MOV  W0,DECENAS
        MOV  W1,W3
        MOV  #1,W5
        REPEAT #17
        DIV.U W3,W5
        MOV  W0,UNIDADES
        MOV  W1,W3
        MOV  CENTENAS,W0
        ADD  #48,W0
        MOV  W0,CENTX
        MOV  DECENAS,W0
        ADD  #48,W0
        MOV  W0,DECEX
        MOV  UNIDADES,W0
        ADD  #48,W0
        MOV  W0,UNIDX
        RETURN

;=====
;                MODO BASICO
;=====

PREG1_MD1:
        BTSC PORTF,#1
        GOTO ANTI_UP_MD1

PREG2_MD1:
        BTSC PORTF,#3
        GOTO ANTI_DOWN_MD1

PREG3_MD1:

BTSC PORTF,#2
GOTO ANTI_ENTER_MD1
GOTO PREG1_MD1

ANTI_UP_MD1:
        MOV  #4,W0
        CP   ACUMULADOR_MD1
        BRA  Z,MENU4_MD1
        INC  ACUMULADOR_MD1
        MOV  ACUMULADOR_MD1,W0
        CP   PRIMERO
        BRA  Z,MENU1_MD1
        GOTO SIGUIENTE_MD1

ANTI_DOWN_MD1:
        MOV  #2,W0
        CP   ACUMULADOR_MD1
        BRA  LT,PREG3_MD1
        DEC  ACUMULADOR_MD1
        MOV  ACUMULADOR_MD1,W0
        CP   PRIMERO
        BRA  Z,MENU1_MD1
        GOTO SIGUIENTE_MD1

SIGUIENTE_MD1:
        MOV  ACUMULADOR_MD1,W0
        CP   SEGUNDO
        BRA  Z,MENU2_MD1
        GOTO SIGUIENTE2_MD1

SIGUIENTE2_MD1:
        MOV  ACUMULADOR_MD1,W0
        CP   TERCERO
        BRA  Z,MENU3_MD1
        GOTO SIGUIENTE3_MD1

SIGUIENTE3_MD1:
        MOV  ACUMULADOR_MD1,W0
        CP   CUARTO
        BRA  Z,MENU4_MD1
        DEC  ACUMULADOR_MD1
        GOTO PREG1_MD1

;=====
;                CLASES DEL MODO BÁSICO
;=====

MENU1_MD1:
        CALL CUADRA_LCD
        CALL MESS_MD1
        CALL MESS_CLASE5
        GOTO PREG1_MD1

MENU2_MD1:

```

```

CALL CUADRA_LCD
CALL MESS_MD1
CALL MESS_CLASE10
GOTO PREG1_MD1

MENU3_MD1:
CALL CUADRA_LCD
CALL MESS_MD1
CALL MESS_CLASE20
GOTO PREG1_MD1

MENU4_MD1:
CALL CUADRA_LCD
CALL MESS_MD1
CALL MESS_CLASE30
GOTO PREG1_MD1

ANTI_ENTER_MD1:
MOV #1,W0
CP ACUMULADOR_MD1
BRA Z,ENTER_MD1_1
MOV #2,W0
CP ACUMULADOR_MD1
BRA Z,ENTER_MD1_2
MOV #3,W0
CP ACUMULADOR_MD1
BRA Z,ENTER_MD1_3
MOV #4,W0
CP ACUMULADOR_MD1
BRA Z,ENTER_MD1_4
DEC ACUMULADOR_MD1
GOTO PREG1_MD1

ENTER_MD1_1:
CALL CUADRA_LCD
CALL MESS_ARRANQ
GOTO ON_MD1_CLAS5

ENTER_MD1_2:
CALL CUADRA_LCD
CALL MESS_ARRANQ
GOTO ON_MD1_CLAS10

ENTER_MD1_3:
CALL CUADRA_LCD
CALL MESS_ARRANQ
GOTO ON_MD1_CLAS20

ENTER_MD1_4:
CALL CUADRA_LCD
CALL MESS_ARRANQ
GOTO ON_MD1_CLAS30

SUB_CICL_ANG:
MOV #250,W0
MOV W0,LIM_INI
MOV W0,ALFA

MOV #2,W1
MOV W1,LIM_FIN
MOV #1,W3
MOV W3,PASO_ANGLE
SUB W0,W1,W4
REPEAT #18
DIV.UDW4,W3
MOV W0,ANGLE_USO
MOV #60,W3
MOV CLASS_TIME,W2
MUL.SU W3,W2,W4
MOV W4,TOTAL_CICLOS
MOV ANGLE_USO,W3
REPEAT #18
DIV.UDW4,W3
MOV W0,CICLOS_ANGLE_MB
RETURN

ON_MD1_CLAS5:
CALL CLEAR_BAND
BSET BAND2,#1
CLR CONTA_SYNC
CLR XSC1
CLR CICLOS_ANGLE_MB
MOV #4,W0
MOV W0,CLASS_TIME
CALL SUB_CICL_ANG
CALL LCDINICIO
CALL MESS_ARRANQ
CALL START_T1
CALL START_INT

BUCLE_M0:
BTSS BAND2,#1
GOTO CONTI1
GOTO BUCLE_M0

ON_MD1_CLAS10:
CALL CLEAR_BAND
BSET BAND2,#1
CLR CONTA_SYNC
CLR XSC1
CLR CICLOS_ANGLE_MB
MOV #10,W0
MOV W0,CLASS_TIME
CALL SUB_CICL_ANG
CALL LCDINICIO
CALL MESS_ARRANQ
CALL START_T1

```

```

CALL START_INT                                GOTO ENTER_STOP

BUCLE_M1:                                     ;=====
BTSS BAND2,#1                                ; INICIO DE LA PARADA SUAVE
GOTO CONTI1                                   ;=====
GOTO BUCLE_M1

ON_MD1_CLAS20:
CALL CLEAR_BAND
BSET BAND2,#1
CLR CONTA_SYNC
CLR XSC1
CLR CICLOS_ANGLE_MB
MOV #20,W0
MOV W0,CLASS_TIME
CALL SUB_CICL_ANG
CALL LCDINICIO
CALL MESS_ARRANQ
CALL START_T1
CALL START_INT

BUCLE_M2:
BTSS BAND2,#1
GOTO CONTI1
GOTO BUCLE_M2

ON_MD1_CLAS30:
CALL CLEAR_BAND
BSET BAND2,#1
CLR CONTA_SYNC
CLR XSC1
CLR CICLOS_ANGLE_MB
MOV #30,W0
MOV W0, CLASS_TIME
CALL SUB_CICL_ANG
CALL LCDINICIO
CALL MESS_ARRANQ
CALL START_T1
CALL START_INT

BUCLE_M3:
BTSS BAND2,#1
GOTO CONTI1
GOTO BUCLE_M3

CONTI1:
CALL CUADRA_LCD
CALL MESS_TER_ARRAN
CALL DELAY5
CALL MESS_SOFT_SOTP

ENTER_STOP:
BTSC PORTF,#2
GOTO INI_SOFT_SOTP

GOTO ENTER_STOP

;=====
; INICIO DE LA PARADA SUAVE
;=====

INI_SOFT_SOTP:
CALL CLEAR_BAND
BSET BAND1,#1
CLR CONTA_SYNC
CLR XSC1
CLR CICLOS_ANGLE_MB
CALL SUB_CICL_ANG_ST
CALL LCDINICIO
CALL EJECTA_DET
CALL START_T1
CALL START_INT

BUCLE_M0_ST:
BTSS BAND1,#1
GOTO INICIO
GOTO BUCLE_M0_ST

SUB_CICL_ANG_ST:
MOV #250,W0
MOV W0,LIM_FIN
MOV #2,W1
MOV W1,LIM_INI
MOV W1,ALFA
MOV #1,W3
MOV W3,PASO_ANGLE
SUB W0,W1,W4
REPEAT #18
DIV.UDW4,W3
MOV W0,ANGLE_USO
MOV #60,W3
MOV CLASS_TIME,W2
MUL.SU W3,W2,W4
MOV W4,TOTAL_CICLOS
MOV ANGLE_USO,W3REPEAT
#18
DIV.UDW4,W3
MOV W0,CICLOS_ANGLE_MB
RETURN
GOTO INICIO

;=====
; STAR INTERUPCIONES
;=====

START_INT:
BCLR INTCON2,#INT0EP
BCLR IFS0,#INT0IF

```

```

        BSET  IEC0,#INT0IE
        RETURN

;=====
;CONFIGURACION DEL TIMER
;=====

; CONFIGURA EL TIMMER1 AL COMIENZO
EL PROGRAMA

START_T1:
    MOV  #0X8000,W0
    MOV  W0,T1CON
    MOV  #161,W0
    MOV  W0,PR1
    BCLR IFS0,#T1IF
    BCLR IEC0,#T1IE
    CLR  TMR1
    RETURN

;=====
;RUTINA DE LCDINICIO
;=====

LCDINICIO:
    CALL DELAY1

    MOV  #0X02,W0;
    CALL LCD_COMANDO;

    CALL DELAY
    MOV  #0X28,W0
    CALL LCD_COMANDO
    CALL DELAY
    MOV  #0X0C,W0
    CALL LCD_COMANDO
    CALL DELAY
    CALL LCDCLEAR
    MOV  #0X06,W0
    CALL LCD_COMANDO;
    CALL DELAY
    RETURN

;RUTINA DE LCDLINEA1
LCDLINEA1:
    MOV  #0X80,W0
    MOV  W0,DATO_ENVIO
    CALL LCD_COMANDO
    CALL RETARDO4
    RETURN

; RUTINA DE LCDLINEA2
LCDLINEA2:
    MOV  #0XC0,W0

        MOV  W0,DATO_ENVIO
        CALL LCD_COMANDO
        CALL RETARDO4
        RETURN

;RUTINA DE LCDENCIENDE
LCDENCIENDE:
    MOV  #0X0F,W0
    MOV  W0,DATO_ENVIO
    CALL LCD_COMANDO
    CALL RETARDO4
    RETURN

;RUTINA DE LCDRETORNO
LCDRETORNO:
    MOV  #0X02,W0
    MOV  W0,DATO_ENVIO
    CALL LCD_COMANDO
    CALL RETARDO4
    RETURN

;RUTINA DE LCDCORRIMIENTO
LCDCORRIMIENTO:
    MOV  #0X06,W0
    MOV  W0,DATO_ENVIO
    CALL LCD_COMANDO
    CALL RETARDO4
    RETURN

;RUTINA DE LCDSHIFT
LCDSHIFT:
    MOV  #0X10,W0
    MOV  W0,DATO_ENVIO
    CALL LCD_COMANDO
    CALL RETARDO4
    RETURN

;RUTINA DE LCDCLEAR
LCDCLEAR:
    MOV  #0X01,W0
    MOV  W0,DATO_ENVIO
    CALL LCD_COMANDO
    CALL RETARDO4
    RETURN

;=====
; RUTINA DE RETARDO
;=====

RETARDO4:
    MOV  #0X2000,W0
    MOV  W0,RET

CICLOR:
    DEC  RET

```

```

    BRA    NZ,CICLOR
    MOV    #0X2000,W0
    MOV    W0,RET

RETURN

RETARDO190:
    MOV    #0XFFFF,W0
    MOV    W0,RET

CICLO1:
    DEC    RET
    BRA    NZ,CICLO1
    MOV    #0XFFFF,W0
    MOV    W0,RET

RETURN

;=====
; COMANDOS DEL LCD
;=====

LCD_COMANDO:
    BCLR   PORTD,#RD3
    GOTO   DATO2
DATO:    BSET   PORTD,#RD3DATO
    NOP
DATO2:
    BSET   PORTC,#RC13
    MOV    W0,R0E
    MOV    #0X0F,W1
    MOV    PORTB,W2
    AND.B  W2,W1,W0
    MOV    W0,PORTB
    MOV    R0E,W2
    MOV    #0XF0,W1
    AND.B  W2,W1,W0
    MOV    W0,W1
    MOV    PORTB,W2
    IOR.B  W2,W1,W0
    MOV    W0,PORTB
    CALL   DELAY
    CALL   DELAY
    BCLR   PORTC,#RC13
    CALL   DELAY
    BSET   PORTC,#RC13
    MOV    #0X0F,W1
    MOV    PORTB,W2
    AND.B  W2,W1,W0;
    MOV    W0,PORTB
    MOV    R0E,W2
    SWAP.B    W2

    MOV    #0XF0,W1

    AND    W1,W2,W0
    MOV    W0,W1
    MOV    PORTB,W2
    IOR.B  W2,W1,W0
    MOV    W0,PORTB
    CALL   DELAY
    BCLR   PORTC,#RC13
    CALL   DELAY
    CLR    W1
    CLR    W2
    CLR    W0
    RETURN

LCD_LINEA1:
    MOV    #0X80,W0
    CALL   LCD_COMANDO
    CALL   DELAY
    RETURN

LCD_LINEA2:
    MOV    #0XC0,W0
    CALL   LCD_COMANDO
    CALL   DELAY
    RETURN

LCD_CORRIMIENTO:
    MOV    #24,W0
    CALL   LCD_COMANDO
    CALL   DELAY
    RETURN

;=====
; MENSAJES EN EL LCD
;=====

MESS_BIEN:
    CALL   DELAY
    CALL   LCD_LINEA1
    CALL   DELAY1
    MOV    #' ',W0
    CALL   DATO
    MOV    #' ',W0
    CALL   DATO
    MOV    #'S',W0
    CALL   DATO
    MOV    #'O',W0
    CALL   DATO
    MOV    #'F',W0
    CALL   DATO
    MOV    #'T',W0
    CALL   DATO
    MOV    #' ',W0
    CALL   DATO
    MOV    #'S',W0

```

```

CALL DATO
MOV      #'T',W0
CALL DATO
MOV      #'A',W0
CALL DATO
MOV      #'R',W0
CALL DATO
MOV      #'T',W0
CALL DATO
MOV      #'E',W0
CALL DATO
MOV      #'R',W0
CALL DATO
MOV      #' ',W0
CALL DATO
CALL LCD_LINEA2
CALL DELAY1
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #'U',W0
CALL DATO
MOV      #'P',W0
CALL DATO
MOV      #'B',W0
CALL DATO
RETURN

```

MESS_MD1:

```

CALL LCDLINEA1
MOV      #'M',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0
CALL DATO
MOV      #'D',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0
CALL DATO
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #'B',W0
CALL DATO
MOV      #'A',W0
CALL DATO
MOV      #'S',W0
CALL DATO
MOV      #'I',W0

```

```

CALL DATO
MOV      #'C',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0
CALL DATO
RETURN

```

MESS_MD2:

```

CALL LCDLINEA1
MOV      #'M',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0
CALL DATO
MOV      #'D',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0
CALL DATO
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #'P',W0
CALL DATO
MOV      #'A',W0
CALL DATO
MOV      #'L',W0
CALL DATO
MOV      #'A',W0
CALL DATO
MOV      #'N',W0
CALL DATO
MOV      #'C',W0
CALL DATO
MOV      #'A',W0
CALL DATO
RETURN

```

MESS_MD3:

```

CALL LCDLINEA1
MOV      #'M',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0
CALL DATO
MOV      #'D',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0
CALL DATO
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #'M',W0
CALL DATO
MOV      #'A',W0
CALL DATO
MOV      #'N',W0
CALL DATO
MOV      #'U',W0

```

```

CALL DATO
MOV      #'A',W0
CALL DATO
MOV      #'L',W0
CALL DATO
RETURN

MESS_MD4:
CALL LCDLINEA1
MOV      #'M',W0
CALL DATO
MOV      #'E',W0
CALL DATO
MOV      #'N',W0
CALL DATO
MOV      #'U',W0
CALL DATO
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0
CALL DATO
MOV      #'P',W0
CALL DATO
MOV      #'C',W0
CALL DATO
RETURN

MESS_ENTER_MODAL:
CALL LCD_LINEA1
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #'E',W0
CALL DATO
MOV      #'N',W0
CALL DATO
MOV      #'T',W0
CALL DATO
MOV      #'E',W0
CALL DATO
MOV      #'R',W0
CALL DATO
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #'E',W0
CALL DATO
MOV      #'N',W0
CALL DATO
MOV      #'N',W0
CALL DATO
MOV      #' ',W0
CALL LCD_LINEA2
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #'M',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0

CALL DATO
MOV      #'D',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0
CALL DATO
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #'A',W0
CALL DATO
MOV      #'N',W0
CALL DATO
MOV      #'D',W0
CALL DATO
MOV      #'O',W0
CALL DATO
MOV      #' ',W0
CALL DATO
MOV      #'A',W0
CALL DATO
MOV      #'R',W0
CALL DATO
MOV      #'R',W0
CALL DATO
MOV      #'R',W0
CALL DATO
MOV      #'A',W0
CALL DATO
MOV      #'N',W0
CALL DATO
MOV      #'N',W0
CALL DATO
MOV      #'Q',W0
CALL DATO
MOV      #'U',W0
CALL DATO
MOV      #'E',W0
CALL DATO

```

```

MOV          #' ,W0
CALL DATO
RETURN

MESS_TER_ARRAN:
CALL LCDCLEAR
CALL LCD_LINEA1
MOV          #' ,W0
CALL DATO
MOV          #'A',W0
CALL DATO
MOV          #'R',W0
CALL DATO
MOV          #'R',W0
CALL DATO
MOV          #'A',W0
CALL DATO
MOV          #'N',W0
CALL DATO
MOV          #'Q',W0
CALL DATO
MOV          #'U',W0
CALL DATO
MOV          #'E',W0
CALL DATO
MOV          #' ',W0
CALL DATO
CALL LCD_LINEA2
MOV          #' ',W0
CALL DATO
MOV          #'T',W0
CALL DATO
MOV          #'E',W0
CALL DATO
MOV          #'R',W0
CALL DATO
MOV          #'M',W0
CALL DATO
MOV          #'I',W0
CALL DATO
MOV          #'N',W0
CALL DATO
MOV          #'A',W0
CALL DATO
MOV          #'D',W0
CALL DATO
MOV          #'O',W0
CALL DATO
MOV          #' ',W0
CALL DATO
CALL DELAY4
RETURN
;

```

```

MESS_SOFT_SOTP:
CALL LCDCLEAR
CALL LCD_LINEA1
MOV          #' ',W0
CALL DATO
MOV          #'S',W0
CALL DATO
MOV          #'O',W0
CALL DATO
MOV          #'F',W0
CALL DATO
MOV          #'T',W0
CALL DATO
MOV          #' ',W0
CALL DATO
MOV          #'S',W0
CALL DATO
MOV          #'O',W0
CALL DATO
MOV          #'T',W0
CALL DATO
MOV          #'P',W0
CALL DATO
CALL LCD_LINEA2
MOV          #' ',W0
CALL DATO
MOV          #'O',W0
CALL DATO
MOV          #'P',W0
CALL DATO
MOV          #'R',W0
CALL DATO
MOV          #'I',W0
CALL DATO
MOV          #'M',W0
CALL DATO
MOV          #'A',W0
CALL DATO
MOV          #' ',W0
CALL DATO
MOV          #'E',W0
CALL DATO
MOV          #'N',W0
CALL DATO
MOV          #'T',W0
CALL DATO
MOV          #'E',W0
CALL DATO
MOV          #'R',W0
CALL DATO
CALL DELAY4
RETURN
;

```

EJECUTA_DET:

```

CALL LCD_LINEA1
MOV    #' ',W0
CALL  DATO
MOV    #'E',W0
CALL  DATO
MOV    #'J',W0
CALL  DATO
MOV    #'E',W0
CALL  DATO
MOV    #'C',W0
CALL  DATO
MOV    #'U',W0
CALL  DATO
MOV    #'T',W0
CALL  DATO
MOV    #'A',W0
CALL  DATO
MOV    #'N',W0
CALL  DATO
MOV    #'D',W0
CALL  DATO
MOV    #'O',W0
CALL  DATO
MOV    #' ',W0
CALL  DATO
CALL  LCD_LINEA2
MOV    #' ',W0
CALL  DATO
MOV    #'D',W0
CALL  DATO
MOV    #'E',W0
CALL  DATO
MOV    #'T',W0
CALL  DATO
MOV    #'E',W0
CALL  DATO
MOV    #'N',W0
CALL  DATO
MOV    #'C',W0
CALL  DATO
MOV    #'I',W0
CALL  DATO
MOV    #'O',W0
CALL  DATO
MOV    #'N',W0
CALL  DATO
RETURN

MESS_CLASE5:
CALL  LCD_LINEA2
MOV    #'C',W0
CALL  DATO
MOV    #'L',W0

CALL  DATO
MOV    #'A',W0
CALL  DATO
MOV    #'S',W0
CALL  DATO
MOV    #'E',W0
CALL  DATO
MOV    #' ',W0
CALL  DATO
MOV    #'2',W0

CALL  DATO
MOV    #'A',W0
CALL  DATO
MOV    #'S',W0
CALL  DATO
MOV    #'E',W0
CALL  DATO
MOV    #' ',W0
CALL  DATO
MOV    #'5',W0
CALL  DATO
MOV    #' ',W0
CALL  DATO
RETURN

MESS_CLASE10:
CALL  LCD_LINEA2
MOV    #'C',W0
CALL  DATO
MOV    #'L',W0
CALL  DATO
MOV    #'A',W0
CALL  DATO
MOV    #'S',W0
CALL  DATO
MOV    #'E',W0
CALL  DATO
MOV    #' ',W0
CALL  DATO
MOV    #'1',W0
CALL  DATO
MOV    #'0',W0
CALL  DATO
MOV    #' ',W0
CALL  DATO
RETURN

MESS_CLASE20:
CALL  LCD_LINEA2
MOV    #'C',W0
CALL  DATO
MOV    #'L',W0
CALL  DATO
MOV    #'A',W0
CALL  DATO
MOV    #'S',W0
CALL  DATO
MOV    #'E',W0
CALL  DATO
MOV    #' ',W0
CALL  DATO
MOV    #'2',W0

```

```

CALL DATO
MOV #0,W0
CALL DATO
MOV #',W0
CALL DATO
RETURN

MESS_CLASE30:

CALL LCD_LINEA2
MOV #'C',W0
CALL DATO
MOV #'L',W0
CALL DATO
MOV #'A',W0
CALL DATO
MOV #'S',W0
CALL DATO
MOV #'E',W0
CALL DATO
MOV #',W0
CALL DATO
MOV #'3',W0
CALL DATO
MOV #'0',W0
CALL DATO
MOV #',W0
CALL DATO
RETURN

CUADRA_LCD:
CALL LCDINICIO
CALL LCDENCIENDE
CALL LCDCLEAR
RETURN

CLEAR_BAND:
CLR BAND1
CLR BAND2
CLR BAND3
CLR BAND4
CLR BAND5
CLR BAND6
CLR BAND7
RETURN

=====
; RETARDOS UTILIZADOS EN EL LCD
=====

DELAY: ;RETARDO 4ms
MOV #2223,W1

UNO1A: DEC W1,W1
BRA NZ,UNO1A
RETURN

DELAY1: ;RETARDO 82m
MOV #108,W3
TRES2A1: MOV #19,W2
DOS2A1: MOV #66,W1
UNO2A1: DEC W1,W1
BRA NZ,UNO2A1
DEC W2,W2
BRA NZ,DOS2A1
DEC W3,W3
BRA NZ,TRES2A1
RETURN

DELAY4: ;RETARDO 40ms
MOV #117,W3
TRES2A4: MOV #22,W2
DOS2A4: MOV #25,W1
UNO2A4: DEC W1,W1
BRA NZ,UNO2A4
DEC W2,W2
BRA NZ,DOS2A4
DEC W3,W3
BRA NZ,TRES2A4
RETURN

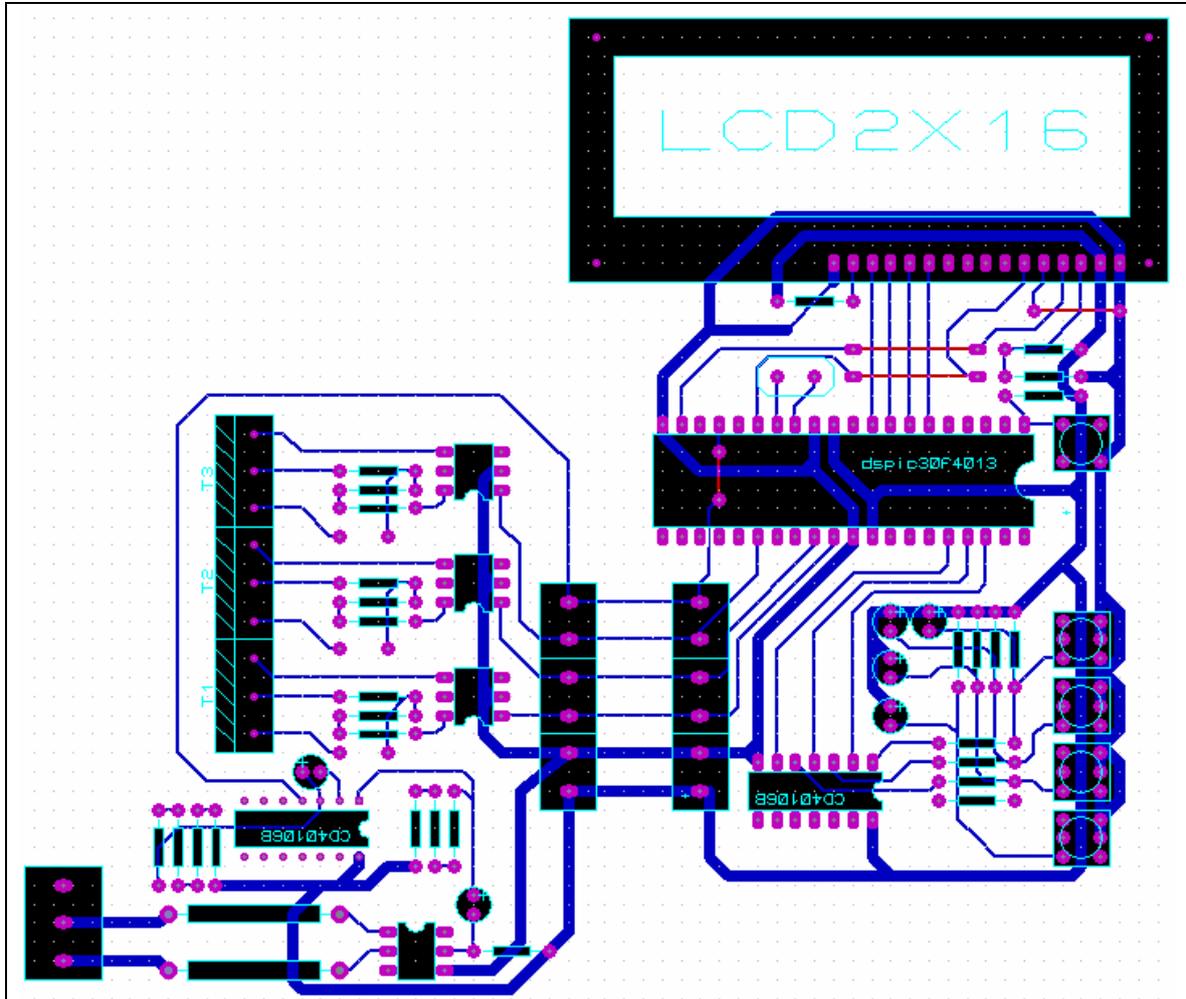
DELAYANTI: ;RETARDO 3.3ms
MOV #55,W2
DOS1: MOV #100,W1
UNO1: DEC W1,W1
BRA NZ,UNO1
DEC W2,W2
BRA NZ,DOS1
RETURN

DELAY5: ;RETARDO 2 Seg.
MOV #1913,W3
TRES5: MOV #50,W2
DOS5: MOV #26,W1
UNO5: DEC W1,W1
BRA NZ,UNO5
DEC W2,W2
BRA NZ,DOS5
DEC W3,W3
BRA NZ,TRES5
RETURN

.END.
=====
=====
=====

```

ANEXO B. CORCUITO DE POTENCIA Y CONTROL.



ANEXO C. DATASHEET DEL OPTOTRIAC MOC 3020M



January 2009

MOC3010M, MOC3011M, MOC3012M, MOC3020M, MOC3021M, MOC3022M, MOC3023M 6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output (250/400 Volt Peak)

Features

- Excellent I_{FT} stability—IR emitting diode has low degradation
- High isolation voltage—minimum 5300 VAC RMS
- Underwriters Laboratory (UL) recognized—File #E90700
- Peak blocking voltage
 - 250V-MOC301XM
 - 400V-MOC302XM
- VDE recognized (File #94766)
 - Ordering option V (e.g. MOC3023VM)

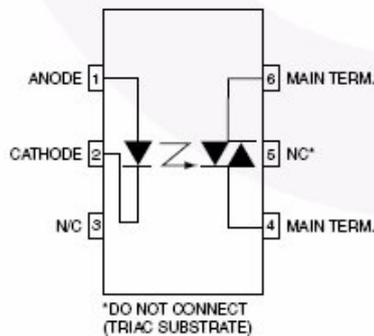
Description

The MOC301XM and MOC302XM series are optically isolated triac driver devices. These devices contain a GaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. They are designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 115 VAC operations.

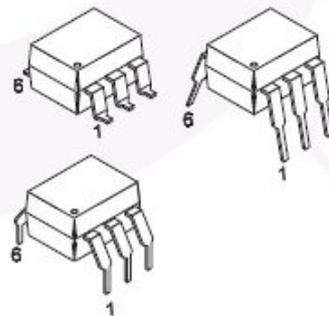
Applications

- Industrial controls
- Solenoid/valve controls
- Traffic lights
- Static AC power switch
- Vending machines
- Incandescent lamp dimmers
- Solid state relay
- Motor control
- Lamp ballasts

Schematic



Package Outlines



Absolute Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only.

Symbol	Parameters	Device	Value	Units
TOTAL DEVICE				
T_{STG}	Storage Temperature	All	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
T_{OPR}	Operating Temperature	All	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
T_{SOL}	Lead Solder Temperature	All	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
T_J	Junction Temperature Range	All	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
V_{ISO}	Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (peak AC voltage, 60Hz, 1 sec. duration)	All	7500	Vac(pk)
P_D	Total Device Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Ambient Derate above 25 $^\circ\text{C}$	All	330	mW
			4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
EMITTER				
I_F	Continuous Forward Current	All	60	mA
V_R	Reverse Voltage	All	3	V
P_D	Total Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Ambient Derate above 25 $^\circ\text{C}$	All	100	mW
			1.33	mW/ $^\circ\text{C}$
DETECTOR				
V_{DRM}	Off-State Output Terminal Voltage	MOC3010M/1M/2M	250	V
		MOC3020M/1M/2M/3M	400	
I_{TSM}	Peak Repetitive Surge Current (PW = 1ms, 120pps)	All	1	A
P_D	Total Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Ambient Derate above 25 $^\circ\text{C}$	All	300	mW
			4	mW/ $^\circ\text{C}$

Note:

1. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

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

Individual Component Characteristics

Symbol	Parameters	Test Conditions	Device	Min.	Typ.	Max.	Units
EMITTER							
V_F	Input Forward Voltage	$I_F = 10\text{mA}$	All		1.15	1.5	V
I_R	Reverse Leakage Current	$V_R = 3\text{V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	All		0.01	100	μA
DETECTOR							
I_{DRM}	Peak Blocking Current, Either Direction	Rated V_{DRM} , $I_F = 0$ ⁽²⁾	All		10	100	nA
V_{TM}	Peak On-State Voltage, Either Direction	$I_{TM} = 100\text{mA peak}, I_F = 0$	All		1.8	3	V

Transfer Characteristics

Symbol	DC Characteristics	Test Conditions	Device	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{FT}	LED Trigger Current	Voltage = 3V ⁽³⁾	MOC3020M			30	mA
			MOC3010M			15	
			MOC3021M				
			MOC3011M			10	
			MOC3022M				
			MOC3012M			5	
I_H	Holding Current, Either Direction		All		100		μA

Notes:

2. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
3. All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT} . Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (30mA for MOC3020M, 15mA for MOC3010M and MOC3021M, 10mA for MOC3011M and MOC3022M, 5mA for MOC3012M and MOC3023M) and absolute max I_F (60mA).

ANEXO D. DATASHEET DEL MICROCONTROLADOR DSPIC30F4013



dsPIC30F3014/4013

dsPIC30F3014/4013 High-Performance Digital Signal Controllers

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the *dsPIC30F Family Reference Manual* (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the *dsPIC30F Programmer's Reference Manual* (DS70030).

High-Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture
- Flexible addressing modes
- 84 base instructions
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- Up to 48 Kbytes on-chip Flash program space
- 2 Kbytes of on-chip data RAM
- 1 Kbyte of non-volatile data EEPROM
- 16 x 16-bit working register array
- Up to 30 MIPs operation:
 - DC to 40 MHz external clock input
 - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- Up to 33 interrupt sources:
 - 8 user selectable priority levels
 - 3 external interrupt sources
 - 4 processor traps

DSP Features:

- Dual data fetch
- Modulo and Bit-reversed modes
- Two 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single cycle hardware fractional/integer multiplier
- All DSP instructions are single cycle
 - Multiply-Accumulate (MAC) operation
- Single cycle ± 16 shift

Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Up to five 16-bit timers/counters; optionally pair up 16-bit timers into 32-bit timer modules
- Up to four 16-bit Capture input functions
- Up to four 16-bit Compare/PWM output functions
- Data Converter Interface (DCI) supports common audio Codec protocols, including I²S and AC'97
- 3-wire SPI™ module (supports 4 Frame modes)
- I²C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- Up to two addressable UART modules with FIFO buffers
- CAN bus module compliant with CAN 2.0B standard

Analog Features:

- 12-bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with:
 - 100 Ksps conversion rate
 - Up to 13 input channels
 - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Low Voltage Detection (PLVD)
- Programmable Brown-out Detection and Reset generation

Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
 - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
 - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe Clock Monitor operation:
 - Detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator

Special Microcontroller Features (Cont.):

- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes:
 - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

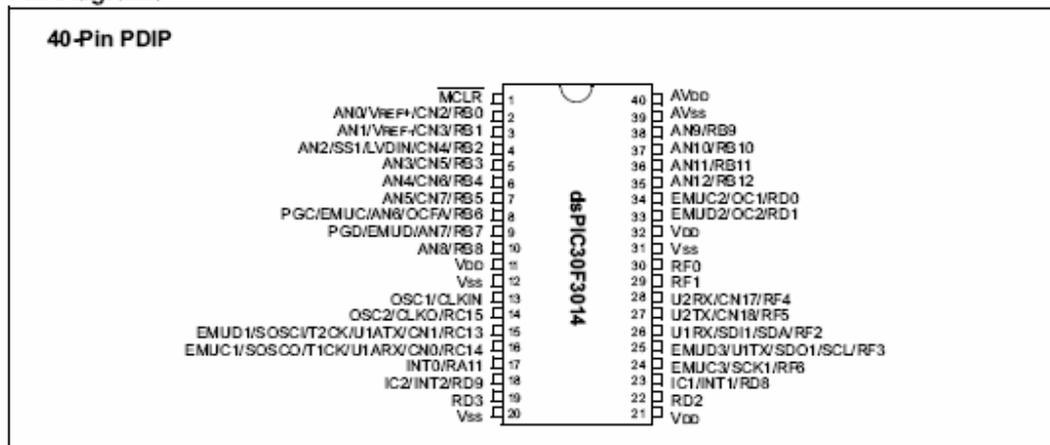
CMOS Technology:

- Low power, high speed Flash technology
- Wide operating voltage range (2.5V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption

dsPIC30F3014/4013 Controller Family

Device	Pins	Program Memory		SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Codec Interface	A/D 12-bit 100 Ksps	UART	SPI™	I ² C™	CAN
		Bytes	Instructions											
dsPIC30F3014	40/44	24K	8K	2048	1024	3	2	2	-	13 ch	2	1	1	0
dsPIC30F4013	40/44	48K	16K	2048	1024	5	4	4	AC'97, I ² S	13 ch	2	1	1	1

Pin Diagrams



ANEXO E. DATASHEET DEL TRIAC BTA41



BTA40, BTA41 and BTB41 Series

STANDARD

40A TRIACs

Table 1: Main Features

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	40	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT} (Q_1)$	50	mA

DESCRIPTION

Available in high power packages, the **BTA/BTB40-41** series is suitable for general purpose AC switching. They can be used as an ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, induction motor starting circuits... or for phase control operation in light dimmers, motor speed controllers, ...

Thanks to their clip assembly technique, they provide a superior performance in surge current handling capabilities.

By using an internal ceramic pad, the BTA series provides voltage insulated tab (rated at $2500V_{RMS}$) complying with UL standards (File ref.: E81734).

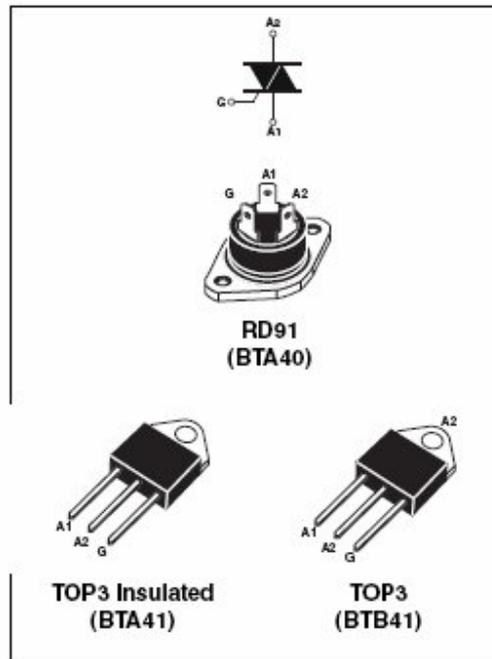


Table 2: Order Codes

Part Number	Marking
BTA40-xxxB	See table 8 on page 6
BTA41-xxxBRG	
BTB41-xxxBRG	

BTA40, BTA41 and BTB41 Series

Table 3: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter		Value	Unit	
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	RD91 / TOP3	$T_c = 95^\circ\text{C}$	40	A
		TOP Ins.	$T_c = 80^\circ\text{C}$		
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, T_j initial = 25°C)	F = 50 Hz	t = 20 ms	400	A
		F = 60 Hz	t = 16.7 ms	420	
I^2t	I^2t Value for fusing	$t_p = 10$ ms		880	A^2s
di/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, $t_r \leq 100$ ns	F = 120 Hz	$T_j = 125^\circ\text{C}$	50	$\text{A}/\mu\text{s}$
V_{DSM}/V_{RSM}	Non repetitive surge peak off-state voltage	$t_p = 10$ ms	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_{DSM}/V_{RSM} + 100$	V
I_{GM}	Peak gate current	$t_p = 20$ μs	$T_j = 125^\circ\text{C}$	8	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	$T_j = 125^\circ\text{C}$		1	W
T_{stg} T_j	Storage junction temperature range Operating junction temperature range			- 40 to + 150 - 40 to + 125	$^\circ\text{C}$

Tables 4: Electrical Characteristics ($T_j = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Test Conditions	Quadrant		Value	Unit
I_{GT} (1)	$V_D = 12$ V $R_L = 33$ Ω	I - II - III IV	MAX.	50 100	mA
		ALL	MAX.	1.3	
V_{GD}	$V_D = V_{DRM}$ $R_L = 3.3$ k Ω $T_j = 125^\circ\text{C}$	ALL	MIN.	0.2	V
I_H (2)	$I_T = 500$ mA		MAX.	80	mA
I_L	$I_G = 1.2$ I_{GT}	I - III - IV	MAX.	70	mA
		II		160	
dV/dt (2)	$V_D = 67\%$ V_{DRM} gate open	$T_j = 125^\circ\text{C}$	MIN.	500	$\text{V}/\mu\text{s}$
(dV/dt)c (2)	(di/dt)c = 20 A/ms	$T_j = 125^\circ\text{C}$	MIN.	10	$\text{V}/\mu\text{s}$

Table 5: Static Characteristics

Symbol	Test Conditions		Value	Unit	
V_T (2)	$I_{TM} = 60$ A $t_p = 380$ μs	$T_j = 25^\circ\text{C}$	MAX.	1.55	V
V_{T0} (2)	Threshold voltage	$T_j = 125^\circ\text{C}$	MAX.	0.85	V
R_d (2)	Dynamic resistance	$T_j = 125^\circ\text{C}$	MAX.	10	m Ω
I_{DRM} I_{RRM}	$V_{DRM} = V_{RRM}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	MAX.	5	μA
		$T_j = 125^\circ\text{C}$		5	mA

Note 1: minimum I_{GT} is guaranteed at 5% of I_{GT} max.

Note 2: for both polarities of A2 referenced to A1.