



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**  
**Tema:**

---

**“SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN  
ANGULAR DEL EJE DE UN MOTOR TRIFÁSICO ASÍNCRONO”**

---

Trabajo de Graduación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y Comunicaciones.

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Control

**AUTOR:** Víctor Alfonso Palacios Mera

**TUTOR:** Ing. Santiago Altamirano Meléndez, Mg.

Ambato – Ecuador

Enero 2016

## **APROBACION DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor de Trabajo de Investigación sobre el tema “**SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN ANGULAR DEL EJE DE UN MOTOR TRIFÁSICO ASÍNCRONO**”, del señor Víctor Alfonso Palacios Mera, estudiante de la Carrera de ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los tramites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato Enero, 2016

EL TUTOR

-----  
Ing. Santiago Altamirano Meléndez, Mg.

## **AUTORIA**

El presente Proyecto de Investigación “**SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN ANGULAR DEL EJE DE UN MOTOR TRIFÁSICO ASÍNCRONO**”, es absolutamente original, autentico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprendan del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato Enero, 2016

-----  
Víctor Alfonso Palacios Mera

CC: 1803181203

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato Enero, 2016

---

Víctor Alfonso Palacios Mera

CC: 1803181203

## **APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO**

La comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes: Ing. José Vicente Morales Lozada, Mg., Ing. Edwin Morales P., Mg. e Ing. Mario García C., Mg., reviso y aprobó el informe Final del Proyecto de Investigación titulado **“SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE POSICIÓN ANGULAR DEL EJE DE UN MOTOR TRIFÁSICO ASÍNCRONO”**, presentado por el señor Víctor Alfonso Palacios Mera de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. José Vicente Morales Lozada, Mg.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL.**

-----  
Ing. Edwin Morales P., Mg

**DOCENTE CALIFICADOR**

-----  
Ing. Mario García C., Mg.

**DOCENTE CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado a Dios, quien guía mi camino diariamente, a mis padres Luis Alfonso y Nelby Mera por creer en mí, por el apoyo, el ejemplo y los valores inculcados en el transcurso de mi vida profesional, a mi familia por el empuje constante, a mi tutor por su apoyo y aporte de conocimientos y finalmente a mi esposa Vero e hija Camila que son lo más importante en mi vida y por quienes mi lucha es constante.*

*Victor Alfonso Palacios Mera*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A dios por guiar mi camino para cosechar éxitos.*

*A mis padres por su apoyo incondicional*

*A mi esposa por estar siempre a mi lado empujándome a alcanzar los objetivos.*

*A mi hija por darme esa energía que necesita mi vida.*

*A mi familia por el apoyo de siempre*

*Al ingeniero Santiago Altamirano por su apoyo y aporte en este trabajo.*

*Al ingeniero Mario García por su aporte valioso y ayuda constante.*

*Al ingeniero Fernando Muñoz por abrirme las puertas en su empresa y prestarme todas las facilidades para que este trabajo concluya exitosamente.*

*Victor Alfonso Palacios Mera*

## ÍNDICE DE GENERAL

APROBACION DEL TUTOR .....	i
AUTORIA .....	ii
DERECHOS DE AUTOR .....	iii
APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
ÍNDICE DE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
GLOSARIO DE TERMINOS .....	xvi
INTRODUCCION .....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1. TEMA.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3. DELIMITACIÓN.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.5. OBJETIVOS.....	4
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO II.....	5



MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	5
2.1.1 SISTEMAS ELECTRONICOS DIGITALES .....	6
2.1.2 CIRCUITOS DE CONTROL .....	8
2.1.3 SISTEMAS EMBEBIDOS .....	9
2.1.4 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	10
2.1.5 MOTORES ELECTRICOS .....	13
2.2. PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	16
CAPÍTULO III.....	17
METODOLOGÍA .....	17
3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
3.2. POBLACIÓN O MUESTRA .....	17
3.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	17
3.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	18
3.5. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	18
CAPÍTULO IV .....	19
DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	19
4.1. Recolección y análisis de información sobre el funcionamiento de motores trifásicos asíncronos y su tiempo de respuesta .....	19
4.1.1 Motor asíncrono con rotor bobinado .....	20
4.1.2 Motor asíncrono con rotor de jaula de ardilla.....	21
4.1.3 Arranque y tiempo de respuesta.....	21
4.2. Recolección y análisis de información sobre la respuesta de sensores o transductores en motores trifásicos asíncronos.....	23
4.2.1 Encoder absoluto.....	23
4.2.2 Encoder incremental .....	26
4.3. Recolección y análisis de información sobre variadores de motores trifásicos asíncronos .....	27
4.3.1 Variación por número de polos.....	30
4.3.2 Variación del deslizamiento o tensión .....	30
4.3.3 Variación de la frecuencia de alimentación .....	30

4.4. Recolección y análisis de información sobre microcontroladores .....	32
4.4.1 Grabador o programador.....	35
4.5. Selección del motor para el proyecto .....	36
4.6. Selección del microcontrolador adecuado capaz de realizar el control del motor.....	40
4.7. Recolección de información sobre la programación en el microcontrolador seleccionado.....	42
4.7.1 Software Mplab.....	47
4.8. Análisis de la información técnica para seleccionar los equipos en el sistema.....	49
4.8.1 Variador de frecuencia.....	50
4.8.2 Motor de inducción.....	52
4.8.3 Encoder incremental .....	53
4.8.4 El microcontrolador .....	53
4.9. Diseño de las etapas para desarrollar el sistema de control de posición angular empleando la información técnica. ....	54
4.9.1 Acoplamiento del motor y el variador .....	54
4.9.2 Acoplamiento del motor y el encoder.....	55
4.9.3 Diseño del diagrama del Microcontrolador .....	55
4.9.4 Diseño del diagrama entre el encoder, el variador y el PIC. ....	56
4.10. Realizar las placas de los circuitos electrónicos para cada etapa de desarrollo ....	57
4.10.1 Placa de acoplamiento del motor y el variador.....	57
4.10.2 Placa de acoplamiento del motor y el encoder .....	57
4.10.3 Placa del Microcontrolador.....	58
4.10.4 Circuito del grabador pickit3 y el entorno de grabación. ....	58
4.11. Evaluación y comprobación del funcionamiento del prototipo.....	59
4.12. Costo del proyecto.....	61
CAPÍTULO IV .....	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
Conclusiones.....	62
Recomendaciones .....	63
REFERENCIAS.....	64
ANEXOS .....	66

ANEXO A.- Datasheet del variador .....	67
ANEXO B.- Datasheet del encoder .....	78
ANEXO C.- Datasheet del microcontrolador .....	80
ANEXO D.- Programación en Mplab con Hitech .....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Partes de un Sistema Electrónico .....	6
Figura 2. 2 Señal digital .....	10
Figura 2. 3 Señal análoga.....	11
Figura 4. 1 Motor trifásico .....	20
Figura 4. 2 Motor de rotor bobinado.....	21
Figura 4.3 Arranque de motores asíncronos trifásicos .....	22
Figura 4.4 Principio de funcionamiento de un encoder .....	24
Figura 4.5 Señal captada por el receptor absoluto .....	24
Figura 4.6 Representación de las señales incrementales en el disco giratorio .....	26
Figura 4.7 Representación gráfica de las señales incrementales .....	27
Figura 4.8 Variador.....	28
Figura 4.9 Variador de frecuencia .....	31
Figura 4.10 Variador de frecuencia .....	32
Figura 4.11 Grabador de microcontroladores .....	36
Figura 4.12 Funcionamiento del PIC en lenguaje C.....	42
Figura 4.13 Lenguaje ensamblador.....	43
Figura 4.14 Lenguaje ensamblador.....	43
Figura 4.15 Proceso de la programación .....	44
Figura 4.16 Selección de un proyecto en Mplab .....	48
Figura 4.17 Entorno de programación en Mplab.....	49
Figura 4.18 Inicio de programación en Mplab .....	49
Figura 4.19 Esquema del proyecto .....	50

Figura 4.20 Variador de frecuencia LG LS IG5A .....	51
Figura 4.21 Diagrama de bloques de control con el variador .....	52
Figura 4.22 Motor de inducción jaula de ardilla seleccionado .....	52
Figura 4.23 Encoder incremental .....	53
Figura 4.24 Acoplamiento del variador-motor .....	54
Figura 4.25 Diagrama del microcontrolador.....	55
Figura 4.26 Diagrama del circuito .....	56
Figura 4.27 Placa del variador .....	57
Figura 4.28 Placa del microcontrolador.....	58
Figura 4.29 Placa del grabador Pickit 3 de Microchip .....	58
Figura 4.30 Funcionamiento del variador con el microcontrolador .....	59
Figura 4.31 Posición del motor en 120° .....	59
Figura 4.32 Posición del motor en 0° .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Relación arranque vs carga nominal.....	22
Tabla 4.2 Equivalencia de códigos .....	25
Tabla 4.3 Clasificación de microcontroladores .....	33
Tabla 4.4 Principales fabricantes .....	35
Tabla 4.5 Velocidad en función del número de polos .....	38
Tabla 4.6 Datos de motores jaula de ardilla.....	39
Tabla 4.7 Datos de motor seleccionado .....	39
Tabla 4.8 Datos técnicos de microcontroladores .....	41
Tabla 4.9 Datos técnicos de microcontroladores .....	41
Tabla 4.10 Datos técnicos del PIC seleccionado .....	41
Tabla 4.11 Gastos del proyecto.....	61

## **RESUMEN**

En el presente proyecto de investigación se describe la creación e implementación de un sistema de control para la posición angular de los motores de inducción de jaula de ardilla, por medio del uso de un microcontrolador PIC18F25K20, un encoder incremental y un variador de frecuencia. La implementación de este sistema emplea el proceso similar al control de motores tradicionales, pero con detalles adicionales en la programación del microcontrolador para hacer posible el adecuado tratamiento de las señales.

Este sistema está formado por tres etapas, la primera es el control de la velocidad mediante la variación de la frecuencia con la que trabaja el motor de inducción, la segunda es la adquisición y sensado de la señal análoga del motor. Y finalmente la tercera etapa es el control de posición angular mediante el microcontrolador.

Al tener el control de la posición angular se constituirán únicamente dos posiciones de trabajo para el motor en base a una posición de referencia graduada.

### **Palabras clave**

Sistema de control, Posición angular, motor de inducción, motor jaula de ardilla, encoder, microcontrolador Pic, variador de frecuencia.

## **ABSTRACT**

In this research project it describe the creation and implementation of a control system for the angular position of induction motors know as squirrel cage motor, through the use of a microcontroller PIC18F25K20, an incremental encoder and an inverter of frequency. The implementation of this system uses control similar to the traditional engines, but with additional details on the programming of the microcontroller to make a suitable treatment of the signs.

This system consists of three stages, the first is the control of the speed by varying the frequency of the induction motor works, the second is the acquisition and sensed of the analog signal of the engine. And finally the third stage is the control of the angular position by the microcontroller.

By controlling the angular position they constitute only two working positions for the engine based on a graduated reference position.

### **Keywords**

Control system, angular position, induction motor, squirrel cage motor, encoder, microcontroller Pic, and inverter.



## GLOSARIO DE TERMINOS

**PWM** .-Modulación por ancho de pulso.

**R.P.M.**-Revoluciones por minuto.

**MI.**-Motor de inducción.

**MIJA.**-Motor de inducción jaula de ardilla.

**VI.**-Instrumentos virtuales.

**AI.**-Entrada analógica.

**AO.**-Salida analógica.

**Hz.**-Frecuencia en hercios.

**PID.**-Controlador proporcional integral derivativo.

**Microcontrolador.**- Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria

**ROM.**- Circuito integrado de memoria solo de lectura que almacena instrucciones y datos de forma permanente.

**EPROM.**-Circuito de memoria programable y que se puede borrar.

**EPROM.**-Circuito de memoria programable y que se puede borrar eléctricamente.

**UART'S.**-Chip de los sistemas digitales que permite convertir datos recibidos en forma paralela a forma serial y viceversa.

**I2C.-** Estándar que permite la comunicación de gama alta entre microcontroladores, memorias y otros. También conocido como bus de comunicaciones.

**CAN.-** Protocolo de comunicaciones en serie.

**PIC.-** Microcontrolador de la fabricación de Microchip.

**PLC.-** Controlador lógico programable.

**HMI.-** Interfaz de interacción entre el hombre y la maquina

**RS-232.-** Puerto de interfaz que envía datos de manera serial

**VFD.-** Sistema para el control de velocidad rotacional.

**ADC.-** Convertidor análogo digital.

**PWM.-** Modulación por ancho de pulsos

**C++.-** Lenguaje de programación en código de línea

**CMOS.-** Semiconductor complementario de bajo uso de energía

**MPLAB.-** Compilador para microcontroladores microchip

**ENCODER.-** Sensor de movimiento rotacional

## INTRODUCCION

El presente proyecto de investigación analiza los sistemas de control para motores de inducción o motores trifásicos asíncronos que son empleados actualmente en la industria moderna. Este análisis permite diseñar y construir un sistema de control para la posición angular de cualquier motor de inducción jaula de ardilla por medio de microcontroladores de gama alta y el uso de compiladores de C.

El proyecto se llevó a cabo con el desarrollo de cinco capítulos, los mismos que se describen así:

Capítulo I.- Con el análisis y planteamiento del problema, luego con la delimitación de contenidos, espacio y tiempo. Finalmente se realiza la justificación del proyecto y se plantea los objetivos

Capítulo II.- Contiene los antecedentes investigativos y la respectiva fundamentación teórica, que sustentará científicamente a la investigación.

Capítulo III.- Incluye la metodología empleada para la elaboración de este proyecto, como la modalidad, recolección de la información y los pasos a realizar para el desarrollo del proyecto.

Capítulo IV.- Tiene el desarrollo del proyecto punto por punto del diseño e implementación de un sistema de control de posición angular para motores trifásicos asíncronos por medio del uso de un microcontrolador.

Capítulo V.- Para finalizar se presenta las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en el desarrollo.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. TEMA**

“Sistema electrónico para el control de posición angular del eje de un motor trifásico asíncrono”.

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A nivel mundial la medición y control de movimiento de rotación es una de las aplicaciones más importantes en el control moderno, instrumentación y tecnologías informáticas. También es utilizada en el control de posición, velocidad y aceleración, en una, dos o tres dimensiones, y en muchos sistemas en los que estos parámetros deben ser censados y/o controlados. Casi todas las máquinas, procesos y sistemas de monitoreo tienen un eje de rotación en algún lugar de su mecanismo. [1]

La medición y control de motores se la realiza principalmente por medio de transductores. Los transductores han formado parte de servos electromecánicos y sistemas de posición angular, principalmente utilizados en la industria aeronáutica y militar para ayudar a evaluar diferentes tipos de variables físicas como posición y movimiento. [1]

En Latinoamérica, se han desarrollado varias alternativas para la medición y el control angular de motores de corriente continua, motores a pasos y motores trifásicos, por medio de PLC's y controles PID. Sin embargo no conoce registros del control angular para motores de corriente alterna o trifásica asíncrona a través de microcontroladores.

En nuestro país región aún no se ha desarrollado una investigación o proyecto que permita el control de un eje en motores trifásicos asíncronos por medio de variadores en conjunto con el microcontrolador por lo que el sector productivo aún carece de esta tecnología.

### **1.3. DELIMITACIÓN**

#### **DELIMITACIÓN DE CONTENIDOS**

**Área académica** : Física y Electrónica  
**Línea de investigación** : Sistemas electrónicos  
**Sub líneas de investigación** : Sistemas embebidos

#### **DELIMITACIÓN ESPACIAL**

La presente investigación se realizó en la ciudad de Ambato, en la empresa M&B Automatizaciones.

#### **DELIMITACIÓN TEMPORAL**

La presente investigación se desarrolló en un período de tres meses a partir de su aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

El principal propósito del desarrollo de esta investigación estuvo enfocado a la falta de un control de posición angular para motores trifásicos asíncronos lo que no se había logrado por una inexistente investigación previa.

Todos los métodos de control a través de microcontroladores existentes son únicamente para motores de corriente continua y para motores a pasos, ya que este es un procedimiento básicamente sencillo y manejable, mientras que al trabajar con motores más grandes existe una mayor complejidad al programar el microcontrolador.

Otro de los motivos que llevo al desarrollo de este proyecto, fue el interés y la necesidad de contribuir al país con los conocimientos en microcontroladores para el campo de la industria, pues existe un sinnúmero de empresas industriales que se podrían beneficiar de este proyecto.

Por otro lado, en el ámbito didáctico fue de gran ayuda para futuros proyectos de este tipo en el que estén inmersos los motores de corriente alterna y los microcontroladores.

La utilidad de esta investigación estuvo enfocada a explotar de mejor manera el uso de microcontroladores para así minimizar los inconvenientes al trabajar con motores de inducción que son mayormente empleados en la industria actual.

Por lo anteriormente mencionado, el desarrollo de este proyecto resultó factible, no solo por el beneficio que genera a la industria, sino por el interés propio de desarrollar la investigación para futuros proyectos.

El beneficiario principal fue la empresa donde se desarrolló el proyecto, luego las grandes y pequeñas industrias que trabajan con grandes motores, que lógicamente son trifásicos asíncronos (inducción) y que no tienen aún un método de control a través de microcontroladores para posición angular y variación de velocidad.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

- Implementar un sistema electrónico a través de un microcontrolador para el control de posición angular del eje de un motor trifásico asíncrono.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Analizar el funcionamiento técnico de los motores trifásicos asíncronos y sus principales componentes.
- ✓ Determinar los requerimientos técnicos necesarios para el diseño de un sistema Electrónico para el control de posición angular.
- ✓ Elaborar un prototipo de funcionamiento del sistema electrónico para el control de posición angular por medio de un microcontrolador.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El control es parte importante de cualquier tipo de proceso industrial ya sea de manufactura, industrial, naval, aeroespacial, aplicaciones robóticas, procesos económicos, biológicos, entre otros. Una de las aplicaciones típicas de control análogo es el posicionamiento angular de motores de corriente directa con un control PID para este tipo de aplicaciones era lo más conveniente, por costos y manejo a través de amplificadores operacionales [2].

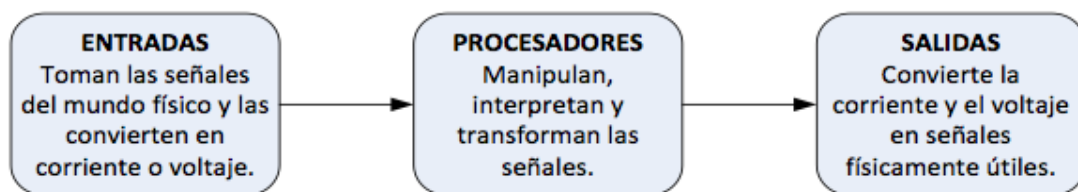
Actualmente se han registrado proyectos relacionados a sistemas para el control de motores de corriente continua, uno de ellos cuyo autor Enrique Javier Chacón Hidalgo concluye que la implementación de los controladores en el sistema servomotor se la realiza de una forma fácil y sencilla, ya que sólo se necesita crear en el programa simulink el sistema de control con el controlador que se desea probar, esto permite tener un acceso rápido y directo al sistema servomotor para finalmente emplear el control integrador derivativo. [3]

De la misma manera, se ha registrado un artículo científico realizado por Ana I. González Santos, Ania Ramírez Ramos, Javier Muñoz Álvarez, Mario Morera Hernández, donde concluyen que se han presentado dos modelos de análisis no lineales distintos (MRC-MFR), uno de tipo caja blanca y otro de tipo caja gris. En ambos modelos se ha considerado la independencia magnética de las fases del motor para establecer las ecuaciones principales que describen el comportamiento dinámico del motor y determinando en cada uno la posición angular del eje [4].



## 2.1.1 SISTEMAS ELECTRONICOS DIGITALES

Un Sistema Electrónico Digital es aquél que realiza un proceso sobre un conjunto de datos de entrada y produce una información de salida, como resultado de aplicar un algoritmo determinado. El algoritmo en cuestión determina el tipo de sistema electrónico digital. La figura 2.1 presenta el esquema básico de un sistema electrónico digital. [5]



**Figura 2. 1 Partes de un Sistema Electrónico**

*Fuente: Sistemas Electrónicos Digitales Fundamentos y Diseño de Aplicaciones [5]*

Entradas. Las entradas son sensores (o transductores) electrónicos o mecánicos que toman las señales (temperatura, presión, proximidad entre otros) del mundo físico y las convierten en señales de corriente o voltaje.

Ejemplo: El termopar, la foto resistencia para medir la intensidad de la luz.

Circuitos de procesamiento. Estos circuitos consisten en piezas electrónicas conectadas juntas para manipular, interpretar y transformar las señales de voltaje y corriente provenientes de los transductores.

Salidas. Las salidas son actuadores u otros dispositivos (también transductores) que convierten las señales de corriente o voltaje en señales físicamente útiles. [5]

- Elementos activos de un circuito electrónico.

Los elementos activos de un circuito electrónico, son los que “producen” energía y se denominan fuentes o generadores.

Las fuentes de corriente o las fuentes de tensión son ejemplos de elementos activos. Los dispositivos activos proporcionan al circuito energía eléctrica. [6]

- Elementos pasivos de un circuito electrónico.

Los elementos pasivos de un circuito electrónico, son los que “utilizan” la energía eléctrica durante su funcionamiento y se denominan consumidores o cargas, como: resistencias, condensadores y bobinas. Un elemento pasivo no genera energía; o bien la consume transformándola en calor. [6]

- Microcontroladores.

Es un circuito integrado que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna.

El microcontrolador es un computador dedicado. En su memoria sólo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada. [7]

Un microcontrolador típico tendrá un generador de reloj integrado y una pequeña cantidad de memoria de acceso aleatorio y/o ROM/EPROM/EEPROM/flash, que para hacerlo funcionar todo lo que se necesita son unos pocos programas de control y un cristal de sincronización. Los microcontroladores disponen generalmente también de una gran variedad de dispositivos de entrada/salida, como convertidor analógico digital, temporizadores, UARTs y buses de interfaz serie especializados, como I2C y CAN.

Frecuentemente, estos dispositivos integrados pueden ser controlados por instrucciones de procesadores especializados. [7]

### **2.1.2 CIRCUITOS DE CONTROL**

Los circuitos de control son aquellos que mediante la adecuada operación de una serie de elementos electrónicos, nos darán una respuesta deseada en base a las necesidades y a los requerimientos expresados en forma de instrucciones. Los circuitos de control reciben y procesan la información de cualquier sistema industrial sobre las condiciones del mismo. Esta información representa hechos tales como, posiciones mecánicas de partes móviles, cámaras, dispositivos de medición de distancia, velocidad, rpm, etc.

El circuito de control tiene la capacidad de tomar toda esta información empírica y combinarla con la suministrada por el operador con el fin de tomar decisiones. Esta información representa la respuesta deseada del sistema, es decir, el resultado esperado.

La decisión que toma el circuito de control no es una elaboración propia del sistema, solamente es el reflejo de los deseos del diseñador, quien previo todas las posibles condiciones de entrada, ha elaborado la lógica necesaria, para que las condiciones de salida sean la apropiadas, de ahí que la tarea de un diseñador es llevar a cabo la integración de todos los elementos que intervienen en un circuito de control de una manera segura y eficiente. [8]

#### Elementos del circuito de control

Los circuitos de control de cualquier índole, se pueden representar por tres partes principales de las cuales podemos resaltar a continuación:

Elementos de entrada: Los elementos de entrada es la sección en la cual se integran los dispositivos o elementos encargados de adquirir la información proveniente del operador y del mismo sistema,

Lógica del circuito: La sección lógica es aquella encargada de la toma de decisiones del sistema, de acuerdo con la información adquirida por los elementos de entrada, y de esta manera proveer una mejor respuesta posible a los elementos de salida. La sección de lógica de un circuito emplea diferentes técnicas tales como control con contactos, control digital, control por PLC y control por microcontroladores.

Elementos de salida: Los elementos de salida son aquellos elementos que comprenden a los actuadores. Los elementos de salida toman las señales de salida de la parte lógica del circuito y las transforman a formas utilizables tales como la visualización de pantalla. [8]

### **2.1.3 SISTEMAS EMBEBIDOS**

Un sistema embebido, o empotrado es un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real. Al contrario de lo que ocurre con los ordenadores de propósito general (como por ejemplo una computadora personal o PC) que están diseñados para cubrir un amplio rango de necesidades, los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades específicas. [9]

En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran incluidos en la placa base (la tarjeta de vídeo, audio, módem, etc.) y muchas veces los dispositivos resultantes no tienen el aspecto de lo que se suele asociar a una computadora. Algunos ejemplos de sistemas embebidos podrían ser dispositivos como un taxímetro, un sistema de control de acceso, la electrónica que controla la velocidad un autobús.

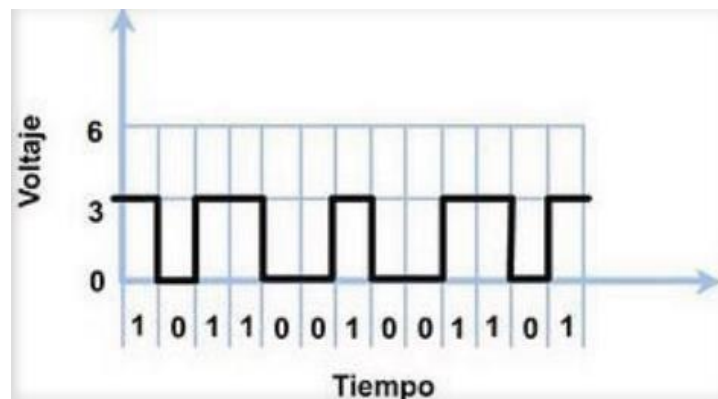
Por lo general los sistemas embebidos se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del microcontrolador o microprocesador incorporado sobre el mismo, o también, utilizando los compiladores específicos, pueden utilizarse lenguajes como C o C++; en algunos casos, cuando el tiempo de respuesta de la aplicación no es un factor crítico, también pueden usarse lenguajes interpretados como JAVA. [9]

## 2.1.4 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Un sistema de adquisición de datos es el instrumento que nos sirve para obtener datos de velocidad, posición o distancia. Estos datos pueden estar presentados en forma digital o analógica. Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en un microcontrolador. [10]

- Señales Digitales

Las señales digitales son señales cuantificadas; sólo varían a intervalos (escalonados) determinados. O sea, entre un intervalo y el siguiente no pueden tomar valores intermedios. Cuando la señal digital sólo puede tomar dos estados diferentes, se denominan señal binaria (1, 0); este es el tipo de señal digital, o información, con que operan los sistemas digitales, como se indica en la figura 2.2. [10]

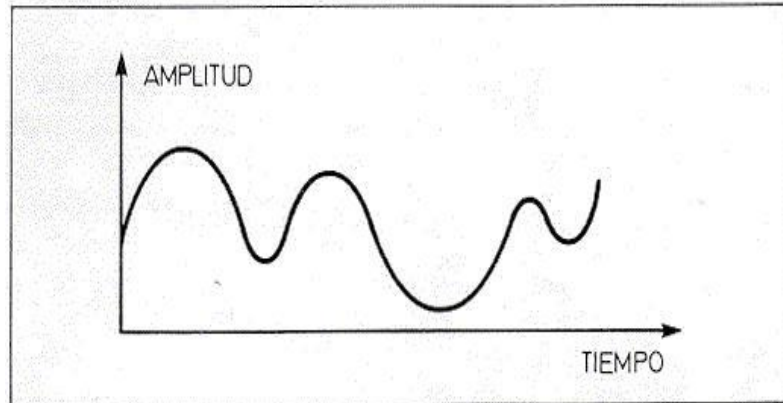


**Figura 2. 2 Señal digital**

*Fuente: Electrónica digital fundamental [6]*

- Señales Analógicas

Las señales analógicas son, señales eléctricas de variación continua en intensidad o amplitud en el tiempo, en donde no existen puntos de discontinuidad, vienen de sensores que convierten energía en forma de presión, posición o temperatura en voltaje, como se muestra en la figura 2.3. [10]



**Figura 2. 3 Señal análoga**

*Fuente: Modulo de electrónica digital II [10]*

- Etapas de un sistema de adquisición de datos

Para tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en un microcontrolador, los sistemas de adquisición de datos tienen las siguientes etapas:

- a) Sensores o transductores

Un sensor es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica correspondiente medible. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de los fenómenos físicos mensurables en la adquisición de datos por hardware. [10]

b) Acondicionamiento de la señal

Los circuitos de acondicionamiento de señales mejoran la calidad de la señal generada por el transductor antes de que sean convertidas a señales digitales. Cabe recalcar que no es necesario a veces realizar el acondicionamiento de señal en un sistema de adquisición de datos, cuando la variable a medir presenta facilidad de acoplamiento a los convertidores.

Se pueden encontrar diferentes etapas en el acondicionamiento de señal como pueden ser:

- Amplificación.
- Excitación.
- Filtrado.
- Multiplexado. [10]

b) Tratamiento de la señal

En esta etapa la señal adquirida debe ser sometida a convertidores analógicos - digital (A/D) y digital - analógico (D/A), para de esta manera procesar información de un sistema físico. Para el control de posición angular, velocidad y distancia se utilizan microcontroladores, que son las interfaces entre las señales y la interfaz de usuario, realizando funciones de cuantificación y codificación.

La cuantificación implica la división del rango continuo de entrada en una serie de pasos, de modo que para infinitos valores de la entrada la salida sólo puede presentar una serie determinada de valores. La codificación es el paso por el cual la señal digital se ofrece según un determinado código binario, de modo que las etapas posteriores al convertidor puedan leer estos datos adecuadamente. [10]

c) Visualización de datos adquiridos

Los datos adquiridos se visualizan, a través de una salida a pantalla.

Tarjetas de adquisición de datos

Las tarjetas de adquisición de datos, se encargan de:

- ✓ Las conversiones de señales desde analógica a digital. ADC.
- ✓ La comunicación con la interfaz de usuario (HMI). [10]

### **2.1.5 MOTORES ELECTRICOS**

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas.

✓ Funcionamiento

Los motores de corriente alterna y los de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético [11].

El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.



Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado eje [11].

✓ Principales tipos

- Motor de corriente continua CC
- Motor de corriente alterna AC

✓ Motores de CC

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica. Los motores de corriente continua son de los más versátiles en la industria.

Su fácil control de posición, paro y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. [11].

Pero con la llegada de la electrónica su uso ha disminuido en gran medida, pues los motores de corriente alterna, del tipo asíncrono, pueden ser controlados de igual forma a precios más accesibles para el consumidor medio de la industria. A pesar de esto los motores de corriente continua se siguen utilizando en muchas aplicaciones de potencia (trenes y tranvías) o de precisión (máquinas, micro motores, etc.) [11].

La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga y su principal inconveniente, el mantenimiento, muy caro y laborioso [11].

✓ Motores de Corriente Alterna

Existen dos tipos de motores que utilizan corriente alterna:

- ✓ Motores síncronos
- ✓ Motores asíncronos

Motores síncronos

El motor síncrono es en esencia un alternador trifásico que funciona a la inversa. Los imanes del campo se montan sobre un rotor y se excitan mediante corriente continua, y las bobinas de la armadura están divididas en tres partes y alimentadas con corriente alterna trifásica [11].

Motores asíncronos

La variación de las tres ondas de corriente en la armadura provoca una reacción magnética variable con los polos de los imanes del campo, y hace que el campo gire a una velocidad constante, que se determina por la frecuencia de la corriente en la línea de potencia de corriente alterna

La diferencia del motor asíncrono con el resto de los motores eléctricos radica en el hecho de que no existe corriente conducida a uno de sus devanados (normalmente al rotor). [11]

La corriente que circula por el devanado del rotor se debe a la fuerza electromotriz inducida en él por el campo giratorio; por esta razón, a este tipo de motores se les designa también como motores de inducción.

La denominación de motores asíncronos obedece a que la velocidad de giro del motor no es la de sincronismo, impuesta por la frecuencia de la red inducción. Hoy en día se puede decir que más del 80% de los motores eléctricos utilizados en la industria son de este tipo, trabajando en general a velocidad prácticamente constante. [11]

No obstante, y gracias al desarrollo de la electrónica de potencia (inversores y ciclo convertidores), en los últimos años está aumentando considerablemente la utilización de este tipo de motores a velocidad variable

La gran utilización de los motores asíncronos se debe a las siguientes causas: construcción simple, bajo peso, mínimo volumen, bajo coste y mantenimiento inferior al de cualquier otro tipo de motor eléctrico [11].

## **2.2. PROPUESTA DE SOLUCIÓN**

Con el desarrollo del prototipo del sistema de control de posición angular de un motor trifásico asíncrono se eliminan los problemas generados en la industria al hablar de control de posición angular y variación de velocidad en motores trifásicos ya que no existe en la actualidad. Además de que en el ámbito didáctico se deja una secuela para que se desarrollen más proyectos similares.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente es una investigación aplicada, la que se desarrolló utilizando:

**Investigación bibliográfica**, porque la explicación científica de las variables del tema de investigación, la resolución del problema planteado y la propuesta de solución se la realizó consultando en libros, revistas, artículos técnicos, publicaciones en internet y en antecedentes de proyectos similares. Siendo el proceso más adecuado para la obtención de la información.

**Investigación de campo**, para lo cual se realizó un estudio sistemático en la empresa M&B automatizaciones. Con esta modalidad se pudo tener contacto directo con la funcionalidad real del proyecto.

#### **3.2. POBLACIÓN O MUESTRA**

Para el presente proyecto no se requirió los datos de población y muestra

#### **3.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Una vez obtenida la información apropiada para la investigación La recolección de información se realizó a través de documentos de registro relacionados a control de posición angular de motores de corriente continua, y a través de guías de observación del comportamiento de los motores trifásicos asíncronos que permitió determinar los factores necesarios para el desarrollo de la propuesta de solución.

### **3.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

Para el análisis de la información recolectada se empleó un método analítico donde se distinguió los elementos inmersos y se procedió a revisar ordenadamente cada uno de ellos por separados a través de tablas, datos estadísticos, representaciones gráficas y análisis porcentual, que ayudaron al desarrollo del prototipo del sistema electrónico que sea capaz de controlar la posición angular de un motor.

### **3.5. DESARROLLO DEL PROYECTO**

Para el desarrollo de la investigación se efectuó los siguientes pasos:

- Recolección y análisis de información sobre el funcionamiento de motores trifásicos asíncronos y su tiempo de respuesta.
- Recolección y análisis de información sobre la respuesta de sensores o transductores en motores trifásicos asíncronos.
- Recolección y análisis de información sobre variadores de motores trifásicos asíncronos
- Recolección y análisis de información sobre microcontroladores.
- Selección del motor para el proyecto
- Selección del microcontrolador adecuado capaz de realizar el control del motor
- Recolección de información sobre la programación en el microcontrolador seleccionado.
- Análisis de la información técnica para seleccionar los equipos a utilizarse en el sistema.
- Diseño de las etapas para desarrollar el sistema de control de posición angular empleando la información técnica.
- Realizar las placas de los circuitos electrónicos para cada etapa de desarrollo.
- Evaluación y comprobación del funcionamiento del prototipo.

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DE LA PROPUESTA

#### **4.1. Recolección y análisis de información sobre el funcionamiento de motores trifásicos asíncronos y su tiempo de respuesta**

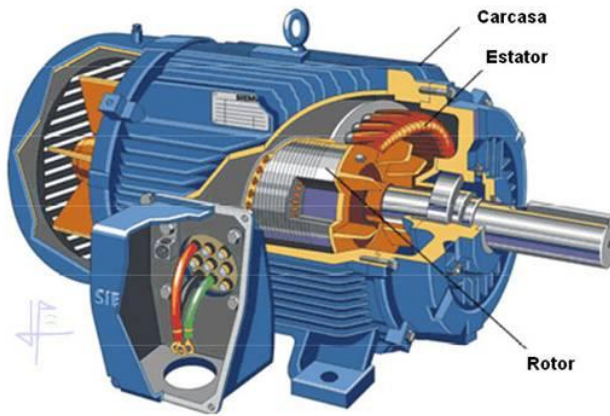
Para este capítulo se analizó la información concerniente al motor a emplearse en el proyecto, sabiendo que los motores trifásicos asíncronos están entre las máquinas eléctricas más confiables que existen y también son conocidos como motores de inducción. Sus intervenciones de mantenimiento son muy reducidas y se adaptan fácilmente a los requerimientos exigidos, esto nos indicó por qué son utilizados en los ambientes industriales.

El principio de funcionamiento del motor trifásico asíncrono radica en que cuando la energía eléctrica trifásica atraviesa las tres fases del motor en su estator se produce un campo magnético que induce corriente en las barras del motor. Esta corriente generada produce un campo que al interactuar con el flujo del campo magnético genera un movimiento mecánico continuo en el rotor. La velocidad de giro del rotor no es igual al del campo magnético por el fenómeno de desplazamiento por lo que se les da el nombre de asíncronos. Con este principio podemos denotar que mientras mayor sea la carga menor será la velocidad.

Las ventajas de usar un motor asíncrono son:

- ✓ Construcción simple
- ✓ Volumen minimizado
- ✓ Reducción de costos
- ✓ Reducción de peso
- ✓ Mantenimiento completamente reducido en comparación a otros motores.

Está compuesto por tres partes principales que son el estator, que es donde se almacena el bobinado, el rotor que es la parte móvil del motor y la carcasa que son las protecciones para el eje del rotor.



**Figura 4. 1 Motor trifásico**

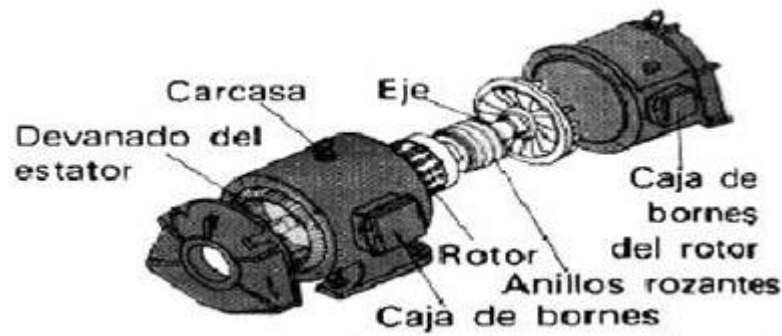
*Fuente: Artículo de motores eléctricos [12]*

Existen dos tipos de motores asíncronos:

- El de rotor bobinado o conocido también como el de anillos
- El de rotor en cortocircuito o conocido como rotor de jaula de ardilla

#### **4.1.1 Motor asíncrono con rotor bobinado**

La principal y única diferencia radica en el rotor, para este caso está constituido por algunos devanados muy parecidos a los del estator, su estructura es de mayor complejidad y su delicadeza aumenta significativamente por lo que requiere mantenimientos con mayor frecuencia. Cabe recalcar que este tipo tiene anillos rosantes en el eje del rotor para el control de fase de arranque.



**Figura 4. 2 Motor de rotor bobinado**

*Fuente: Artículo de motores eléctricos [12]*

#### **4.1.2 Motor asíncrono con rotor de jaula de ardilla**

Este tipo tiene un rotor definido por barras cerradas en cortocircuito muy similares a una jaula, facilitando así su construcción y su simplicidad de manejo como de mantenimiento.

#### **4.1.3 Arranque y tiempo de respuesta**

Esta es la parte más importante en lo concerniente a los motores de inducción, ya que durante el arranque de un motor, la corriente que se requiere es bastante alta, por lo que puede haber pérdidas de voltaje y en consecuencia existan afectaciones al sistema.

Cabe recalcar que los motores de inducción requieren una corriente de arranque mayor a la nominal y si hubiera un tiempo de respuesta elevado el motor puede recalentar y sufrir daños. Por lo que se estableció un tiempo de respuesta máximo en función del tamaño del motor y de su velocidad.

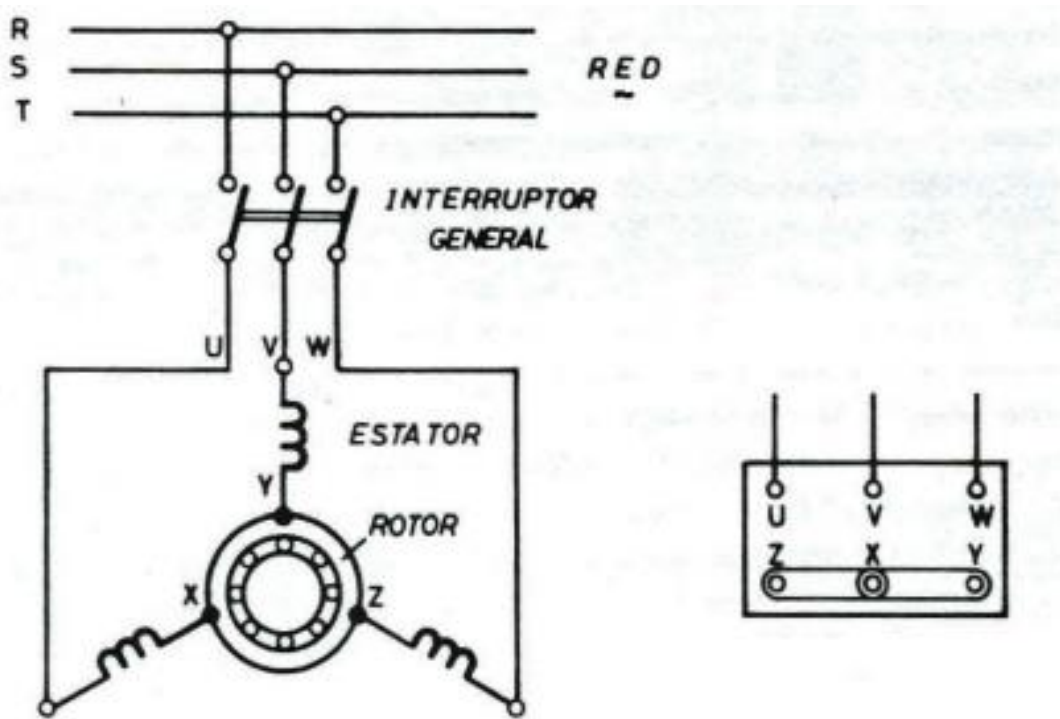
Para que el arranque del motor pueda ser óptimo fue necesario que el par de arranque sea superior al par resistente de la carga.



POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR	Relación arranque vs carga nominal
De 0.75 Kw a 1.5 Kw	4.5
De 1.50 Kw a 5 Kw	3.0
De 5 Kw a 15 Kw	2.0
De más de 15 Kw	1.5

**Tabla 4.1 Relación arranque vs carga nominal**

*Fuente: Reglamento Electrotécnico. [13]*



**Figura 4.3 Arranque de motores asíncronos trifásicos**

*Fuente: Reglamento Electrotécnico. [14]*

## **4.2. Recolección y análisis de información sobre la respuesta de sensores o transductores en motores trifásicos asíncronos.**

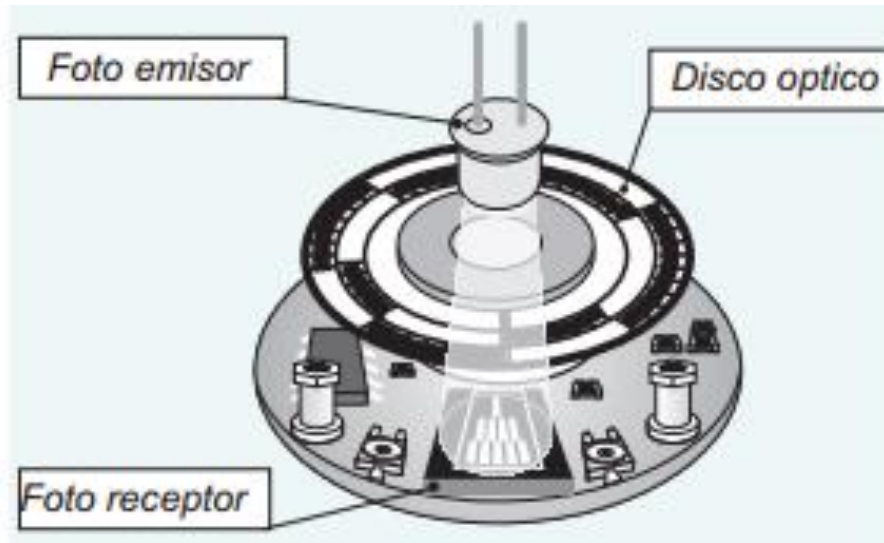
Se analizó los sensores o transductores apropiados para nuestro control de posición angular, para lo cual se determinó que para este caso en particular se necesitaba un encoder o codificador rotatorio, que no es otra cosa que un dispositivo electromecánico diseñado para convertir la posición angular de un eje a un código digital o binario.

Se analizaron los dos tipos principales de encoders que están estrechamente relacionados con la posición angular del motor que basan su funcionamiento en un disco rotatorio que se encuentra graduado, ubicado en la parte central del encoder, este disco tiene reticulado con líneas opacas alternadas con espacios transparentes. Tiene una fuente de rayos infrarrojos puesta de forma perpendicular con las líneas que es conocida como foto emisor, que a su vez proyecta una imagen sobre varios receptores o conocidos también como foto receptores con otro reticulado denominado colimador. En este caso los receptores tienen la función principal de captar las variaciones de luz emitidas a través del movimiento del disco y la luz proyectada por el foto emisor y finalmente convertirlas en variaciones eléctricas.

Para finalizar esta señal eléctrica debe ser tratada de forma electrónica para conseguir impulsos válidos.

### **4.2.1 Encoder absoluto**

El encoder absoluto basa su principio de funcionamiento en lo ya expuesto anteriormente con un disco giratorio conocido también como disco óptico, con zonas blancas y oscuras, el foto emisor conectado al eje del motor y el foto receptor para generar las señales eléctricas.

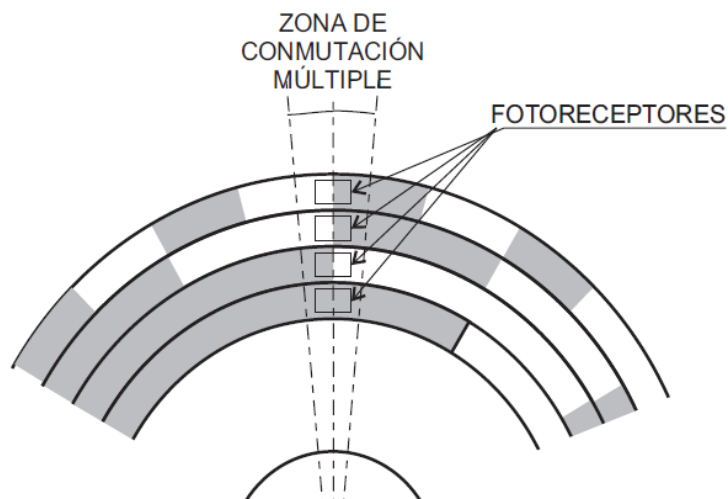


**Figura 4.4 Principio de funcionamiento de un encoder**

*Fuente: Encoder absoluto. [15]*

La principal diferencia con el encoder incremental radica en que la posición angular queda definida por el código de salida que es único para cada posición al dar la vuelta completa, esto ayuda a que estos encoders no pierdan su posición cuando exista una pérdida de alimentación.

Para la forma de adquisición de datos o la forma de recepción por medio de los receptores se emplea una zona de conmutación múltiple que genera cuatro combinaciones diferentes como se muestra en la figura 4.5



**Figura 4.5 Señal captada por el receptor absoluto**

*Fuente: Encoder absoluto. [15]*

Para poder codificar estas señales eléctricas obtenidas se emplea código gray y consecuentemente el código binario ya que este fácilmente puede ser manipulado por cualquier dispositivo de control mediante el proceso electrónico respectivo.

<b>EQUIVALENCIA</b>		
<b>DECIMAL</b>	<b>BINARIO</b>	<b>CODIGO GRAY</b>
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

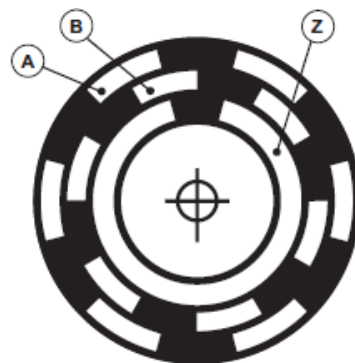
**Tabla 4.2 Equivalencia de códigos**

*Fuente: Autor*

### 4.2.2 Encoder incremental

Su principio de funcionamiento es similar al del encoder absoluto con la diferencia ya mencionada de la forma de lectura de las posiciones. Para este caso se cuenta el número de impulsos con respecto a la marca cero o posición inicial, lo que no permite se almacene la última posición luego de una pérdida de alimentación.

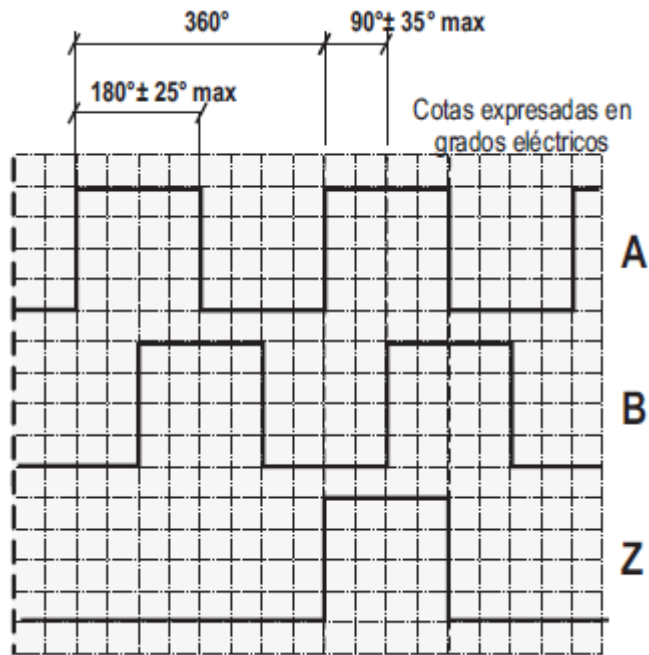
El encoder incremental permite obtener dos formas de onda cuadradas desfasadas  $90^\circ$  eléctricos. Por lo general para este tipo de transductores se hace la lectura mediante tres canales el uno (A) permite tener la información de velocidad, el segundo canal (B) determina el sentido de giro y el tercero (C) determina la posición del encoder con respecto a la posición o marca cero como se muestra en la figura 4.6



**Figura 4.6 Representación de las señales incrementales en el disco giratorio**

*Fuente: Encoder incremental. [16]*

De acuerdo a los tres canales se pueden captar tres señales cuadráticas que determinan los desfases que tendrá cada una.



**Figura 4.7 Representación gráfica de las señales incrementales**

*Fuente: Encoder incremental. [16]*

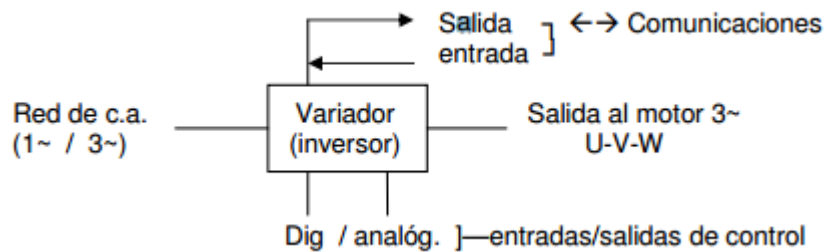
La unidad para medir la precisión de un encoder es el grado eléctrico, utilizado para determinar la división de un impulso generado por el encoder. Para determinar la equivalencia de un grado eléctrico con un grado mecánico podemos emplear la siguiente fórmula.

$$360^{\circ} \text{ electricos} = \frac{360^{\circ} \text{ mecanicos}}{N^{\circ} \text{ impulsos/giro}}$$

### **4.3. Recolección y análisis de información sobre variadores de motores trifásicos asíncronos**

Se debe mencionar que un variador de velocidad se denomina como un conjunto de dispositivos mecánicos, eléctricos, hidráulicos y electrónicos cuya función es la de controlar la velocidad con la que gira el eje de una motor. Las dos razones principales para que se implementen los variadores de velocidad son el control de procesos y el ahorro del consumo de energía.

El esquema de la composición de un variador se puede observar en la figura 4.8.



**Figura 4.8 Variador**

*Fuente: Sistemas de regulación y control automáticos. [17]*

Dónde:

La red de c.a es la alimentación del variador que puede ser monofásica o trifásica dependiendo del requerimiento del motor.

Las entradas/salidas de control, que son conexiones de comunicación bidireccional, que para el caso de los variadores tiene de dos tipos una digital (contactores, pulsadores, conmutadores) y otra análoga.

Salida y entrada (Comunicaciones), que no son otra cosa las conexiones para comunicar al variador con una red industrial mediante interfaces como RS-232, Ethernet, profibus, USB y ordenadores. Para cada fabricante o marca de variadores existe un respectivo software con las indicaciones necesarias para poder establecer el bus de comunicaciones.

Salida al motor, que es la conexión al motor a través de una conexión directa, estrella o triángulo por medio de las tres fases (U-V-W).

Los dos factores principales en la velocidad de un motor trifásico asíncrono están estrictamente ligados al número de polos y a la frecuencia. Están definidos por la siguiente expresión:

$$n = 60 \frac{f}{2p}$$

Dónde:

- **n** = velocidad en rpm
- **f** = frecuencia (HZ)
- **2p** = número de pares de polos del motor

La velocidad obtenida a través de esta expresión matemática nos indica la velocidad real del motor, claro que al hablar de un motor asíncrono la velocidad real de giro siempre será menor de la calculada por el efecto de desplazamiento que es alrededor de un 4%. Para variar progresivamente la velocidad de un motor asíncrono necesitamos de la ayuda de los variadores.

Los parámetros a tomar en cuenta para la selección adecuada de un variador son:

- ✓ Potencia del variador
- ✓ Tensión e intensidad adecuada del motor
- ✓ Frecuencias mínima y máxima del motor
- ✓ Tiempo de aceleración y parada.
- ✓ Control del par inicial
- ✓ Protección térmica
- ✓ Elementos de control
- ✓ Comunicaciones
- ✓ Control mediante bucle.

Cabe recalcar que los motores de inducciones pueden lograr variar la velocidad a través de tres métodos que son:

- ✓ La variación del número de polos.
- ✓ La variación del deslizamiento o tensión de alimentación.
- ✓ La variación de la frecuencia de alimentación.



### **4.3.1 Variación por número de polos**

Este método es análogo y antiguo en comparación a los otros dos métodos se genera variando el número de pares con el número de polos. Para variar el número de polos del motor se colocan distintos bobinados en el estator del motor, luego se los interconecta y se consigue la variación deseada.

Los principales inconvenientes que se dan al utilizar este método son:

- ✓ Se requiere un motor especial con los devanados necesarios y que los terminales sean puestos al exterior del estator para el intercambio de polos.
- ✓ No es posible tener un control continuo de velocidad.
- ✓ Mayor tamaño y peso para el motor
- ✓ Costo más elevado debido a la carcasa
- ✓ Bajo rendimiento.

### **4.3.2 Variación del deslizamiento o tensión**

Este método se da gracias a la modificación de la tensión de alimentación, ya que es directamente proporcional a la velocidad de giro, entonces si se disminuye la tensión la velocidad también lo hace y así aumenta el deslizamiento.

La velocidad del motor puede ser controlada de manera limitada por este método variando el voltaje de línea de un par al primario del estator y así induciendo un incremento en el deslizamiento.

Utilizado en su mayoría para motores pequeños.

### **4.3.3 Variación de la frecuencia de alimentación**

Este tercer y último método es el más eficaz y eficiente para la variación de velocidad para los motores asíncronos, un variador de frecuencia o también conocido por sus siglas como VFD permite la variación de la velocidad de los motores asíncronos por medio del control de la frecuencia.

También son conocidos como drivers de CA o inversores, debido a que el voltaje es variado simultáneamente con la frecuencia.



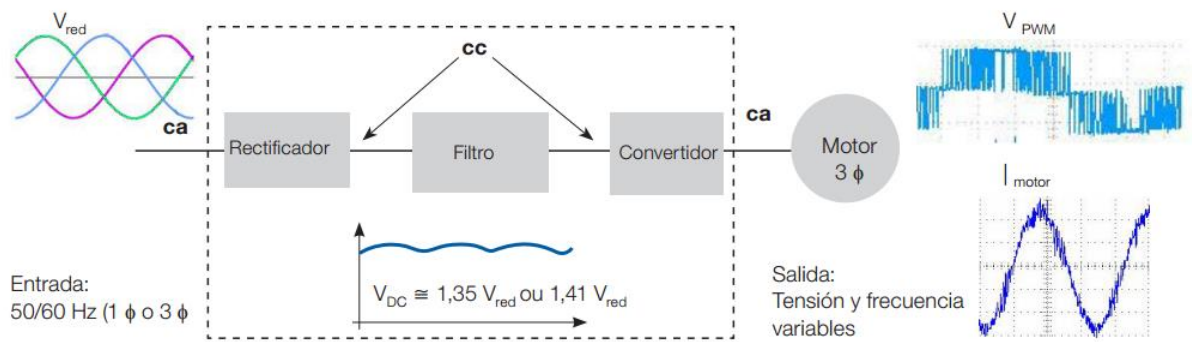
**Figura 4.9 Variador de frecuencia**

*Fuente: Sistemas de regulación y control automáticos. [17]*

Su principio de funcionamiento radica en que la velocidad síncrona de un motor está estrechamente ligada a la frecuencia de corriente alterna suministrada y el número de polos del estator.

Las partes principales de un variador de frecuencia la parte de rectificación donde se transforma la tensión alterna en continua, el respectivo filtro para regenerar la señal y minimizar los armónicos, finalmente el inversor que transforma la corriente continua en alterna mediante la generación de pulsos.

El variador de frecuencia más empleado es el PWM, que en su traducción de las siglas quiere decir modulación por ancho de pulsos. Son el enlace entre la fuente o red y el motor de inducción. Para obtener una frecuencia y tensión ideales el proceso pasa por tres etapas como se puede apreciar en la figura 4.10.



**Figura 4.10 Variador de frecuencia**

*Fuente: Sistemas de regulación y control automáticos. [18]*

#### 4.4. Recolección y análisis de información sobre microcontroladores

Teniendo en cuenta que un microcontrolador es una unidad integrada en un chip que contiene al mismo tiempo las tres partes más importantes de una computadora como son el CPU, las unidades de entrada-salida y las unidades de memoria. Entonces será capaz de controlar una tarea específica dependiendo de su necesidad.

Está compuesto básicamente por un generador de reloj, una específica cantidad de memoria dependiendo de su modelo, además de un cristal de sincronización que mediante un programa digital adecuado puede funcionar correctamente. Tienen en su mayoría entradas-salidas con convertidores de análogo a digital, temporizadores e interfaces especializadas en distintas funciones dependiendo del requerimiento.

Los microcontroladores pueden ser controlados mediante un lenguaje de programación, que en la actualidad ya viene incorporado como el BASIC, C, C++.

Es importante conocer que en la actualidad existen un sinnúmero de aplicaciones que incorporan el uso de un microcontrolador ya sea para mejorar su versatilidad, su desempeño, reducir costos o disminuir consumos.

Se pueden encontrar en pequeños juguetes como en grandes industrias, sin embargo se puede observar que donde tienen mayor incidencia en:

- ✓ La fabricación automotriz, para el control de encendidos, servofrenos, alarmas, sistemas de navegación y otros.

- ✓ Los electrodomésticos, para el control de temperatura, calefacciones, cocinas eléctricas.
- ✓ La informática, para controlar dispositivos finales como impresoras, cámaras, módems y otros.
- ✓ Y finalmente en la más importante y quizás la más empleada al industria, para controlar motores, sensores y actuadores.

Existe una gran cantidad de microcontroladores fabricados para diferentes tareas o necesidades, se los puede clasificar de acuerdo a la Tabla 4.3.

	<b>BITS</b>	<b>PRESTACIONES</b>	<b>FABRICACIÓN</b>	<b>DOMINIO EN EL MERCADO</b>	<b>COSTOS</b>
<b><u>MICROCONTROLADOR</u></b>	4	BAJA	MEDIA BAJA	MEDIA BAJA	BAJO
	8	MEDIA	MEDIA ALTA	ALTA	MEDIO BAJO
	16	MEDIA ALTA	MEDIA	MEDIA	MEDIO ALTO
	32	ALTA	MEDIA BAJA	BAJA	ALTO
	64	ALTA	BAJA	BAJA	ALTO

**Tabla 4.3 Clasificación de microcontroladores**

*Fuente: Autor*

Existe un dato importante y es que la mayoría de microcontroladores de la actualidad por no decir la totalidad se fabrican con tecnología CMOS 4, que permite un bajo consumo y una alta inmunidad al ruido.




Para la elección de un microcontrolador lógicamente se tiene que tener claro la tarea a emplearse como base sólida de la elección, se tiene que saber que existe más de 60 fabricantes con distintos modelos y con tareas específicas, claro que también la selección debe ser enfocada al factor económico como a la disponibilidad del microcontrolador.

Existen varios parámetros a tomar en cuenta como son:

- La entrada/salida, ya que debemos conocer cuántas señales necesitamos controlar y claro su tipo.

- El procesamiento de los datos, esto está estrechamente ligado a la rapidez de cada microcontrolador, debemos conocer qué tipo de cálculos va a realizar y su magnitud. Sin dejar de lado su precisión.
- Memoria, para esto se debe conocer la información a almacenarse por parte de la aplicación con una versión preliminar o pseudocódigo.
- El respectivo consumo
- Costos o también conocido como ancho de palabra.
- Espacio en la placa o protección de caja, entonces se necesita conocer el tipo de encapsulado.

<b>PRINCIPALES FABRICANTES</b>	
	Su producto más popular los PIC de 8 bits.
	Tiene derivados del 8051, AT91SAM que están basados en ARM y sus arquitecturas propias AVR y AVR32. Estos modelos son utilizados en aplicaciones con grandes prestaciones y requerimientos.
	Tiene una línea media de microcontroladores, mas sus competencias son los semiconductores.
	Tiene una línea media alta de microcontroladores, empresa norteamericana líder en tecnología para sistemas de cómputo.

	<p>Su producto más conocido y vendido es el Zilog Z80 de 8 bits</p>
	<p>Gran productor de microprocesadores y microcontroladores como el 6800, el 6820 y el 6850</p>
	<p>Conocida por colocar en el mercado el modelo 8080</p>
	<p>Finalmente tenemos a microchip que se puede decir que es la empresa líder en fabricación de microcontroladores, con diferentes gamas dependiendo de la necesidad.</p>

**Tabla 4.4 Principales fabricantes**

*Fuente: Autor*

#### **4.4.1 Grabador o programador**

El grabador o programador es simplemente el hardware donde se realiza el proceso de grabado en la memoria del microcontrolador. Está diseñado con un zócalo externo para poder insertar el microcontrolador.



**Figura 4.11 Grabador de microcontroladores**

*Fuente: Sistemas de regulación y control automáticos. [19]*

Existen tres tipos de grabadores:

- ✚ Por puerto paralelo: Bajo nivel, No portable de alto riesgo
- ✚ Por el puerto serie: Utilizan señales auxiliares, depende extremadamente del ordenador, no es portable.
- ✚ EL autónomo como el ICD de microchip, es portable, más confiable y de muy bajo riesgo

De la mano con el hardware está el software necesario, existen varios pero dos de los más empleados son:

**Mplab** que es un editor gratuito propio de la marca Microchip, tiene todos los modelos disponibles por microchip y además permite la grabación directa o autónoma al chip.

Otro es **Edumic** generado o utilizado exclusivamente por la familia PIC.

#### **4.5. Selección del motor para el proyecto**

Una vez analizados los requerimientos básicos para el proyecto, comparados los motores de inducción existentes como el de rotor devanado y el de jaula de ardilla se decidió emplear el motor de jaula de ardilla ya que es el más común y por ende el más empleado en la industria por las razones bien diferenciadas que son:

- Bajo coste
- Mantenimiento minimizado

- Facilidad de adquisición
- Tienen un alto grado de protección
- Están compuestos por pocos componentes
- Es robusto
- Puede instalarse en ambientes de riesgo

Además se analizaron los siguientes parámetros:

- La instalación donde será ubicado el motor

La instalación donde se ubicó el motor era una ya existente construcción mixta de una planta de aproximadamente 40 años de edad.

- Las condiciones de la red eléctrica

Las instalaciones que posee son una línea monofásica y otra trifásica es decir tiene conexiones a 110 y a 220.

- La carga que el motor accionara

Debido a que se trata de un prototipo la carga en este caso fue la mínima soportada.

- Las condiciones medioambientales

Las condiciones medioambientales eran normales dentro del rango permitido

- El tiempo de recuperación de la inversión

No existe tiempo de recuperación ya que se trató únicamente de un proyecto didáctico

- El tipo de normas que debe cumplir el motor

Debía ser un motor trifásico asíncrono con carcasa de protección y en buen estado de funcionamiento

- El arranque que se va a emplear

Se necesitó un motor para emplear un arranque directo.



- La frecuencia a la que trabajará el motor

50hz

- La capacidad requerida del motor

El rango de potencia requerido oscilaba entre el ¼ HP y 1HP

- La velocidad requerida del motor

De acuerdo con el número de polos tenemos las velocidades aproximadas en la tabla

<b>N° de polos</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>32</b>	<b>48</b>
<b>Velocidad (rpm)</b>	3000	1500	1000	750	600	500	375	250	188	125

**Tabla 4.5 Velocidad en función del número de polos**

*Fuente: Autor*

En el cual se requirió una velocidad de 1000 rpm, por ende el motor debió ser de 6 polos.

Una vez solventadas estas preguntas se pudo establecer un cuadro comparativo entre cuatro motores de inducción jaula de ardilla como se indica en la tabla 4.6.

TIPO	CAPACIDAD (HP)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	VELOCIDAD (rpm)
Jaula de ardilla	0,25	220/300	1,98 ~ 0,98	1425 ~1100
Jaula de ardilla	0,5	220/340	2,8 ~ 1,75	1425 ~1100
Jaula de ardilla	1	220/380	3,6 ~2,08	1425 ~1100
Jaula de ardilla	1,5	220/440	5,2 ~2,6	1180
Jaula de ardilla	5	220	14	1750
Jaula de ardilla	10	230/460	27 ~14	1425 ~1750

**Tabla 4.6 Datos de motores jaula de ardilla**

*Fuente: Autor*

De acuerdo a estos datos analizados se estableció que nuestro prototipo no necesita más de 1HP, una velocidad no mayor a 1000rpm, cuyo voltaje manejado será de 200 voltios y cuya corriente nominal no superara los 3.6 amperios.

Nuestro motor contendrá las siguientes características expresadas en la siguiente tabla

<b>MOTOR SELECCIONADO</b>	
<b>Potencia</b>	0,25 HP
<b>Voltaje</b>	220 voltios
<b>Corriente máxima</b>	1,98 amperios
<b>Velocidad máxima</b>	1424 rpm
<b>Velocidad mínima</b>	1100 rpm
<b>Numero de polos</b>	6

**Tabla 4.7 Datos de motor seleccionado**

*Fuente: Autor*

#### **4.6. Selección del microcontrolador adecuado capaz de realizar el control del motor.**

Una vez seleccionado el motor, se procedió a elegir el microcontrolador adecuado de acuerdo al análisis de la información obtenida.

Se conoció que los requisitos mínimos que necesita nuestro microcontrolador fueron:

- Señales de entrada y salida  
Las señales de entrada y salida necesarias fueron la comunicación con un ordenador, con el encoder y el motor.
- Memoria  
En lo que respecta a la memoria debió tener la suficiente para almacenar la modulación PWM, la comunicación, las tablas y las interrupciones.
- Conversores de análogo/digital  
Se requirió estos conversores para tratar las señales captadas por el encoder o sensor rotatorio del motor.
- Velocidad  
Debió ser un microcontrolador de alta velocidad para que sea capaz de realizar todas las operaciones es decir uno de 16 bits mínimo
- Costo.  
Ya que se trata de un prototipo se requirió que el costo del microcontrolador no sea elevado, pero que sea potente.

De acuerdo con los requisitos se realizó una tabla comparativa con los microcontroladores que podían cumplir las necesidades requeridas.

MODELO DE MICROCONTROLADOR	BITS	ENTRADA/SALIDA	MEMORIA	CONVERTIDORES	SALIDAS PWM
PIC18F25K20	8	25	32kb	11	2
PIC18F4320	16	4	768b	10	4
MC68HC08DB48	16	16	48kb	6	4
MC68HC908MR32	32	6	16kb	10	6

Tabla 4.8 Datos técnicos de microcontroladores

Fuente: Autor

MODELO DE MICROCONTROLADOR	COSTO	PROGRAMADOR	SOPORTE
PIC18F25K20	\$ 4,25	Mplab	Ingles
PIC18F4320	\$ 9,52	Mplab	Ingles
MC68HC08DB48	\$ 7,50	Code Warrior	Español
MC68HC908MR32	\$ 6,35	Code Warrior	Español

Tabla 4.9 Datos técnicos de microcontroladores

Fuente: Autor

De acuerdo con lo expresado en estas tablas se puede concluir que la mejor opción por costo, por funcionalidad, por disponibilidad y por rendimiento era el PIC 18F25K20

CARACTERISTICAS PRINCIPALES	
Memoria Flash	32 Kb
Numero de instrucciones permitido	16384
Memoria de SRAM	1536 b
Memoria de EEPROM	256 b
entradas y salidas	25
PWM	2
E-USART	1
Timers 8/16-bits	1x83x16

Tabla 4.10 Datos técnicos del PIC seleccionado

Fuente: Autor

#### 4.7. Recolección de información sobre la programación en el microcontrolador seleccionado.

Para la programación del microcontrolador seleccionado se requirió el conocimiento sobre lenguaje C orientado a microcontroladores, para lo cual se analizó el comportamiento o interacción entre el microcontrolador y la computadora.

Es de vital importancia conocer que el microcontrolador siempre ejecuta el programa guardado en su memoria flash, al cual se le conoce con el nombre de código ejecutable. Para nuestro caso el código ejecutable es de 16 bits de ancho. Las mismas que son conocidas en colectivo como conjunto de instrucciones que son interpretadas por el CPU del microcontrolador como una tarea específica a realizar por cada palabra.

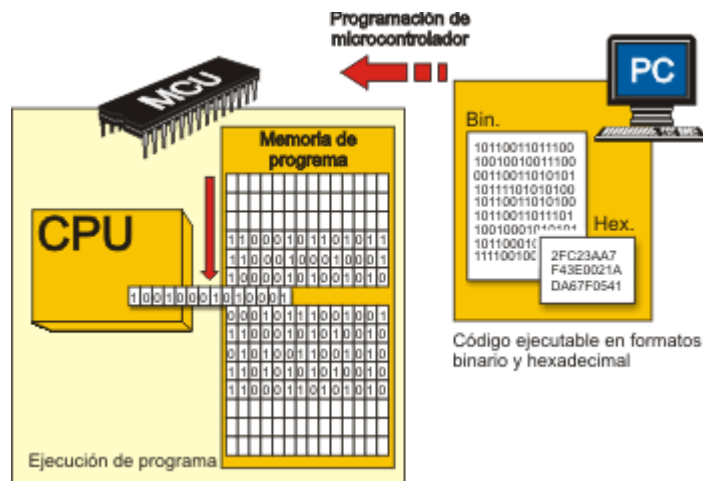
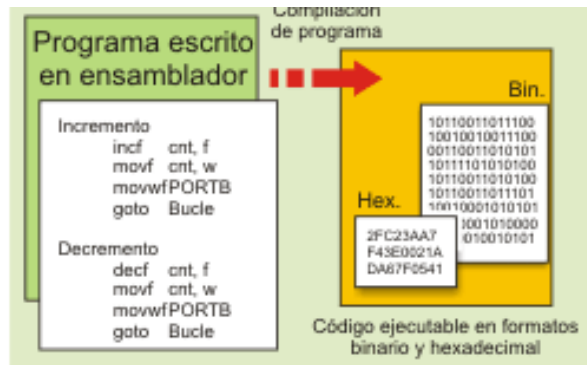


Figura 4.12 Funcionamiento del PIC en lenguaje C

Fuente: Pic Microcontrolles-Programing. [20]

Lenguaje C orientado a microcontroladores trabaja con un lenguaje ensamblador denominado ASM, que consiste en un conjunto de instrucciones abreviadas de su significado.

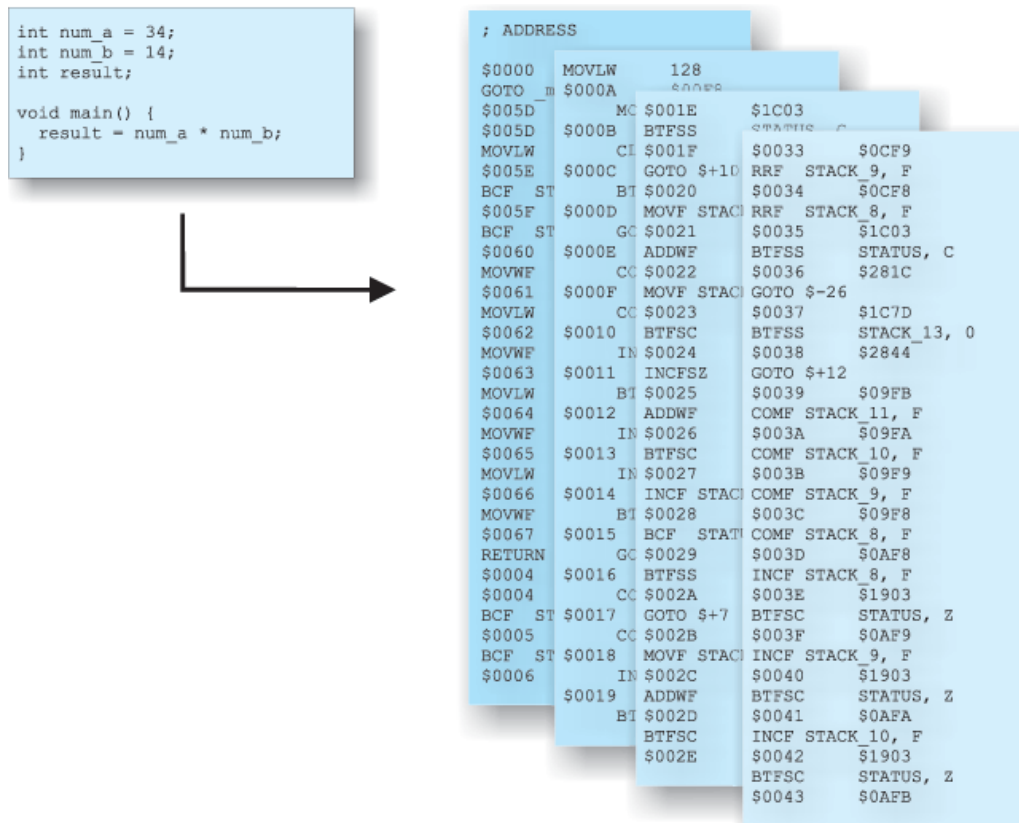


**Figura 4.13 Lenguaje ensamblador**

Fuente: *Pic Microcontrolles-Programing*. [20]

Este lenguaje ensamblador a su vez es el encargado de traducir estas instrucciones abreviadas a código de maquina o código binario.

El lenguaje de programación C es considerado como un lenguaje de alto nivel, con muchos buenos atributos y ventajas.



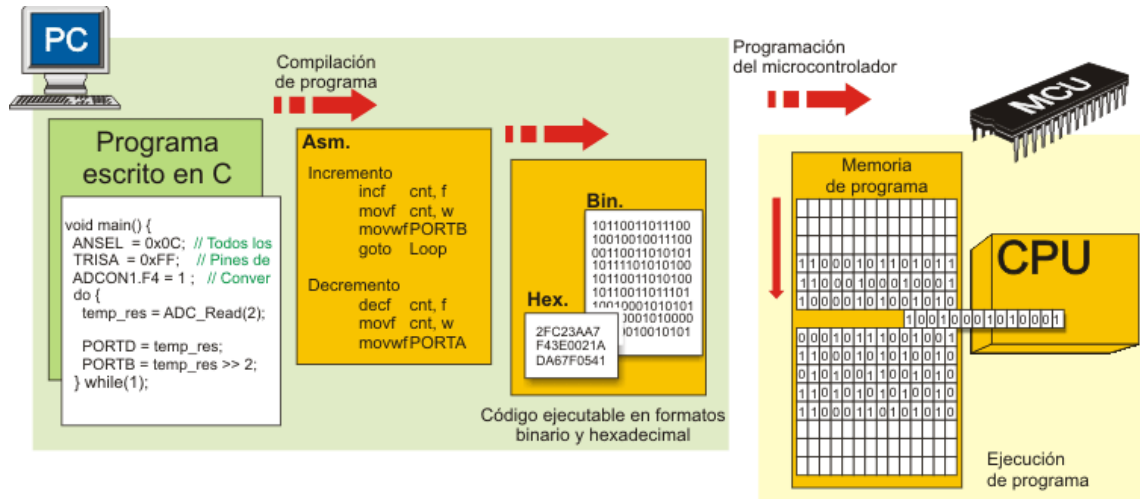
**Figura 4.14 Lenguaje ensamblador**

Fuente: *Pic Microcontrolles-Programing*. [20]

En la figura 4.12 se aprecia el ahorro en conjunto de instrucciones del código ejecutable al lenguaje de programación en C.

EL lenguaje C permite la operación tanto con el byte como el bit, además se encuentra estandarizado y es portable.

Entonces podemos establecer que el proceso realizado sería el siguiente:



**Figura 4.15 Proceso de la programación**

*Fuente: Pic Microcontrolles-Programing. [20]*

Primero se establece el programa escrito en C, a su vez este se compila por ASM para ser traducido a código de máquina, finalmente se almacena en la memoria flash del microcontrolador en palabras de 16 bits que contienen una instrucción específica (cada palabra).

Existen básicamente 32 palabras clave en lenguaje C y son:

- **int:** un tipo de dato entero con signo de 16, 32 ó 64 bits, dependiendo del compilador.
- **float:** Un número real de 32 bits. Generalmente su precisión es de 7 dígitos.
- **long:** Un número entero de 32 bits de rango igual a -2147483648 a 2147483647.
- **double:** Un número de 64 bits y de rango igual a  $1.7^{+/-308}$  con una precisión en general de 15 dígitos.

- **short:** Un número de 16 bits de rango igual a -32763 a 32762.
- **char:** Un tipo de dato específico para manejo de caracteres de 8 bits de rango igual a -128 a 127.
- **unsigned:** Modificador que se aplica a los tipos de datos enlistados arriba, su efecto es eliminar el signo a el tipo de dato aplicado
- **signed:** Modificador que obliga al compilador a utilizar un tipo de dato con signo si antes se declaró como de tipo unsigned.
- **volatile:** Especifica una variable que almacena datos cuyo contenido puede cambiar en cualquier momento sea por la acción del programa ó como reacción de la interacción del usuario con el programa
- **const:** Especifica una variable cuyo contenido no cambia bajo ninguna circunstancia.
- **enum:** Especifica un conjunto de variables que toman valores en un orden específico y consecutivo.
- **static:** Especifica una variable que sólo puede cambiar por efecto del programa.
- **typedef:** Define un tipo de dato para fácil manejo del programador basado en los datos definidos por el compilador.
- **sizeof:** Función que devuelve el tamaño en bytes del tipo de dato al que se aplica.
- **if:** Instrucción condicional.
- **else:** Se utiliza conjuntamente con la instrucción if.
- **switch:** Estructura condicional.
- **case:** Define los elementos de una estructura condicional *switch*.



- **default:** Define las acciones a ejecutar no especificadas por una instrucción *case* dentro de una estructura condicional *switch*.
- **break:** Obliga a salir de una estructura condicional *switch*, véase [.](#)
- **for:** Bucle que se ejecuta tantas veces como se cumplan las condiciones especificadas dentro del paréntesis de la instrucción.
- **while:** Bucle condicional que se ejecuta conforme la condición entre el paréntesis sea cierta.
- **do:** Bucle condicional que se ejecuta en conjunto con la instrucción *while*.
- **continue:** Instrucción para suspender un ciclo de un bucle.
- **goto:** Instrucción que ejecuta un salto a otra parte del código.
- **struct:** Define una estructura, para mayor información consulte.
- **Return:** Especifica el dato que devuelve una función.
- **union:** Un tipo de dato compuesto de otros datos definidos.
- **register:** Permite almacenar un dato en el registro del sistema.
- **extern:** Especifica una variable ó función que se encuentra en un archivo fuente diferente.
- **void:** Especifica que una función no devuelve valor alguno.
- **auto:** Una de las cuatro clases de almacenamiento de datos, *auto* es la opción por defecto, las otras tres son *register*, *static* y *extern*.

El formato general de un programa en C es:

*Declaraciones globales*

*Inclusión de librerías*

*tipo\_devuelto main (parámetros)*

```

{
    Sentencias
}

tipo_devuelto función1 (parámetros)
{
    Sentencias
}

tipo_devuelto función2 (parámetros)
{
    Sentencias
}

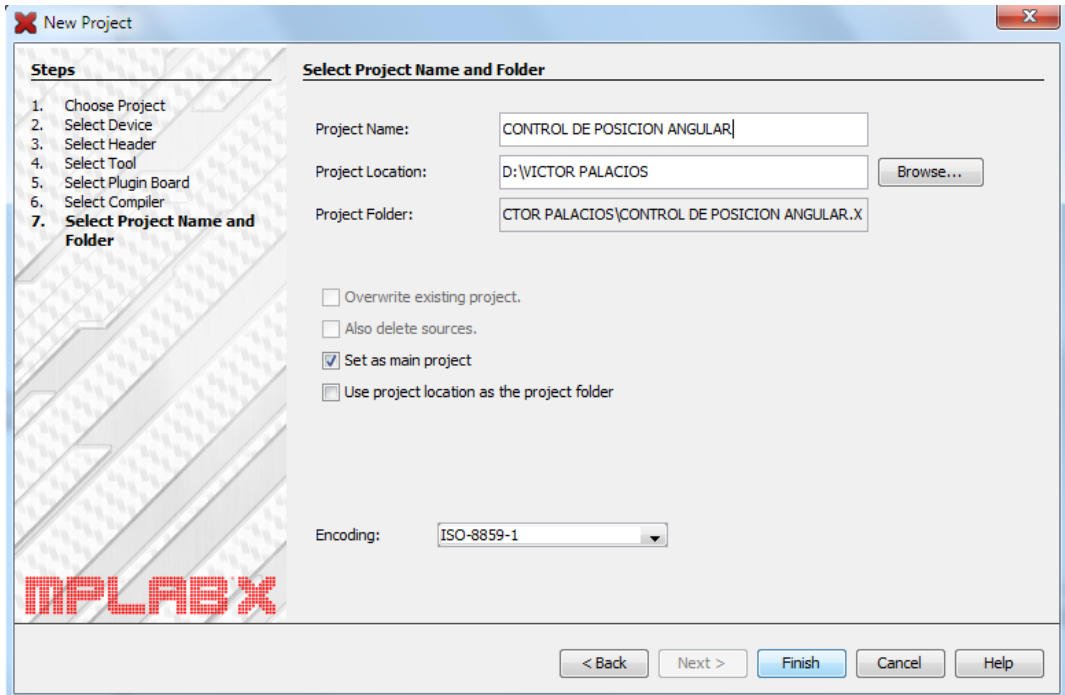
tipo_devuelto función_n (parámetros)
{
    Sentencias
}

```

#### **4.7.1 Software Mplab**

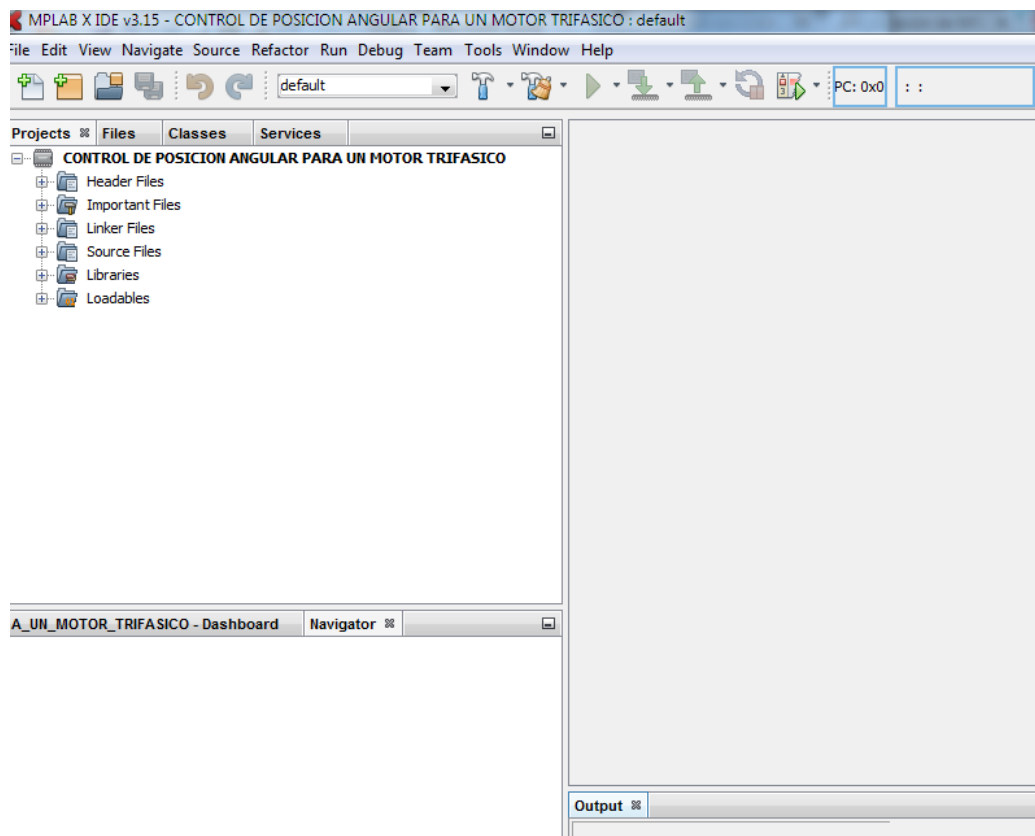
Este es un programa ofrecido por la marca de nuestro microcontrolador seleccionado (MICROCHIP), que permite la programación en C++. Posee un entorno interactivo con varias herramientas incorporadas incluso para el uso de microcontroladores de 32 y 64 bits.

El entorno de Mplab luce de la siguiente manera:



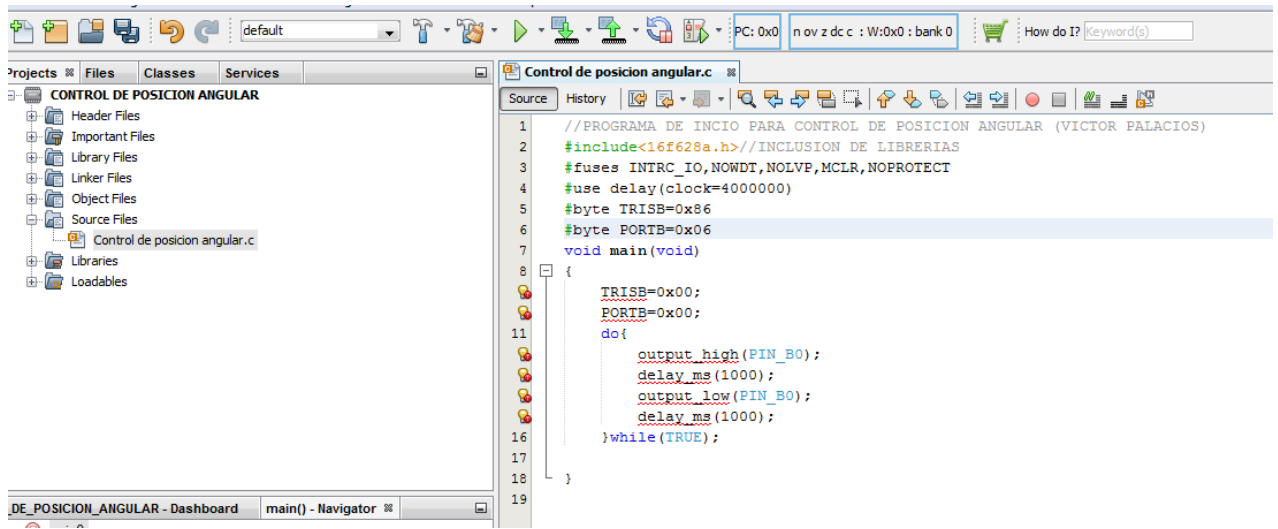
**Figura 4.16 Selección de un proyecto en Mplab**

*Fuente: Autor.*



**Figura 4.17 Entorno de programación en Mplab**

*Fuente: Autor.*



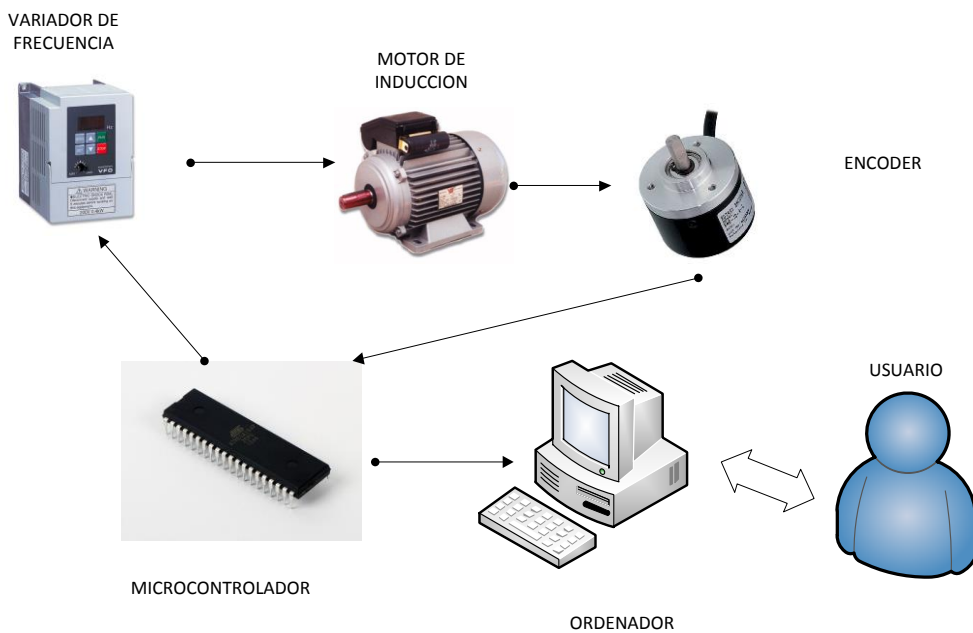
**Figura 4.18 Inicio de programación en Mplab**

*Fuente: Autor.*

Como se denota en las figuras anteceditas el modo de interacción y el uso son bastante manejables y de fáciles de asimilar.

Es necesario mencionar que se trabajó con el compilador Hitech que, de igual manera es propio de la marca Microchip.

#### 4.8. Análisis de la información técnica para seleccionar los equipos en el sistema



### **Figura 4.19 Esquema del proyecto**

*Fuente: Autor.*

De acuerdo con el análisis de la información realizado y al esquema propuesto en la figura 4.17, los elementos requeridos fueron:

- ✚ Un variador de frecuencia
- ✚ El motor de inducción
- ✚ El encoder incremental
- ✚ Un microcontrolador

#### **4.8.1 Variador de frecuencia**

Para el variador se analizó los métodos existentes y se eligió trabajar con el variador de frecuencia, que fue el encargado de modificar la velocidad, el frenado y el arranque del motor.

Se eligió la marca LG, por su disponibilidad, forma de trabajo y garantía al trabajar con motores de inducción, como con los módulos de PWM y PID.

El variador de frecuencia seleccionado tiene las siguientes características:

- Control vectorial (sensorless)
- Control de proceso PID avanzado
- Frecuencia de salida 0,1 - 400 Hz
- Margen de tensión de entrada: -15% a +10%
- Entrada analógica: 0 a 10 VCC / -10 a +10 VCC
- Protección IP20 como estándar.
- Control de segundo motor y ajuste de sus parámetros.
- Transistor de frenado dinámico incorporada como estándar.
- Comunicación RS485 integrada (LS Bus / Modbus RTU).
- Ventilador de enfriamiento con control ON/OFF y fácil recambio.
- Algoritmo de bajas fugas PWM.
- Entrada / salida de tren de pulsos de una frecuencia máxima de 50 KHz.

- Monitoreo y parametrización mediante PC basada en herramienta de software.

Su aspecto físico se lo puede observar en la figura 4.20.



**Figura 4.20 Variador de frecuencia LG LS IG5A**

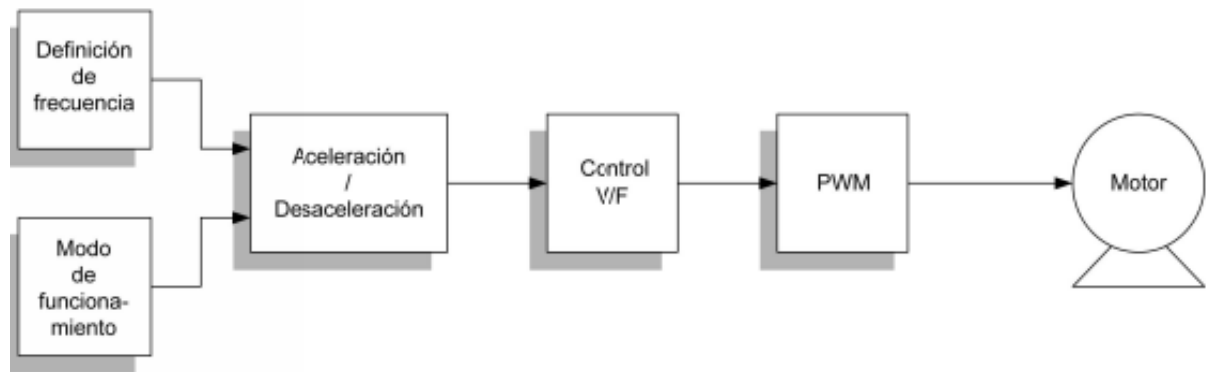
*Fuente: Autor.*

Las características de protección son para:

- ✓ Sobretensión y mínima tensión
- ✓ Sobre temperatura para el convertidor
- ✓ Cortocircuito

Las características mecánicas son:

- Diseño modular
- Temperatura de operación 10 °C – 50 °C
- Fácil acople lateral
- Paneles de conexión extraíbles
- Terminales de control sin tornillos



**Figura 4.21 Diagrama de bloques de control con el variador**

*Fuente: Autor.*

### 4.8.2 Motor de inducción

El motor de inducción seleccionado fue un motor de inducción o trifásico asíncrono de jaula de ardilla de 0.25 HP, que trabaja con una inducción de voltaje de 220 voltios, una corriente máxima de 1.98 amperios y velocidad de 1100 rpm. La marca del motor es Power Electric.



**Figura 4.22 Motor de inducción jaula de ardilla seleccionado**

*Fuente: Autor.*

Fue seleccionado un motor de mínima potencia, debido a costos y a que se trata de un proyecto didáctico.

### 4.8.3 Encoder incremental

El encoder seleccionado fue un encoder incremental de marca STEGMAN y modelo SRS50 con las siguientes características:

- ✓ 1024 periodos seno/coseno por revolución
- ✓ Posición incremental con una resolución de 32768 pasos por revolución
- ✓ 4096 revoluciones pueden ser medidas
- ✓ Programación de la marca inicial



**Figura 4.23 Encoder incremental**

*Fuente: Autor.*

### 4.8.4 El microcontrolador

El microcontrolador seleccionado fue uno perteneciente al fabricante Microchip, de la familia de gama alta, con un alto rendimiento y gran capacidad de manejo de varias instrucciones simultáneamente. Con un ancho de palabra de 16 bits.



**Figura 4.21 Microcontrolador 18F25K20**

*Fuente: Autor.*



#### 4.9. Diseño de las etapas para desarrollar el sistema de control de posición angular empleando la información técnica.

Para el diseño de las etapas se tomó en cuenta cada uno de los elementos analizados que se encontraban inmersos en nuestro proyecto, y el orden en que se requiere su diseño. Una vez elegidos los elementos vamos a definir que la primera etapa es el acoplamiento del motor con el variador de frecuencia y estos a su vez a la línea de alimentación trifásica.

##### 4.9.1 Acoplamiento del motor y el variador

La primera etapa consiste en el acoplamiento de la señal trifásica, el variador y el motor para lo cual se empleó los siguientes pasos.

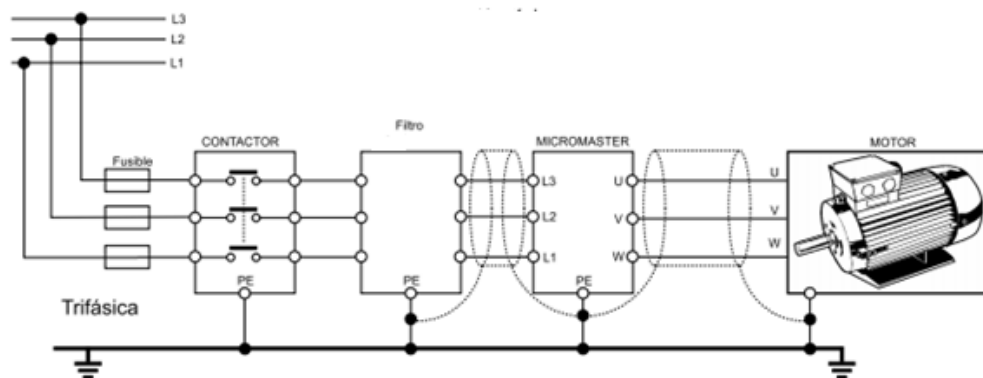


Figura 4.24 Acoplamiento del variador-motor

Fuente: Autor.

- Primero se acopla las tres líneas de tensión (220 voltios), a un contactor, colocando por supuesto fusibles en el medio como protecciones.
- El siguiente paso es realizar un filtro para disminuir los armónicos y por ende las degradaciones de las señales.
- Posteriormente acoplamos las señales provenientes del filtro a las tres señales variador micro master.
- Por último conectamos las tres líneas ya controladas por el variador al motor.

### 4.9.2 Acoplamiento del motor y el encoder

El método de acoplamiento del encoder al motor es de vital importancia, ya que se pueden generar posibles errores. Esto se minimiza al no exceder la carga del motor.

La modulación debe ser correcta, caso contrario causa errores en la indicación de la posición. El más pequeño desalineamiento puede ocasionar altas cargas, que hacen fallar al encoder.

Debido a la forma y carcasa del encoder incremental seleccionado el acople se realiza de manera sencilla y sin contratiempos.

La señal captada por el encoder pasa por una modulación PWM para llegar en forma de pulsos al microcontrolador

### 4.9.3 Diseño del diagrama del Microcontrolador

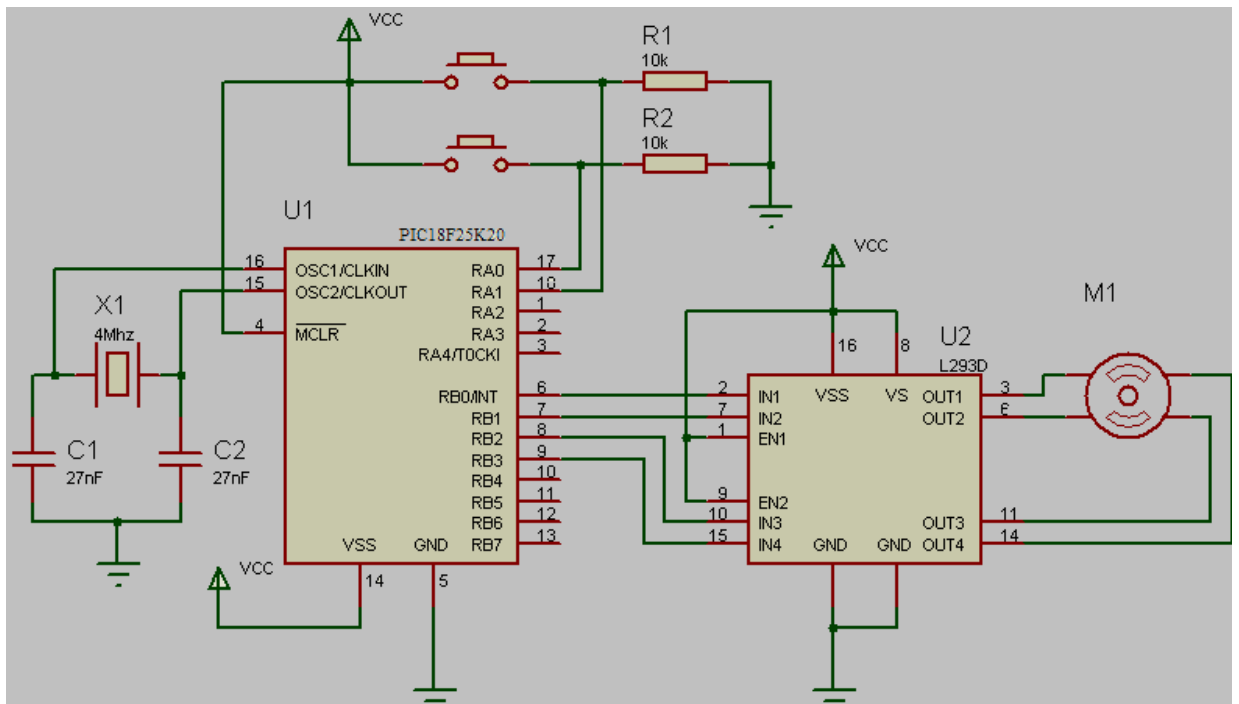


Figura 4.25 Diagrama del microcontrolador

Fuente: Autor.

En esta etapa se diseñó el diagrama para la tarjeta que posteriormente se puso en placa, luego de las pruebas respectivas en el protoboard.

#### 4.9.4 Diseño del diagrama entre el encoder, el variador y el PIC.

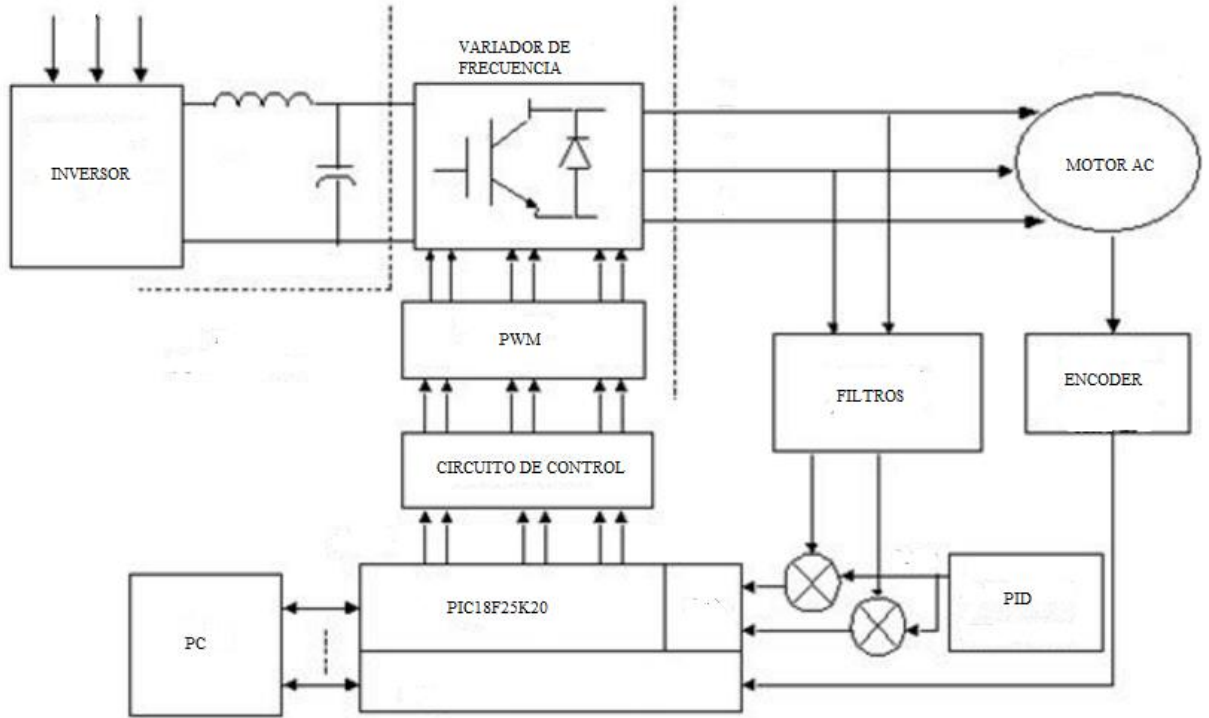


Figura 4.26 Diagrama del circuito

Fuente: Autor.

Este diagrama permitió el análisis de cada elemento inmerso en la etapa de control que realizó el PIC, en primera instancia controló al variador con la señal pwm, después acogió las tres señales del encoder o sensor rotativo, señales que estaban distribuidas en la velocidad, el sentido de giro y la posición angular.

Al haber trabajado con el encoder incremental, se necesitó dar una posición referencia en el microcontrolador o también conocida como posición cero, que daría el punto de partida para el control de la misma.

#### 4.10. Realizar las placas de los circuitos electrónicos para cada etapa de desarrollo

Una vez realizados los esquemáticos de cada etapa del proyecto, se elaboró la placa de cada segmento del proyecto.

##### 4.10.1 Placa de acoplamiento del motor y el variador

La placa del variador de frecuencia que en este caso tuvo el motor, requería de un circuito adicional con filtros para evitar armónicos, capacitores para evitar la caída tensión, y los respectivos bornes para las líneas de tensión tratadas.

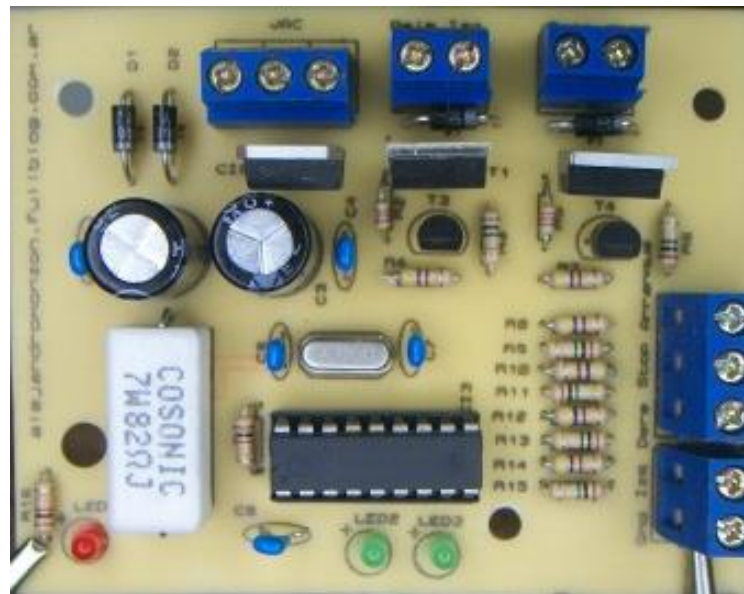


Figura 4.27 Placa del variador

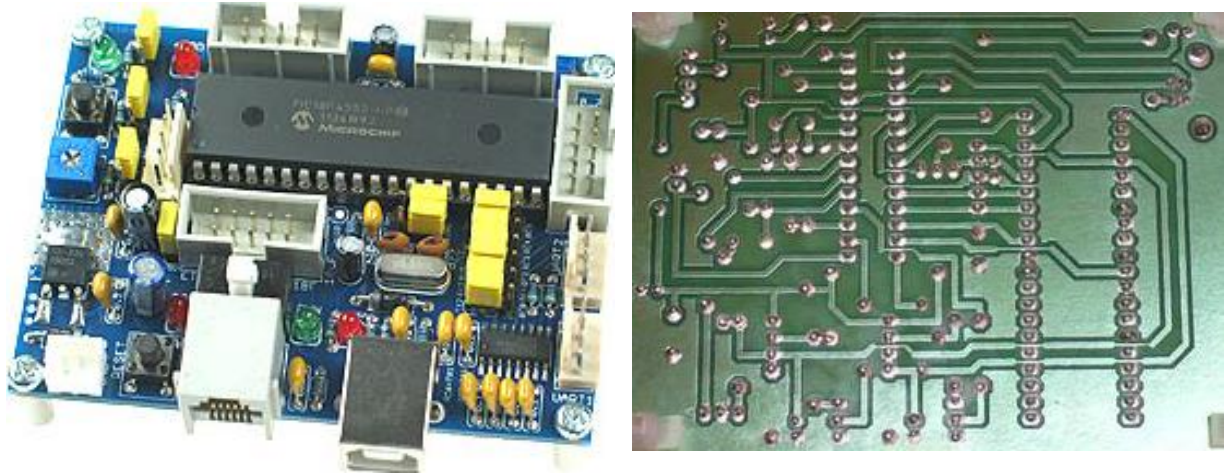
*Fuente: Autor.*

##### 4.10.2 Placa de acoplamiento del motor y el encoder

Para esta para solo se necesitó el acoplamiento mediante bornes fuertes, que no produzcan cambios bruscos en la señal, no se empleó ninguna placa para el tratamiento de la señal.

### 4.10.3 Placa del Microcontrolador

Para la placa del microcontrolador se tomó en cuenta, las señales de entrada y salida con las que trabajo, la señal pwm, por ende el modulo debía estar activo, se trabajó con interrupciones para el control de la posición angular.



**Figura 4.28** Placa del microcontrolador

*Fuente: Autor.*

### 4.10.4 Circuito del grabador pickit3 y el entorno de grabación.

Una vez realizadas las placas se procedió a grabar en el microcontrolador nuestro programa elaborado en Mplab con Hitech que se encuentra en el anexo D, junto a este documento.



**Figura 4.29** Placa del grabador Pickit 3 de Microchip

*Fuente: Autor.*

#### 4.11. Evaluación y comprobación del funcionamiento del prototipo.

Una vez realizadas todas las etapas del diseño del prototipo se obtuvo la variación angular del eje de nuestro motor asíncrono entre 0 y 120 grados. Es decir la oscilación de movimiento del motor únicamente se daba entre estos dos ángulos.



**Figura 4.30** Funcionamiento del variador con el microcontrolador

*Fuente: Autor.*

El variador trabajó a 50 Hz, con una señal pwm que alimentó el microcontrolador. Esto permitió el control del movimiento del eje del motor entre los dos ángulos ya mencionados como se muestra en la figura 4.31 donde el eje del motor se encuentra en la posición 120°.



**Figura 4.31** Posición del motor en 120°

*Fuente: Autor.*

De igual manera se pudo comprobar que luego de esta posición regresaba a la inicial que era  $0^\circ$ , o la posición inicial. Claro que visiblemente era mínima la diferencia, por lo que fue necesario marcar las dos posiciones en el eje del motor para comprobar su funcionamiento.



**Figura 4.32** Posición del motor en  $0^\circ$

*Fuente: Autor*

#### 4.12. Costo del proyecto.

El detalle de los gastos empleados para el proyecto se detalla en la siguiente tabla.

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
VARIADOR DE FRECUENCIA	1	\$ 220,00	\$ 220,00
CABLE	10	\$ 2,30	\$ 23,00
MOTOR DE INDUCCION	1	\$ 140,00	\$ 140,00
ENCODER INCREMENTAL	1	\$ 300,00	\$ 300,00
MICROCONTROLADOR	3	\$ 4,50	\$ 13,50
ELEMENTOS ELECTRONICOS	1	\$ 50,00	\$ 50,00
BAQUELITA	2	\$ 10,00	\$ 20,00
FUSIBLES	8	\$ 0,30	\$ 2,40
CONTACTOR	1	\$ 12,00	\$ 12,00
PROGRAMADOR PICKIT3	1	\$ 80,00	\$ 80,00
CONECTORES	12	\$ 0,80	\$ 9,60
INTERNET E IMPRESIONES	1	\$ 60,00	\$ 60,00
MOVILIZACION	1	\$ 30,00	\$ 30,00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 858,90</b>

**Tabla 4.11 Gastos del proyecto**

*Fuente: Autor*



## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

- ✓ Se observó mediante un análisis profundo como están conformados los motores asíncronos, que también se conocen como motores de inducción y su interacción con el sistema de control, es de fácil manejo, mantenimiento y costo.
- ✓ Se analizó que los componentes necesarios en el uso de motores de inducción, son el variador, el encoder o transductor y por supuesto el control mediante el microcontrolador
- ✓ Analizando el comportamiento del motor y su respuesta a los variadores, se concluyó que el mejor método de variación era en la frecuencia (pwm), con las respectivas protecciones y filtros para no dañar la señal.
- ✓ Después de analizar los distintos tipos de encoder, se estableció que la mejor opción de trabajo la daba el encoder incremental, con relación a una posición de referencia inicial.
- ✓ Al realizar el control mediante el pic, se necesitó un modelo de gama alta debido a la velocidad que se necesitaba, además del tratamiento de la señal mediante el módulo pwm, por lo que el 18F25K20, fue de gran uso y desempeño.
- ✓ Se elaboró un prototipo con el uso de un variador de frecuencia, un encoder incremental y el control mediante un microcontrolador de gama alta, programado en Mplab.

## **Recomendaciones**

- ✓ El sistema se encuentra limitado en la pérdida de alimentación, ya que trabaja con un encoder incremental y este pierde la posición angular al dejar de percibir alimentación, por lo que es vital que no se deje de suministrar energía en todo momento.
- ✓ El acople del encoder debe realizarse con todos los cuidados necesarios para no ocasionar daños en los sensores, y que se pierda la señal real.
- ✓ Conocer los parámetros nominales de un motor de inducción. Y establecer parámetros de funcionamiento según la carga a la cual sea puesto en marcha el sistema.
- ✓ Se debe manejar las interrupciones y las banderas del microcontrolador por funciones separadas para luego ser llamadas como punteros en el programa principal
- ✓ Se puede emplear un encoder incremental normal, ya que el seno coseno genera problemas al trabajar con el pwm.
- ✓ Al realizar la elección del variador, debemos tener en cuenta que tenga los módulos de PWM y PID.

## REFERENCIAS

- [1] D, Rodríguez H, Peñarete. (2011, mayo) Medición y control de posición angular empleando synchro-resolver. [Online]. <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/7069/1/tesis532.pdf>
- [2] B, Kuo. *Sistemas de control automático*. Primera Edición. Editorial Prentice-Hall hispanoamericana, S.A. Barcelona, España. 1995. Pag 20-22
- [3] E, Chacón Hidalgo. (2010, abril) Repo ESPE. [Online]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/243/6/T-ESPE-027435.pdf>
- [4] A, González, A, Ramírez, J, Muñoz, M, Morera. (2014, noviembre) Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial, Paper. [Online]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791214000582?np=y>
- [5] P, Alcalde San Miguel. *Electrónica*. Capítulo 1: Introducción a la Electrónica Digital. Primera Edición. Editorial Paraninfo, S, A. Madrid, España. 2009. Pag. 1.
- [6] A, Hermosa Donate. *Electrónica Digital Fundamental*. Tercera Edición. Editorial Marcombo S, A. Barcelona, España. 2004. Pag 1-2-17.
- [7] A, Nariño Universidad (2009). Introducción a los microcontroladores. [Online]. [http://www.reocities.com/micros\\_uan/cap11.htm](http://www.reocities.com/micros_uan/cap11.htm).
- [8] E, Sanchis, coord. *Sistemas Electrónicos y Digitales, Fundamentos y Diseño de Aplicaciones*. Capítulo 1: Conceptos básicos acerca de Sistemas Electrónicos. Primera Edición. Editorial Universidad de Valencia. Valencia, España. 2002. Pag.13 – 17
- [9] W, Tomasi. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Capítulo1: Cuarta edición. España. Editorial Prentice Hall. 1997
- [10] R, Universidad Alicante. Sistemas de adquisición y procesamiento de datos. [Online]. <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/19119/1/Sistemas%20de%20adquisici%C3%B3n%20y%20Procesamiento%20de%20datos.pdf>

- [11] J, López. (2013, junio) Motores Eléctricos. [Online].  
<http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/ing/pim/12.pdf>
- [12] P, Marvin. Motor electrico trifasico. [Online].  
<http://www.monografias.com/trabajos91/motor-electrico-trifasico/motor-electrico-trifasico.shtml>
- [13] AENOR. *Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas complementarias*: España. 2002
- [14] J, Marquez. Arranque de motores asincronos trifasicos. [Online].  
<http://www-app.etsit.upm.es/departamentos/teat/assignaturas/lab-ingel/arranque%20motor%20asinc%20trifas.pdf>
- [15] S, Electronica. Encoder Absoluto. [Online].  
[http://manteniment-industrial.cat/wp-content/uploads/2013/04/infoPLC\\_net\\_EncoderAbsoluto.pdf](http://manteniment-industrial.cat/wp-content/uploads/2013/04/infoPLC_net_EncoderAbsoluto.pdf)
- [16] S, Electronica. Encoder Incremental. [Online].  
[http://manteniment-industrial.cat/wp-content/uploads/2013/04/infoPLC\\_net\\_EncoderIncremental.pdf](http://manteniment-industrial.cat/wp-content/uploads/2013/04/infoPLC_net_EncoderIncremental.pdf)
- [17] F, Sevillano Calvo. Sistemas de regulacion y control automatico. [Online].  
[http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf)
- [18] S, Jaraguao. Equipamientos electricos. [Online].  
<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-de-induccion-alimentados-por-convertidores-de-frecuencia-pwm-50029372-articulo-tecnico-espanol.pdf>
- [19] A, Jeremy. Baires Robotics. [Online].  
<http://www.bairesrobotics.com/2011/01/grabador-programador-usb-para-pic-freescale-atmel-avr-microwire-i2c-spi-uni-micros-y-memorias/>
- [20] M, Verle. Pic Microcontrolles-Programing en C.2009. [Online].  
<http://www.mikroe.com/products/view/285/book-pic-microcontrollers-programming-in-c/>

# **ANEXOS**

## ANEXO A.- Datasheet del variador

### INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

- Siga siempre las Instrucciones de seguridad para evitar accidentes y peligros potenciales.
- En este manual, las leyendas de seguridad están clasificadas de la siguiente manera:



#### **ADVERTENCIA**

La operación incorrecta puede producir lesiones o la muerte.



#### **PRECAUCIÓN**

La operación incorrecta puede producir lesiones leves o moderadas o daños a la propiedad.

- En este manual se emplean los siguientes símbolos como recordatorio de las consideraciones de seguridad:



Identifica la posibilidad de peligro en determinadas circunstancias.  
Lea la leyenda y siga atentamente las Instrucciones.



Identifica peligros de descarga eléctrica en determinadas circunstancias.  
Preste especial atención a la posible presencia de tensión peligrosa.

- Tenga a mano las Instrucciones de operación para su rápida consulta.
- Lea atentamente este manual para obtener el máximo rendimiento del variador serie SV-IG5A y garantizar su uso seguro.



#### **ADVERTENCIA**

- **No retire la cubierta con la alimentación conectada o la unidad funcionando.**  
De lo contrario podría ocurrir una descarga eléctrica.
- **No opere el variador sin la cubierta.**  
De lo contrario podría ocurrir una descarga eléctrica por la exposición a los bornes de alta tensión o al capacitor cargado.

- **No retire la cubierta, salvo para inspecciones periódicas o del conexionado, incluso con la alimentación desconectada.**  
De lo contrario podría acceder a circuitos cargados y recibir una descarga eléctrica.
- **El conexionado y las inspecciones periódicas deberían realizarse como mínimo 10 minutos después de haber desconectado la alimentación y comprobado la descarga de tensión en la conexión de CC con un medidor (menos de 30VCC).**  
De lo contrario podría ocurrir una descarga eléctrica.
- **Opere los interruptores con las manos secas.**  
De lo contrario podría ocurrir una descarga eléctrica.
- **No use el cable cuando su aislamiento está dañado.**  
De lo contrario podría ocurrir una descarga eléctrica.
- **No someta los cables a rasguños, tensión excesiva, cargas pesadas o pellizcos.**  
De lo contrario podría ocurrir una descarga eléctrica.



## PRECAUCIÓN

- **Instale el variador sobre superficie no inflamable. No deje materiales inflamables cerca.**  
De lo contrario podría ocurrir un incendio.
- **Desconecte la alimentación si el variador está dañado.**  
De lo contrario podría ocurrir un accidente o incendio como resultado secundario.
- **Después de conectar o desconectar la alimentación, el variador estará caliente durante un par de minutos.**  
Podría sufrir lesiones, como quemaduras o lastimaduras.
- **No conecte la alimentación a un variador que está dañado o al que le faltan piezas, aunque haya completado la instalación.**  
De lo contrario podría ocurrir una descarga eléctrica.
- **No permita el ingreso al variador de pelusa, papel, astillas de madera, polvo, astillas de metal u otras materias extrañas.**  
De lo contrario podría ocurrir un incendio o accidente.

## PRECAUCIONES DE OPERACIÓN

### (1) Manipuleo e Instalación

- Manipule de acuerdo con el peso del producto.
- No apile las cajas con los variadores en número más alto del recomendado.
- Instale conforme a las instrucciones del manual.
- No abra la cubierta durante la entrega.
- No coloque elementos pesados sobre el variador.
- Compruebe que la orientación de montaje del variador es correcta.
- No deje caer el variador ni lo someta a impactos.
- Siga las disposiciones del código eléctrico nacional para la puesta a tierra. La impedancia de tierra recomendada para la Clase 200V es inferior a 100 ohmios y para la Clase 400V es inferior a 10 ohmios.
- El equipo serie IG5A contiene piezas sensibles a la descarga electrostática. Tome medidas de precaución contra la descarga electrostática antes de tocar la placa de circuitos impresos para su inspección o instalación.
- Use el variador en las siguientes condiciones ambientales:

Medio ambiente	Temperatura ambiente	-10~50°C (sin congelación)
	Humedad relativa	90% HR o menos (sin condensación)
	Temperatura de almacenamiento	-20~65°C
	Ubicación	Protegido de gas corrosivo, gas combustible, vapor de aceite o polvo
	Altitud, vibración	Máx. 1.000m sobre el nivel del mar, máx. 5,9m/seg <sup>2</sup> (0,6G) o menos
	Presión atmosférica	70~106kPa

### (2) Conexión

- No conecte capacitor para corrección de factor de potencia, supresor de sobretensiones transitorias o filtro de RFI a la salida del variador.
- La orientación de conexión de los cables de salida U, V, W al motor afectará la dirección de giro del motor.
- El conexionado incorrecto de los bornes podría causar daños al equipo.
- La Inversión de la polaridad (+/-) de los bornes podría dañar el variador.
- Sólo personal autorizado y familiarizado con el variador LS debería realizar el conexionado y las inspecciones.
- Siempre instale el variador antes del conexionado. De lo contrario podría ocurrir una descarga eléctrica o sufrir lesiones.



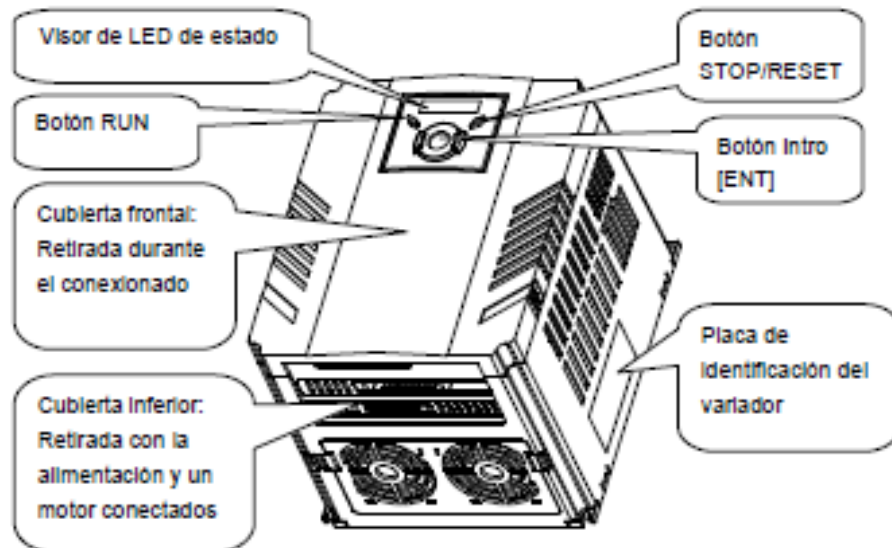
## CAPÍTULO 1 - INFORMACIÓN BÁSICA Y PRECAUCIONES

### 1.1 Precauciones importantes

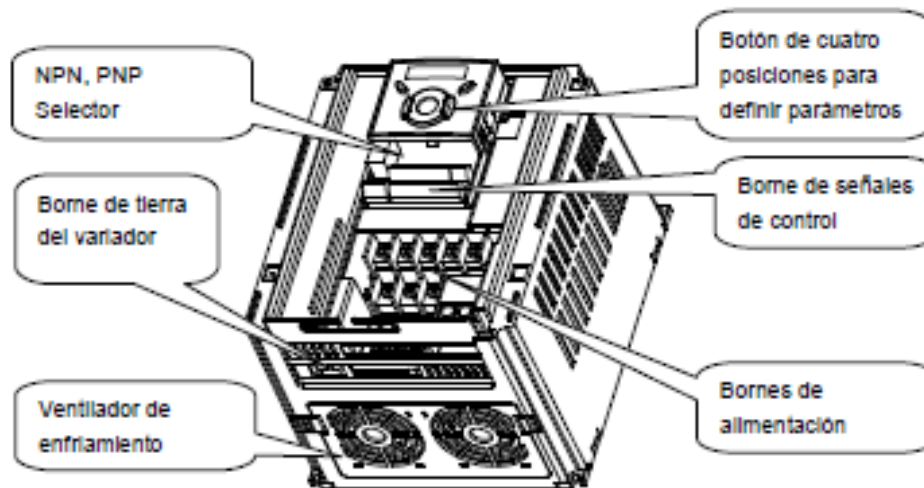
Desembalaje e Inspección	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inspeccione el variador para comprobar si sufrió algún daño durante el transporte. Para verificar que la unidad sea la correcta para la aplicación deseada compruebe el tipo de variador, el régimen de salida en la placa de identificación y que el variador esté intacto.</li> </ul>																																												
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 300px;"> <p style="text-align: center;"><b>SV008iG5A-2</b></p> <p>INPUT 200-230V 3 Phase 6.6A 50/60Hz</p> <p>OUTPUT 0-Input V 3 Phase 5.0A 0.1-400Hz 1.9KVA (D)</p> <p style="text-align: center;">0505090557</p> <p style="text-align: center;">LS Industrial Systems <span style="float: right;">Made in KOREA</span></p> </div> <div style="margin-left: 20px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>← Modelo de variador</li> <li>← Potencia nominal de entrada</li> <li>← Potencia nominal de salida</li> <li>← Corriente nominal de salida, frecuencia</li> <li>← Capacidad del variador (kVA)</li> <li>← Código de barras y número de serie</li> </ul> </div> </div>																																													
<b>SV      075      IG5A      -      2      (N)</b>																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Variador LS</th> <th colspan="2">Potencia nominal del motor</th> <th rowspan="2">Nombre de serie</th> <th colspan="2">Tensión de entrada</th> <th rowspan="2">Teclado</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="12" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"></td> <td>004</td> <td>0,4[kW]</td> <td rowspan="12" style="text-align: center;">IG5A</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">1</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">Monofásico 200~230[V]</td> <td rowspan="12" style="text-align: center;">Productos de entrada/salida sin programador</td> </tr> <tr> <td>008</td> <td>0,75[kW]</td> </tr> <tr> <td>015</td> <td>1,5[kW]</td> </tr> <tr> <td>022</td> <td>2,2[kW]</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">Trifásico 200~230[V]</td> </tr> <tr> <td>037</td> <td>3,7[kW]</td> </tr> <tr> <td>040</td> <td>4,0[kW]</td> </tr> <tr> <td>055</td> <td>5,5[kW]</td> <td rowspan="6" style="text-align: center;">4</td> <td rowspan="6" style="text-align: center;">Trifásico 380~480[V]</td> </tr> <tr> <td>075</td> <td>7,5[kW]</td> </tr> <tr> <td>110</td> <td>11,0[kW]</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>15,0[kW]</td> </tr> <tr> <td>185</td> <td>18,5[kW]</td> </tr> <tr> <td>220</td> <td>22,0[kW]</td> </tr> </tbody> </table>		Variador LS	Potencia nominal del motor		Nombre de serie	Tensión de entrada		Teclado						004	0,4[kW]	IG5A	1	Monofásico 200~230[V]	Productos de entrada/salida sin programador	008	0,75[kW]	015	1,5[kW]	022	2,2[kW]	2	Trifásico 200~230[V]	037	3,7[kW]	040	4,0[kW]	055	5,5[kW]	4	Trifásico 380~480[V]	075	7,5[kW]	110	11,0[kW]	150	15,0[kW]	185	18,5[kW]	220	22,0[kW]
Variador LS	Potencia nominal del motor		Nombre de serie	Tensión de entrada		Teclado																																							
	004	0,4[kW]	IG5A	1	Monofásico 200~230[V]	Productos de entrada/salida sin programador																																							
	008	0,75[kW]																																											
	015	1,5[kW]																																											
	022	2,2[kW]		2	Trifásico 200~230[V]																																								
	037	3,7[kW]																																											
	040	4,0[kW]																																											
	055	5,5[kW]		4	Trifásico 380~480[V]																																								
	075	7,5[kW]																																											
	110	11,0[kW]																																											
	150	15,0[kW]																																											
	185	18,5[kW]																																											
	220	22,0[kW]																																											
<ul style="list-style-type: none"> <li>Accesorios</li> </ul> <p>Si encontró alguna discrepancia, daño, etc., contacte a su representante de ventas.</p>																																													
Preparación de Instrumentos y piezas para la operación	Los Instrumentos y las piezas a preparar dependen del modo en que se operará el variador. Prepare el equipo y las piezas según resulte necesario.																																												
Instalación	Para operar el variador con elevado desempeño durante mucho tiempo instálelo en un lugar apropiado, en la dirección correcta y con el despeje adecuado.																																												
Conexión	Conecte la fuente de alimentación, el motor y las señales de operación (señales de control) a la bornera. Tenga en cuenta que una conexión incorrecta puede dañar el variador y los dispositivos periféricos.																																												

## 1.2 Detalles del producto

- Apariencia



- Vista del interior después de retirar la cubierta frontal  
Ver detalles en "1.3 Remoción de la cubierta frontal".

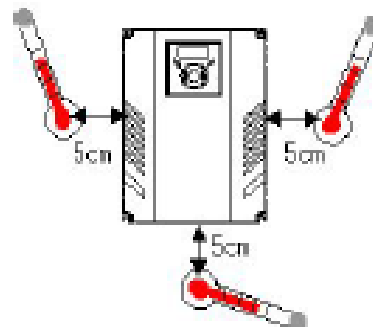


## CAPÍTULO 2 - INSTALACIÓN Y CONEXIONADO

### 2.1 Precauciones de instalación

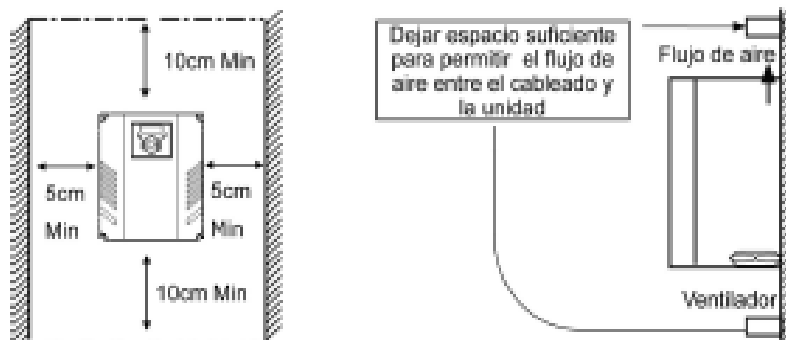
#### **PRECAUCIÓN**

- Manipule el variador con cuidado para evitar dañar los componentes plásticos. No lo sujete por la cubierta frontal porque podría desprenderse.
- Instálelo en un lugar Inmune a las vibraciones ( $5,9m/s^2$  o menos).
- Instálelo donde la temperatura esté dentro del rango permisible (-10~50°C).



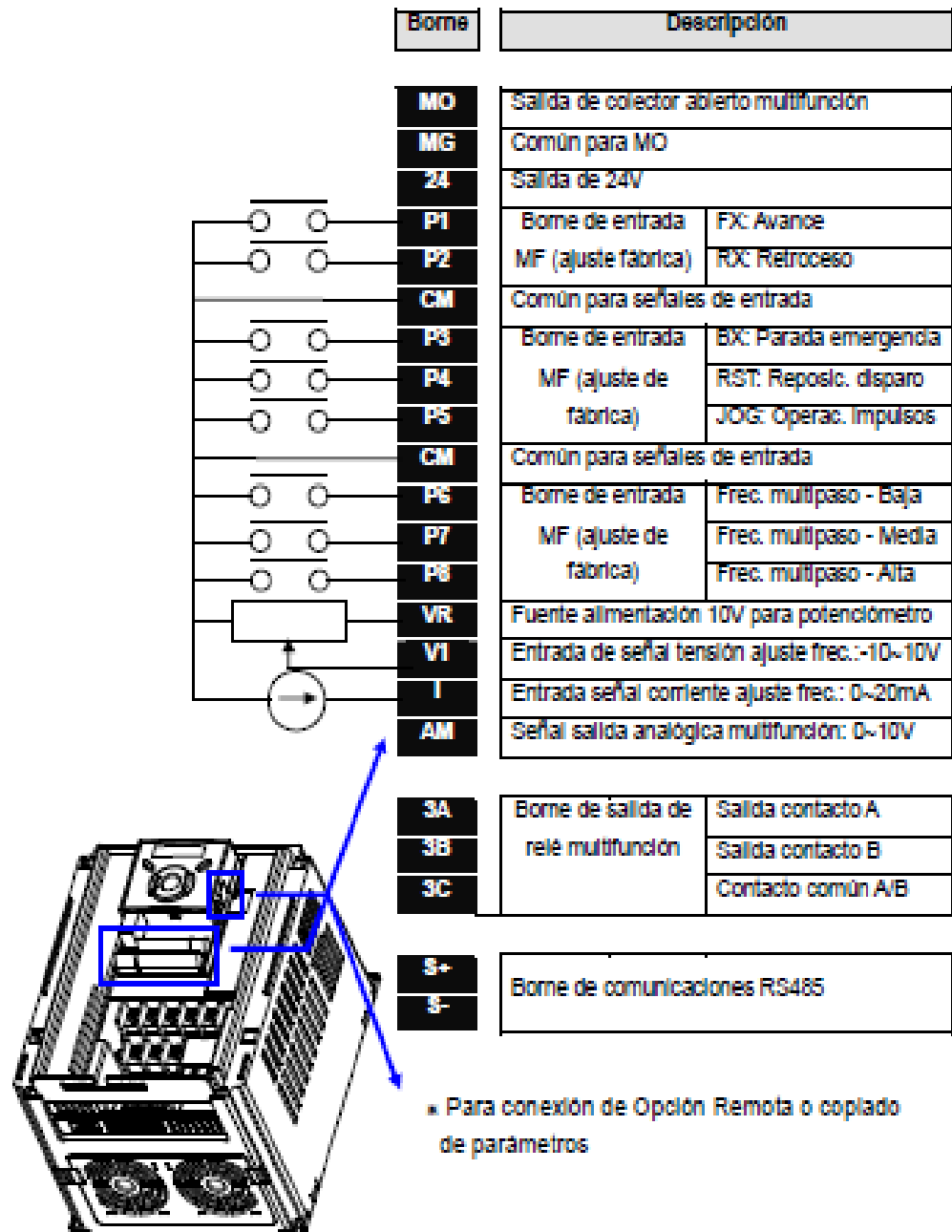
<Comprobación de la temperatura ambiente en el lugar de Instalación>

- El variador estará muy caliente durante su funcionamiento. Instálelo sobre una superficie no combustible.
- Realice su montaje sobre una superficie plana, vertical y nivelada. La orientación debe ser vertical (la parte superior hacia arriba) para una adecuada disipación del calor. Deje también suficiente espacio libre a su alrededor.

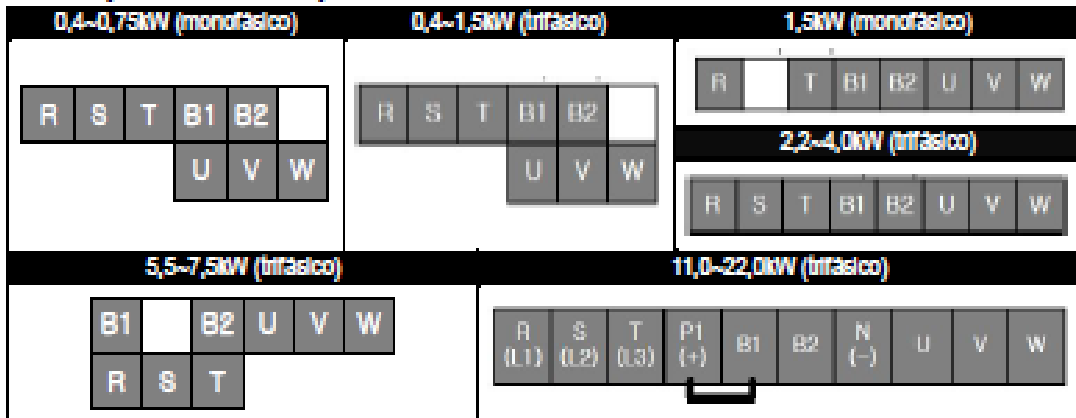


- Protéjalo de la humedad y la luz directa del sol.
- No lo instale en ningún ambiente donde esté expuesto a recibir gotas de agua, vapor de aceite, polvo, etc. Instálelo en un lugar limpio o dentro de un panel "totalmente encerrado" donde no pueda ingresar ninguna materia en suspensión.

## 2.3 Conexión de los bornes (entrada/salida de control)

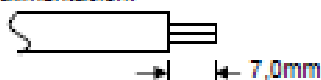


## 2.4 Especificaciones para el conexionado de la bornera



	Tamaño R,S,T		Tamaño U,V,W		Tamaño tierra		Tamaño tornillo de borne	Par de apriete (Kgf.cm)/lb-pulg	
	mm <sup>2</sup>	AWG	mm <sup>2</sup>	AWG	mm <sup>2</sup>	AWG			
SV004IG5A-1	2	14	2	14	14	3,5	12	M3,5	10/8,7
SV008IG5A-1	2	14	2	14	14	3,5	12	M3,5	10/8,7
SV015IG5A-1	2	14	2	14	14	3,5	12	M4	15/13
SV004IG5A-2	2	14	2	14	14	3,5	12	M3,5	10/8,7
SV008IG5A-2	2	14	2	14	14	3,5	12	M3,5	10/8,7
SV015IG5A-2	2	14	2	14	14	3,5	12	M3,5	10/8,7
SV022IG5A-2	2	14	2	14	14	3,5	12	M4	15/13
SV037IG5A-2	3,5	12	3,5	12	12	3,5	12	M4	15/13
SV040IG5A-2	3,5	12	3,5	12	12	3,5	12	M4	15/13
SV055IG5A-2	5,5	10	5,5	10	10	5,5	10	M5	32/28
SV075IG5A-2	8	8	8	8	8	5,5	10	M5	32/28
SV110IG5A-2	14	6	14	6	14	6	6	M6	30,7/26,6
SV150IG5A-2	22	4	22	4	14	6	6	M6	30,7/26,6
SV185IG5A-2	30	2	30	2	22	4	4	M8	30,6/26,5
SV220IG5A-2	38	2	30	2	22	4	4	M8	30,6/26,5
SV004IG5A-4	2	14	2	14	2	14	14	M3,5	10/8,7
SV008IG5A-4	2	14	2	14	2	14	14	M3,5	10/8,7
SV015IG5A-4	2	14	2	14	2	14	14	M4	15/13
SV022IG5A-4	2	14	2	14	2	14	14	M4	15/13
SV037IG5A-4	2	14	2	14	2	14	14	M4	15/13
SV040IG5A-4	2	14	2	14	2	14	14	M4	15/13
SV055IG5A-4	3,5	12	2	14	3,5	12	12	M5	32/28
SV075IG5A-4	3,5	12	3,5	12	3,5	12	12	M5	32/28
SV110IG5A-4	5,5	10	5,5	10	8	8	8	M5	30,7/26,6
SV150IG5A-4	14	6	8	8	8	8	8	M5	30,7/26,6
SV185IG5A-4	14	6	8	8	14	6	6	M6	30,6/26,5
SV220IG5A-4	22	4	14	6	14	6	6	M6	30,6/26,5

\* Pele 7mm las vainas del aislamiento del cable cuando no usa terminal de anillo para la conexión de la alimentación.



\* Las unidades SV185IG5A-2 y SV220IG5A-2 deben usar terminal de anillo o de horquilla aprobados por UL.

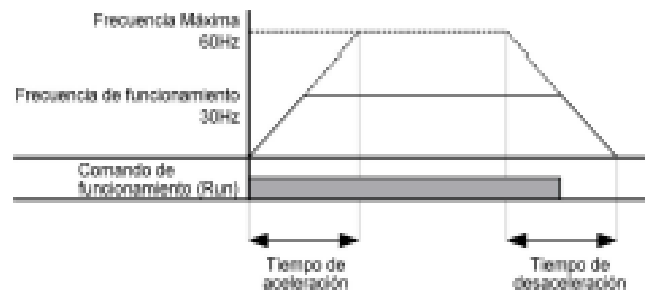
## 7.4 Definición del tiempo y el patrón de Aceleración/Desaceleración

- Definición del Tiempo de aceleración/desaceleración basado en la Frecuencia máxima.

Grupo	Código	Nombre del parámetro	Definición	Rango	Valor predeterminado	Unidad
Grupo de accionamiento	ACC	[Tiempo de aceleración]	-	0~600 0	5.0	seg
	dEC	[Tiempo de desaceleración]	-	0~600 0	10.0	seg
Grupo de funciones 1	F21	[Frecuencia máxima]	-	40~40 0	60.00	Hz
Grupo de funciones 2	H70	[Referencia de frecuencia para acel/desac]	0	0~1	0	
	H71	[Escala de tiempo de aceleración/desaceleración]	-	0~2	1	

- Define el tiempo de aceleración/desaceleración deseado en ACC/dEC en el grupo de accionamiento.
- Si H70 está definido en 0 [Frecuencia máxima], el Tiempo de aceleración/desaceleración es el tiempo que requiere llegar a la frecuencia máxima desde 0Hz.
- La unidad del Tiempo de aceleración/desaceleración deseado puede configurarse en H71.

- El tiempo de aceleración/desaceleración se define sobre la base de F21 – [Frecuencia máxima].  
Por ejemplo, si F21 está definido en 60Hz, el Tiempo de aceleración/desaceleración en 5 segundos y la frecuencia de funcionamiento en 30Hz, el tiempo para llegar a 30Hz sería 2,5 segundos.



## 8.7 Control PID

Grupo	Código	Nombre del parámetro	Definición	Rango	Valor predeterminado	Unidad
Grupo de funciones 2	H49	[Selección de control PID]	1	0~1	0	-
	H50	[Selección de realimentación PID]	-	0~1	0	-
	H51	[Ganancia P para el controlador PID]	-	0~999.9	300.0	%
	H52	[Tiempo Integral para el controlador PID (ganancia I)]	-	0.1~32.0	1.0	seg
	H53	[Tiempo diferencial para el controlador PID (ganancia D)]	-	0.0~30.0	0	seg
	H54	[Selección de modo de control PID]	-	0~1	0	-
	H55	[Limite superior de frecuencia de salida PID]	-	0.1~400	60.0	Hz
	H56	[Limite inferior de frecuencia de salida PID]	-	0.1~400	0.50	Hz
	H57	[Selección del valor de referencia del control PID]	-	0~4	0	Hz
	H58	[Selección de unidad de control PID]	-	0~1	0	-
	H61	[Tiempo de retardo de suspensión]	-	0.0~2000.0	60.0	-
	H62	[Frecuencia de suspensión]	-	0.00~400	0.00	Hz
	H63	[Nivel de reactivación]	-	0.0~100.0	35.0	%
Grupo E/S	I17 ~ I24	[Definición de borne P1-P8 de entrada multifunción]	21	0~27	-	-
Grupo de accionamiento	rEF	[Definición del valor de referencia del control PID]	-	0~400/ 0~100	0.00/0.0	Hz/%
	Fbk	[Realimentación del control PID]	-	0~400/ 0~100	0.00/0.0	Hz/%

- A fin de controlar por ejemplo la cantidad de agua en circulación, la presión y la temperatura aplique el control PID a la frecuencia de salida del variador.
- Defina H49 del grupo de funciones 2 en 1 (Selección de control PID). Se visualizan las categorías rEF y Fbk. Defina el valor de referencia del control PID en rEF y monitorea la cantidad real de realimentación del control PID en Fbk.
- El control PID se clasifica en dos modos, Normal y de Proceso, que pueden definirse en (Selección de modo de control PID).


## 8.21 Accionamiento PWM de 2 fases

Grupo	Código	Nombre del parámetro	Definición	Rango	Valor predeterminado	Unidad
Grupo de funciones 2	H48	Modo de control PWM 0: PWM Normal 1: PWM de dos fases	1	0~1	0	






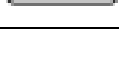



- ◆ La pérdida de calor y la corriente de fuga del variador pueden reducirse cuando H48 está definido en 1 (PWM de dos fases) de acuerdo con el índice de carga.

## CAPITULO 12 - DETECCIÓN DE PROBLEMAS Y MANTENIMIENTO

### 12.1 Funciones de protección

 <b>ADVERTENCIA</b>
<p>Cuando se produce un fallo, su causa debe ser corregida para poder eliminarlo. Si la función de protección continúa activada podría generar una reducción de la vida del producto y causar daños al equipo.</p>

● Visualización e Información sobre el fallo

Visualización en el teclado	Función de protección	Descripción
	Sobrecorriente	El variador desconecta la salida cuando la corriente de salida del variador supera la corriente nominal.
	Sobrecorriente2	Cuando el módulo IGBT está en corto y se produce un corto de salida, el variador desconecta la salida.
	Corriente de fallo a tierra	El variador desconecta la salida cuando se produce un fallo a tierra y la corriente de fallo a tierra supera el valor definido interno del variador.
	Sobrecarga del variador	El variador desconecta la salida cuando la corriente de salida del variador supera el nivel nominal (150% durante 1 minuto).
	Salida por sobrecarga	El variador desconecta la salida si la corriente de salida del variador circula al 150% de la corriente nominal durante un tiempo superior al tiempo límite de corriente (1 minuto).
	Sobrecalentamiento del variador	El variador desconecta la salida si el disipador se sobrecalienta debido a daños en el ventilador de enfriamiento o a una sustancia extraña en el ventilador de enfriamiento, detectando la temperatura del disipador.
	Pérdida de fase de salida	El variador desconecta la salida cuando una o más de las fases de salida (U, V, W) están abiertas. El variador detecta la corriente de salida para comprobar la pérdida de fase de salida.
	Sobretensión	El variador desconecta la salida si la tensión de CC del circuito principal sube por encima de los 400V cuando el motor desacelera. Este fallo también puede ocurrir debido a una sobretensión transitoria generada en el sistema de alimentación eléctrica.
	Baja tensión	El variador desconecta la salida si la tensión de CC está por debajo de 180V debido a que el par es insuficiente o a que hay sobrecalentamiento del motor cuando la tensión de entrada del variador baja.



## ANEXO B.- Datasheet del encoder

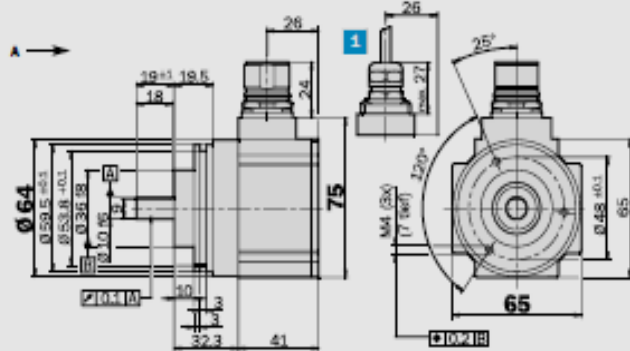
### Motor Feedback System SRS/M 50, Standalone, Solid Shaft $\varnothing$ 10 mm

**1,024 sine/  
cosine periods**

Motor Feedback Systems

- 1,024 sine/cosine periods per revolution
- Absolute position with a resolution of 32,768 steps per revolution
- 4,096 revolutions can be measured (Multiturn)
- Programming of the positional value
- Electronic type label

Dimensional drawing SRS 50 standalone, rectangular housing, face mount flange



1 R = min. bending radius 40 mm

General tolerances to DIN ISO 2768-mk

#### PIN and wire allocation

PIN	Signal	Colour of Wires	Explanation
1	REFCOS	black	Process data channel
2	Data +	grey	RS-485 parameter channel
3	N. C.	–	N. C.
4	N. C.	–	N. C.
5	SIN	white	Process data channel
6	REFSIN	brown	Process data channel
7	Data –	green	RS-485 parameter channel
8	COS	pink	Process data channel
9	N. C.	–	N. C.
10	GND	blue	Ground connection
11	N. C.	–	N. C.
12	$U_s$	red	7 ... 12 V Supply voltage



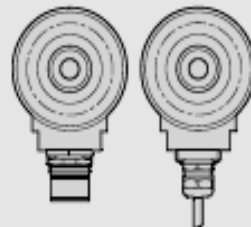
view of the plug-in face

Screen connection on connector housing

N. C. = Not connected

#### Type of connection

Connector radial | Cable radial



#### Accessories

Connection technology

Fixing technology

Programming tool

Technical Data		Standalone, Face Mount Range SRS/SRM 50		SRS	SRM				
Number of sine/cosine periods per revolution	1,024								
Dimensions	mm (see dimensional drawing)								
Mass	0,550 kg								
Inertial rotor moment	25 gcm <sup>2</sup>								
Type of code for the absolute value	Binary								
Code sequence for clockwise shaft rotation, looking in direction "A" (see dimensional drawing)	Increasing								
Measurement step after generating arctan with 12 bit resolution	0,3 angular seconds								
Total number of steps	Single SRS 32,768								
	Multi SRM 134,217,728 = 32,768 x 4,096								
<b>Error limits for the digital absolute value</b>									
via RS 485	± 90 angular seconds								
<b>Error limits for evaluating the "1,024" signals</b>									
integral non-linearity	± 45 angular seconds								
<b>Non-linearity within a sine/cosine period</b>									
differential non-linearity	± 7 angular seconds								
Output frequency for sine/cosine signals	0 ... 200 kHz								
<b>Working speed up to which the absolute position can be reliably produced</b>									
Max. operating speed	6,000 min <sup>-1</sup>								
Max. angular acceleration	0,2 x 10 <sup>6</sup> rad/s <sup>2</sup>								
Operating torque with shaft sealing ring	1 Nom								
Starting torque with shaft sealing ring	1,5 Nom								
Load capacity of shaft	radial/axial 40 N/20 N								
Life of ball bearings	3,6 x 10 <sup>9</sup> rotations								
Working temperature range	- 20 ... + 85 °C								
Storage temperature range	- 30 ... + 90 °C								
Permissible relative humidity <sup>4)</sup>	90 %								
<b>Resistance</b>									
to shocks <sup>2)</sup>	30/11 g/ms								
to vibration <sup>3)</sup>	20/10 ... 2000 g/Hz								
Protection to IEC 60529 <sup>4)</sup>	IP 65								
<b>EMC <sup>4)</sup></b>									
Operating voltage range	7 ... 12 V								
Recommended supply voltage	8 V								
Max. operating current, no load	80 mA								
<b>Available memory area</b>									
within EEPROM 512	128 bytes								
within EEPROM 2048	1,792 bytes								
<b>Interface signals</b>									
Process data channel – SIN, REFSIN, COS, REFCOS	Analogue, differential								
Parameter channel – RS 485	Digital								

<sup>1)</sup> Condensation not permissible

<sup>2)</sup> To DIN EN 60068-2-27

<sup>3)</sup> To DIN EN 60068-2-6

<sup>4)</sup> With mating connector inserted

<sup>5)</sup> To DIN EN 61000-6-2 and DIN 61000-6-3

#### Ordering information

##### SRS/SRM 50 standalone; solid shaft Ø 10 mm; clamping flange

Type	Part no.	Description
SRSS0-HWA0-K01	1 034 192	Single, 512 EEprom, connector
SRSS0-HWV0-K01	1 034 194	Single, 512 EEprom, cable 1,5 m
SRSS0-HWA0-K02	1 034 193	Single, 2048 EEprom, connector
SRSS0-HWV0-K02	1 034 195	Single, 2048 EEprom, cable 1,5 m
SRMS0-HWA0-K01	1 034 130	Multi, 512 EEprom, connector
SRMS0-HWV0-K01	1 034 133	Multi, 512 EEprom, cable 1,5 m
SRMS0-HWA0-K02	1 034 131	Multi, 2048 EEprom, connector
SRMS0-HWV0-K02	1 034 134	Multi, 2048 EEprom, cable 1,5 m



# PIC18F23K20/24K20/25K20/26K20/ 43K20/44K20/45K20/46K20 Data Sheet

28/40/44-Pin Flash Microcontrollers  
with nanoWatt XLP Technology

## PIC18F2XK20/4XK20

Device	Program Memory		Data Memory		I/O <sup>(1)</sup>	10-bit A/D (ch) <sup>(2)</sup>	CCP/ ECCP (PWM)	MSSP		EUSART	Comp.	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)				SPI	Master I <sup>2</sup> C™			
PIC18F23K20	8K	4096	512	256	25	11	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F24K20	16K	8192	768	256	25	11	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F25K20	32K	16384	1536	256	25	11	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F26K20	64k	32768	3936	1024	25	11	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F43K20	8K	4096	512	256	36	14	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F44K20	16K	8192	768	256	36	14	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F45K20	32K	16384	1536	256	36	14	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F46K20	64k	32768	3936	1024	36	14	1/1	Y	Y	1	2	1/3

Note 1: One pin is input only.

2: Channel count includes internal fixed voltage reference channel.



# PIC18F2XK20/4XK20

## 28/40/44-Pin Flash Microcontrollers with nanoWatt XLP Technology

### High-Performance RISC CPU:

- C Compiler Optimized Architecture:
  - Optional extended instruction set designed to optimize re-entrant code
- Up to 1024 bytes Data EEPROM
- Up to 64 Kbytes Linear Program Memory Addressing
- Up to 3936 bytes Linear Data Memory Addressing
- Up to 16 MIPS Operation
- 16-bit Wide Instructions, 8-bit Wide Data Path
- Priority Levels for Interrupts
- 31-Level, Software Accessible Hardware Stack
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier

### Flexible Oscillator Structure:

- Precision 16 MHz Internal Oscillator Block:
  - Factory calibrated to  $\pm 1\%$
  - Software selectable frequencies range of 31 kHz to 16 MHz
  - 64 MHz performance available using PLL – no external components required
- Four Crystal modes up to 64 MHz
- Two External Clock modes up to 64 MHz
- 4X Phase Lock Loop (PLL)
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor:
  - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops
  - Two-Speed Oscillator Start-up

### Special Microcontroller Features:

- Operating Voltage Range: 1.8V to 3.6V
- Self-Programmable under Software Control
- Programmable 16-Level High/Low-Voltage Detection (HLVD) module:
  - Interrupt on High/Low-Voltage Detection
- Programmable Brown-out Reset (BOR):
  - With software enable option
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 4 ms to 131s
- Single-Supply 3V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug (ICD) via Two Pins

### Extreme Low-Power Management with nanoWatt XLP:

- Sleep mode: < 100 nA @ 1.8V
- Watchdog Timer: < 800 nA @ 1.8V
- Timer1 Oscillator: < 800 nA @ 32 kHz and 1.8V

### Analog Features:

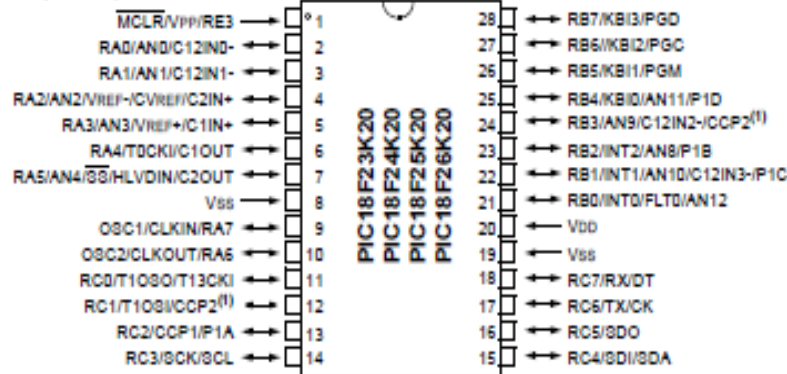
- Analog-to-Digital Converter (ADC) module:
  - 10-bit resolution, 13 External Channels
  - Auto-acquisition capability
  - Conversion available during Sleep
  - 1.2V Fixed Voltage Reference (FVR) channel
  - Independent input multiplexing
- Analog Comparator module:
  - Two rail-to-rail analog comparators
  - Independent input multiplexing
- Voltage Reference (CVREF) module:
  - Programmable (% VDD), 16 steps
  - Two 16-level voltage ranges using VREF pins

### Peripheral Highlights:

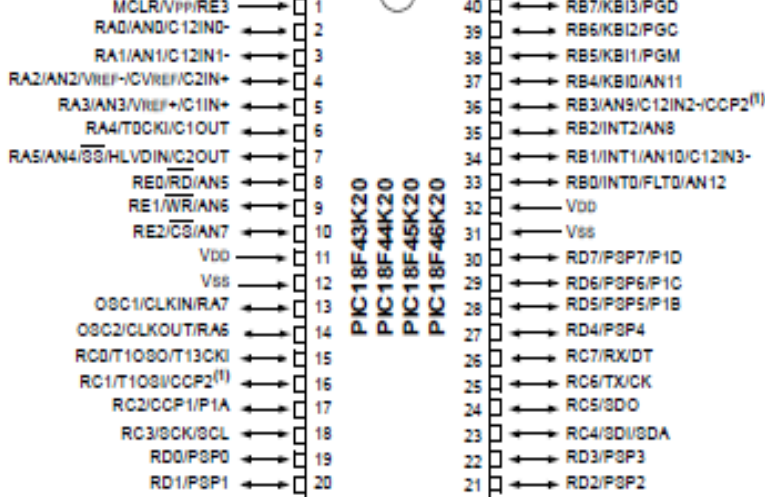
- Up to 35 I/O Pins plus 1 Input-only Pin:
  - High-Current Sink/Source 25 mA/25 mA
  - Three programmable external interrupts
  - Four programmable interrupt-on-change
  - Eight programmable weak pull-ups
  - Programmable slew rate
- Capture/Compare/PWM (CCP) module
- Enhanced CCP (ECCP) module:
  - One, two or four PWM outputs
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module
  - 3-wire SPI (supports all 4 modes)
  - I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes with address mask
- Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (EUSART) module:
  - Supports RS-485, RS-232 and LIN
  - RS-232 operation using internal oscillator
  - Auto-Wake-up on Break

## Pin Diagrams

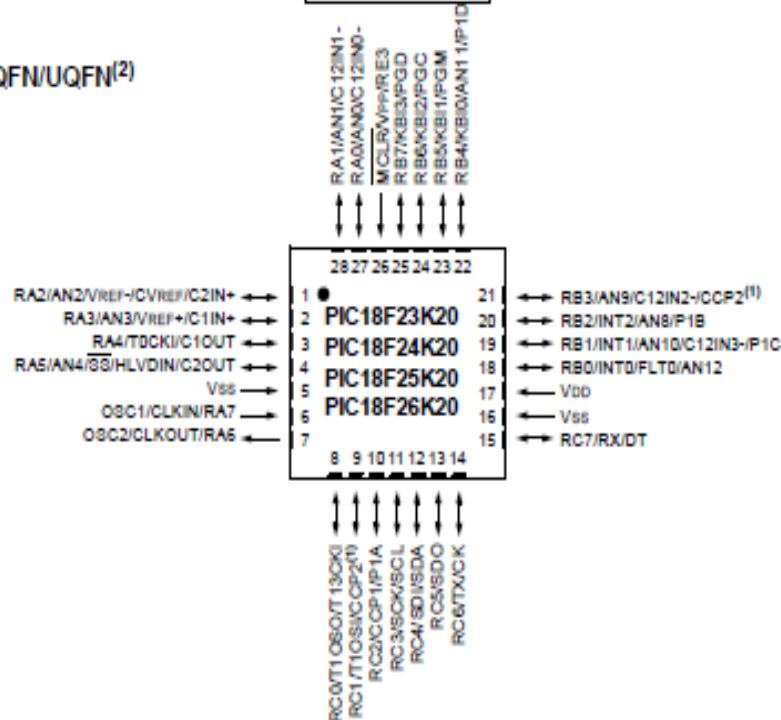
### 28-pin PDIP, SOIC, SSOP



### 40-pin PDIP



### 28-pin QFN/UQFN<sup>(2)</sup>



# PIC18F2XK20/4XK20

**TABLE 1-1: DEVICE FEATURES**

Features	PIC18F23K20	PIC18F24K20	PIC18F25K20	PIC18F26K20	PIC18F43K20	PIC18F44K20	PIC18F45K20	PIC18F46K20
Operating Frequency <sup>(2)</sup>	DC – 64 MHz	DC – 64 MHz	DC – 64 MHz	DC – 64 MHz	DC – 64 MHz	DC – 64 MHz	DC – 64 MHz	DC – 64 MHz
Program Memory (Bytes)	8192	16384	32768	65536	8192	16384	32768	65536
Program Memory (Instructions)	4096	8192	16384	32768	4096	8192	16384	32768
Data Memory (Bytes)	512	768	1536	3936	512	768	1536	3936
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	1024	256	256	256	1024
Interrupt Sources	19	19	19	19	20	20	20	20
I/O Ports	A, B, C, (E) <sup>(1)</sup>	A, B, C, (E) <sup>(1)</sup>	A, B, C, (E) <sup>(1)</sup>	A, B, C, (E) <sup>(1)</sup>	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E	A, B, C, D, E
Timers	4	4	44	44	44	44	44	44
Capture/Compare/PWM Modules	1	1	1	1	1	1	1	1
Enhanced Capture/Compare/PWM Modules	1	1	11	11	11	11	11	11
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Parallel Communications (PSP)	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
10-bit Analog-to-Digital Module	1 internal plus 10 Input Channels	1 internal plus 10 Input Channels	1 internal plus 10 Input Channels	1 internal plus 10 Input Channels	1 internal plus 13 Input Channels	1 internal plus 13 Input Channels	1 internal plus 13 Input Channels	1 internal plus 13 Input Channels
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable High/Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin QFN 28-pin SSOP 28-pin UQFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin QFN 28-pin SSOP	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin QFN 28-pin SSOP	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin QFN 28-pin SSOP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP
<b>Note 1:</b>	PORTE contains the single RE3 read-only bit. The LATE and TRISE registers are not implemented.							
<b>Note 2:</b>	Frequency range shown applies to industrial range devices only. Maximum frequency for extended range devices is 48 MHz.							

## ANEXO D.- Programación en Mplab con Hitech

```
#include<p18f25k20.h>
#include <TIMERS.h>
#include <adc.h>
#include"variables.h"
#include"display.h"
#fuses INTRC_IO,NOWDT,NOLVP,MCLR,NOPROTECT
#use delay(clock=4000000)
#define use_portb_lcd TRUE
#use delay(clock=4000000)
#use rs232(baud=2400,xmit=PIN_A0,rcv=PIN_A1)
#pragma romdata CONFIG1H = 0x300001
    const rom unsigned char config1H = 0b00001000;
#pragma romdata CONFIG2L = 0x300002
    const rom unsigned char config2L = 0b00011111;
#pragma romdata CONFIG2H = 0x300003
    const rom unsigned char config2H = 0b00001001;
#pragma romdata CONFIG3H = 0x300005
    const rom unsigned char config3H = 0b10000000;
#pragma romdata CONFIG4L = 0x300006
    const rom unsigned char config4L = 0b10000001;
#pragma code low_vector=0x18
void interrupt_at_low_vector(void)
{
```

```

        _asm GOTO low_isr _endasm
    }
#pragma code
#pragma interruptlow low_isr
void low_isr (void)
{
    /* ... */
}
#pragma code high_vector=0x08
void interrupt_at_high_vector(void)
{
    _asm GOTO high_isr _endasm
}
#pragma code
#pragma interrupt high_isr
void high_isr (void)
{
    if(PIE1bits.TMR1IE==1 && PIR1bits.TMR1IF==1)
        interrupcion_tmr1();
    if(PIR1bits.ADIF==1)
        analoga_lec();
}
ANSELH=0;
//RB digital

```



```

OSCCON=0b01110111;
    //modo Idle_OFF & a 16 MHz & utiliza HFINTOSC & estabilizar HFINTOSC
& oscilador interno

OSCTUNEbits.PLEN=0 ;
    //Pll_OFF (multiplicador *4), total a 64MHz

ADCON2=0b10110110;
    //just right & 16TAD & FOSC/64

ADCON1bits.VCFG0=0;
    //V ref+ Vdd=3.3v

ADCON1bits.VCFG1=0;
    //V ref- Vss=0 v

TRISA=0b00011111;
    //"entradas"

ANSEL=0b00000001;
    //RA0 anloga

LATB=0;

TRISB=0;

TRISC=0b00000000;

INTCONbits.GIE=1;                //interrupcion global_ON

INTCONbits.PEIE=1;                //interrupcion de perifericos_ON

INTCON2bits.RBPU=1;                //resistencias pull-up_OFF

INTCON2bits.INTEDG0=0;            //para reconocer 0 en el infrarrojo

RCON=255;                          //prioridades de interrupcion_ON

                                //configuracion del timer 1 interrupcion cada 5 ms

T1CON=0b11110101;    //TMR1_ON & a 16 bit & con osc principal & prescaler
1:8 & osc del TMR1_OFF & osc interno (FOSC/4)

PIE1bits.TMR1IE=1;                //interrupcion del TMR1 habilitada

TMR1H=0b11110110;                //Para cada 5ms TMR1=63035

TMR1L=0b00111011;                //configuracion del adc

```

```

ADCON0=0b00000001;           //canal 0 & adc_ON
PIE1bits.ADIE=1;             //interrupcion de adc_ON

                               /*estado inicial de la caldera*/

ESTADO=OFF;

BANDERAS._UNA_VES=0;

BANDERAS._SENSOR_ACTIVADO=0;
BANDERAS._RUN=0;
BANDERAS._INICIO=0;
BANDERAS._PROGRAMANDO=0;
_ALARMAS._SENSOR_PREVIO=0;
_ALARMAS._SENSOR_POSTERIOR=0;
_ALARMAS._PROGRAMACION=0;
_ALARMAS._PROGRAMADO=0;
PORTC=0b11111111;

while(1)
{
    _asm CLRWDT    _endasm
    //refresca el WDT para que no se resete cada instante

}

//INTERRUPCIONES

/*Interrupcion de timer*/

void interrupcion_tmr1()
{
    BANDERAS._UNA_VES=1;

```

```

BANDERAS._5MS=!BANDERAS._5MS;

UN_SEGUNDO++;

PUNTERO++;

TMR1H=0b11110110;

TMR1L=0b00111011;

ADCON0bits.GO_DONE=1;
//realizar conversion adc

PIR1bits.TMR1IF=0;

}

/*Interrupcion de analogia*/

void analoga_lec()

{

    SENSOR_GRABAR=ADRES;           //leer datos del adc a 16 bits

    SENSOR=SENSOR+SENSOR_GRABAR;

    NUMERO_LLECTURAS++;

    if (NUMERO_LLECTURAS>=4)

    {

        sensa++;

        SENSOR=SENSOR>>2;

        NUMERO_LLECTURAS=0; //ENCERO CONTADOR ANALOGO

        PROMEDIO_SENSOR_LLAMA=PROMEDIO_SENSOR_LLAMA+
SENSOR;

        PROMEDIO_SENSOR_LLAMA=PROMEDIO_SENSOR_LLAMA>>1;

        SENSOR=0;

    }

    if(inicial==0)

```

```

{
    if(no_programado==1||BANDERAS._PROGRAMANDO==1)
    {
        inicial=1;

        if(SENSOR_GRABAR>300)
            ANALOGA=SENSOR_GRABAR;
        //analoga=set point

        histeresis_alto=ANALOGA*4;
        //histeresis en +20%

        ALTO_1=histeresis_alto/10;

        lim_alto=ANALOGA-ALTO_1;
        //limite superior del set point

        lim_bajo=80;
    }
}

PIR1bits.ADIF=0;
    //limpio bandera de interrupción análoga
}

//GRABAR EN EEPROM
void GUARDA_EPROM()
{
    EEADR=0X00;

    EEDATA= ADRESH;
        // el alto guarda

    EECON1bits.EEPGD=0;

    EECON1bits.CFGS=0;

    EECON1bits.WREN=1;
}

```

```

INTCONbits.GIE=0;           //apaga las interrupciones
INTCONbits.PEIE=0;
PIE1bits.TMR1IE=0;        //interrupción de TMR0 OFF
PIE1bits.ADIE=0;         //interrupción de adc OFF
T1CON=0;                 //apaga timer
EECON2=0x55;
EECON2=0xAA;
EECON1bits.WR=1;         // inicia escritura
while (PIR2bits.EEIF==0);
    PIR2bits.EEIF=0;      //limpia bandera de interrupción de eeprom
    EEADR=0X01;
    EEDATA= ADRESL;       //el bajo guarda
    EECON1bits.EEPGD=0;
    EECON1bits.CFGS=0;
    EECON1bits.WREN=1;
    EECON2=0x55;
    EECON2=0xAA;
    EECON1bits.WR=1;     // inicia escritura
while (PIR2bits.EEIF==0);
    INTCONbits.GIE=1;    //arranco nuevamente las interrupciones
    INTCONbits.PEIE=1;
    PIE1bits.TMR1IE=1;
    PIE1bits.ADIE=1;
    T1CON=0b11110101;

    EECON1bits.WREN=0;   // deshabilita escritura en eeprom

```

```

        PIR2bits.EEIF=0;                //limpia bandera de interrupción de eprom
        _ALARMAS._PROGRAMADO=1;
    }
//LEER EEPROM
void RECUPERAR_EPROM()
{
    EEADR=0X00;                        //dirección del byte alto
    EECON1bits.EEPGD=0;
    EECON1bits.CFGS=0;
    EECON1bits.RD=1;                  //inicia lectura
    dato2=EEDATA;                     //byte alto se guarda en dato2
    EEADR=0X01;                        //dirección del byte bajo
    EECON1bits.EEPGD=0;
    EECON1bits.CFGS=0;
    EECON1bits.RD=1;
    //inicia lectura
    dato1=EEDATA;
        //byte bajo se guarda en dato1
    valor=dato2<<8|dato1;
}
Void posicion angular()
{
    set_tris_a(0x22);
    set_tris_b(0x00);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    output_low(EN1_2);
}

```

```

output_low(EN3_4);
output_low(A_1);
output_low(A_2);
output_low(A_3);
output_low(A_4);
}
void accion(void){
    int x,y;
    do{
        x=getch();
        #use rs232(baud=1200,xmit=PIN_A2)
        switch(x){
            case'U':
                for(y=0;y<=15;y++){
                    printf("U");
                    delay_ms(5);
                }
                output_b(0x01);
                break;
            case'L':
                for(y=0;y<=15;y++){
                    printf("L");
                    delay_ms(5);
                }
                output_b(0x02);
                break;

```

```

        case'R':
            for(y=0;y<=15;y++){
                printf("R");
                delay_ms(5);
            }
            output_b(0x04);
            break;
        case'D':
            for(y=0;y<=15;y++){
                printf("D");
                delay_ms(5);
            }
            output_b(0x08);
            break;
        case'O':
            for(y=0;y<=15;y++){
                printf("O");
                delay_ms(5);
            }
            output_b(0x00);
            break;
    }
    #use rs232(baud=2400,xmit=PIN_A0,rcv=PIN_A1)

}while(x!='O');
}

```



```

void main(void){

    char password[]="YES";

    char word[];

    int z;

    config();

    output_b(0x00);

    do{

        #use rs232(baud=2400,xmit=PIN_A0,rcv=PIN_A1)

        gets(word);

        if(strcmp(word,password)){

            output_b(0x0f);

            #use rs232(baud=1200,xmit=PIN_A2)

            for(z=0;z<=30;z++){

                printf("A");

                delay_ms(5);

            }

            #use rs232(baud=2400,xmit=PIN_A0,rcv=PIN_A1)

            accion();

        }

        else{

            output_b(0x00);

        }

    }while(TRUE);

#include<p18f25k20.h>

```

```
//#include"variables.h"
void display()
{

switch(ESTADO)
{
    case 0:
        PORT_C=0b1000000;
        break;
    case 1:
        PORT_C=0b1000000;
        break;
        case 2:
            PORT_C=0b1111001;
            break;
            case 4:
                PORT_C=0b0100100;
                break;
    case 5:
        PORT_C=0b0110000;
        break;
    case 6:
        PORT_C=0b0011001;
        break;
```