

SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO
MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA Y SISTEMA SCADA

ESTIVEN ANDRES SANABRIA BETANCUR
JUAN DAVID SÁNCHEZ RAMOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
PEREIRA

2016
SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR TRIFÁSICO
MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA Y SISTEMA SCADA

ESTIVEN ANDRES SANABRIA BETANCUR
JUAN DAVID SÁNCHEZ RAMOS

Docente:
William Prado Martínez

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
PEREIRA
2016

Tabla de contenido

1. Motores.....	5
1.1. Principio de funcionamiento de un motor eléctrico	5
1.2. Campo magnético giratorio	6
1.3. Constitución del motor.....	7
1.4. Clasificación de los motores.....	8
1.5. Constitución del motor asíncrono de inducción	9
1.6. Motores asíncronos trifásicos y tipo de arranques	10
1.7. Motor de rotor en corto circuito	12
1.8. Arranque estrella triangulo	13
1.9. Arranque mediante autotransformador.....	15
1.10. Arranque con resistencias en serie con el combinado del estator	15
1.11. Motor de rotor bobinado y anillos rozantes	16
1.12. Protección de los motores eléctricos	18
2. Variadores De Velocidad	21
2.1. Diagrama en bloques de un variador	22
2.2. Conceptos básicos sobre variadores para motor trifásico	23
2.3. Características típicas de carga	26
2.4. Protección del motor y variador.....	29
2.5. Temperatura de trabajo del motor	29
2.6. Frenado.....	30
2.7. Sentido de giro:	31
2.8. Manejo y configuración:	31
2.9. Funciones o parámetros más importantes	32
2.10. Regulación en lazo abierto o cerrado.....	32
3. Comunicación	34
3.1. Unidad de datos del protocolo (PDU).....	36
4. PLC (Controlador Lógico Programable).....	39
4.1. Campos de aplicación	39

4.2.	Estructura.....	40
4.3.	Definición y descripción de los componentes de la estructura básica de un PLC	41
4.4.	Tipos de memoria.....	42
4.5.	Entradas y salidas.....	44
4.6.	Alimentación.....	45
5.1.	Descripción	47
5.2.	Montaje	47
5.3.	Diseño eléctrico.....	47
5.4.	Motor	49
5.5.	Arranque START – STOP	50

DEFINICIÓN GENERAL DE LOS COMPONENTES

1. Motores

Un motor eléctrico es una maquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica mediante interacciones electromagnéticas. Algunos motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en eléctrica funcionando como generadores.

Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías.

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 q circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, este tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

El conductor tiende a funcionar como un electro-imán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo así 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.

1.1.Principio de funcionamiento de un motor eléctrico

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estatórico sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado estatórico corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz).

La velocidad de rotación del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del flujo giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir un movimiento relativo entre los conductores y el flujo giratorio. A la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se le llama

deslizamiento.

Como se explica, la velocidad de estos motores, según el principio de funcionamiento y la frecuencia industrial, tiene que ser una velocidad fija, algo menor que la de sincronismo. Gracias a los avances en la electrónica de potencia, actualmente se fabrican arrancadores estáticos que pueden regular la velocidad de estos motores actuando sobre la frecuencia de la alimentación del motor, es decir, convierten la frecuencia industrial de la red en una distinta que se aplica al motor. De ahí que reciban el nombre de convertidores de frecuencia, pudiendo regular la velocidad, amortiguar el arranque e incluso frenarlo

Velocidad

1.2. Campo magnético giratorio

El campo magnético creado por un bobinado trifásico alimentado por corriente alterna es de valor constante pero giratorio y a la velocidad de sincronismo. Este fenómeno se puede comprobar con el estudio de las posiciones que van ocupando la resultante del flujo atendiendo los sentidos de corriente que van tomando los conductores en el bobinado.

En el instante 0, la fase U tiene un valor de cero, la fase V tiene valor negativo, por lo que la corriente circula desde V2 hasta V1, y la fase W tiene valor positivo, con lo que la corriente circula desde W1 hasta W2 en el embobinado se crea una bobina ficticia a la que aplicando a regla de la mano derecha nos da que, en el instante, la resultante del flujo se sitúa entre las ranuras 7 y 8.

El signo positivo representa que la corriente entra en el plano y el signo negativo que sale del plano.

El ciclo de la corriente se divide en seis partes iguales pasando ahora al instante 1, donde vemos que la fase U tiene valor positivo la fase V sigue teniendo valor negativo y la fase W tiene valor positivo.

En este instante la resultante del flujo se sitúa entre las ranuras 9 y 10, con lo que ha avanzado un sexto de la circunferencia en el tiempo que ha transcurrido desde el instante 0 al 1, que se corresponde con un sexto del periodo de la corriente.

Si vamos aplicándolo sucesivamente a los demás instantes, podemos ver que de uno a otro siempre avanza un sexto de vuelta igual que el tiempo que transcurre de un instante a otro el periodo de la corriente, lo que nos indica que el flujo es giratorio y su velocidad coincide con la velocidad del sistema de corriente alterna.

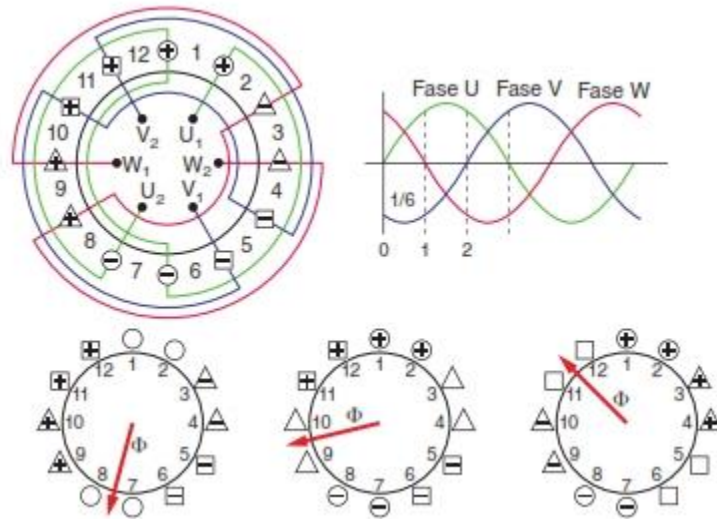


Ilustración 1 Comprobación del campo magnético giratorio

1.3. Constitución del motor.

Los motores de corriente continua están formados principalmente por:

Estator. El estator lleva el bobinado inductor. Soporta la culata, que no es otra cosa que un aro acero laminado, donde están situados los núcleos de los polos principales, aquí es donde se sitúa el bobinado encargado de producir el campo magnético de excitación.

Rotor. Está construido con chapas superpuestas y magnéticas. Dichas chapas, tienen unas ranuras en donde se alojan los bobinados.

Colector. Es donde se conectan los diferentes bobinados del inducido.

Escobillas. Las escobillas son las que recogen la electricidad. Es la principal causa de avería en esta clase de motores, solo hay que cambiarlas con el mantenimiento habitual.

1.4. Clasificación de los motores

a) Motores de corriente continua

- I. De excitación independiente
- II. De excitación serie
- III. De derivación
- IV. De excitación compuesta

b) Motores de corriente alterna

- I. Motores síncronos
- II. Motores asíncronos:
 - Monofásicos.
 - De bobinado auxiliar.
 - De espira en corto circuito.
 - Universal.
 - Trifásicos
 - De rotor bobinado.
 - De rotor en corto circuito (Jaula de ardilla).

Todos los motores de corriente continua así como los síncronos de corriente alterna incluidos en la clasificación anterior tienen una utilización y unas aplicaciones muy específicas.

Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajo costo de fabricación.

La velocidad de sincronismo de los motores eléctricos de corriente alterna viene definida por la expresión:

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

Dónde:

n= número de revoluciones por minuto

f= frecuencia de la red

p=número de pares de polos de la maquina

Se da el nombre de motor asíncrono al motor de corriente alterna cuya parte móvil gira a una velocidad distinta a la del sincronismo.

1.5. Constitución del motor asíncrono de inducción

Como todas las maquinas eléctricas, un motor eléctrico está constituido por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estator) y otro en la parte móvil (rotor).



Ilustración 2 motor asíncrono

El circuito magnético está formado por chapas apiladas en forma de cilindro en el rotor y en forma de anillo en el estator.



Ilustración 3 rotor y estator de un motor

El cilindro se induce en el interior del anillo para que pueda girar libremente, hay que dotarlo de un entrehierro constante.

El anillo se dota de ranuras en su parte inferior para colocar el bobinado inductor y se envuelve exteriormente por una pieza metálica con soporte llamada carcasa. El cilindro se adosa al eje del motor y puede estar ranurado en su superficie para colocar el bobinado inducido (motores rotor bobinado) o bien se le incorporan conductores de gran sección soldados a anillos del mismo material en los extremos del cilindro (motores de rotor en corto circuito) similar a una jaula de ardilla, de ahí que reciben el nombre de rotor jaula de ardilla.

En el eje se apoyan unos rodamientos de acero para evitar rozamientos y se saca al exterior para transmitir movimiento y lleva acoplado un ventilador para refrigeración, los extremos de los bobinados se sacan al exterior y se conectan a la placa de bornes.



Ilustración 4 Sección de motor eléctrico

1.6. Motores asíncronos trifásicos y tipo de arranques

Los motores asíncronos de inducción son aquellos en los que la velocidad de giro del rotor es algo inferior a la del sincronismo. Los podemos encontrar tanto monofásicos como trifásicos.

1) Motores trifásicos

Los motores trifásicos son aquellos en el que el embobinado inductor colocado en el estator está formado por tres bobinas independientes desplazados 120°

eléctricos entre si y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna podemos encontrar de dos tipos:

- Rotor en corto circuito (jaula de ardilla).
- Rotor bobinado.

2) Tensiones e intensidades en el estator de los motores trifásicos se puede conectar en estrella (todos los finales conectados en un punto en común, alimentando el sistema por los otros extremos libres) y triangulo (conectado el final de cada fase al principio de la fase siguiente, alimentando el sistema por los puntos de unión).

En la conexión estrella, la intensidad que recorre cada fase coincide con la intensidad de línea, mientras que la tensión que se aplica a cada fase es de $\sqrt{3}$ menos que la tensión de línea.

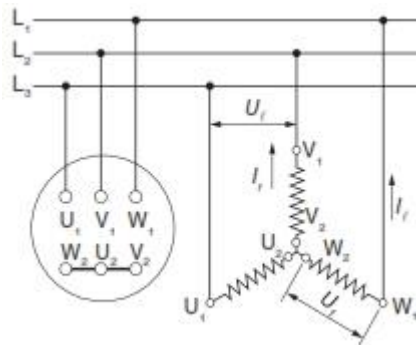


Ilustración 5 Conexión estrella

En la conexión triangulo la intensidad que corre cada fase es $\sqrt{3}$ menor que la intensidad de la línea, mientras que la tensión a la que queda sometida cada fase coincide con la tensión de línea.

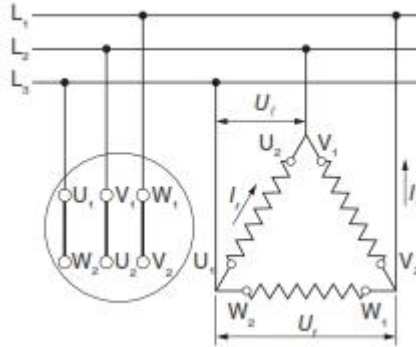


Ilustración 6 Conexión triángulo

En estas condiciones el motor se puede considerar como bitensión, ya que las tensiones normalizadas donde 230 V o 400 V. Si un motor está diseñado para aplicarle 230V a cada fase, lo podemos conectar a la red de 230V en triángulo y a la red de 400 V en estrella. En ambos casos la tensión que se le aplica a cada fase es de 230V. En una y otra conexión permanecen invariables los parámetros de potencia, par motor y velocidad. La conexión estrella o triángulo se realiza sobre la placa de bornes mediante los puentes como se muestra a continuación.

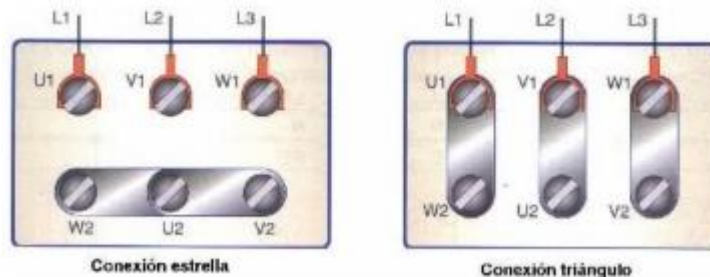


Ilustración 7 Conexión en los bornes del motor para triángulo y estrella

1.7. Motor de rotor en corto circuito

El motor de rotor en cortocircuito es el de construcción más sencilla, de funcionamiento más seguro y de fabricación más económica. Su único inconveniente es el de absorber una elevada intensidad en el arranque a la tensión del funcionamiento.

En el momento del arranque este motor acoplado directamente a la red presenta un momento de rotación de 1,8 a 2 veces el régimen, pero la intensidad absorbida en el arranque toma valores de 5 a 7 veces la nominal.

Para facilitar el conexionado en la placa de los bornes del motor, los extremos del bobinado inductor se disponen de la siguiente manera

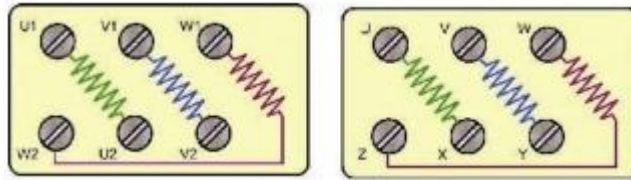


Ilustración 8 Distribución de los bornes de los embobinados

El reglamento electrotécnico de baja tensión (REBET) en su instrucción ITC-BT-47 regula la relación que debe existir entre las tensiones de arranque y plena carga de los motores alimentados desde una red pública de alimentación en función de su potencia. De dicha relación de proporcionalidad se desprende que los motores de potencias superiores a 0,75 kW que no cumplan la relación de intensidades expuesta en la tabla, han de disponer de un sistema de arranque que disminuya esa relación.

Potencia nominal del motor de corriente alterna	Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de arranque y plena carga
De 0,75 a 1,5 kW	4,5
De 1,5 a 5,0 kW	3,0
De 5,0 a 15,0 kW	2,0
De más de 15,0 kW	1,5

Ilustración 9 Relación de intensidades de arranque

A intensidad en el momento del arranque de motores que no cumpla con esta relación puede hacer que salten las protecciones o bien perjudicar las líneas que los alimentan. Para evitar estos inconvenientes se disminuye a tensión en el periodo de arranque y con ello la intensidad, y una vez alcanzada a velocidad de régimen se conecta el motor a su tensión nominal, con lo que se logra amortiguar la intensidad de arranque. Para evitar esto se utilizan los siguientes procedimientos

- Arranque estrella triángulo.
- Arranque mediante autotransformador
- Arranque mediante resistencias en serie con el embobinado estático.

1.8. Arranque estrella triángulo

El procedimiento más empleado para el arranque de motores trifásicos de rotor en cortocircuito con relaciones superiores a la de la tabla anterior. Consiste en conectar el motor en estrella durante el periodo de arranque y, una vez lanzado, conectarlo en triángulo para que quede conectado a la tensión nominal.

Para ello se hace necesario intercalar entre el motor y la línea conmutador manual especial que realiza las conexiones de los extremos del bobinado del motor, sin realizar los puentes sobre la placa de bornes.

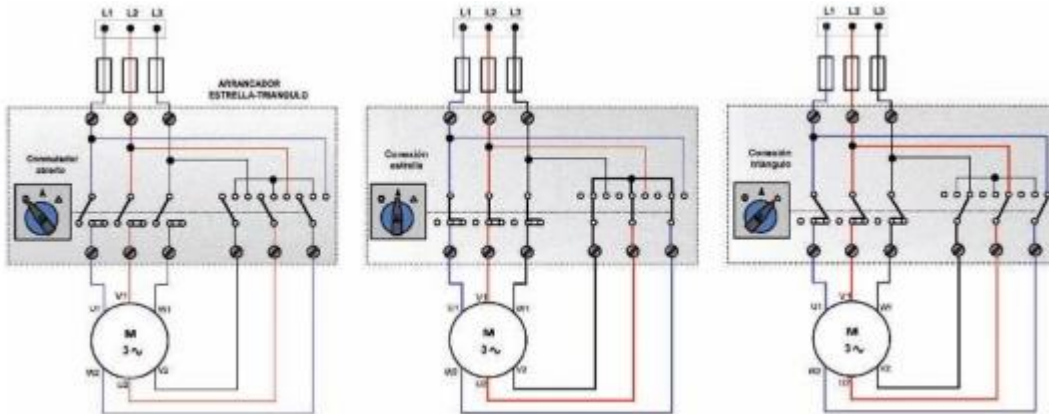


Ilustración 10 Arranque estrella triangular un motor trifásico mediante arrancador manual

Este conmutador posee tres posiciones: la inicial de desconexión, la siguiente conecta las bobinas del motor en estrella y la tercera que conecta los bobinados en triángulo. La parada se hace de forma inversa, como se puede ver en la figura anterior.

Para poder utilizar este método, es necesario que el motor pueda funcionar en conexión triángulo a la tensión de la red. En consecuencia, cuando en el arranque lo conectamos en estrella, cada fase queda sometida a la tensión $\sqrt{3}$ menor que la línea y, por lo tanto, la intensidad que circula por ella es también $\sqrt{3}$ menor que si estuviera conectado en triángulo.

Teniendo en cuenta que si lo conectásemos en triángulo la intensidad en la línea es $\sqrt{3}$ mayor que la de fase, mientras que en estrella son iguales, resulta que el mismo motor arrancado en estrella consume una intensidad $\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} = 3$ veces menor que si lo conectamos en triángulo. Por la misma razón, el momento de rotación también se deduce en un tercio.

1.9. Arranque mediante autotransformador

Este tiene distintas tomas de decisión, por lo que, en el momento de arranque, al motor se le aplica la tensión menor disminuyendo la intensidad y se va elevando de forma progresiva hasta dejarlo conectado a la tensión de la red.

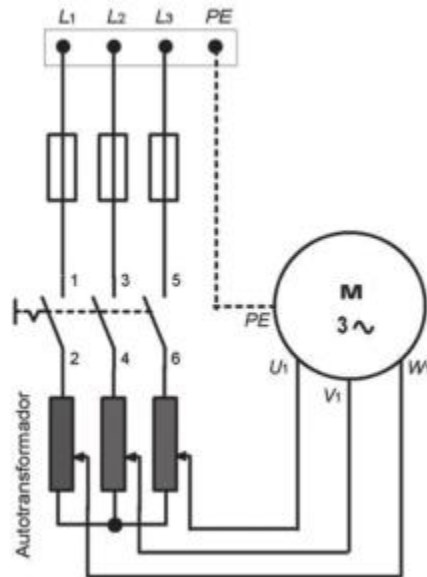


Ilustración 11 Arranque de un motor trifásico mediante un autotransformador

1.10. Arranque con resistencias en serie con el combinado del estator

En un procedimiento poco empleado que consiste en disponer un reóstato variable en serie con el bobinado estatórico.

La puesta en marcha con el reóstato al máximo de resistencia y se va disminuyendo hasta que el motor queda conectado a la tensión de la red.

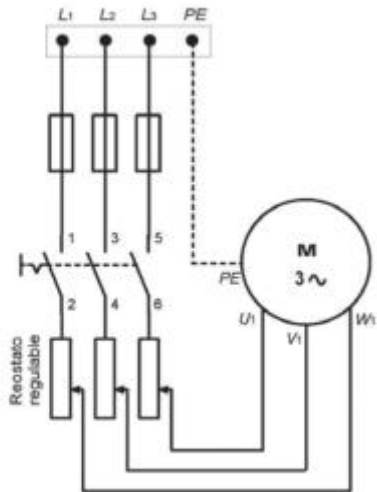


Ilustración 12 Arranque de un motor trifásico mediante resistencia en serie con el estator

1.11. Motor de rotor bobinado y anillos rozantes

En este tipo de motores, el rotor va ranurado igual que el estator, y en él se coloca un bobinado normalmente trifásico similar al del estator conectado en estrella y los extremos libres se conectan a tres anillos de cobre, aislados y solidarios con el eje del rotor.

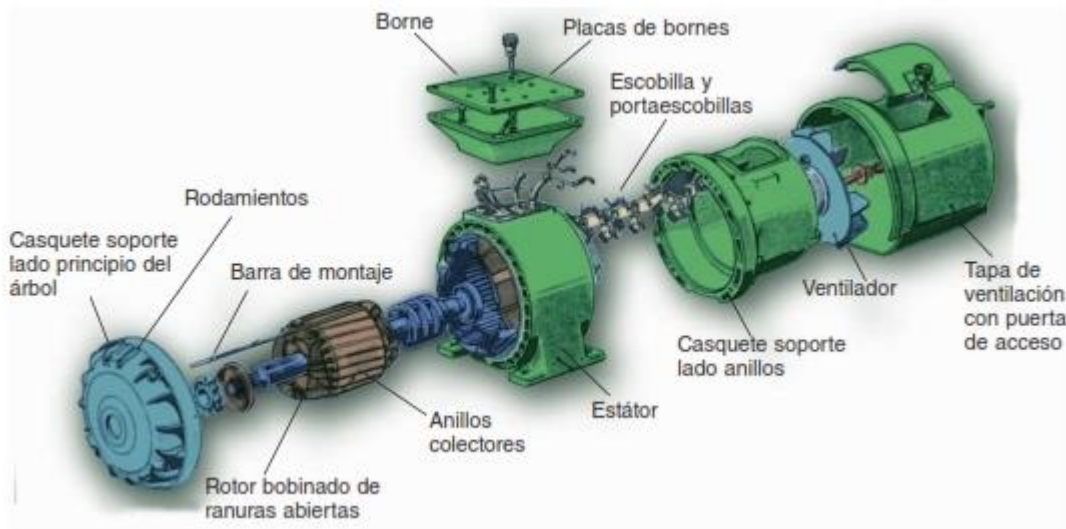


Ilustración 13 Despiece del motor de rotor bobinado

Sobre los anillos, se colocan los portaescobillas, que a su vez se conectan a la placa de bornes del motor, por eso, en la placa de bornes de estos motores aparecen nueve bornes.

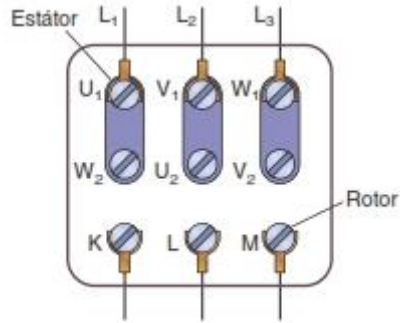


Ilustración 14 Placa de bornes de motor trifásico de rotor bobinado

La gran ventaja que presentan estos motores es su par de arranque, ya que puede alcanzar hasta 2,5 veces el par nominal, mientras que la intensidad del arranque es similar a la de la par nominal.

Para realizar la puesta en marcha, es necesaria la conexión de un reóstato de arranque conectado en serie con el bobinado el rotor, y una vez alcanzada la velocidad de régimen, se puentean los anillos en estrella.

Estos motes tienen una aplicación muy específica y, dada su constitución, necesitan de un mantenimiento mucho más exhaustivo que los de rotor en cortocircuito.

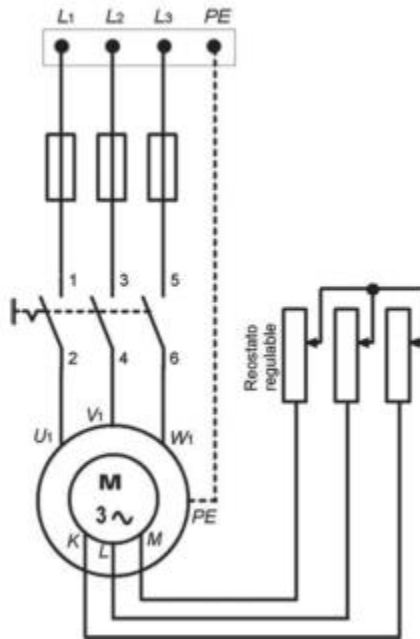


Ilustración 15 Arranque de un motor trifásico de rotor bobinado mediante reóstato conectado en serie con el rotor

1.12. Protección de los motores eléctricos

La protección de motores es una función esencial para asegurar la continuidad del funcionamiento de las maquinas. La elección de los dispositivos de protección debe hacerse con sumo cuidado.

Los fallos en los motores eléctricos pueden ser, como en todas las instalaciones, los derivados de cortocircuitos, sobrecargas o contactos indirectos. Los más habituales suelen ser sobrecargas, que se manifiestan a través de un aumento de intensidad absorbida por el motor, así como el aumento de temperatura de este.

Cada vez que se sobrepasa la temperatura normal de funcionamiento, los aislamientos se desgastan prematuramente. Los efectos negativos son inmediatos, con lo que el motor sigue funcionando aunque a la larga estos efectos pueden provocar las averías antes expuestas. Por ello, las protecciones utilizadas para motores eléctricos son las siguientes:

- Protección contra contactos directos e indirectos

La protección contra contactos directos e indirectos se realiza mediante la colocación de interruptores diferenciales complementados con la toma de la tierra y su ubicación, funcionamiento y así como su conexión.

- Protección contra sobre cargas y cortocircuito

Las sobrecargas en los motores eléctricos pueden aparecer por exceso de trabajo de estos, desgaste de piezas, fallos de aislamiento en los bobinados o bien por falta de una fase para proteger las sobrecargas y corto circuitos se hace uso de fusibles y los interruptores magnetotermicos.

Los interruptores magnetotermicos han de ser del mismo número de polos que la alimentación del motor. Para la protección de motores y transformadores con puntas de corriente elevadas en el arranque estarán dotados de curva de disparo tipo D en las que el disparo térmico es idéntico a los demás y el disparo magnético se sitúa entre diez y veinte veces la intensidad nominal (I_n).

De esta forma, pueden soportar el número del arranque sin que actué el disparo magnético. En caso de producirse una sobrecarga durante el funcionamiento del motor, actuara el disparo térmico desconectando toda la instalación.

La protección mediante fusibles es algo más complicada, sobre todo en los motores trifásicos, ya que estos proporcionan una protección fase a fase, de manera que en caso de fundir unos solo, dejan funcionando el motor en dos fases y provocan la sobrecarga.

Por eso no se montan soportes unipolares, si no que se utilizan los seleccionares portafusibles que en caso de disparo de uno de ellos cortan de forma omnipolar Desconectando toda la instalación.



Ilustración 16 Seccionador fusible trifásico y su representación

Con el objeto de simplificar y mejorar las protecciones en los accionamientos manuales de motores eléctricos, aparecen los disyuntores, que pueden proteger contra cortocircuitos (disyuntores magnéticos) o contra cortocircuitos y sobrecargas (disyuntores magnetotermicos).

El disyuntor magnético incorpora para su funcionamiento un corte magnético similar al del interruptor magnetotermico, dotado a la instalación de una protección contra cortocircuitos más eficaz que los fusibles, ya que cortan la instalación en un tiempo menor, si bien hay que dotar a la instalación de otra protección contra las sobrecargas.

Estos aparatos simplifican enormemente los accionamientos de motores y agrupan en un solo aparato las protecciones contra las averías más frecuentes. También aportan a ventaja de poder realizar la reposición del servicio de forma cómoda y rápida una vez solucionada la avería.



Ilustración 17 distintos modelos de disyuntores magnetotermicos trifásicos y su representación

En los siguientes esquemas se representan el accionamiento de un motor trifásico de corriente alterna mediante disyuntor magnético, y mediante disyuntor magnetotermico.

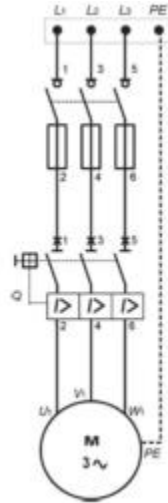


Ilustración 18 Esquema de conexionado para la puesta en marcha de un motor trifásico mediante disyuntor magnético trifásico y seccionador fusible

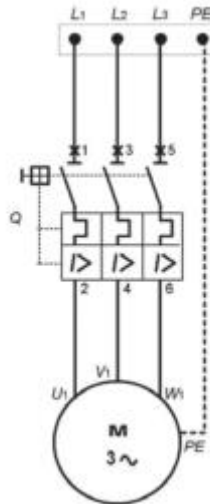


Ilustración 19 Esquema de conexionado para la puesta en marcha de un motor trifásico mediante disyuntor magnetotérmico trifásico

2. Variadores De Velocidad

Se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de

motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula de ardilla). También se les suele denominar inversores (invert) o variadores de velocidad.

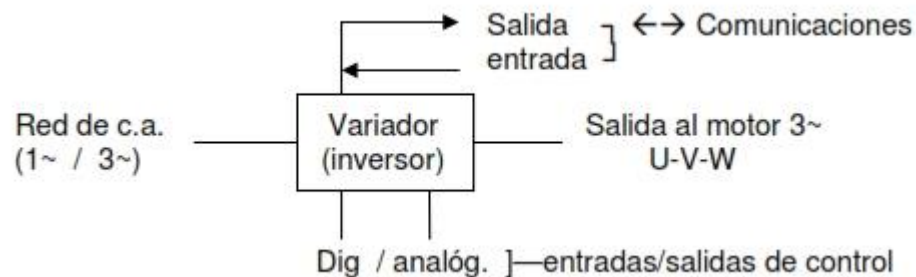


Ilustración 20 Variador de velocidad

Red de suministro: acometida de c.a., monofásica en aparatos para motores pequeños de hasta 1,5 kW (2 C.V. aprox), y trifásica, para motores de más potencia, hasta valores de 630 kW o más.

Entradas y salidas (E/S ó I/O): diferentes conexiones de entradas y salidas de control; pueden ser digitales tipo *todo o nada* (contactos, pulsadores, conmutadores, contactos de relé...) o analógicas mediante valores de tensión (0...10 V o similares) e intensidad (4...20 mA o similares). Además puede incluir terminales de alarma, avería, etc.

Comunicaciones: estos dispositivos pueden integrarse en redes industriales, por lo que disponen de un puerto de comunicaciones, por ejemplo RS-232, RS-485, red LAN, buses industriales (Profibus) o conexiones tipo RJ-45 o USB para terminales externos y ordenadores. Cada fabricante facilita el software de control, directo o mediante bus de comunicaciones. Que permitirá el control, programación y monitorización del variador (o variadores) en el conjunto de aparatos de control empleados.

Salida: conexión al motor, generalmente de tres hilos (U-V-W) para conexión directa en triángulo o estrella según la tensión del motor.

2.1. Diagrama en bloques de un variador

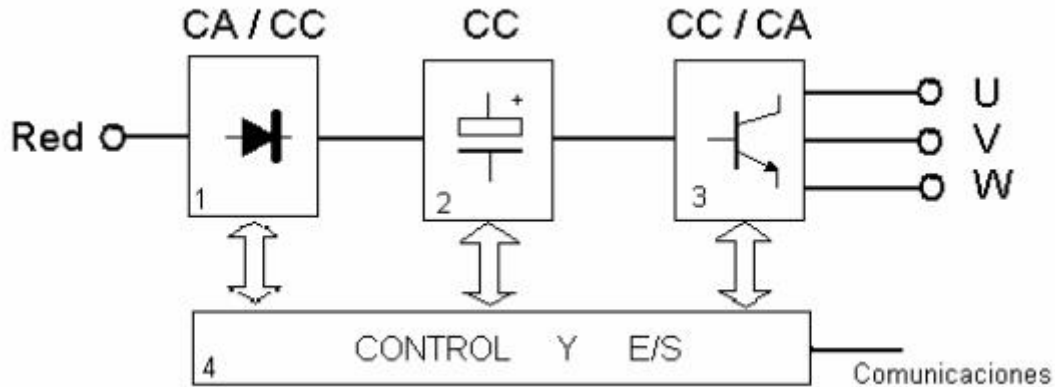


Ilustración 21 Diagrama de bloques de un variador de velocidad

1.- Rectificador: partiendo de la red de suministro de c.a., monofásica o trifásica, se obtiene c.c. mediante diodos rectificadores.

2.- Bus de continua: condensadores de gran capacidad (y a veces también bobinas), almacenan y filtran la c.c. rectificada, para obtener un valor de tensión continua estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad requerida por el motor.

3.- Etapa de salida: desde la tensión del bus de continua, un *ondulador* convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencia de salida variables. Como elementos de conmutación, se usan principalmente transistores bipolares (BJT), CMOS o similares, IGBT, tiristores (SCR), GTO... etc. Las señales de salida, se obtiene por diversos procedimientos como *troceado*, mediante ciclo convertidores, o señales de aproximación sinodal mediante *modulación por anchura de impulsos* PWM.

4.- Control y E/S: circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación... y entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Además se incluye el *interfaz* de comunicaciones con buses u otros dispositivos de control y usuario.

2.2. Conceptos básicos sobre variadores para motor trifásico

1. **Velocidad (n):** la velocidad en el eje de un motor asíncrono en rpm, depende del número de polos magnéticos del motor, y la frecuencia f (Hz), de la red de suministro:

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

Donde:

n=velocidad en rpm

f=frecuencia de la red en Hz

2p=número de pares de polos del motor

2. **Sobre-velocidad:** el variador puede proporcionar frecuencias de salida superiores a la de trabajo del motor, lo que le hace girar a mayor velocidad que la nominal. La curva de par, para velocidad de trabajo mayor de la nominal, disminuye, de manera que con velocidad doble (200%) el par cae a la mitad del nominal. La sobre velocidad es útil en aplicaciones que no requieren mucho par. En estos casos es importante tener en cuenta las características de par y temperatura de trabajo del motor.

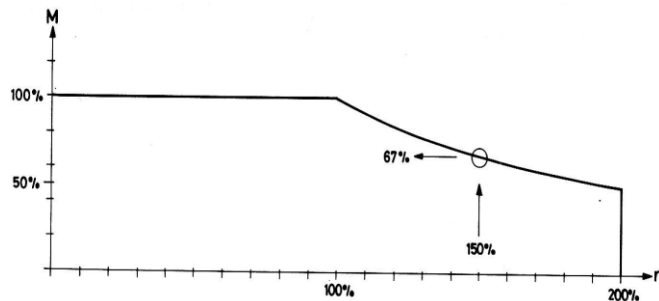


Ilustración 22 Sobre velocidad de un motor

Par transmitido por el eje (par motriz): la fuerza de tracción del motor a través del eje, depende principalmente de las expresiones siguientes:

$$T = 9550 \frac{P}{n}$$

$$T = k \left(\frac{U}{f} \right)^2$$

Donde:

T = par motriz

K y 9550 = constantes

U = tensión aplicada al inductor (estator)

f = frecuencia en Hz

P = potencia del motor en kW

n = velocidad (real) de giro del motor en rpm

Tensión de arranque inicial: en el arranque de un motor con carga, es necesario aplicar un cierto par inicial mínimo, para garantizar que el motor empiece a girar. Esto se consigue, iniciando la marcha con un valor de tensión determinado UINI, de acuerdo a las relaciones (U/f) y TINI,

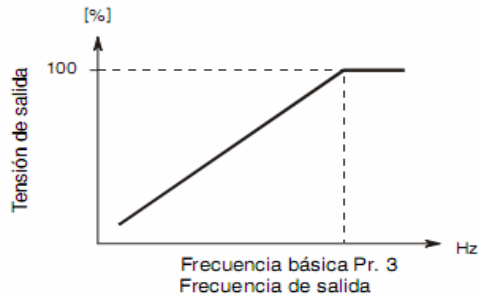


Ilustración 23 Tensión vs frecuencia

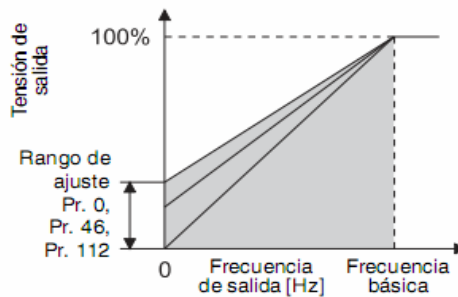


Ilustración 24 Arranque de un motor

La variación del par debe ser cuidadosa, para no exceder las características del motor ni sobrecargar el propio variador, especialmente en el arranque, ya que

podría circular una intensidad de corriente elevada, y eso no lo permite el variador.

2.3. Características típicas de carga

Par de carga constante: $T = \text{cte}$; se da en sistemas que tienen siempre (o aproximadamente) el mismo par resistente, como molinos, bombas de pistón, transportadoras en carga (cintas, elevadores, sinfines...). Las curvas de par-velocidad (teórica y real) pueden ser las siguientes:

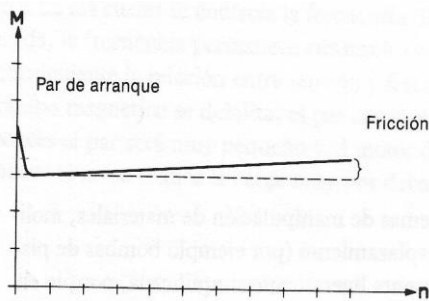
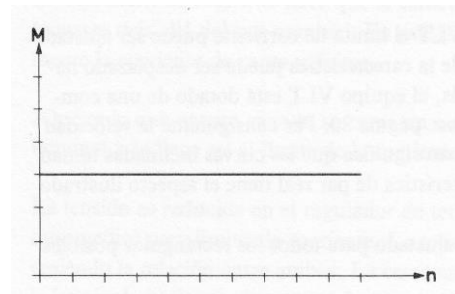


Ilustración 25 Par de carga constante



En el arranque (real) puede ser necesario un sobre par para vencer la fuerza de rozamiento del sistema, parado con carga. (El sobre par debe programarse de acuerdo a las necesidades y posibilidades del variador, ya que puede incrementar excesivamente el valor de I_N)

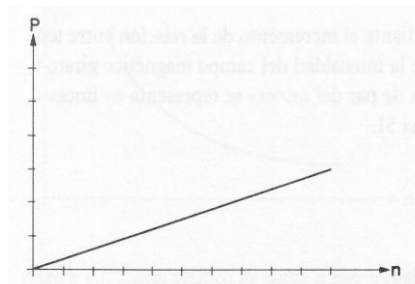


Ilustración 26 Arranque real

La potencia necesaria aumenta proporcionalmente a la velocidad, por lo que se produce una aceleración lineal hasta lograr la velocidad nominal o de trabajo.

Par de carga cuadrático: $T \propto n^2$; el par es proporcional al cuadrado de la velocidad. Es decir, inicialmente muy bajo, va creciendo de forma cuadrática al aumentar la velocidad. Esta característica se da en ventiladores, motores de bombas centrífugas, etc.

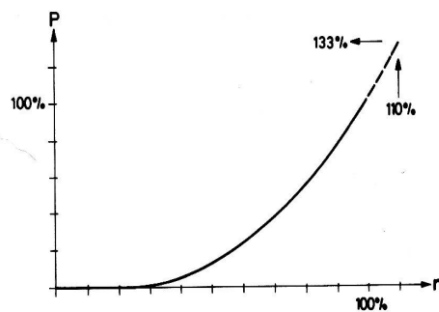


Ilustración 27 Par de carga cuadrática

Potencia constante: ($P = M \cdot \omega$ cte); al contrario que antes, el par disminuye al aumentar la velocidad, para mantener la potencia constante.

Este tipo de demanda, se da en máquinas herramienta (corte), bobinadoras, laminación, etc. A veces se aprovechan las características de sobre-velocidad para mejorar las posibilidades del proceso, si el par necesario no es alto.

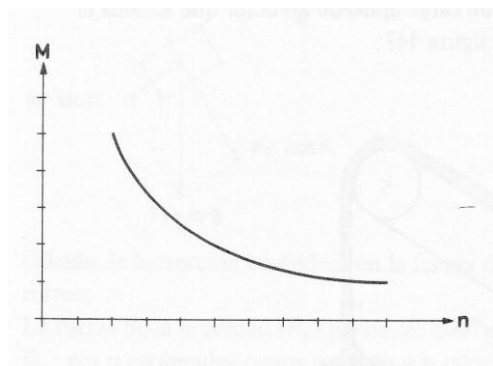


Ilustración 28 Potencia constante

Variación de la frecuencia tipo S y doble S: se combina una variación proporcional-lineal en 1 ó dos pasos, de modo que primero la frecuencia de salida aumenta de forma progresiva, y después de manera más rápida. El punto de inflexión de la “s” se da la máxima.

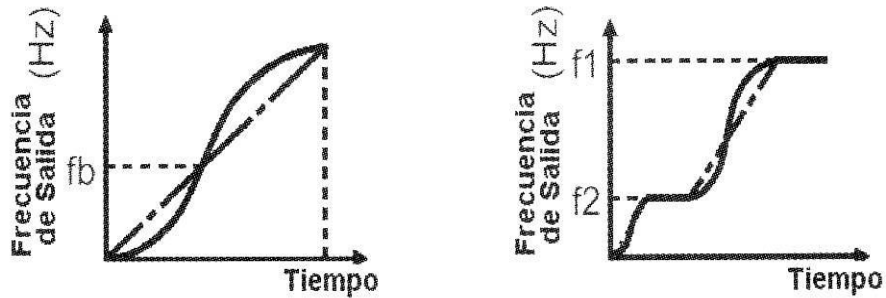


Ilustración 29 Variación de frecuencia vs tiempo

Golpe de ariete: se da en sistemas de elevación de agua o fluidos, mediante bombas. Si durante la marcha normal, se produce el paro repentino del motor (electrobomba), la columna de agua o fluido en ascenso, tiende a “caer”, comprimiendo al resto de fluido del tubo y produciendo un efecto de compresión-expansión (tipo yo-yo) que puede deformar o agrietar el tubo o los componentes. La manera de evitarlo mediante un variador, es aplicando un arranque y parada controlados (aceleración-deceleración lineales) para que la presión ejercida sobre la columna de fluido, varíe suavemente. En caso de avería, falta de tensión o parada inesperada, es conveniente que el sistema disponga de otros tipos de protección de seguridad (válvulas de asiento o similares).

2.4. Protección del motor y variador

Los variadores proporcionan un valor de intensidad nominal I_N en condiciones de trabajo normales, y permiten una cierta sobrecarga de breve duración. No se producen *picos* o *puntas* de arranque elevadas. (En este caso la especificación del variador Yaskawa).

-Se incluyen las funciones del relé térmico de sobrecarga y propias del variador: falta de fase, temperatura interna, frenado, ventilador... etc.

-Dispone de señales de alarma (contactos o salidas analógicas), y detecta los fallos de fase, inversión, sobre tensión... etc.

-Externamente, es necesario instalar junto al variador un interruptor automático magnético, apropiado a la intensidad nominal a manejar. En los manuales del variador se indica el calibre de la protección, incluidos los fusibles, si se usaran.

-El variador dispone de toma de tierra. Esta toma de tierra, no debe estar en contacto con bornes *comunes* de las entradas o salidas, analógicas y/o digitales.

2.5. Temperatura de trabajo del motor

Los motores llevan incorporado un ventilador, que refrigera al motor en condiciones normales; al estar instalado en el propio rotor, el ventilador gira a su velocidad; cuando mediante el variador, el motor gira velocidades reducidas, el ventilador pierde eficacia, y en consecuencia, la temperatura del motor puede aumentar excesivamente:

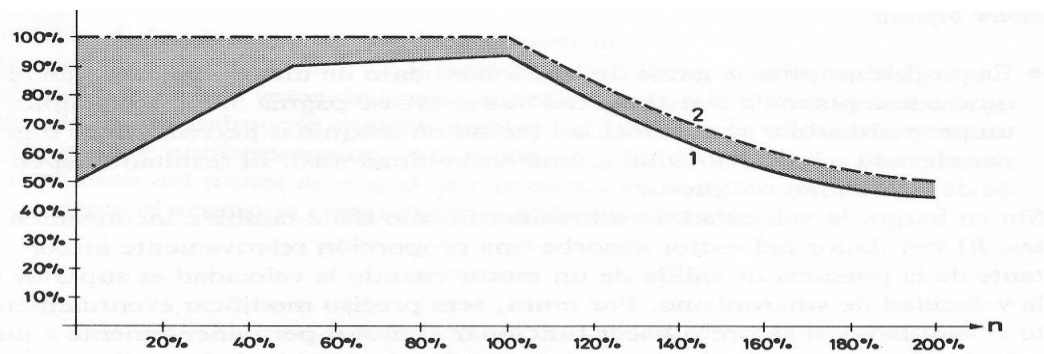


Ilustración 30 Temperatura del motor (Par-Velocidad)

Cuando la relación par-velocidad se mantiene dentro de la zona 1, la temperatura del motor permanece en valores aceptables; en cambio cuando se le hace trabajar en la zona 2 (par de trabajo mayor del 50%) la temperatura aumenta y debe haber refrigeración suplementaria desde el exterior.

Por otro lado, en caso de sobre velocidad, el ventilador interno del motor no es eficaz, ya que aumenta la resistencia por rozamiento con el aire, y tiende a provocar un sobreesfuerzo del propio motor, de manera que se necesitaría refrigeración externa

2.6. Frenado

El frenado del motor, consiste en el descenso controlado de su velocidad, reduciendo la frecuencia aplicada. Se establece en unidades de tiempo, teniendo en cuenta que el par aplicado, sea constante o variable. Algunos casos de frenado:

Rampa lineal de parada: se ajusta el tiempo (en s) que debe durar la parada. Generalmente válido a motores con poca carga resistente a la velocidad (detención sin carga resistente o poca inercia).

Frenado regenerativo: la inercia de la carga, tiende a hacer girar el motor más rápido que la frecuencia establecida por el variador (velocidad hipersíncrona), por lo que el motor actúa como *generador*. La energía que retorna al variador, se disipa mediante una resistencia o un dispositivo de frenado externo (no incluido con el variador).

En sistemas de gran potencia (tren, grandes grúas de pórtico...), este efecto puede aprovecharse para recuperar parte de la energía, que es devuelta a la red, mediante variadores específicos con recuperación.

Inyección de c.c.: el variador, puede inyectar durante un breve periodo de tiempo, cierto valor de c.c., que provoca el frenado rápido del motor.

El bloqueo inesperado del motor (por bloqueo del rotor o fuerte sobrecarga), provocará una intensidad muy elevada, y la parada por sobrecarga del variador, con la activación de alarmas. El restablecimiento podrá ser manual o automático (según programación).

El frenado o bloqueo del motor una vez parado, debe conseguirse mediante otro procedimiento externo al variador: freno magnético, zapata, disco, etc.

2.7. Sentido de giro:

El variador puede hacer girar el motor en ambos sentidos; inicialmente si se conecta la secuencia L1-L2-L3 en fase al motor, girará a la derecha; algunos variadores disponen de entradas por contacto (todo-nada) para seleccionar el sentido (STF = start forward, STR = start reverse). También puede hacerse mediante programación, o control externo, sea por pulsadores, autómatas, analógico... etc. El cambio de sentido nunca será brusco, sino mediante rampas de deceleración, parada y aceleración controladas.

2.8. Manejo y configuración:

Manual en el propio variador: dispone de una pequeña pantalla (display) y teclas de operación (PU = *programming unit*), que permiten acceder a diferentes menús de configuración, establecer valores o modos de funcionamiento, etc. Muchos parámetros solo pueden configurarse o modificarse, con el motor parado.

Consola de configuración: es un dispositivo auxiliar, dotado de pantalla y teclado, que permite acceder a todas las funciones del variador. La consola se conecta al variador mediante una toma propia o de comunicación (RJ45, RS485, USB...), una vez realizada la programación, se desconecta y el variador queda configurado para trabajo autónomo

Operación fija externa (EXT): se configuran determinadas entradas y salidas, y se instalan en el armario pulsadores, interruptores, selectores o potenciómetros para activar funciones fijas (marcha, paro, velocidades ...) configuradas internamente. Así el operador o técnico responsable, no accede al variador, sino a los controles externos.

Panel de operador: consiste en una pantalla (alfanumérica o gráfica) tipo *táctil*, que enlazada con el variador, permite su control total o parcial, de acuerdo a la programación establecida. Por otro lado, en funcionamiento normal, algunos tipos de panel gráfico, pueden ofrecer determinada información, velocidad, par, intensidad o mostrar figuras, diagramas del sistema, etc. (Depende del sistema y especialmente de las comunicaciones y *software*)

Mediante bus industrial: el variador puede estar conectado a un bus industrial

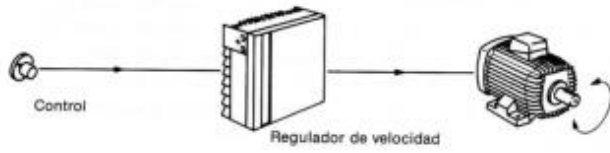
(similar a una red). De manera remota, un ordenador puede ejercer el control, y monitorear las condiciones de trabajo normales y de avería. Se evita la necesidad de un operario que lo manipule y se integra en el proceso industrial de manera automática. El software de control y programación, suele ser facilitado por el fabricante del variador, y en general será compatible, con los buses industriales más utilizados (Profibus...etc.), o sistemas de control automatizado, tipo *Scada*.

2.9. Funciones o parámetros más importantes

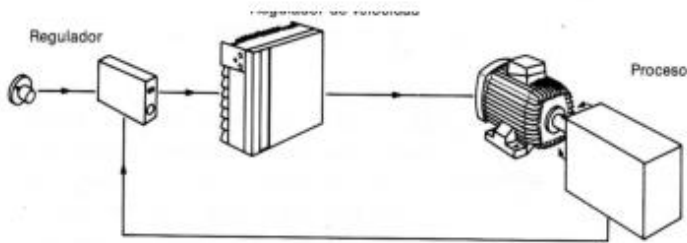
- Red de suministro de alimentación. Potencia del variador.
- Señales de salida: tensión e intensidad adecuada al motor.
- Frecuencias de salida mínima y máxima.
- Tiempo de aceleración y de parada.
- Control del par inicial.
- Protección térmica. Intensidad nominal, sobrecarga y rearme.
- Visualización: indicaciones de la pantalla (frecuencia, intensidad, etc.)
- Señales de alarma y monitoreo
- Entradas/Salidas de control (todo o nada y analógicas)
- Elementos de control (pulsadores, terminales, potenciómetro...)
- Funciones avanzadas
- Ajuste de características del motor (*auto tune*)
- Control de par
- Calibración
- Borrado y reinicio de funciones y parámetros
- Comunicaciones
- Control mediante bucle PI, PID, etc.

2.10. Regulación en lazo abierto o cerrado

El conjunto variador-motor, se conectan directamente, y el propio variador, basándose en las señales que recibe (intensidad, fases, velocidad, respuesta del motor...) regula todo el proceso según los parámetros fijados. Otra forma de control, es tomando una muestra real del motor (mediante captadores tipo encoder o similares) y realizar el control mediante lazo o bucle cerrado tipo PI, PID etc., que se denomina servosistema



<- Variador motor
(lazo abierto)



<- servosistema
(lazo o bucle cerrado)

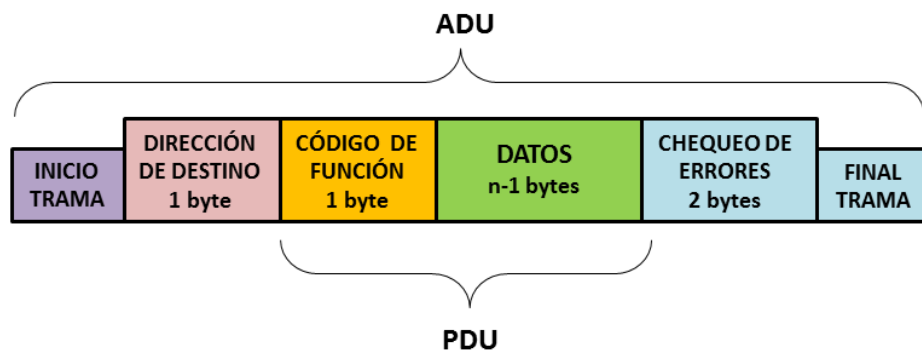
Ilustración 31 Control en lazo abierto y lazo cerrado

3. Comunicación

Protocolo de comunicación modbus

De acuerdo con [3], MODBUS es un protocolo de comunicación abierto ubicado en el nivel 7 del modelo OSI (International Standard Organization), que permite la comunicación cliente/servidor (Maestro/Esclavo) entre dispositivos conectados en diferentes tipos de bus o de red.

La trama de datos toma una estructura denominada ADU (Aplication Data Unit – Unidad de aplicación de datos) que para una comunicación serial codifica en bytes la información de la dirección de destino, el mensaje de datos, el chequeo de errores e información para el reconocimiento del inicio y final de la trama. Dos codificaciones o representaciones de la información para el ADU suelen emplearse; RTU (Remote Terminal Unit) y la ASCII.



En las dos codificaciones cada parte de la trama ADU se representa por un número determinado de bytes en valores cada uno como hexadecimal de dos posiciones. Si la codificación es Modbus ASCII el mensaje ADU inicia con el carácter ":" que en hexadecimal es 0x3A, finaliza con un regreso de carro (CR 0x0D) y alimentación de línea (LF 0x0A). Todos los datos son transferidos como caracteres codificados en ASCII.

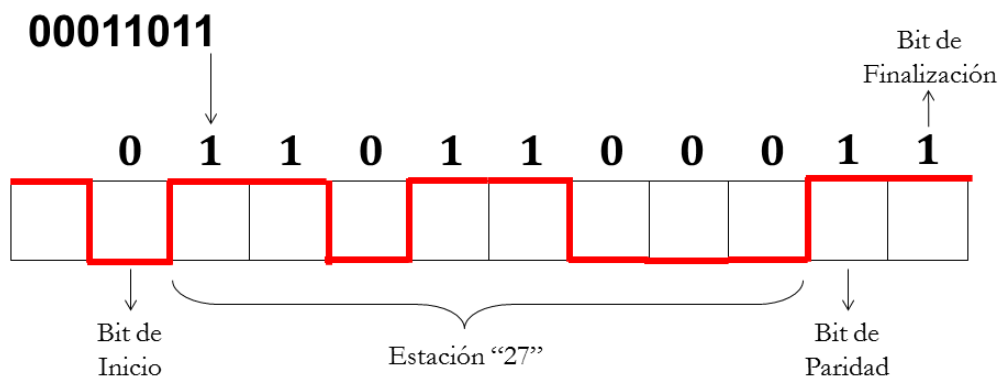
Para una codificación Modbus RTU, no existe un carácter para inicio y final de la trama, pero si es indispensable el uso de tiempos de silencio en el bus de comunicaciones (añadidos al inicio y al final del ADU) equivalentes mayores a 3,5 el tiempo de un carácter.

Para la codificación Modbus RTU cada byte se envía como una cadena de 8 caracteres binarios enmarcada con un bit de inicio, un bit de parada y puede incluir un bit de paridad antes del bit de parada. Por lo tanto para cada byte puede tenerse hasta 11 bits.

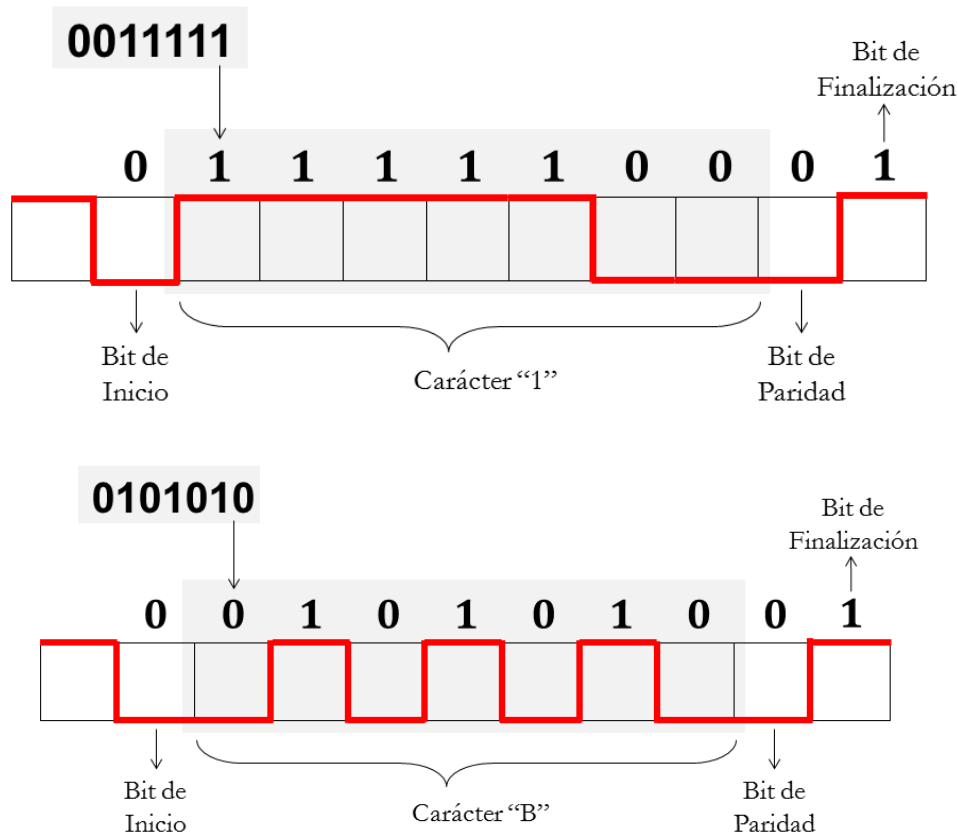
Mientras en Modbus ASCII cada posición del byte se separa de manera que se obtienen dos caracteres independientes. Luego cada carácter del byte se convierte a su valor correspondiente decimal en codificación ASCII y se envía de forma serial. Se usan sólo 7 de bits para representar cada carácter, un bit de inicio y se añade un bit de paridad antes del bit de parada. Como cada carácter puede tener hasta 10 bits, el byte completo podría comprender 20 bits. El bit de paridad se determina de acuerdo a los criterios de la tabla siguiente.

Cantidad de "1" en el paquete	Criterio de paridad elegido	Estado del bit de paridad
Impar (Odd)	Par (Even)	1
Impar	Impar	0
Par	Par	0
Par	Impar	1

A manera de ejemplo considere que la dirección de destino corresponde a la estación "27", este valor en hexadecimal de dos posiciones es 0x1B y en binario 00011011. Para una codificación RTU y teniendo en cuenta que el número de unos es par (cuatro unos) y con criterio de paridad elegido impar, el estado del bit de paridad será "1".



En la codificación Modbus ASCII se tienen dos caracteres "1" y "B". El valor decimal del carácter "1" en ASCII es 31 que en binario de 7 posiciones es 0011111, el valor decimal del segundo carácter "B" es 42 y binario 0101010



3.1. Unidad de datos del protocolo (PDU)

La trama del mensaje de datos o unidad de datos del protocolo denominada PDU (Protocol Data Unit) contiene las instrucciones fundamentales para que un dispositivo realice una determinada función, es por lo tanto la base esencial de lo que se transmite. Tiene una longitud de n bytes (hasta un máximo de 253 bytes) independiente del equipo o del fabricante. El primer byte de la trama PDU identifica el código de función o acción que debe realizar el esclavo y los demás bytes ($n-1$) la información necesaria para poder completar cada acción dependiendo de cada código. Los códigos de función o acciones más representativas se listan en la tabla siguiente.

TIPO	OBJETO	FUNCIÓN	CODIGO	HEX
Acceso a Bit	Entradas físicas discretas	Leer Entradas Discretas	2	02
		Leer Bobina (Coil)	1	01
	Bits internos o bobinas	Leer Registros de Entrada (Word)	04	04
		Escribir a Bobina Individual	05	05
		Escribir a Múltiples Bobinas	15	0F
Acceso a palabra (Word)	Registros de entrada	Leer Registros de Entrada	04	04
palabra (Word)	Registros internos	Leer Múltiples Registros	03	03
		Escribir a Registro Individual	06	6
		Escribir a Múltiples Registros	16	10
		Leer/Escribir Múltiples Registros	23	17

La acción de leer o escribir es realizada accediendo a un bit (Bobina- Coil) o de Word (Register) del equipo destino. Dado que cada fabricante puede tener espacios de memoria diferentes, el protocolo exige que a cada memoria se le asigne una dirección MODBUS y un valor decimal correspondiente para su codificación en la trama. Para este direccionamiento se hace uso de cuatro agrupamientos de memorias bajo el concepto de tablas de datos, de manera que se tenga una identificación precisa del espacio de memoria a intervenir.

DIRECCIÓN MODBUS	VALOR DECIMAL EN LA TRAMA	OBJETO
1 – 9999	0000 – 9998	Output Coils (Lectura/escritura)
10001 - 19999	0000 – 9998	Inputs Contact (Lectura)
30000 - 39999	0000 – 9998	Inputs Registers (Lectura)
40001 - 49999	0000 – 9998	Holding Registers (Lectura/Escritura)

Es importante resaltar que la dirección Modbus asignada es siempre una unidad mayor que el valor correspondiente decimal que se insertará en la trama. Por otro lado, la cantidad de direcciones y funciones Modbus utilizadas está dada por las capacidades del equipo y el grado de acogimiento del fabricante del equipo al protocolo.

A manera de ejemplo considere que mediante comunicación serial y protocolo Modbus, desea cambiarse en un PLC (Controlador lógico programable) el estado de una bobina interna (bit de lectura/escritura) cuya dirección Modbus asignada por el fabricante es cuatro”4”. Los valores posibles para el cambio de valor de la bobina son “0” o “1”.

De acuerdo con la tabla, el código de función para escribir a una bobina individual es "5". De la tabla anterior, el valor decimal a codificar en la trama será "3" que corresponde al valor de dirección Modbus "4" menos uno.

4. PLC (Controlador Lógico Programable)

Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC – Programable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como pueden ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos.

También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal. Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real.

Los PLC son utilizados donde se requieran tanto controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez.

4.1. Campos de aplicación

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo, para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización. Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales o control de instalaciones, entre otras.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hace que su eficacia se aprecie principalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

4.2. Estructura

La estructura básica de un PLC está compuesta por:

- La CPU.
- Las interfaces de entradas.
- Las interfaces de salidas.

Esta estructura se puede observar en la figura siguiente:

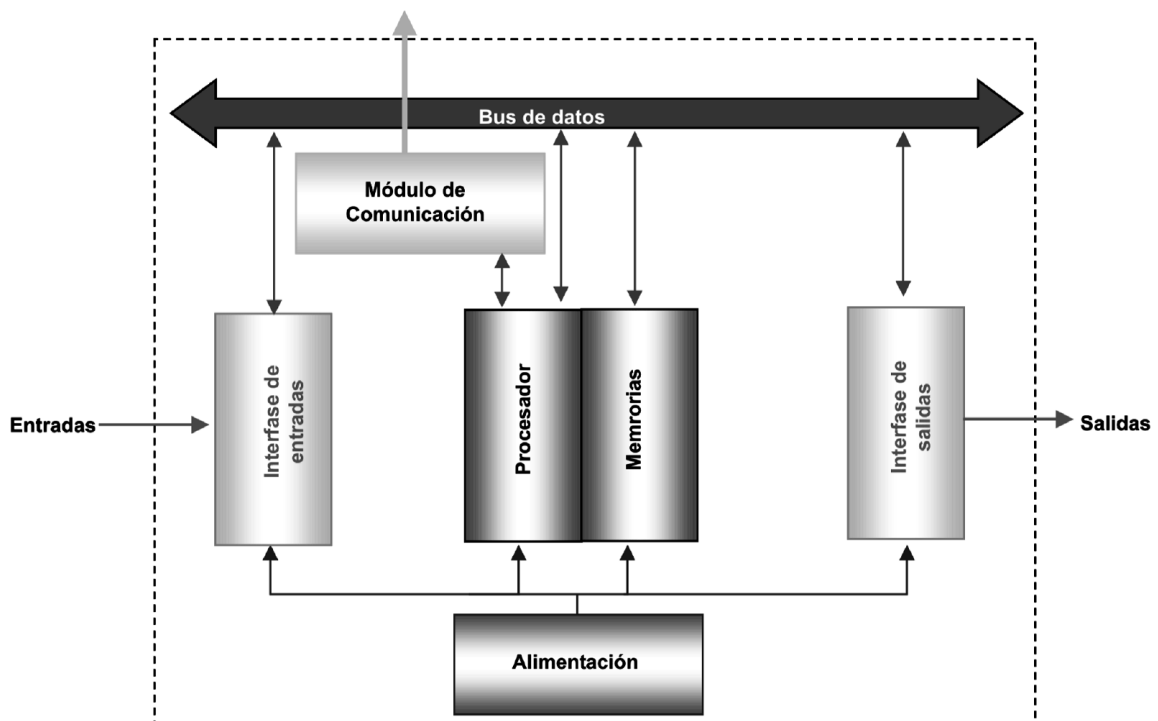


Ilustración 32 Estructura interna PLC

4.3. Definición y descripción de los componentes de la estructura básica de un PLC

Procesador: es el “cerebro” del PLC, el responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario.

Tareas Principales

- Ejecutar el programa realizado por el usuario.
- Administración de la comunicación entre el dispositivo de programación y la memoria, y entre el microprocesador y los bornes de entrada/ salida.
- Ejecutar los programas de autodiagnósticos.

Para poder realizar todas estas tareas, el procesador necesita un programa escrito por el fabricante, llamado sistema operativo. Este programa no es accesible por el usuario y se encuentra grabado en una memoria que no pierde la información ante la ausencia de alimentación, es decir, en una memoria no volátil.

Memoria

Los PLC tienen que ser capaces de almacenar y retirar información, para ello cuentan con memorias. Las memorias son miles de cientos de localizaciones donde la información puede ser almacenada. Estas localizaciones están muy bien organizadas. En las memorias el PLC debe ser capaz de almacenar:

Datos del Proceso:

- Señales de entradas y salidas.
- Variables internas, de bit y de palabra.
- Datos alfanuméricos y constantes.

Datos de Control

- Instrucciones de usuario, programa.
- Configuración del autómata.

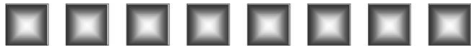
Tanto el sistema operativo como el programa de aplicación, las tablas o registros de entradas/ salidas y los registros de variables o bits internos están asociados a distintos tipos de memoria.

La capacidad de almacenamiento de una memoria suele cuantificarse en bits, bytes (grupo de 8 bits), o words (grupo de 16 bits)

Un bit es una posición de memoria que puede tomar valor “0” ó “1”:



Un byte son 8 posiciones de memoria agrupadas:



Una palabra o word son 16 posiciones de memoria agrupadas:



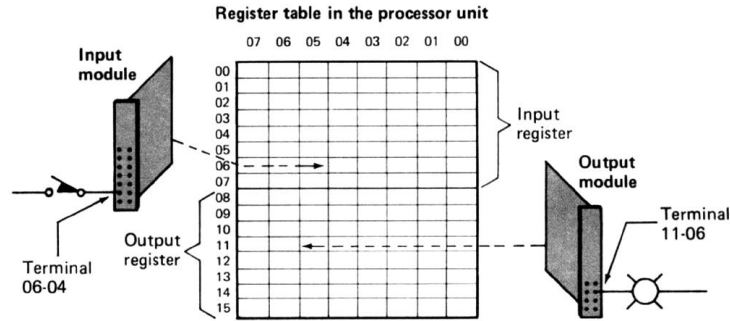
El sistema operativo viene grabado por el fabricante. Como debe permanecer inalterado y el usuario no debe tener acceso a él, se guarda en una memoria como las ROM (Read Only Memory), que son memorias cuyo contenido no se puede alterar inclusive con ausencia de alimentación.

4.4. Tipos de memoria

- La memoria de datos:

También llamada tabla de registros, se utiliza tanto para grabar datos necesarios a los fines de la ejecución del programa, como para almacenar datos durante su ejecución y/o retenerlos luego de haber terminado la aplicación. Este tipo de memorias contiene la información sobre el estado presente de los dispositivos de entrada y salida. Si un cambio ocurre en los dispositivos de entrada o salida, ese cambio será registrado inmediatamente en esta memoria.

En resumen, esta memoria es capaz de guardar información originada en el microprocesador incluyendo: tiempos, unidades de conteo y relés internos.



Los bornes de conexión de los PLC tienen la misma identificación que la dirección de los registros. Por ejemplo, los bornes de la entrada 001 están relacionados con el lugar de la memoria de datos que se encuentra en la palabra 00, bit 01. Como puede verse, esta codificación asigna a una única entrada o salida, una terminal y consecuentemente un dispositivo de entrada o salida.

- Memoria del usuario:

Es la memoria utilizada para guardar el programa. El programa construido por el usuario debe permanecer estable durante el funcionamiento del equipo, además debe ser fácil de leer, escribir o borrar. Por eso es que se usa para su almacenamiento memorias tipo RAM, o EEPROM. A estas memorias se la llama memoria del usuario o memoria de programa. En el caso de usar memorias tipo RAM será necesario también el uso de pilas, ya que este tipo de memoria se borra con la ausencia de alimentación. En el caso de usar memorias EEPROM la información no se pierde al quitar la alimentación.

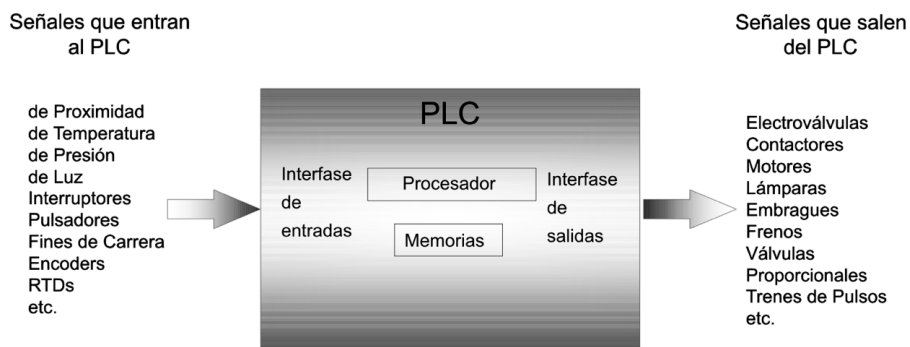


Ilustración 33 Entradas y salidas del PLC

4.5. Entradas y salidas

Dispositivos de entrada

Los dispositivos de entrada y salida son aquellos equipos que intercambian (o envían) señales con el PLC.

Cada dispositivo de entrada es utilizado para conocer una condición particular de su entorno, como temperatura, presión, posición, entre otras.

Entre estos dispositivos podemos encontrar:

- Sensores inductivos magnéticos, ópticos, pulsadores, termocuplas, termoresistencias, encoders, etc.

Generalmente los dispositivos de entrada, los de salida y el microprocesador trabajan en diferentes niveles de tensión y corriente. En este caso las señales que entran y salen del PLC deben ser acondicionadas a las tensiones y corrientes que maneja el microprocesador, para que éste las pueda reconocer. Ésta es la tarea de las interfaces o módulos de entrada o salida.

Las entradas se pueden clasificar en:

Entradas Digitales: también llamadas binarias u “on-off”, son las que pueden tomar sólo dos estados: encendido o apagado, estado lógico 1 ó 0. Los módulos de entradas digitales trabajan con señales de tensión. Cuando por un borne de entrada llega tensión, se interpreta como “1” y cuando llega cero la tensión se interpreta como “0”. Existen módulos o interfaces de entradas de corriente continua para tensiones de 5, 12, 24 ó 48 V cc y otros para tensión de 110 ó 220 V ca.

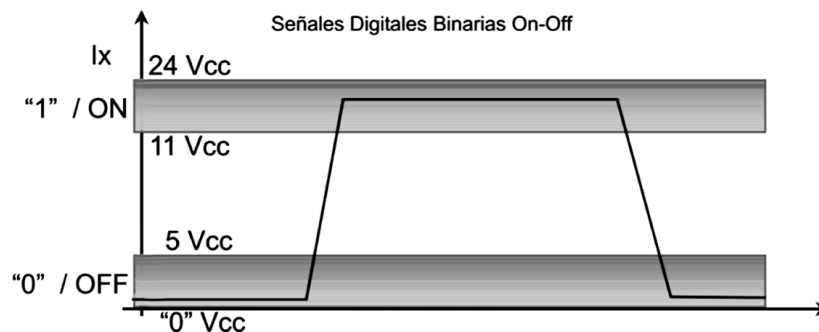


Ilustración 34 Señales digitales binarias

Entradas Analógicas: estos módulos o interfaces admiten como señal de entrada valores de tensión o corriente intermedios dentro de un rango, que puede ser de 4-20 mA, 0-5 VDC o 0-10 VDC, convirtiéndola en un número. Este número es guardado en una posición de la memoria del PLC.

Los módulos de entradas analógicas son los encargados de traducir una señal de tensión o corriente proveniente de un sensor de temperatura, velocidad, aceleración, presión, posición, o cualquier otra magnitud física que se quiera medir en un número para que el PLC la pueda interpretar. En particular es el conversor analógico digital (A/D) el encargado de realizar esta tarea.

Una entrada analógica con un conversor A/D de 8 bits podrá dividir el rango de la señal de entrada en 256 valores (28).

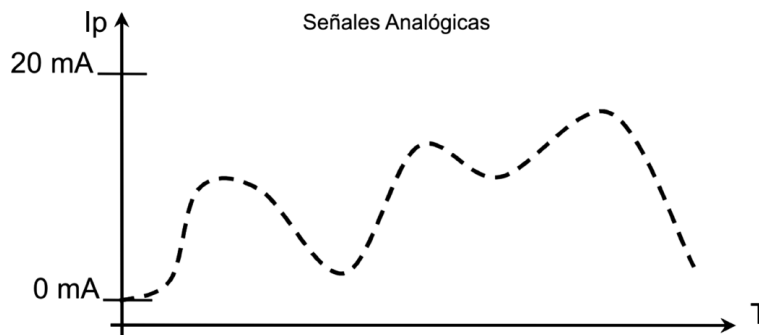


Ilustración 35 Señales analógicas

Los módulos de salida digital permiten al autómatas programable actuar sobre elementos que admitan órdenes de tipo prendido - apagado, todo o nada u “on - off”.

El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómatas, en el caso de módulos de salidas a relé.

Una señal es analógica cuando las magnitudes de la misma se representan mediante variables continuas, análogas (relación de semejanza entre cosas distintas) a las magnitudes que dan lugar a la generación de esta señal.

4.6. Alimentación

La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema.

La alimentación a la CPU frecuentemente es de 24 Vcc, o de 110/220 Vca. En cualquier caso es la propia CPU la que alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno.

La alimentación a los circuitos E/S puede realizarse, en alterna a 48/110/220 Vca o en continua a 12/24/48 Vcc.

5. Diseño mecánico.

5.1. Descripción

Se realiza un módulo didáctico para el laboratorio de mecatrónica (CDV), donde los estudiantes pueden poner en práctica sus conocimientos de programación y electricidad, adquiridos durante la carrera, el modulo se compone de un PLC, un variador de velocidad y un motor trifásico. El modulo cuenta con un arrancador para el motor donde tiene un start- stop, un contactor y un relé térmico, donde este protege al sistema de una sobrecarga del motor, el variador es utilizando para generarle una tercera fase al motor, y el PLC se utilizara para enviar en señal análoga al variador, mediante comunicación modbus, todo este conjunto de componentes controlara la velocidad del motor.

5.2. Montaje

El montaje eléctrico del se realizó en un cofre metálico, que internamente cuenta con un variador de velocidad, un PLC, un contactor y un relé térmico, con sus respectivas conexiones en canaleta, y riel omega, con sus cables de conexión recubiertos por un espiral, todo este montaje va sobre una mesa, que se deja en el laboratorio como parte del proyecto como se muestra en las siguientes imágenes.

5.3. Diseño eléctrico

El diseño eléctrico del módulo didáctico se realizó a través de las especificaciones de los componentes como se describe a continuación.

- Variador de velocidad



Ilustración 36 Inversor Yaskawa

Para este módulo didáctico se utilizó el Inversor de CA YASKAWA – V1000, donde su alimentación son 220 V monofásico, y su conexión fue la siguiente:

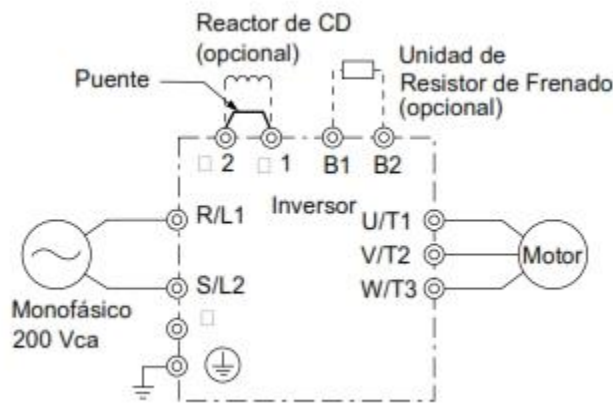


Ilustración 37 Diagrama Inversor Yaskawa V1000

En el diagrama se puede observar su entrada de alimentación monofásica 220 V, y su salida 220 V trifásica, con una fase generada por el variador.

5.4. Motor

El motor que se utilizó en el módulo es un motor asíncrono trifásico, con configuración delta y estrella, donde en este caso se conectó en estrella una configuración común con voltaje de 220V como se explica en el documento la potencia del motor es de 3 HP, frecuencia 60 Hz , 1680 revoluciones por minuto en la siguiente imagen se puede observar las especificaciones del motor..



Ilustración 38 Placa motor Trifásico

5.5. Arranque START – STOP

Se realiza arranque del motor trifásico con contactor de 25A – 220V, relé térmico de 13 a 15 A y pulsadores start-stop, este arrancador protege al variador de velocidad de una sobrecarga que se pueda producir en el sistema.

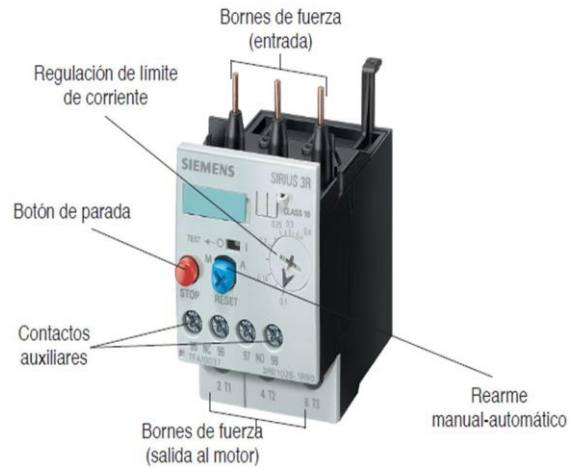


Ilustración 39 Contactores



Ilustración 40 Pulsadores Start- Stop

El diagrama de arranque se muestra a continuación.

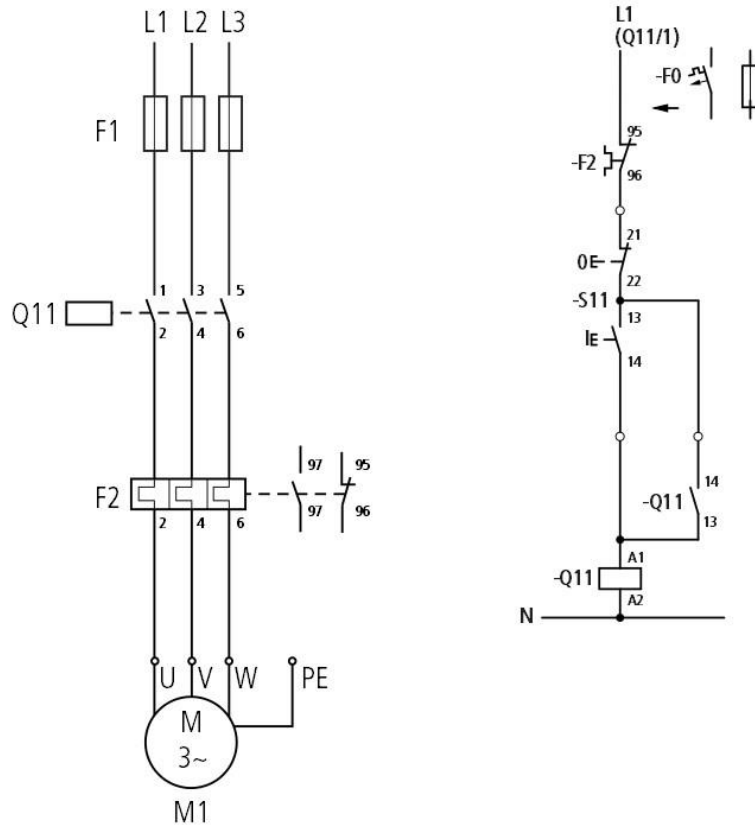


Ilustración 41 Diagrama Start- Stop

- PLC

El PLC se utilizara como interfaz entre el variador de velocidad y el sistema Scada, generando una señal análoga al variador para controlar la velocidad del motor, la comunicación entre el PLC y el variador se realizara a través de comunicación modbus, que se ha explicado en capítulos anteriores, el programa para configurar el PLC es el siguiente:

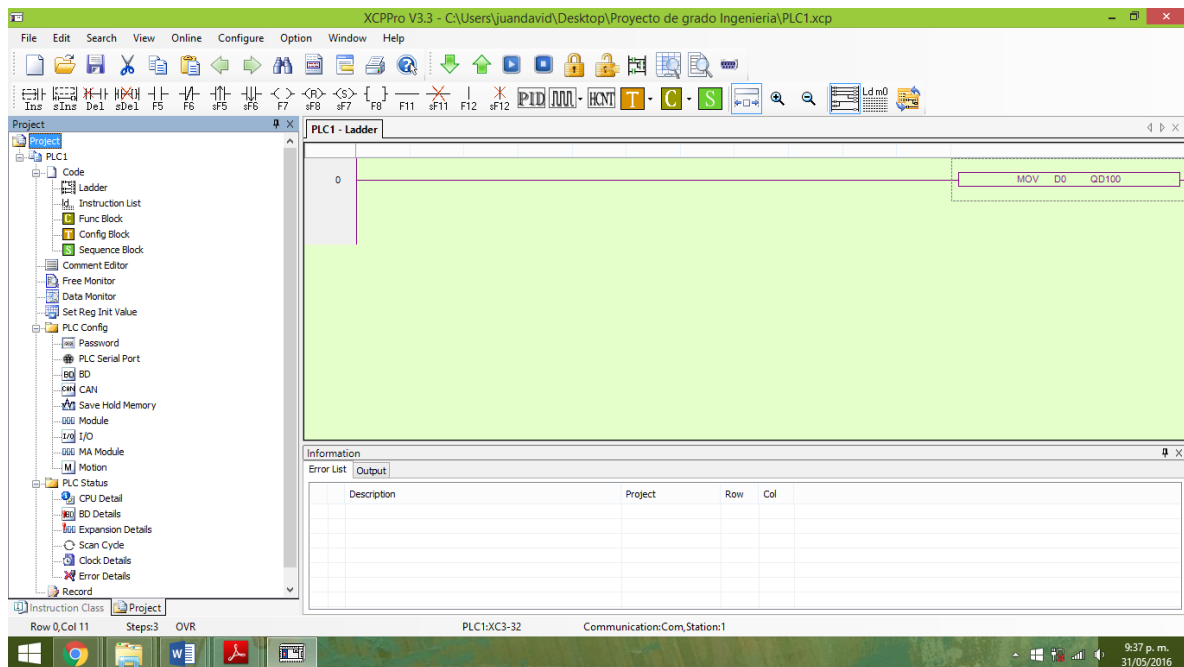


Ilustración 42 Programa para enviar una señal análoga al PLC

6. Evidencias

La práctica que se llevó a cabo en el cdv con los estudiantes de ingeniería mecatrónica de noveno semestre, se desarrolló con el módulo didáctico que se realizó en la descripción del proyecto, para que los estudiantes pongan en prueba sus conocimientos y adquirieran nuevos conceptos de los elementos utilizados en esta práctica.

La práctica que se realizo fue explicar el funcionamiento de cada uno de los elementos con los que se compone el modulo, arranque del motor (arranque directo y arranque con rampa de aceleración), programación del variador con frecuencia de salida, señales análogas de entrada al variador, por medio del PLC y una fuente de alimentación de 0 a 10 V, a continuación se muestra algunas fotografías de la práctica realizada.



Ilustración 43 Modulo de control de velocidad de un motor trifásico



Ilustración 44 PLC con el que se envía señal análoga al variador



Ilustración 45 Fuente de alimentación de 0 a 10 V dc



Ilustración 46 Practica 1.1



Ilustración 47 Practica 1.2



Ilustración 48 Practica 1.3



Ilustración 49 Practica 1.4



Ilustración 50 Practica 1.5