

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**“CONTROL AUTOMÁTICO DE VELOCIDAD DE UNA BANDA
TRANSPORTADORA MEDIANTE VARIADOR DE FRECUENCIA EN LA
FABRICA CEMENTOS SUR S.A.”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

RAMOS RUIZ, JERRY LOIS

Villa El Salvador

2017

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mis padres, que con sus consejos han hecho posible que pueda desarrollarme y culminar con éxito mis estudios profesionales.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres y mis maestros de la UNTELS por sus sabios consejos y aliento incondicional para obtener mi título profesional.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	09
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	11
1.2. Justificación del Proyecto.....	12
1.3. Delimitación del Proyecto.....	12
1.4. Formulación del Problema.....	12
1.5. Objetivos.....	13
1.5.1. Objetivo General.....	13
1.5.2. Objetivos Específicos.....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	14
2.2 Bases Teóricas.....	17
2.3 Marco Conceptual.....	65
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO	
3.1 Descripción del Proceso Automatizado	70
3.2 Desarrollo del Automatismo	72
3.3 Resultados obtenidos en la simulación de la Programación	81
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXO	89

LISTADO DE FIGURAS

- Figura N° 01: Partes fundamentales de un motor Asíncrono
- Figura N° 02: Ley de Faraday
- Figura N° 03: Expresión de la velocidad de giro
- Figura N° 04: Campo magnético giratorio creado por una corriente alterna trifásica
- Figura N° 05: Expresión del deslizamiento absoluto
- Figura N° 06: Expresión del deslizamiento relativo
- Figura N° 07: Motor de rotor de jaula de ardilla
- Figura N° 08: Partes del motor de rotor de jaula de ardilla
- Figura N° 09: Motor de rotor de anillos rozantes
- Figura N° 10: Partes del motor de rotor de anillos rozantes
- Figura N° 11: Denominaciones de los terminales obsoleta – Actual
- Figura N° 12: Conexión en estrella
- Figura N° 13: Conexión en triángulo
- Figura N° 14: Sentido de giro de un motor en las fases de alimentación
- Figura N° 15: Relación entre las corrientes de arranque y los momentos en un sistema estrella-Triángulo
- Figura N° 16: Circuito de potencia estrella-Triángulo
- Figura N° 17: Circuito de mando estrella-Triángulo
- Figura N° 18: Curvas de corriente y par de arranque de un motor de anillos rozantes
- Figura N° 19: Diagrama del arranque por un transformador
- Figura N° 20: Expresión de la velocidad de rotor de un motor Asíncrono

- Figura N° 21: Esquema de base de un convertidor de frecuencia
- Figura N° 22: Curva de par/velocidad con convertidor de frecuencia
- Figura N° 23: Efecto de campo giratorio sobre una espira en cortocircuito
- Figura N° 24: Variador de frecuencia Schneider Electric
- Figura N° 25: Diagrama de bloques del variador de frecuencia
- Figura N° 26: Esquema de la conexión al motor
- Figura N° 27: Rectificador trifásico de media onda
- Figura N° 28: Rectificador trifásico de onda completa
- Figura N° 29: Curvas de par-velocidad de un motor asíncrono alimentado a flujo constante
- Figura N° 30: Gráfica de control V/f
- Figura N° 31: Control de procesos
- Figura N° 32: Ciclo de trabajo de la CPU
- Figura N° 33: PLC NANO
- Figura N° 34: PLC Compacto
- Figura N° 35: Secciones del proceso productivo del cemento
- Figura N° 36: Esquema general de conexión del Controlador – Variador y Motor
- Figura N° 37: Elementos de señalización a considerar en el desarrollo del automatismo
- Figura N° 38: Circuito de mando eléctrico
- Figura N° 39: Circuito de mando eléctrico – Accionamiento del primer nivel de velocidad
- Figura N° 40: Circuito de mando eléctrico – Accionamiento del segundo nivel de velocidad

- Figura N° 41: Circuito de mando eléctrico – Accionamiento del tercer nivel de velocidad
- Figura N° 42: Circuito de mando eléctrico – Accionamiento del tercer nivel
- Figura N° 43: Programación del Network 1
- Figura N° 44: Programación del Network 2
- Figura N° 45: Programación del Network 3
- Figura N° 46: Programación del Network 4
- Figura N° 47: Simulación del arranque del motor que accionará la banda transportadora
- Figura N° 48: Simulación de la activación del primer nivel de velocidad de la banda transportadora
- Figura N° 49: Simulación de la activación del segundo nivel de velocidad de la banda transportadora
- Figura N° 50: Simulación de la activación del tercer nivel de velocidad de la banda transportadora

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 01: Direccionamiento de entradas

Tabla N° 02: Direccionamiento de salidas

Tabla N° 03: Relación de e/s del variador con e/s del PLC

Tabla N° 04: Configuración de parámetros del variador de frecuencia

INTRODUCCIÓN

Los motores son ampliamente utilizados en la industria moderna, especialmente los motores eléctricos, debido a sus buenas características de rendimiento y a su baja contaminación, un aspecto que se tiene muy en cuenta en nuestros días.

Además estos motores suelen trabajar a velocidades variables para obtener la máxima productividad en cada momento, así como un importante ahorro energético. Por lo tanto es necesario un control riguroso de la velocidad para este tipo de máquinas, entre las que cabe destacar cintas transportadoras, bombas, ventiladores, ascensores.

La automatización juega un papel importante dentro de los procesos de una planta que se encargan de fabricar cemento. La forma como se realiza este producto exige cada vez de controles óptimos para obtener resultados acordes a las necesidades del cliente.

Lo cual implica tener el control de cada una de las etapas o fases que hacen parte de la elaboración del cemento, en ese sentido por medio de la automatización, se logra que se presente menos errores en la calidad del producto final.

Para realizar este control usamos el variador de frecuencia (también llamado variador de velocidad o inversor), un equipo totalmente extendido en nuestra industria. Podemos hacer uso de un PLC que trabaje con el variador de

frecuencia o actuar directamente con él. En el mercado disponemos de muchos fabricantes y modelos para poder adaptar nuestro variador de frecuencia a las exigencias de la aplicación.

En este proyecto de Ingeniería, se aborda la descripción del Control Automático de velocidad de una Banda transportadora mediante variador de frecuencia en la fábrica Cementos Sur S.A, para lo cual he desarrollado 3 capítulos, que a continuación detallo.

En el Capítulo I, describo el Planteamiento del Problema, que está relacionado con la carencia de mecanismos que permitan el control de velocidad de la banda transportadora, la cual no garantiza precisión en la dosificación del insumo para la elaboración del cemento.

En el Capítulo II, describo el marco teórico sobre la cual se apoya este proyecto de ingeniería, en el cual se resalta las características de los controladores lógicos programables y su relación con los variadores de frecuencia en el propósito de controlar la velocidad de un variador de frecuencia.

Finalmente en el Capítulo III, describo los mecanismos que permiten conseguir el control de velocidad de la banda transportadora en el proceso de fabricación de cemento, que consiste en identificar los sensores y actuadores del proceso, para establecer una relación con las entradas y salidas del PLC. Luego se procederá a realizar la programación del PLC, que en la simulación del automatismo nos permitirá establecer si se logra el control de velocidad.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Actualmente la Fábrica Cementos Sur S.A realiza en su etapa de sección de molino crudo, el traslado mediante banda transportadora de la piedra caliza triturada en una sola velocidad, mediante un arranque en directa, de tal forma que no permite alcanzar una precisión en la dosificación del insumo, de tal manera que un operario es el encargado de establecer el arranque y parada de la banda transportadora.

Podemos establecer entonces que al ser un proceso casi manual, el operario es el encargado de garantizar la precisión de la cantidad de piedra caliza y del tiempo de accionamiento de la banda transportadora, que variara de acuerdo a la habilidad del operario que esté a cargo de esta fase, lo cual hace que, en muchos casos, no siempre se obtengan los resultados requeridos, arrojando poca exactitud en las características del proceso.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se justifica en que a partir del Control Automático de velocidad de la Banda transportadora mediante variador de frecuencia de la fábrica Cementos Sur S.A, se conseguirá gradualmente modificar la velocidad de traslado de la piedra caliza, garantizando la precisión en la dosificación de la mezcla.

Este automatismo, basado en el enfoque de la lógica programada, mejorará la productividad del proceso, reduciendo pérdidas por falta de precisión, beneficiando al trabajador, garantizando su seguridad, aumentando la eficiencia operativa y supervisión del proceso.

1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1 ESPACIAL

El proyecto se desarrollará en la Empresa Cementos Sur S.A, ubicado en la carretera Juliaca-Puno, Hacienda Yungura-Caracoto - San Román- Puno.

1.3.2 TEMPORAL

El proyecto de ingeniería se desarrolló durante el mes de octubre de 2016.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la realidad problemática se establece que el problema principal está relacionado con el tipo de arranque del motor que establece el

accionamiento de la banda transportadora de tal forma que no permite alcanzar una precisión en la dosificación del insumo, ya que actualmente un operario es el encargado de establecer el arranque y parada de la banda transportadora.

Por lo tanto la reformulación del problema será:

¿Cómo arrancar automáticamente el motor de la banda transportadora mediante variador de frecuencia, en la Fabrica Cementos Sur S.A?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Controlar automáticamente la velocidad de una banda transportadora mediante variador de frecuencia, en la fábrica Cementos Sur S.A.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los elementos de entrada y salida del proceso y establecer un mecanismo de conexión entre la banda transportadora, el variador de frecuencia y el controlador Lógico Programable, con la finalidad de establecer el control de velocidad de la banda transportadora en la fábrica de Cementos Sur S.A.
- Realizar la programación del controlador lógico programable y determinar mediante la simulación si se logra establecer el control automático de velocidad de la banda transportadora, mediante variador de frecuencia, en la fábrica de Cementos Sur S.A.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Carrasco (2011), en su tesis titulada “Implementación de un módulo de laboratorio para el control y monitoreo de un motor asíncrono jaula de ardilla mediante un variador de frecuencia, un PLC y SOFTWARE”, para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de Riobamba, concluye que: “Se demostró con el módulo del variador de frecuencia una manera sencilla, un rango amplio de aplicaciones, como es las acciones de arranque, frenado inversión de giro, regulación de la frecuencia y monitoreo. El modular con variador de frecuencia es el método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico. Mediante la automatización se ha podido controlar y monitorear los diferentes elementos que conforman el módulo de

laboratorio los cuales tienen diversas funciones y aplicaciones en el campo industrial”.¹

Cárdenas (2007), en su tesis titulada “Control de velocidad de motores trifásicos conectados en cascada utilizando el PLC Siemens Simatic S7-200, CPU 222” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad de Magallanes, concluye que: “La implementación del sistema con el nuevo PLC da a conocer las características y herramientas que éste posee. En cuanto a la corriente de los motores, se pudo apreciar que a distintos regímenes de velocidad estas se mantenían prácticamente constantes y bajo el nivel de corriente nominal de cada motor, esto se debió a que los motores no tienen carga mecánica acoplada”.²

Sánchez (2015), en su tesis titulada “Control de prensado mediante variador de frecuencia controlado por PLC” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad de Valladolid, concluye que: “Con la realización de este proyecto he podido conocer de primera mano la importancia real que tienen para los procesos industriales elementos como los PLC y la programación del PLC para aplicaciones

¹CARRASCO, L. (2011). Implementación de un módulo de laboratorio para el control y monitoreo de un motor asíncrono jaula de ardilla mediante un variador de frecuencia, un PLC y SOFTWARE. (Tesis de Pre Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

²CARDENAS, R. (2012). Control de velocidad de motores trifásicos conectados en cascada utilizando el PLC Siemens Simatic S7-200, CPU 222. (Tesis de Pre Grado). Universidad de Magallanes. Chile.

reales. También he podido manejar y programar un variador de frecuencia y su importancia en el ahorro de energía”.³

Martínez (2003), en su libro titulado “Instalaciones Eléctricas de alumbrado e Industriales”, señala que: “Los motores asíncronos trifásicos pueden construirse para más de una velocidad, bien sea realizándolos con varios bobinados de distinto número de polos, o bien con un solo bobinado, pero construido de tal forma que pueda conectarse exteriormente con diferente número de polos. Por tal motivo, algunos tipos de motores asíncronos trifásicos de varias velocidades se denominan también motores de polos conmutables”.⁴

Roldan (2014), en su libro titulado “Motorización de máquinas y vehículos” señala que: “Mediante los variadores electrónicos de frecuencia los motores trifásicos con rotor en cortocircuito pueden proporcionar velocidad variable. Esta posibilidad para los motores trifásicos con casi nulo mantenimiento, ha hecho muy competitivo a este tipo de motores respecto a sus competidores. Los motores trifásicos asíncronos, más utilizados admiten variar su velocidad mediante los cuales se varían los valores de la frecuencia, la tensión y la intensidad de alimentación al motor”.⁵

³SANCHEZ, M. (2015). Control de prensado mediante variador de frecuencia controlado por PLC. (Tesis de Pre Grado). Universidad de Valladolid. España.

⁴MARTINEZ, F. (2003). Instalaciones Eléctricas de alumbrado e Industriales. Madrid, España: PARANINFO

⁵ROLDAN, J. (2014). Motorización de máquinas y vehículos. Madrid, España: PARANINFO

Roldan (2011), en su libro titulado “Automatismos Industriales” señala que: “Las ventajas de la automatización resultan imprescindibles en máquinas, instalaciones o procesos que animan o controlan, como son entre los siguientes: asegurar el funcionamiento y repetitividad de las maniobras y operaciones, facilitar y simplificar el manejo, reducir el número de averías, mejorar el nivel de seguridad para el usuario, automatizar procesos complicados pero que tienen una interrelación, controlar instalaciones y procesos de fabricación, reducir costos, facilitar la gestión y planificación de la producción y facilitar la reparación de averías”.⁶

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 MÁQUINAS ASÍNCRONAS DE INDUCCIÓN

Como toda máquina eléctrica, los motores asíncronos constan de dos partes fundamentales y distintas:

El estator

Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras. Los bobinados de sección apropiada están dispuestos en dichas ranuras formando las bobinas que se dispondrán en tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conectará la máquina.

⁶ROLDAN, J. (2011). Automatismos Industriales. Madrid, España: PARANINFO

✚ El rotor

Es la parte móvil del motor. Está situado en el interior del estator y consiste en un núcleo de chapas de acero al silicio apiladas que forman un cilindro, en el interior del cual se dispone un bobinado eléctrico.

Los tipos más utilizados son:

- Rotor de jaula de ardilla
- Rotor bobinado.

A este tipo de motores se les denomina motores de inducción debido a que su funcionamiento se basa en la interacción de campos magnéticos producidos por corrientes eléctricas.

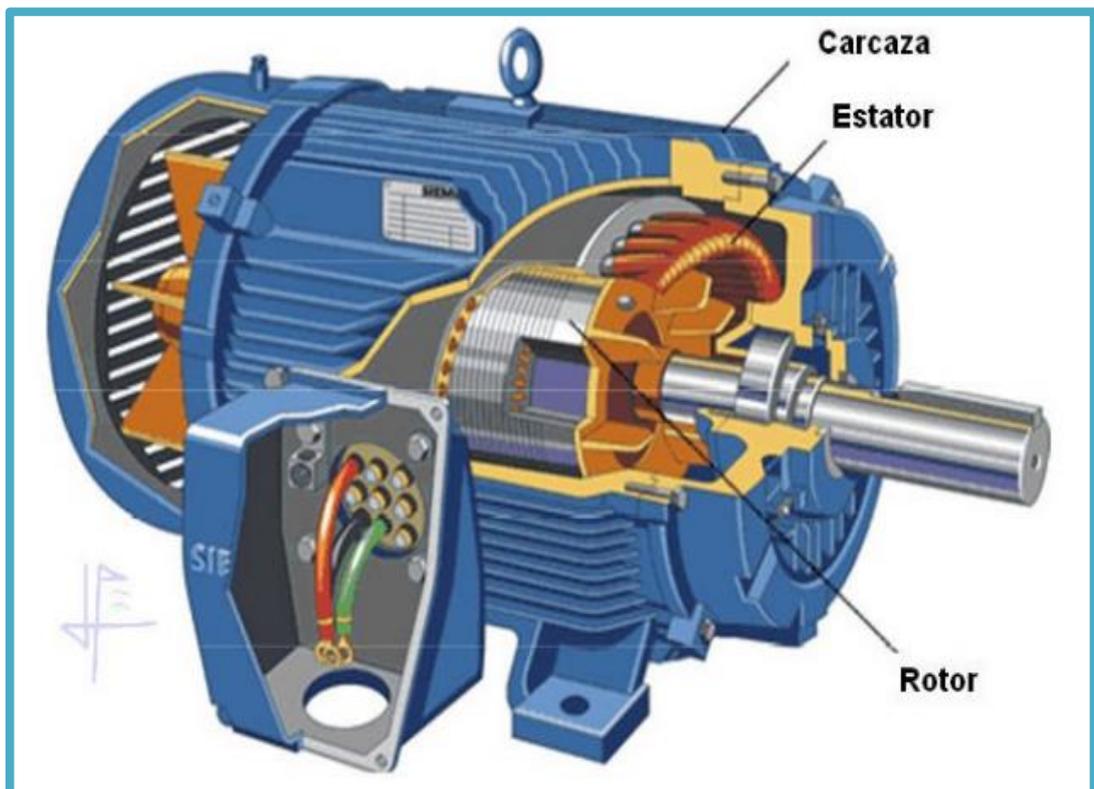


FIGURA Nº 01: PARTES FUNDAMENTALES DE UN MOTOR ASÍNCRONO

Las corrientes que circulan por el rotor son producidas por el fenómeno de inducción electromagnética, conocido comúnmente como ley de Faraday, que establece que si una espira es atravesada por un campo magnético variable en el tiempo se establece entre sus extremos una diferencia de potencial dado por la expresión:

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

FIGURA Nº 02: LEY DE FARADAY

Donde:

e = Diferencia de potencial inducida en la espira en voltios

Φ = Flujo que corta a la espira en Weber

t = Tiempo en segundos

El signo menos de la ecuación es una expresión de la ley de Lenz. Esta establece que la polaridad del voltaje inducido en la bobina es tal que si sus extremos se pusieran en cortocircuito, produciría una corriente que causaría un flujo para oponerse al cambio de flujo original. Puesto que el voltaje inducido se opone al cambio que lo causa, se incluye el signo menos en la ecuación. Si se distribuye espacialmente alrededor del estator de un motor los bobinados de un sistema de tensiones trifásicos decaladas 120° se genera un campo magnético giratorio (ya estudiado en el primer trimestre). La

velocidad de giro de este campo magnético, denominada velocidad de sincronismo, viene dada por la expresión:

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

FIGURA Nº 03: EXPRESIÓN DE LA VELOCIDAD DE GIRO

Donde:

n = Velocidad de giro del campo magnético en r.p.m

f = Frecuencia de la corriente eléctrica de alimentación de la máquina

p = Número de pares de polos magnéticos establecidos en el bobinado del estator

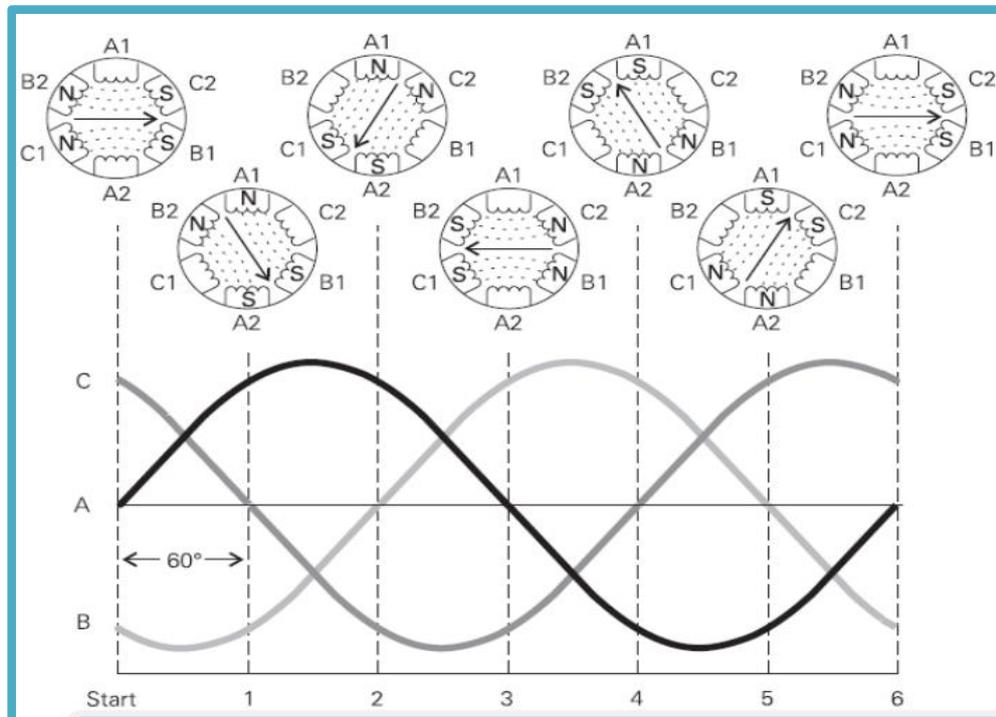


FIGURA Nº 04: CAMPO MAGNÉTICO GIRATORIO CREADO POR UNA CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA

En los motores eléctricos, la velocidad de giro del rotor es ligeramente inferior a la velocidad de giro del campo magnético del estator, debido a la fricción del rotor en los cojinetes, rozamiento con el aire y a la carga acoplada al eje del rotor, por tal motivo se les conoce a estos motores con el nombre de motores asíncronos.

Tal y como se acaba de indicar, la velocidad de giro del rotor es ligeramente inferior a la velocidad de sincronismo, a ésta diferencia se le da el nombre de deslizamiento que se expresa generalmente en tanto por ciento, referido a la velocidad de sincronismo. Se designa por la letra “s”, y viene dado por la expresión:

$$s = n1 - n2$$

FIGURA Nº 05: EXPRESIÓN DEL DESLIZAMIENTO ABSOLUTO

$$s\% = \frac{n1 - n2}{n1} * 100$$

FIGURA Nº 06: EXPRESIÓN DEL DESLIZAMIENTO RELATIVO

Donde:

s = deslizamiento

n1= velocidad de sincronismo

n2= velocidad de giro del rotor

La frecuencia a que están sometidos los conductores del rotor es $f_r = s \cdot f$; (f =frecuencia en Hz de la red eléctrica de alimentación al motor)

a) Motores de Rotor de Jaula de Ardilla

El motor de rotor de jaula de ardilla, también llamado de rotor en cortocircuito, es el más sencillo y el más utilizado actualmente. En núcleo del rotor está construido de chapas estampadas de acero al silicio en el interior de las cuales se disponen unas barras, generalmente de aluminio moldeado a presión. Este motor es de gran utilidad en variadores de velocidad.

El material, un acero bajo en carbono pero alto en silicio (llamado por ello acero al silicio), con varias veces la resistencia del hierro puro, en la reductora adicional. El contenido bajo de carbono le hace un material magnético suave con pérdida bajas por histéresis. El mismo diseño básico se utiliza para los motores monofásicos y trifásicos sobre una amplia gama de tamaños. Los rotores para trifásica tienen

variaciones en la profundidad y la forma de las barras para satisfacer los requerimientos del diseño. Las barras del devanado van conectadas a unos anillos conductores denominados anillos extremos. El bobinado así dispuesto tiene forma de jaula de ardilla.

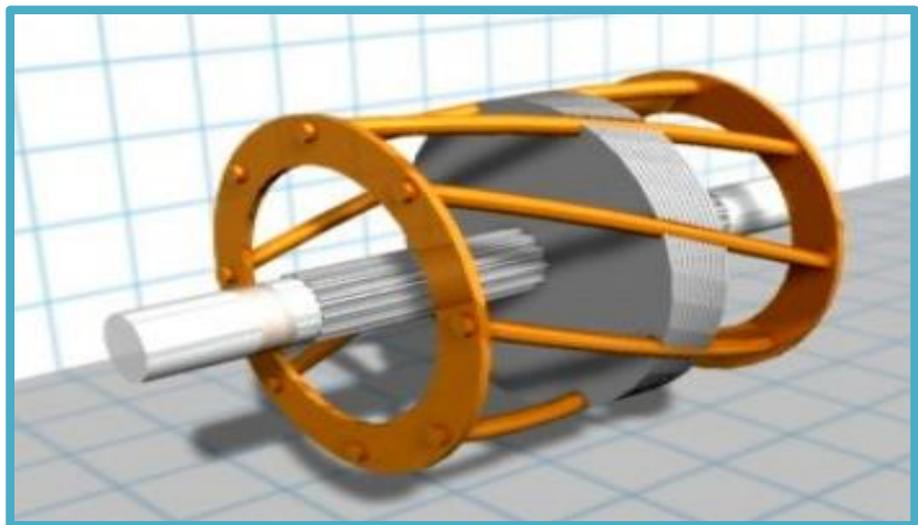


FIGURA Nº 07: MOTOR DE ROTOR DE JAULA DE ARDILLA

Las ranuras del rotor y suelen hacerse oblicuas respecto al eje para evitar así puntos muertos en la inducción electromagnética. Un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla es que en el arranque absorbe una corriente muy intensa (de 4 a 7 veces la nominal o asignada), y lo hace además con un bajo factor de potencia, y a pesar de ello, el par de arranque suele ser bajo. La baja resistencia del rotor hace que los motores de jaula de ardilla tengan excelentes características para marchas a velocidad constante.

Hasta hace unos cuantos años (década de los 90), un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla era que su velocidad no era regulable, pero actualmente con los variadores de velocidad electrónicos se puede conseguir un control perfecto de la práctica totalidad de parámetros del motor, entre los que destacan el par, la corriente absorbida y la velocidad de giro.

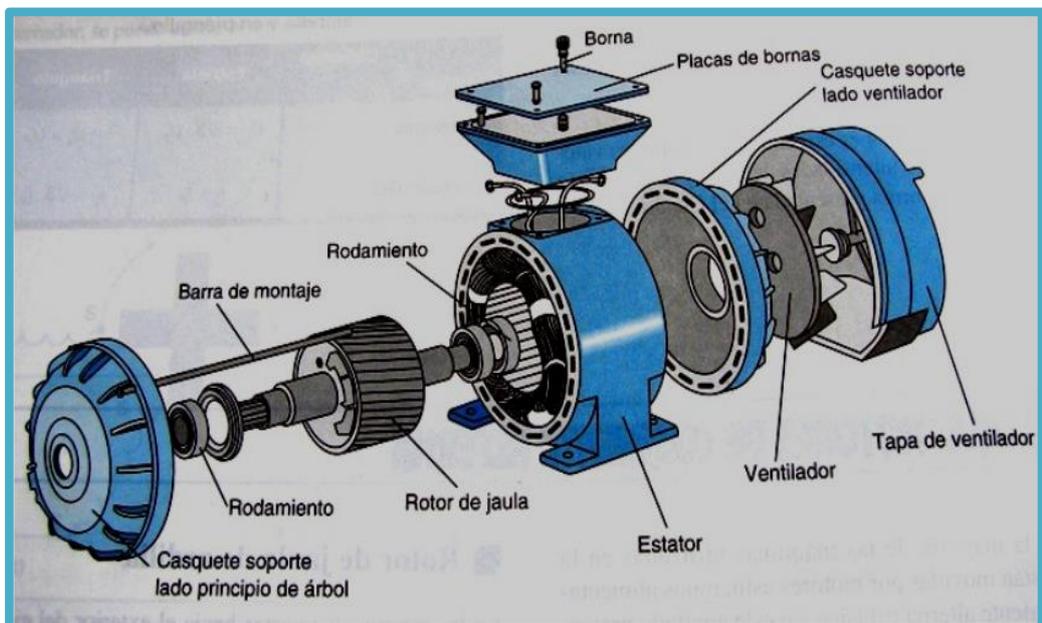


FIGURA Nº 08: PARTES DEL MOTOR DE ROTOR DE JAULA DE ARDILLA

b) Motores de Rotor de Anillos Rozantes

Son motores asíncronos con un devanado trifásico de cobre dispuesto en las ranuras de rotor, que va conectado a tres anillos metálicos por uno de sus extremos, en tanto que, por el otro lado se conectan en estrella. De este modo se puede controlar desde el exterior la resistencia total del circuito rotórico, facilitando un control de la velocidad y corriente de

arranque con un elevado par de arranque y un mejor factor de potencia que con el rotor en jaula de ardilla.

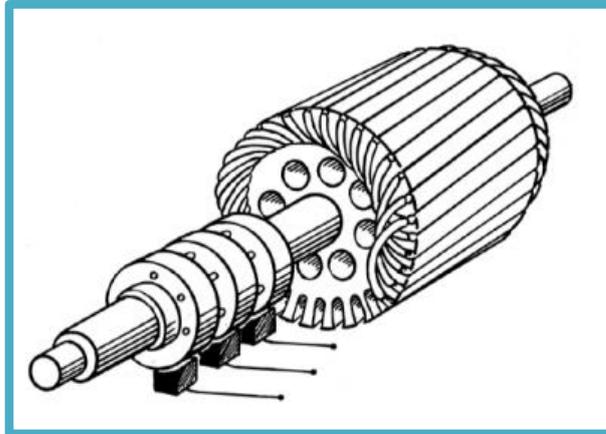


FIGURA Nº 09: MOTOR DE ROTOR DE ANILLOS ROZANTES

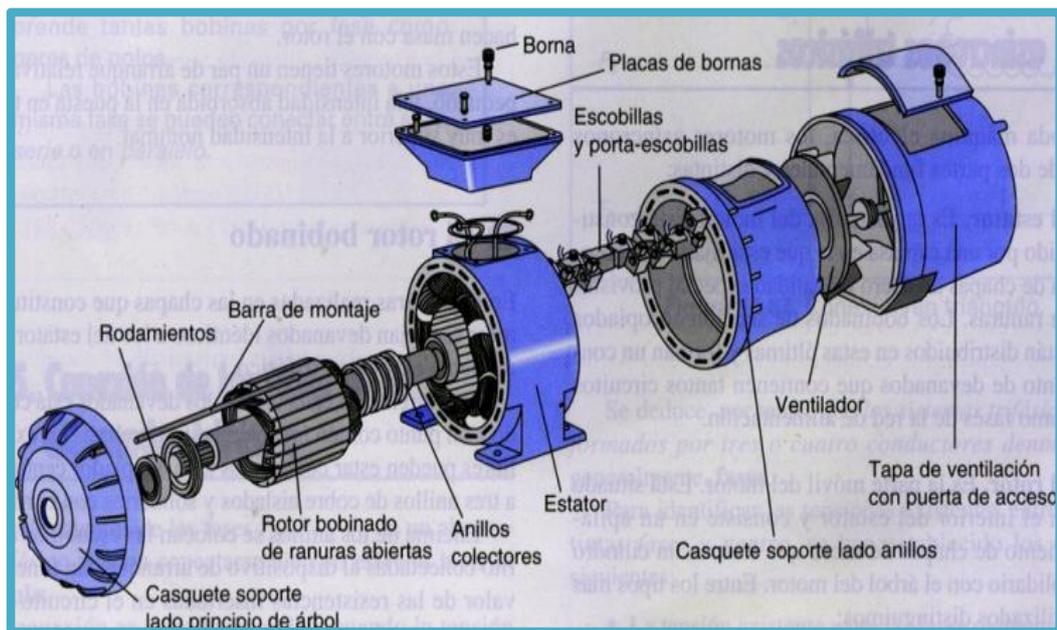


FIGURA Nº 10: PARTES DEL MOTOR DE ROTOR DE ANILLOS ROZANTES

2.2.1.1 CONEXIÓN DE LOS BOBINADOS DE UN MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO

El estator de un motor trifásico suele bobinarse con tres devanados distintos que se corresponden con cada una

de las fases a las que habrá de conectarse en la red eléctrica.

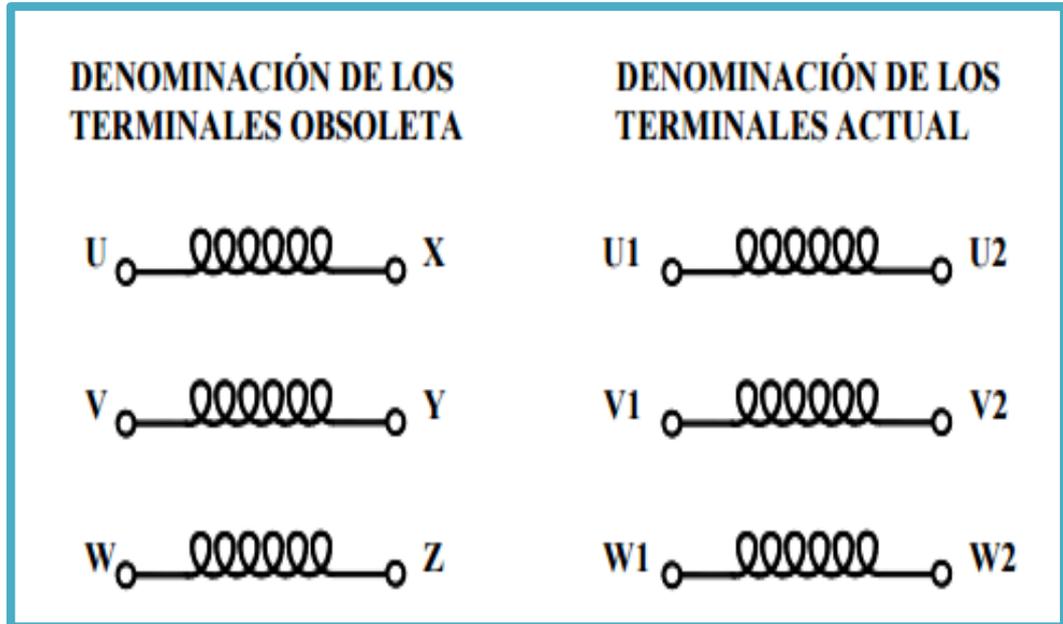


FIGURA Nº 11: DENOMINACIONES DE LOS TERMINALES OBSOLETA – ACTUAL

Según la forma de conectar las bobinas se pueden obtener dos conexiones:

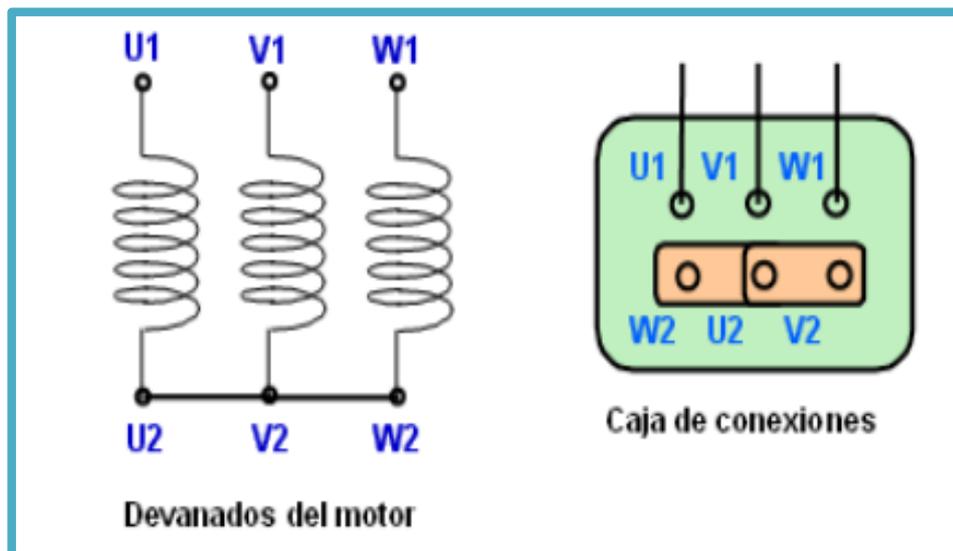


FIGURA Nº 12: CONEXIÓN EN ESTRELLA

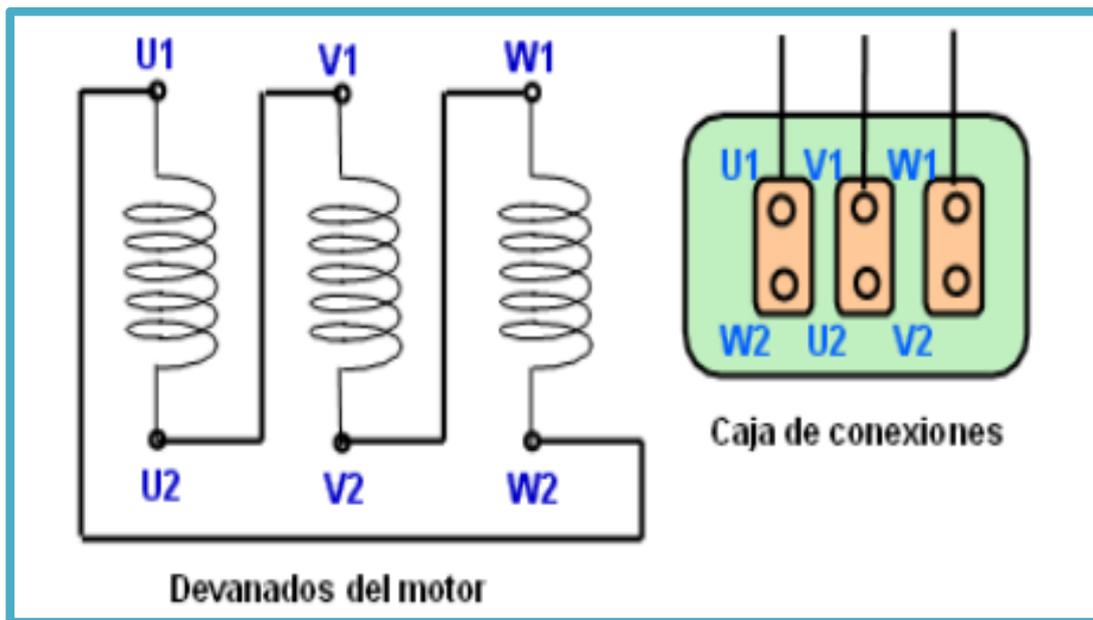


FIGURA Nº 13: CONEXIÓN EN TRIÁNGULO

La placa de características de un motor trifásico da el valor máximo de la tensión a que se puede conectar el motor a la red eléctrica. Un motor conectado en estrella soporta la tensión más alta que indica la placa, en tanto que en triángulo la tensión máxima a que se puede conectar es la más baja indicada en dicha placa de características.

Con las corrientes absorbidas ocurre justo lo contrario, correspondiendo la corriente más alta a la conexión triángulo. Para cambiar el sentido de giro de un motor basta con intercambiar dos de las fases de alimentación.

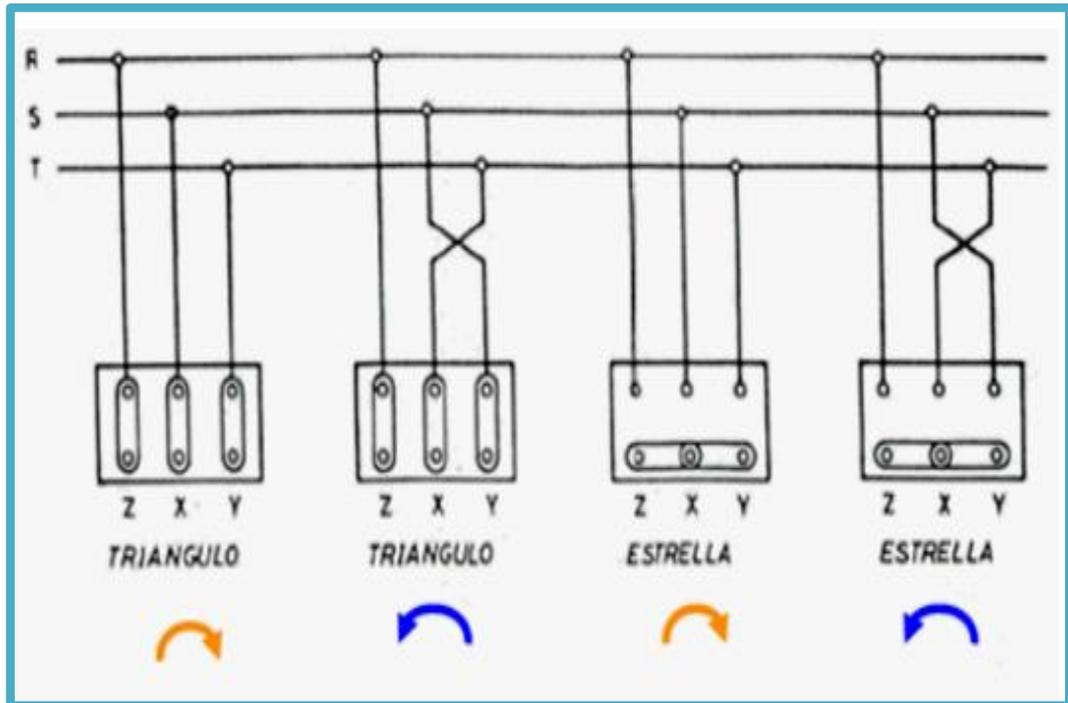


FIGURA N° 14: SENTIDO DE GIRO DE UN MOTOR EN LAS FASES DE ALIMENTACIÓN

2.2.1.2 SISTEMAS DE ARRANQUE DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS

a) Motor Trifásico en Arranque Directo

Como se ha comentado anteriormente, los motores de cortocircuito suelen consumir en el arranque corriente muy elevadas, que para el caso de potencias elevadas ($P > 10 \text{ kW}$) pueden provocar fluctuaciones en la redes eléctricas de distribución, de ahí que para el arranque de motores se utilizan distintos procedimientos para limitar la corriente absorbida en su puesta en marcha.

b) Arranque Estrella-Triángulo de un Motor Trifásico

Con independencia del arranque directo, el arrancador estrella-triángulo es el sistema de arranque más utilizado en los motores asíncronos de inducción. Consiste en arrancar el motor con conexión estrella a una tensión $\sqrt{3}$ veces inferior a la que soporta el motor para este tipo de conexión, transcurrido un cierto tiempo, cuando el momento desarrollado por el motor conectado en estrella M_2 iguale al momento de la carga (alrededor del 80% de la velocidad nominal) conmutar las conexiones de bobinas del motor a triángulo.

Como se ha indicado anteriormente, el bobinado recibe una tensión $\sqrt{3}$ veces menor que la nominal o asignada a este tipo de conexión, por lo que el par y la intensidad absorbida se hace $\sqrt{3}$ veces menor. Si tenemos en cuenta que en un sistema trifásico conectado en triángulo, la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la de fase y, en el sistema estrella las intensidades de línea es igual que la de fase, se llega a la conclusión que la corriente absorbida es también $\sqrt{3}$ menor en el

arranque en estrella. Si prueba así, que la reducción de $\sqrt{3}$ veces por la tensión y $\sqrt{3}$ por la intensidad, da como resultado una reducción de $\sqrt{3} * \sqrt{3} = 3$ veces la corriente absorbida en comparación con el arranque directo.

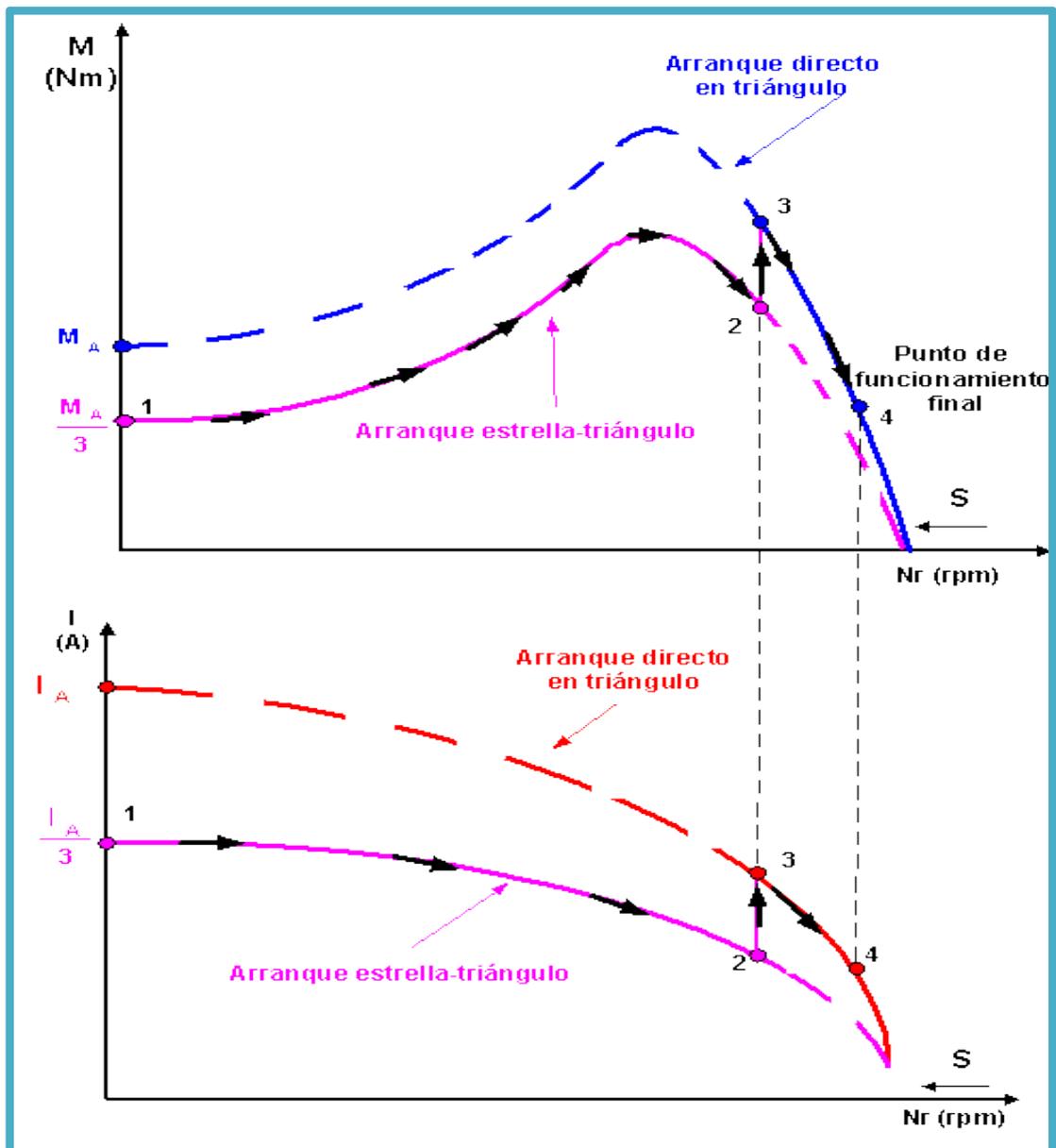


FIGURA Nº 15: RELACIÓN ENTRE LAS CORRIENTE DE ARRANQUE Y LOS MOMENTOS EN UN SISTEMA ESTRELLA-TRIÁNGULO

Los esquemas de la automatización del arranque mediante contactores de un arrancador estrella-triángulo son los que se indican en la siguiente figura.

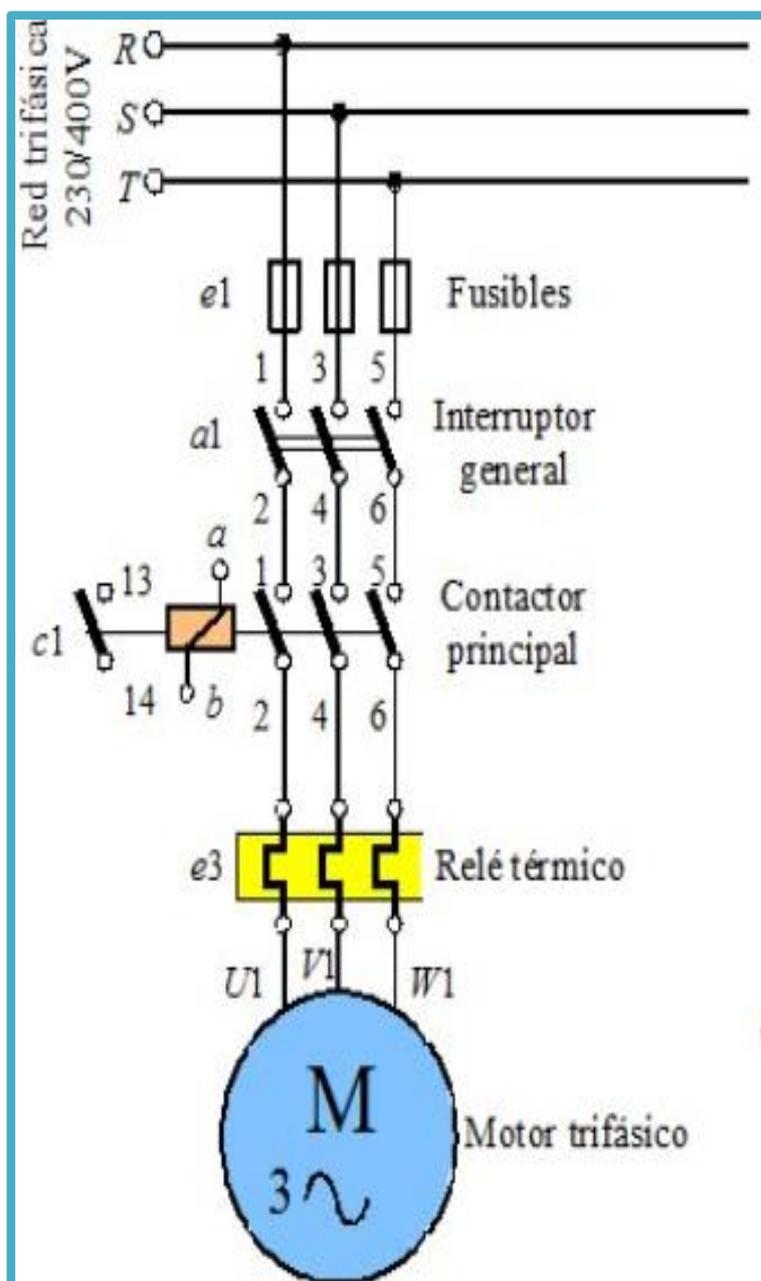


FIGURA Nº 16: CIRCUITO DE POTENCIA ESTRELLA-TRIÁNGULO

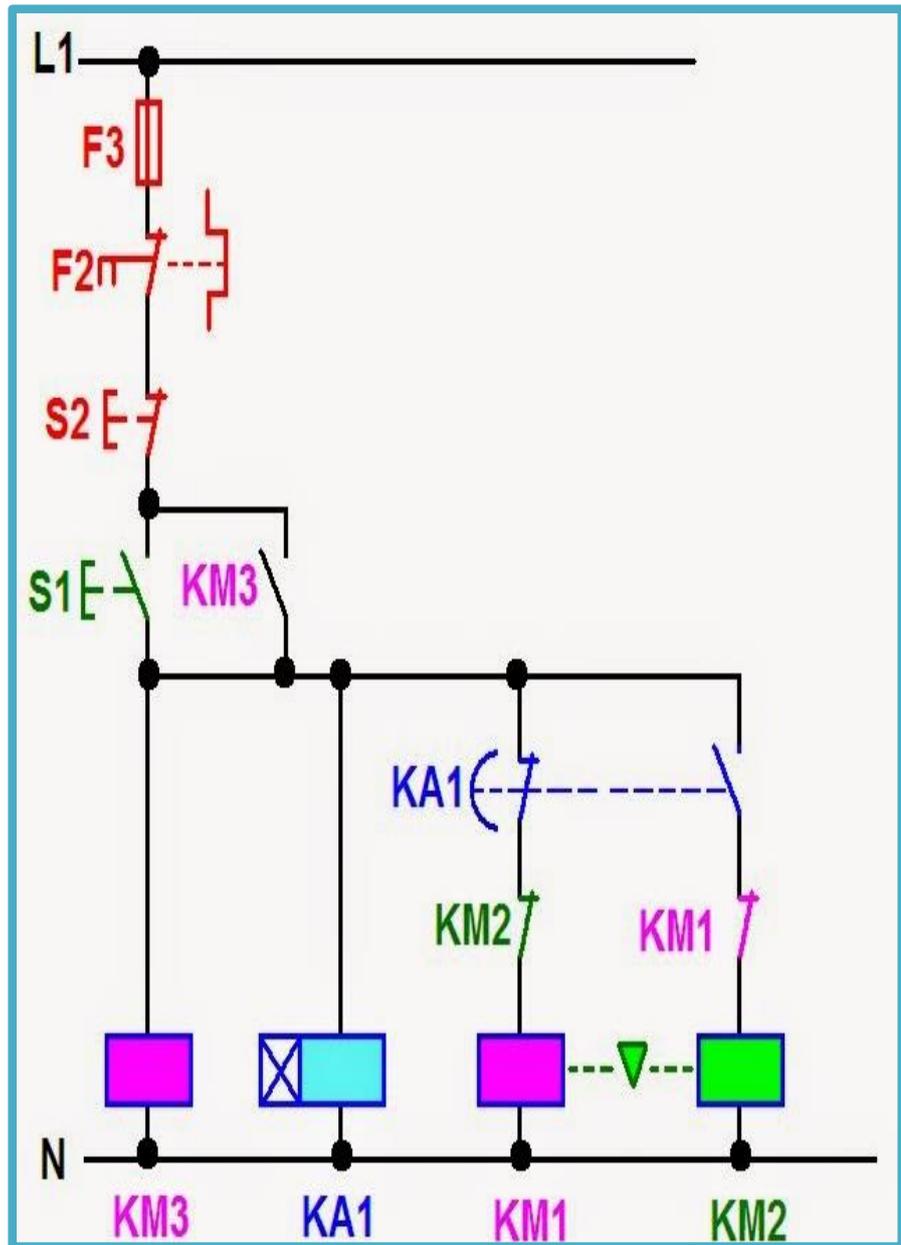


FIGURA Nº 17: CIRCUITO DE MANDO ESTRELLA-TRIÁNGULO

Aunque las características nominales de los contactores y relé térmico se pueden calcular fácilmente, por lo general, se utilizan tablas suministradas por los fabricantes a efectos de elección de este tipo de materiales.

2.2.1.3 ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE ROTOR BOBINADO

Este tipo de arranque es aplicable a los motores de rotor bobinado con anillos rozantes. Gracias a estos anillos rotóricos es posible conectar resistencias en serie con las bobinas del rotor de forma que al elevarse su impedancia se disminuya la corriente absorbida en el arranque. A medida que el rotor va adquiriendo velocidad se va disminuyendo la resistencia mediante cortocircuito de las mismas.

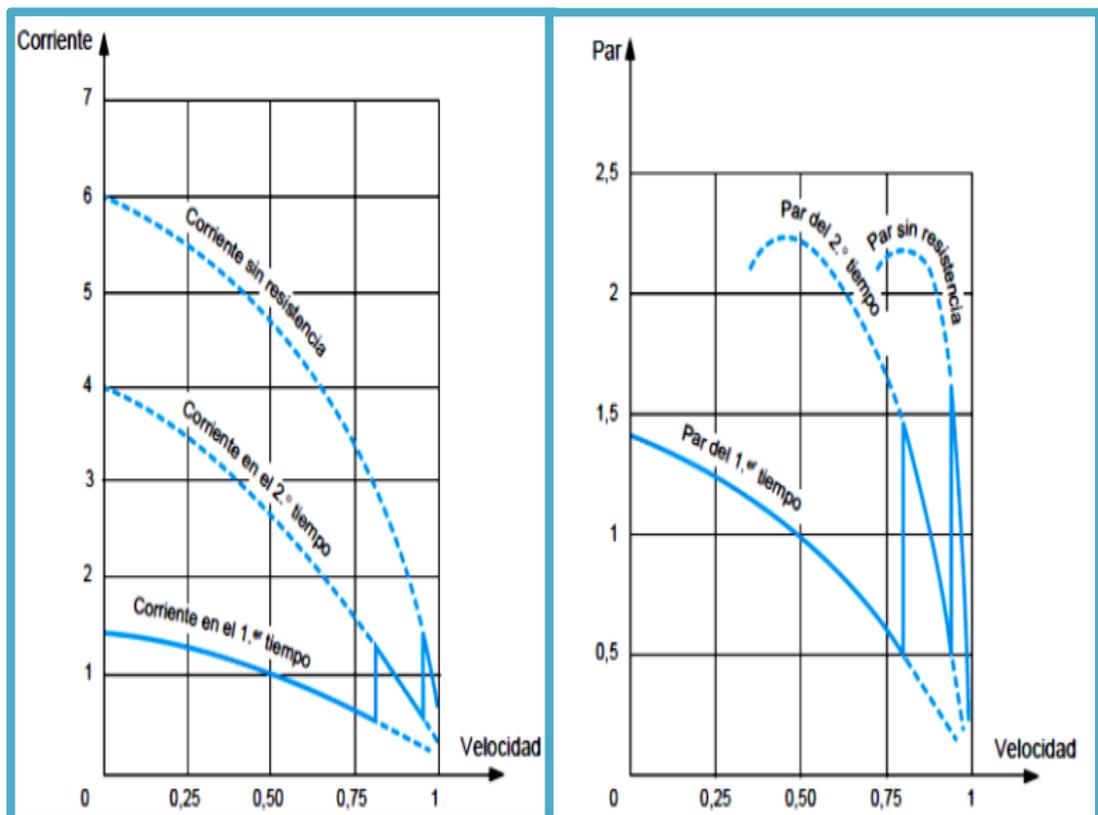


FIGURA Nº 18: CURVAS DE CORRIENTE Y PAR DE ARRANQUE DE UN MOTOR DE ANILLOS ROZANTES

2.2.1.4 ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO POR AUTOTRANSFORMADOR-RESISTENCIAS

ESTATORICAS

a) Arranque de un Motor Trifásico por Autotransformador

Es un tipo de arranque poco frecuente puesto que suele emplearse en motores muy grandes $P > 100$ kW. Consiste en alimentar a tensión reducida al motor durante el proceso de arranque a través de un autotransformador hasta adquirir la velocidad nominal en que se desconecta el autotransformador del circuito.

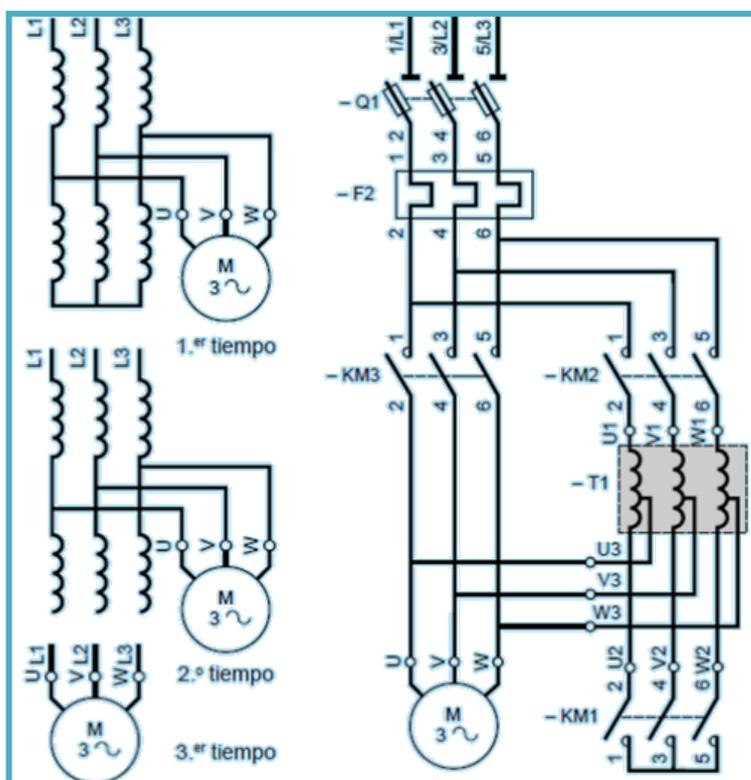


FIGURA Nº 19: DIAGRAMA DEL ARRANQUE POR UN TRANSFORMADOR

b) Arranque de un Motor Trifásico Por Resistencias Estatóricas

El principio consiste en arrancar el motor a una tensión reducida mediante la inserción en serie con las bobinas del estator unas resistencias. Una vez estabilizada la velocidad, se eliminan las resistencias y el motor se acopla directamente a la red de alimentación.

Dado que el par desarrollado por el motor es proporcional al cuadrado de la tensión, como la corriente durante el proceso de arranque disminuye el par se eleva también se eleva muy rápidamente y más deprisa de cómo lo hace en el sistema estrella-triángulo (donde la tensión permanece constante en el proceso de arranque). Este tipo de arranque es apropiado para las máquinas cuyo par crece con la velocidad, como por ejemplo los ventiladores.

2.2.1.5 CONTROL DE VELOCIDAD EN LOS MOTORES ASÍNCRONOS

Uno de los grandes problemas de los motores de inducción, frente a los de corriente continua, es su mala regulación de velocidad, aunque en la actualidad este

problema ha sido resuelto gracias a los variadores electrónicos de velocidad. Como sabemos la velocidad de rotor de un motor asíncrono se puede expresar:

$$s\% = \frac{n_1 - n_r}{n_1} \quad ; \quad n_r = (1 - s\%) * n_1 = (1 - s\%) * \frac{60 * f}{p}$$

FIGURA Nº 20: EXPRESIÓN DE LA VELOCIDAD DE ROTOR DE UN MOTOR ASÍNCRONO

Donde:

n_1 = Velocidad de sincronismo r.p.m.

n_r = Velocidad de rotor r.p.m.

$s\%$ = Deslizamiento en %

p = N° de pares de polos de la máquina

f = Frecuencia de la red eléctrica en Hz

Lo que significa que se puede regular la velocidad de un motor asíncrono de inducción variando:

- El número de polos de la máquina
- La frecuencia de la red eléctrica de alimentación
- El deslizamiento

a) Control de velocidad mediante el cambio del número de polos de la máquina

Observando la fórmula anterior se puede apreciar que variando en número de pares de polos del motor es posible variar la velocidad de sincronismo. En la práctica para variar el número de polos del motor se suele disponer distintos bobinados en el estator del motor y conectando uno u otro conseguiremos variar la velocidad.

Existe, no obstante, un tipo de conexión especial denominada conexión Dahlander que mediante un único bobinado se consiguen dos velocidades de relación 1:2 mediante el cambio de conexiones del bobinado. Este tipo de control sólo se suele emplear en los motores de rotor de jaula de ardilla dado que el cambio de polos del estator ha de llevar unido el cambio de polos del rotor, por lo que en los motores de rotor bobinado complicaría llevarlo a la práctica en condiciones económicamente rentables.

b) Control de velocidad por cambio de frecuencia

En la actualidad el empleo de sistemas de arranque mediante el control por contactores está quedando en desuso a favor de los arrancadores-variadores de velocidad electrónicos (convertidores de frecuencia). Este tipo de dispositivos suministran una tensión alterna cuyo valor es regulable, al tiempo que también es posible regular la frecuencia de alimentación al motor, de este modo es posible conseguir un control de velocidad muy efectivo, que permite incluso llevar un motor a una velocidad de sincronismo superior a la nominal o asignada (práctica no recomendable). La razón de variar a la vez frecuencia y tensión radica en el hecho de conseguir un par constante en todo el régimen de velocidades del motor.

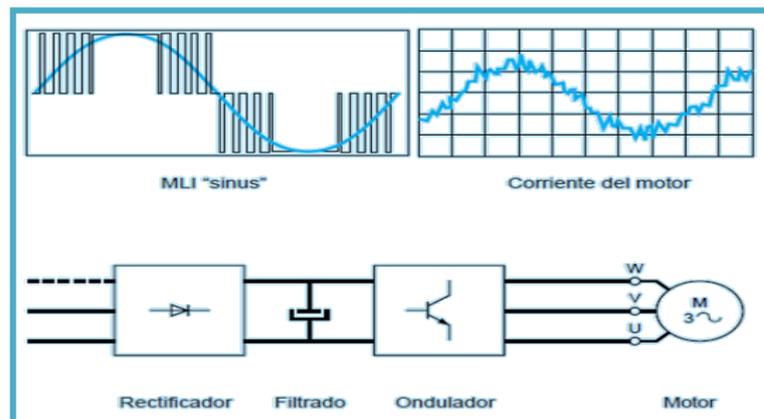


FIGURA Nº 21: ESQUEMA DE BASE DE UN CONVERTIDOR DE FRECUENCIA

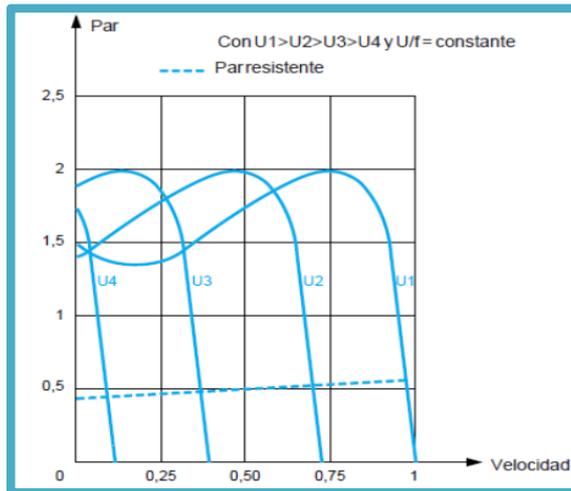


FIGURA Nº 22: CURVA DE PAR/VELOCIDAD CON CONVERTIDOR DE FRECUENCIA

2.2.2 VARIADORES DE FRECUENCIA

Las máquinas eléctricas sirven para transformar la energía mecánica en eléctrica (generadores) o, inversamente, para transformar la energía eléctrica en mecánica (motores); es decir que las máquinas eléctricas son reversibles y pueden trabajar como generador o como motor. Estas máquinas asíncronas se basan en el principio de la acción de un campo magnético giratorio sobre un arrollamiento en cortocircuito.

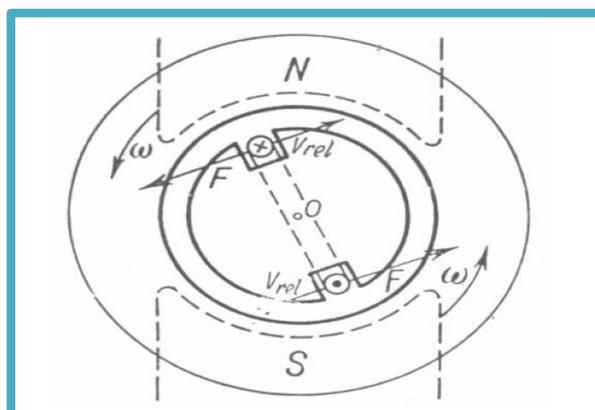


FIGURA Nº 23: EFECTO DE CAMPO GIRATORIO SOBRE UNA ESPIRA EN CORTOCIRCUITO

El sistema magnético de una máquina asíncrona consta de 2 núcleos: el núcleo exterior fijo que tiene la forma de un cilindro hueco y el núcleo cilíndrico interior giratorio. Sin duda alguna los accionamientos a base de motores eléctricos son los más numerosos de la mayoría de las aplicaciones, y dentro de ellos los basados en motores de corriente continua han gozado de una total hegemonía en el campo industrial durante décadas. Sin embargo los motores con menor nivel de exigencias en el mantenimiento son los motores asíncronos de jaula de ardilla, debido a que carecen de colector, tienen una relación peso-potencia mucho menor que los de continua, y por tanto un coste significativamente más bajo.

Por estas razones, dada su capacidad de soportar sobrecargas y su elevado rendimiento, es el motor más atractivo para la industria. Desde hace aproximadamente 20 años, el elevado desarrollo de la electrónica de potencia y los microprocesadores ha permitido variar la velocidad de estos motores, de una forma rápida, robusta y fiable, mediante los reguladores electrónicos de velocidad. La elección de la instalación de un convertidor de frecuencia como método de ahorro energético supone:

- Reducción del consumo.
- Mejor control operativo, mejorando la rentabilidad y la productividad de los procesos productivos.
- Minimizan las pérdidas en las instalaciones.

- Ahorro en mantenimiento (el motor trabaja siempre en las condiciones óptimas de funcionamiento).



FIGURA Nº 24: VARIADOR DE FRECUENCIA SCHNEIDER ELECTRIC

2.2.2.1 FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS DE LA REGULACIÓN ELECTRÓNICA DE VELOCIDAD EN MOTORES

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable.

Esta variación de frecuencia se consigue mediante dos etapas en serie. Una etapa rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia en el llamado circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulables, que dependerán de los valores de consigna. A esta segunda etapa también se le suele llamar ondulator. Todo el conjunto del convertidor de frecuencia recibe el nombre de inversor.

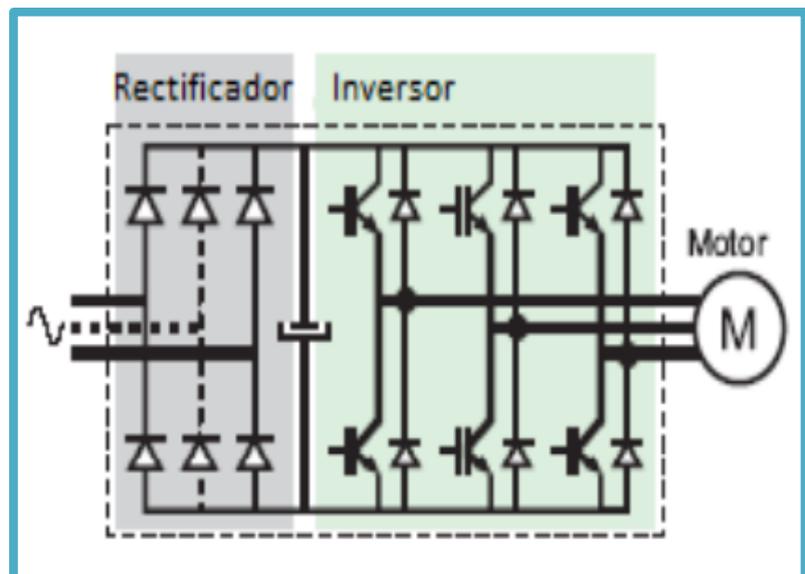


FIGURA Nº 25: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

El modo de trabajo puede ser manual o automático, según las necesidades del proceso, dada la enorme flexibilidad que ofrecen los reguladores de velocidad, permitiendo hallar soluciones para obtener puntos de trabajo óptimos en todo tipo de procesos, pudiendo ser manejados por ordenador, PLC, señales digitales o de

forma manual. La mayoría de las marcas incluyen dentro del propio convertidor protecciones para el motor, tales como protecciones contra sobre intensidad, sobre temperatura, fallo contra desequilibrios, defectos a tierra, etc, además de ofrecer procesos de arranque y frenados suaves mediante rampas de aceleración y de frenado, lo que redundará en un aumento de la vida del motor y las instalaciones. Como debe saberse, el uso de convertidores de frecuencia añade un enorme potencial para el ahorro de energía disminuyendo la velocidad del motor en muchas aplicaciones.

Además aportan los siguientes beneficios:

- Mejora el proceso de control y por lo tanto la calidad del producto.
- Se puede programar un arranque suave, parada y freno (funciones de arrancador progresivo).
- Amplio rango de velocidad, par y potencia. (Velocidades continuas y discretas).
- Bucles de velocidad.
- Puede controlar varios motores.
- Factor de potencia unitario.
- Marcha paso a paso (comando JOG).
- Respuesta dinámica comparable con los drivers de DC.

- Capacidad de by-pass ante fallos del variador.
- Protección integrada del motor.

Con respecto a la velocidad los convertidores suelen permitir dos tipos de control:

a) Control manual de velocidad

La velocidad puede ser establecida o modificada manualmente (display de operador). Posibilidad de variación en el sentido de giro.

b) Control automático de velocidad

Utilizando realimentación se puede ajustar la velocidad automáticamente. Esta solución es la ideal para su instalación en aplicaciones en las que la velocidad demandada varía de forma continua.



FIGURA Nº 26: ESQUEMA DE LA CONEXIÓN AL MOTOR

2.2.2.2 RECTIFICADORES PARA CONVERTIDORES DE FRECUENCIA

a) Rectificadores no controlados de tensión fija

El fenómeno de la rectificación se da porque los diodos van conmutando cíclicamente al circuito de C.C sobre las fases de C.A. Es la tensión de esta red la que va forzando el paso a conducción o bloqueo de los diodos, a esta conmutación se le llama forzada. Si sólo se rectifican las semiondas positivas de la tensión alterna tenemos un montaje de media onda y si se rectifican ambas semiondas, tenemos un montaje de onda completa. En los montajes de media onda la tensión no es continua pura, ya que exhibe cierto grado de rizado u oscilación en torno a su valor medio. Los diodos que conducen en cada momento son aquellos en los que la tensión de la fase en la que van conectados supera a la de las otras dos.

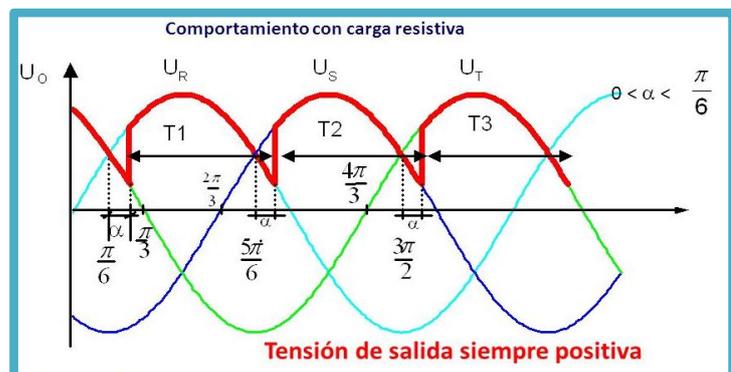


FIGURA Nº 27: RECTIFICADOR TRIFÁSICO DE MEDIA ONDA

El rectificador trifásico de onda completa o puente de Graetz, está formado por seis diodos y tiene la ventaja del menor rizado. Este puente es de los más empleados en las aplicaciones industriales de potencia.

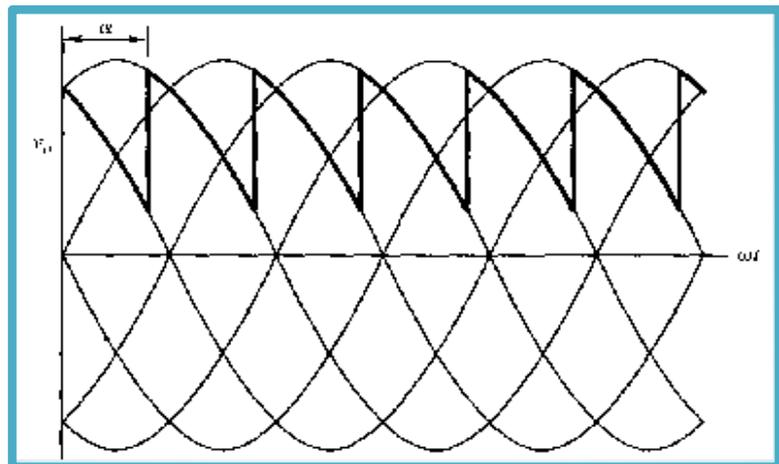


FIGURA Nº 28: RECTIFICADOR TRIFÁSICO DE ONDA COMPLETA

b) Rectificadores controlados de tensión variable

Los esquemas son similares a los anteriores, cambiando los diodos por semiconductores controlables, que normalmente son tiristores, así lograremos que la tensión de salida sea variable y con prestaciones más interesantes debido a esta circunstancia. El puente trifásico de onda completa o de Graetz es el más empleado desde el punto de vista industrial, ya que tiene las siguientes ventajas:

- Cargamos simétricamente línea trifásica.
- Se absorben menos armónicos de intensidad en la línea trifásica.
- La tensión continua es de rizado con menor amplitud y por tanto los filtros para alisado son menores.
- Las prestaciones dinámicas son mayores, ya que con seis pulsos se puede variar el ángulo de encendido seis veces por periodo.

2.2.2.3 CIRCUITO INTERMEDIO

La etapa central es el denominado circuito intermedio de continua y que puede funcionar como fuente de tensión o intensidad para la etapa final del ondulator, según la disposición que se adopte. A veces al ondulator se le llama inversor tal como aparece en la figura, aunque es más correcto llamar inversor a todo el conjunto (rectificador, circuito intermedio y ondulator).

La función del circuito intermedio es alimentar la tercera etapa, es decir al ondulator, y esto puede hacerlo funcionando como fuente de tensión, en cuyo caso se colocaría un condensador electrostático entre los terminales (+) y (-) para mantener constante la tensión y

daría lugar a un inversor con circuito intermedio de tensión. Cuando el circuito intermedio funciona como fuente de intensidad para el ondulator, se pone una inductancia en serie con una de sus ramas, su función es mantener constante la intensidad, y estaríamos hablando de un inversor con circuito intermedio de intensidad. Según la configuración que se adopte las características del inversor son distintas y condiciona cuestiones tales como: armónicos, resistencia de frenado, gama de potencias, accionamiento para un solo motor o varios a la vez, etc.

2.2.2.4 ONDULATOR

El ondulator es un conmutador electrónico que comunica alternativamente la tensión o intensidad continua del circuito intermedio sobre las fases del motor de C.A conectado a sus salidas. La disposición más común es el puente trifásico de Graetz y está formado por semiconductores controlables que pueden ser tiristores, tiristores desconectables por puerta (GTO), transistores de potencia, IGBT (transistor bipolar de puerta aislada o MOSFET (transistor de efecto campo de óxido metálico). De los anteriores el que más se está utilizando para motores industriales de BT es el IGBT.

En función de la mayor o menor perfección del sistema de conmutación lograremos que las ondas de tensión a la salida hagan que las corrientes absorbidas se acerquen más o menos al sistema trifásico senoidal.

Hay distintas formas de regular la tensión de salida del inversor como son:

- Variar el valor de la tensión en el circuito intermedio.
- Variar el ancho de la zona de conducción de cada semionda de salida.
- Variar la tensión de salida en función de la proporción entre los tiempos de conexión y desconexión de los semiconductores de potencia mediante la técnica de regulación PWM (iniciales de Modulación del Ancho de Pulso, en inglés).
- Además de regular la salida, este método tiene la ventaja de generar una onda de tensión de salida que mejora notablemente la onda de intensidad absorbida por el motor, lo cual hace que el motor funcione de forma semejante a si estuviera alimentado por tensiones senoidales de la red.

Con ello se logra la grandísima ventaja de emplear motores normalizados de fabricación en serie sin la

necesidad de fabricar motores específicos para poder ser regulados por convertidores.

2.2.2.5 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR ASÍNCRONO ALIMENTADO POR CONVERTIDORES DE FRECUENCIA

Los inversores con circuito intermedio de tensión son los más usados en aplicaciones prácticas, siendo su campo predominante el de las pequeñas y medianas potencias. Un inversor se elige en función de parámetros tales como:

- Accionar a un solo motor o varios.
- Banda necesaria de regulación y su precisión.
- Consecuencias sobre la red eléctrica del convertidor adoptado.
- Velocidad de respuesta para adaptarse a los cambios de consigna.

Para aprovechar al máximo el motor hay que controlarlo de modo que el flujo se aproxime lo más posible al nominal para el cual ha sido diseñado.

Cuando el motor está regulado con flujo constante e igual al nominal presenta unas curvas características como las siguientes:

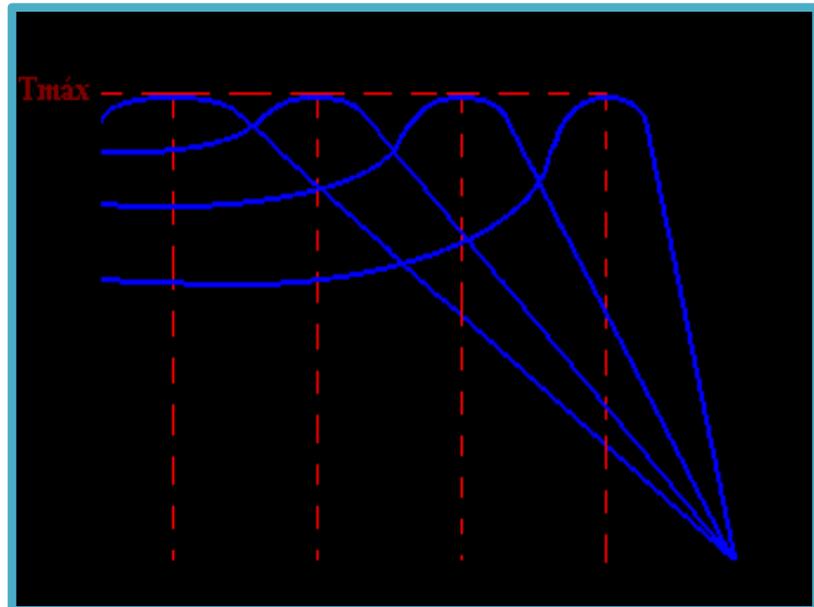


FIGURA Nº 29: CURVAS DE PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR ASÍNCRONO ALIMENTADO A FLUJO CONSTANTE

Una forma de lograr que el flujo sea constante de manera aproximada, es hacer que la tensión y la frecuencia varíen de forma proporcional. Sin embargo esto es sólo aproximado, y a medida que las frecuencias van bajando los flujos disminuyen también por lo que el par para bajas frecuencias disminuye de forma importante. Para lograr el funcionamiento con flujo constante es preciso que a bajas frecuencias la tensión sea más elevada que lo que dicta la ley sencilla de la proporcionalidad.

Cuando la regulación necesaria para modificar la velocidad supera la frecuencia nominal (50 Hz), el flujo ha de disminuir, ya que la tensión no debe ser elevada para no sobrepasar las posibilidades dieléctricas del bobinado del motor. En este caso las curvas de par para frecuencias elevadas decrecen, por lo que habrá que verificar que los menores pares disponibles cumplen los requisitos de la máquina accionada a alta velocidad.

En general en aquellos inversores con circuito intermedio de tensión, para el control del par electromagnético del accionamiento se emplean los siguientes métodos:

- Regular la tensión del estator en función de la frecuencia. (Control V/f).
- Regulación mediante la descomposición vectorial de la intensidad del estator sobre unos ejes orientados con el flujo magnético. (Control vectorial).

a) Control V/f

Con este método la tensión de alimentación evoluciona proporcionalmente a la frecuencia.

Cuando V/f es constante el motor funciona de

forma aproximada con flujo constante en los regímenes permanentes. Este tipo de control es más fácil de llevar a la práctica en un convertidor y se suele emplear cuando los requisitos de regulación son de baja velocidad.

Como hemos dicho anteriormente la proporcionalidad V/f desaparece en las bajas frecuencias, además la característica de la curva de par depende también de la frecuencia del rotor y de su temperatura, por lo que el dispositivo de control del convertidor ha de incluir las correspondientes correcciones.

En los convertidores con este tipo de control, una de las parametrizaciones más importante es la selección o ajuste de la curva V/f . Algunos convertidores traen varias curvas ya ajustadas en su programación. Para seleccionar la curva adecuada se debe tener en cuenta las características de tensión y frecuencia del motor y la velocidad máxima a la que puede girar el rotor.

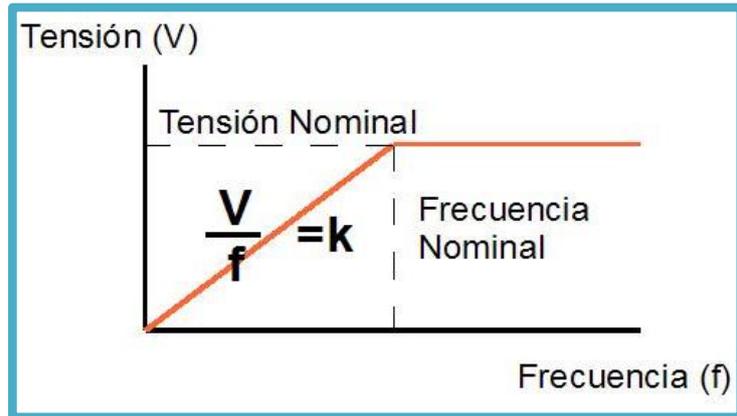


FIGURA Nº 30: GRÁFICA DE CONTROL V/f

2.2.3 EL AUTÓMATA PROGRAMABLE

Según la definición de la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC 61131: Un autómata programable o PLC (Programmable Logic Controller) es una máquina electrónica programable diseñada para ser utilizada en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencias, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas, diversos tipos de máquinas y procesos.

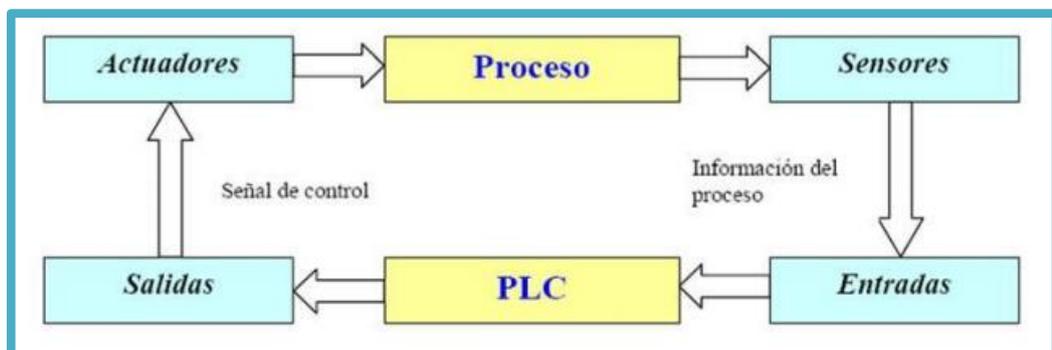


FIGURA Nº 31: CONTROL DE PROCESOS

Básicamente un autómata programable es una máquina destinada al control de procesos industriales mediante la información que recibe de sensores y otras máquinas y siguiendo un programa que tienen cargado en su memoria interna. Además están preparados para trabajar en entornos industriales complicados.

Los controladores son Sistemas Industriales de Control Automático que trabajan bajo una secuencia almacenada en memoria, de instrucciones lógicas. Es un sistema porque contiene todo lo necesario para operar, e industrial por tener todos los registros necesarios para operar en los ambientes hostiles encontrados en la industria. Se distinguen de otros controladores automáticos en que puede ser programado para controlar cualquier tipo de máquina, a diferencia de otros muchos que, solamente pueden controlar un tipo específico de aparato.

Para su programación se definen varios lenguajes en el estándar internacional IEC 61131-3. Con el empleo de los PLC o autómatas y software se puede realizar un control total sobre la instalación, desde la etapa inicial hasta el destino, pasando por cada uno de los subprocesos intermedios de la producción. El PLC es realmente el cerebro que gestiona y controla automáticamente nuestras instalaciones. Dependiendo del tamaño de la planta y de la complejidad de la automatización, el número de autómatas puede variar desde uno hasta un número importante de autómatas

enlazados. Están definidos dos lenguajes gráficos y dos lenguajes textuales para PLC:

- Lenguaje escalera o de contactos.
- Diagrama de bloque de funciones.
- Texto estructurado.
- Lista de instrucciones.
- Bloques de función secuenciales.

2.2.3.1 ESTRUCTURA DE UN PLC

El esquema general de un PLC estaría formado por:

a) Fuente de alimentación

La función de la fuente de alimentación en un controlador, es suministrar la energía eléctrica a la CPU y demás tarjetas según la configuración del PLC. En los circuitos interiores de una fuente de alimentación se transforma la tensión alterna de la red a tensión continua, en niveles que garanticen el funcionamiento del hardware del PLC. Dispone de dispositivos de detección de caídas o cortes de tensión de la red y de vigilancia de las tensiones internas preparados para actuar en caso de fallo.

b) Unidad Central de Proceso (CPU)

La CPU es la parte inteligente del sistema. Interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas. Dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas.

Está constituida por los siguientes elementos:

- Procesador.
- Memoria interna del sistema.
- Circuitos auxiliares.

Las funciones principales que debe cumplir son:

- Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no exceda de un determinado tiempo máximo. A esta función se le denomina Watchdog.
- Ejecutar el programa usuario.
- Crear una imagen de las entradas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas.
- Renovar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas, obtenida al final del ciclo de ejecución del programa usuario.

Para llevar a cabo estas funciones la CPU sigue un ciclo de trabajo que se ejecuta de manera continua, el tiempo que emplea se conoce como tiempo de ciclo. El Watchdog es el temporizador encargado en que el tiempo de ciclo no sea excesivo, evitándose así que el programa de usuario entre en un bucle sin salida. Si el tiempo de ciclo supera al Watchdog (tiempo máximo de ciclo) el PLC se detiene reportando el error correspondiente.

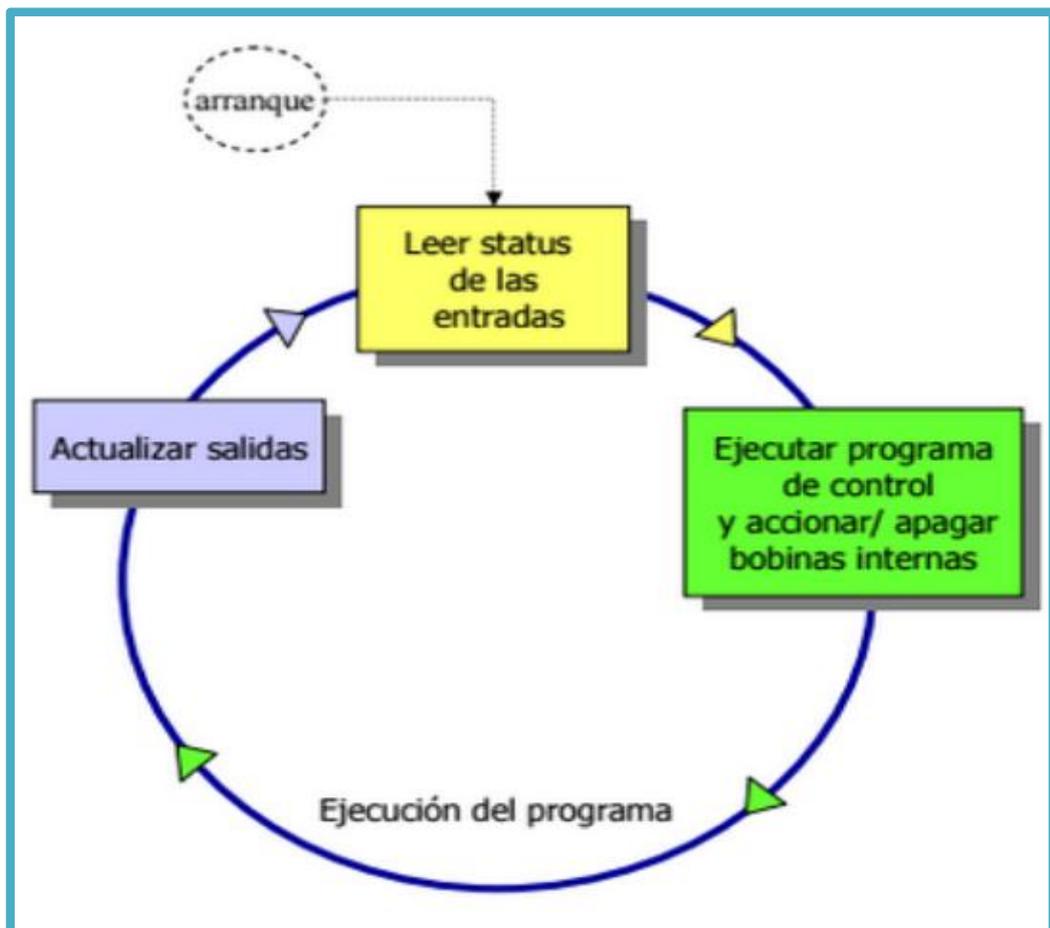


FIGURA Nº 32: CICLO DE TRABAJO DE LA CPU

c) Memoria

Existen varias áreas de memorias que se encargan de almacenar distintos tipos de información. Para ello se hace uso de las diferentes tecnologías en cuanto a memoria se refiere:

- ROM
- PROM
- EPROM

Dentro del autómata, podemos diferenciar dos tipos de memoria, la memoria interna y la memoria de programa:

Memoria Interna

Es aquella que almacena el estado de las variables que maneja el autómata: entradas, salidas, contadores, señales de estado etc. Esta memoria interna se encuentra dividida en varias áreas, cada una de ellas con un cometido y características distintas. Clasificamos la memoria interna atendiendo al tipo de variable que almacena y el tamaño que ocuparía su variable.

- Área de imágenes de entrada/salida y Área interna (IR).
- Área auxiliar (AR).
- Área de enlace (LR).
- Área de retención (HR).
- Área de temporizadores y contadores (TIM/CNT).
- Área de datos (DM)

Las variables contenidas en la memoria interna pueden ser consultadas y modificadas continuamente por el programa, cualquier número de veces. Esta actualización continua de los datos obliga a construir la memoria con dispositivos RAM.

Memoria de Programa

La memoria de programa, normalmente externa y conectable a la CPU, almacena el programa escrito por el usuario para su aplicación. Estas memorias son siempre de tipo permanente, RAM + batería o EPROM/EEPROM. Por lo general la mayoría de los fabricantes de autómatas

ofrecen la posibilidad de utilizar memorias RAM con batería para la fase de desarrollo y depuración de los programas, y de pasar estos a memorias no volátiles EPROM o EEPROM una vez finalizada esta fase.

d) Módulos de entrada y salida

Son los que proporciona el vínculo entre la CPU del controlador y los dispositivos de campo del sistema. A través de ellos se origina el intercambio de información ya sea para la adquisición de datos o la del mando para el control de máquinas del proceso.

Debido a que existen gran variedad de dispositivos exteriores (captadores, actuadores) encontramos diferentes tipos de módulos de entrada y salidas, cada uno de los cuales sirve para manejar cierto tipo de señal (discreta o análoga) a determinado valor de tensión o de corriente en DC o AC.

e) Equipos periféricos

Podemos añadir equipos como por ejemplo nuevos módulos de E/S, más memoria, unidades

de comunicación de red, etc. Cada fabricante adapta sus periféricos a sus equipos, pudiendo variar incluso para equipos de la misma serie.

2.2.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AUTÓMATAS PROGRAMABLES

Podemos clasificar los PLC atendiendo a su composición principal en:

a) PLC Nano

Generalmente es un PLC de tipo compacto (es decir, que integra la fuente de alimentación, la CPU y las entradas y salidas) que puede manejar un conjunto reducido de entradas y salidas, generalmente en un número inferior a 100. Este PLC permite manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.

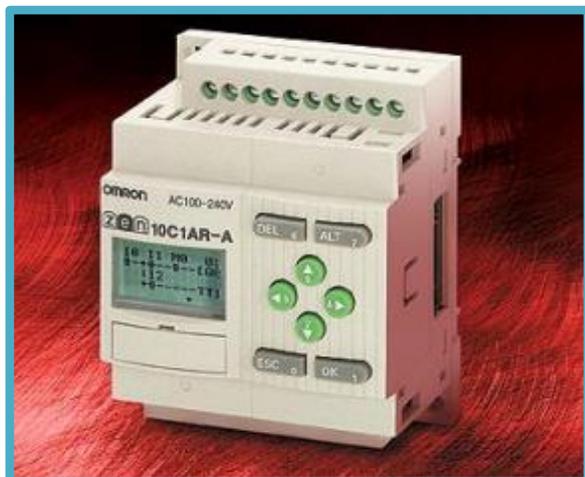


FIGURA Nº 33: PLC NANO

b) PLC Compacto

Estos PLC tienen incorporada la fuente de alimentación, su CPU y los módulos de entrada y salida en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas entradas y salidas hasta varios cientos (alrededor de 500 entradas y salidas), su tamaño es superior a los PLC tipo Nano y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como:

- Entradas y salidas analógicas
- Módulos contadores
- Módulos de comunicaciones



FIGURA N° 34: PLC COMPACTO

c) PLC Modular

Estos PLC se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final.

Estos son:

- El Rack
- La fuente de alimentación
- La CPU
- Los módulos de entrada y salida

De estos tipos de PLC existen desde los denominados Micro-PLC que soportan gran cantidad de entradas y salida, hasta los PLC de grandes prestaciones que permiten manejar miles de entradas y salidas. De modo que podemos añadir módulos extras conforme se necesiten para la aplicación en concreto.

2.2.3.3 CAMPOS DE APLICACIÓN

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc. 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, etc., hace que su eficacia se aprecie

fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.

Ejemplos de aplicaciones generales:

- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

- **Analógico:** Dispositivo, circuito o sistema electrónico que procesa señales eléctricas que toman infinitos valores dentro de un intervalo, y que reciben el nombre de señales analógicas.
- **Armónicos:** Son frecuencias múltiples de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo.
- **Automatización:** Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.
- **Bit:** Unidad elemental de información representada por un símbolo con dos valores, generalmente denotados por 0 y 1, asociados a los dos estados posibles de un dispositivo.

- **Bobina:** Arrollamiento con espiras unidas en una o varias capas con o sin núcleo magnético.
- **Bus:** Dispositivo no cíclico cuyo fin es asegurar las transferencias de información simultáneas entre diferentes subconjuntos de un sistema informático según sus especificaciones físicas y lógicas comunes.
- **Conductor eléctrico:** Un conductor se caracteriza porque no existe la banda prohibida entre la banda de conducción y la banda de valencia.
- **Control:** El control es un proceso mediante el cual se cerciora si lo que ocurre concuerda con lo que supuestamente debiera ocurrir, de lo contrario, será necesario que se hagan los ajustes o correcciones necesarios.
- **Controlador:** Dispositivos de control que por lo general se utilizan en aplicaciones de control industrial, que emplean la arquitectura del hardware de una computadora y un lenguaje basado en un diagrama de relevadores escalonados.
- **Corriente:** Es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material.
- **Corrientes parásitas:** Se forman en el núcleo de las máquinas eléctricas.
- **Digital:** Área de la electrónica que estudia los sistemas electrónicos que procesar señales eléctricas que toman sólo dos valores asignados a los dígitos 0 y 1, y reciben el nombre de señales digitales.

- **Dominios en metales:** Son regiones dentro del metal en las que todos los átomos se alinean con sus campos magnéticos apuntando en una misma dirección.
- **Espectro de frecuencia:** Es el gráfico que muestra cómo es la descomposición de una señal ondulatoria en el dominio de la frecuencia.
- **Frecuencia:** Es una medida para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo.
- **Frecuencia natural:** En un sistema masa-resorte, es la frecuencia a la que ésta oscilará libremente al ser perturbada.
- **Histéresis:** Cuando se aplica un campo magnético al núcleo de una máquina eléctrica, los dominios tienden a alinearse con el campo magnético aplicado.
- **Inducción Electromagnética:** Es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (Voltaje) en un medio o cuerpo, expuesto a un campo magnético variable.
- **Máquina eléctrica:** Es un elemento que convierte la energía eléctrica en otra forma de energía o viceversa.
- **Microcontrolador:** Microprocesador que comprende elementos fijos, como la unidad central y sus memorias, y elementos personalizados en función de la aplicación.
- **Microprocesador:** Circuito electrónico que actúa como unidad central de proceso de un computador, proporcionando el control de las operaciones de cálculo.

- **Motor asíncrono:** Máquina eléctrica, que convierte la energía eléctrica en energía mecánica rotacional, en la que la velocidad de giro del rotor es siempre menor a la velocidad de giro del campo magnético del estator y la corriente del rotor es inducido desde el estator.
- **Motor síncrono:** Máquina eléctrica, en la que la velocidad de giro del rotor es igual a la velocidad de giro del campo magnético del estator.
- **Período:** Es la medida del tiempo en que dura una oscilación.
- **PLC:** (Programmable Logic Controller) es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos.
- **Rendimiento:** El trabajo obtenido (trabajo útil) de su funcionamiento y el trabajo suministrado o consumido por la máquina o el proceso.
- **Sobrecarga:** Uso de una resistencia de carga tan pequeña que hace que la ganancia en tensión del amplificador disminuya en una cantidad apreciable.
- **Transformador:** Dispositivo eléctrico que consta de una bobina de cable situada junto a una o varias bobinas más, y que se utiliza para unir dos o más circuitos de corriente alterna (CA) aprovechando el efecto de inducción entre las bobinas.
- **Variador de frecuencia:** Sistema electrónico de potencia capaz de modificar la frecuencia de la corriente eléctrica alterna suministrada a un motor.
- **Vibración:** Son oscilaciones de un cuerpo cualquiera con respecto a un punto de referencia.

- **Viscosidad:** La viscosidad es una medida de la resistencia que ofrece una capa de aceite a desplazarse sobre la capa adyacente. A mayor viscosidad mayor resistencia a fluir.
- **Voltaje:** Es el trabajo por unidad de carga, realizado por el campo eléctrico, sobre una partícula cargada, para moverla de un lugar a otro.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO AUTOMATIZADO

La fábrica Cementos Sur S.A, como parte de su proceso productivo para la obtención de cementos, hace uso de las siguientes materias primas: Piedra Caliza, Arcilla, Coca Breeze, Laterita y Yeso (Aditivo utilizado en la molienda del Clinker).

El proceso productivo para la elaboración de cemento está dividido en tres secciones, tal como se detalla en la siguiente figura:



FIGURA N° 35: SECCIONES DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL CEMENTO

El proceso a automatizar estará centrado en la primera sección, o mejor dicho en la sección de Molino Crudo, en la cual la materia prima tal como la piedra caliza, deberá ser de tamaño menor a 25 mm.

Si el tamaño de la materia prima es más grande que 25 mm, tiene que ser aplastado por el Molino de Martillo y una trituradora.

El material de la cantera fragmentado va a una tolva que recibe las materias primas, en el caso de la caliza y la arcilla tienen que estar en proporción de 4 a 1, para luego volver a ser molidos de manera unida.

Por medio de bandas se mezclan de manera proporcional los diferentes tipos de arcilla, caliza o cualquier otro material para después ser almacenado y esté listo para la molienda.

La propuesta en relación a controlar automáticamente la banda transportadora, se apoya en un controlador lógico programable siemens logo 230 RC y un variador de velocidad MICROMASTER 440.

El proceso consiste en llevar la caliza que ya fue triturada y pesada hacia un tanque de almacenamiento para la mezcla con otros insumos, pero esta vez ya no se accionara la faja mediante un arranque en directa, sino a través de un variador de frecuencia conectado al PLC que aumente la velocidad gradualmente.

Esta variación de velocidad de la banda transportadora se realizará a través de tres niveles, el cual cambiara de forma automática cada 5 segundos.

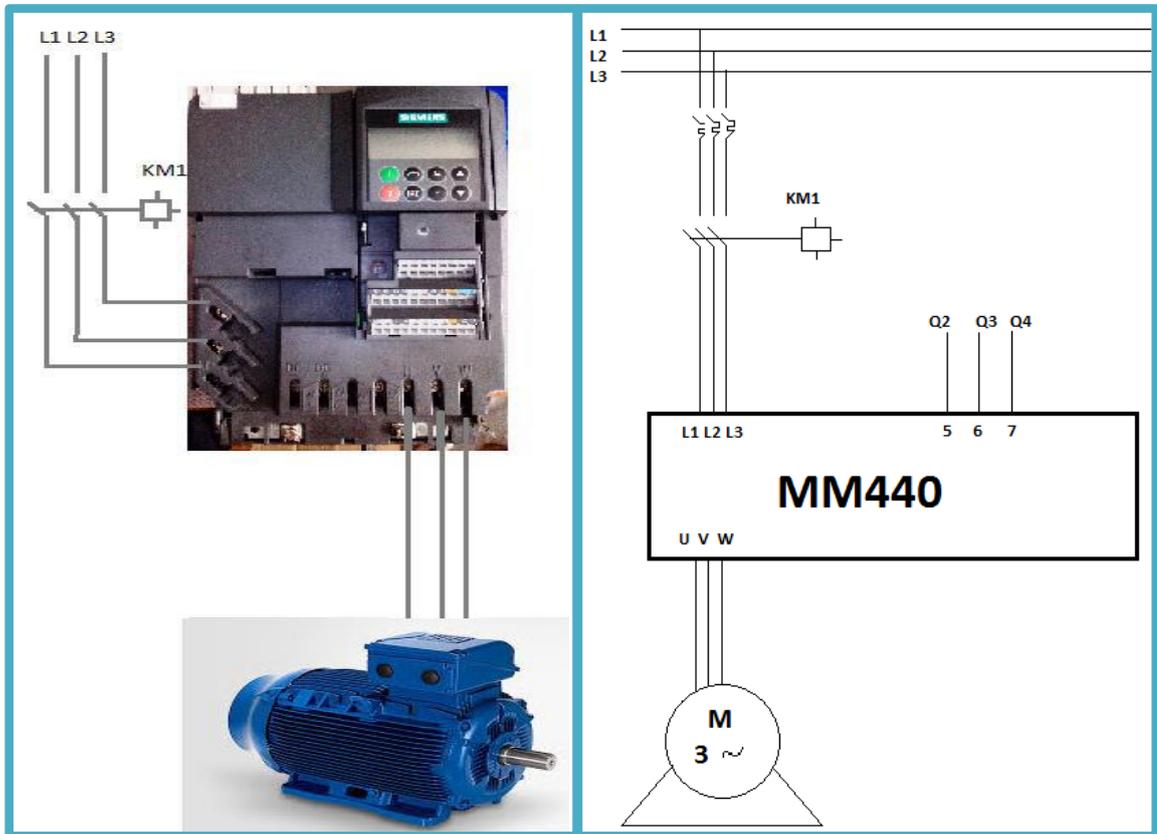


FIGURA N° 36: ESQUEMA GENERAL DE CONEXIÓN DEL CONTROLADOR – VARIADOR Y MOTOR



FIGURA N° 37: ELEMENTOS DE SEÑALIZACIÓN A CONSIDERAR EN EL DESARROLLO DEL AUTOMATISMO

3.2 DESARROLLO DEL AUTOMATISMO

Tomando como referencia la descripción anterior, a continuación se procederá a identificar los elementos de entrada y salida del proceso a controlar, luego se realizara el direccionamiento de E/S y finalmente el circuito de control.

A. Elementos de entrada y salida

a. Elementos de entrada

✚ Pulsador de marcha (PM)

✚ Pulsador de parada (PP)

b. Elementos de salida

✚ Variador de frecuencia_1 (KM1)

✚ Primera velocidad (V1)

✚ Segunda velocidad (V2)

✚ Tercera velocidad (V3)

B. Direccionamiento de entradas y salidas

a. Direccionamiento de entradas

PROCESO	NANO PLC
Pulsador de marcha	I1 (1bit)
Pulsador de parada	I2 (1bit)

TABLA N° 01: DIRECCIONAMIENTO DE ENTRADAS

b. Direccionamiento de salidas

PROCESO	NANO PLC
Activar_variador	Q1 (1bit)
Velocidad_1	Q2 (1bit)
Velocidad_2	Q3 (1bit)
Velocidad_3	Q4 (1 bit)

TABLA N° 02: DIRECCIONAMIENTO DE SALIDAS

c. Asignaciones de variables en el variador de frecuencia

BORNE	DENOMINACION	FUNCION
5	DIN 1 (velocidad_1)	Entrada digital 1
6	DIN 2 (velocidad_2)	Entrada digital 2
7	DIN 3 (velocidad_3)	Entrada digital 3
9	-	Salida aislada +24v /max. 100mA

TABLA N° 03: RELACIÓN DE E/S DEL VARIADOR CON E/S DEL PLC

C. Circuito de control eléctrico

Iniciaremos el desarrollo del automatismo tomando como referencia el enfoque de la lógica cableada. Lo cual establece que un sistema de control relacionará sus entradas y salidas mediante un circuito de mando eléctrico o circuito de control.

La habilitación del variador Micromaster 440 se realizara a través de las bobinas del contactor KM1 y de forma gradual cambiara la frecuencia accionando las bobinas de los contactores V1, V2, V3 en intervalos de 5 segundos. El control de este tiempo se realizara a través de un temporizador con retardo a la conexión.

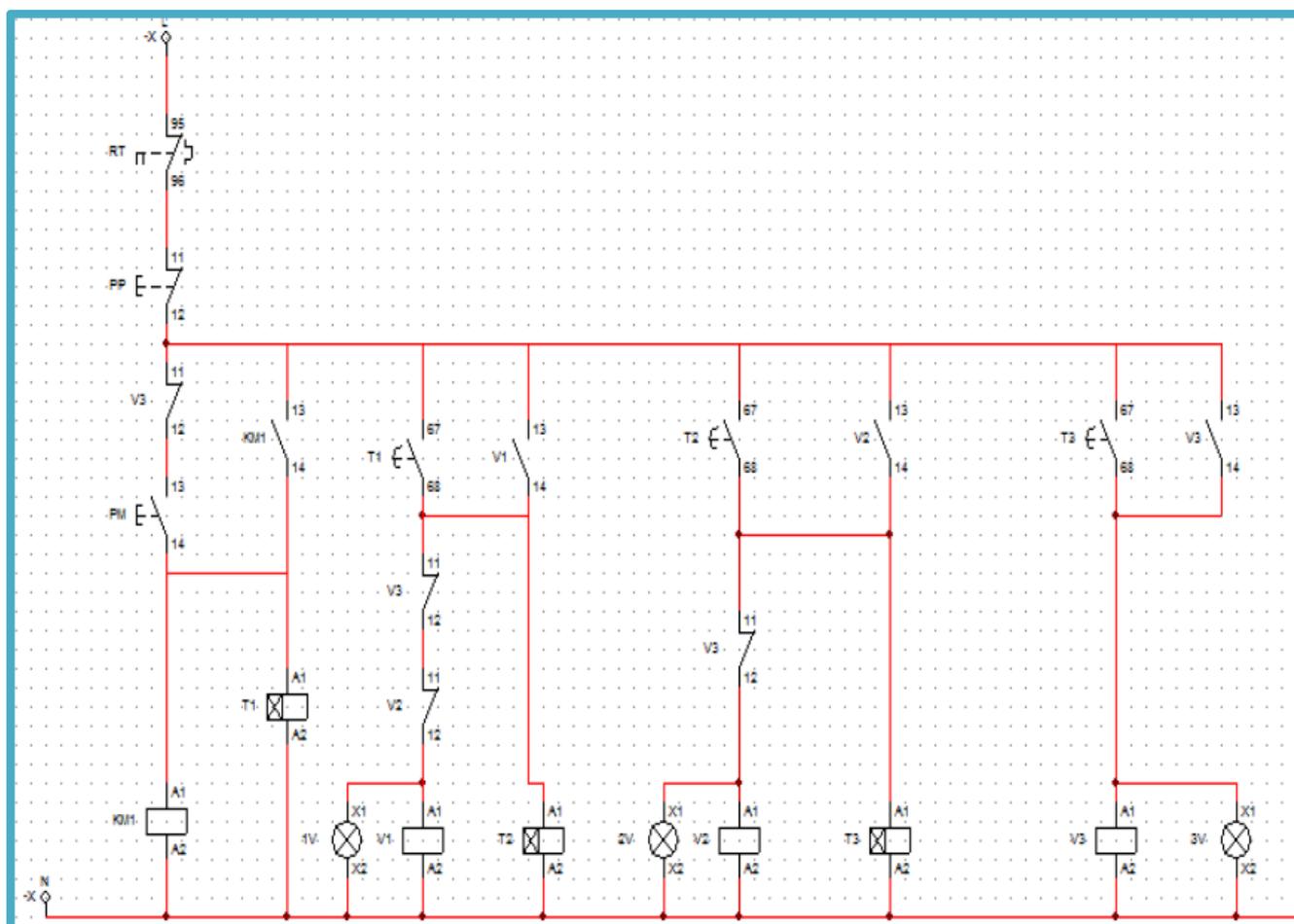


FIGURA N° 38: CIRCUITO DE MANDO ELÉCTRICO

A continuación se procederá al análisis del circuito de control eléctrico mostrado en la figura anterior, resaltando los accionamientos de las velocidades.

Primer nivel de velocidad:

Al presionar el pulsador de marcha, se accionara las bobinas del contactor KM1. Una vez enclavado KM1, automáticamente activara al temporizador con retardo a la conexión T1, el cual da inicio a la primera velocidad de la banda transportadora conectada a la bobina del contactor V1.

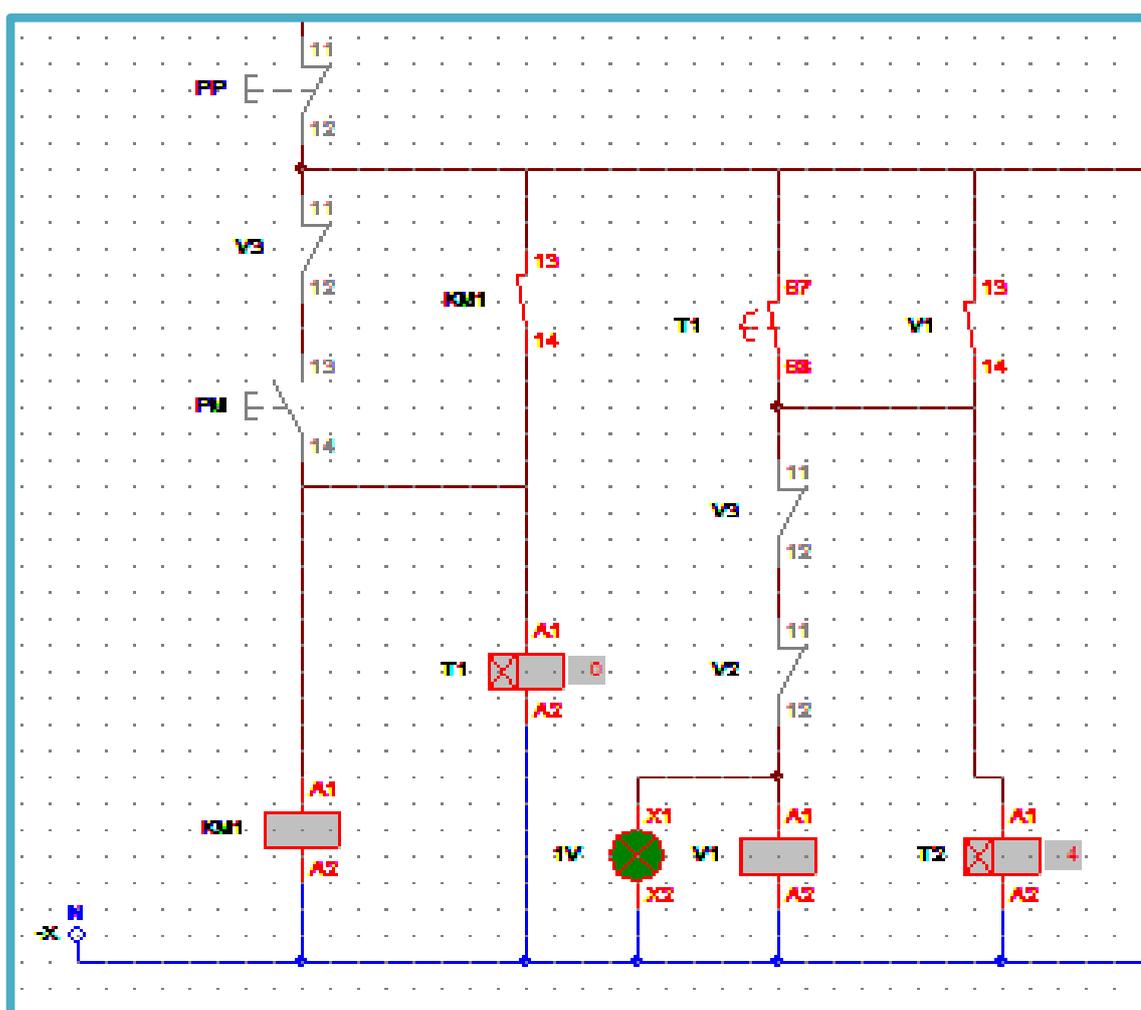


FIGURA N° 39: CIRCUITO DE MANDO ELÉCTRICO – ACCIONAMIENTO DEL PRIMER NIVEL DE VELOCIDAD

Segundo nivel de velocidad:

Para el segundo nivel de velocidad, el temporizador T1 al ser un temporizador con retardo a la conexión, conectara las bobinas del contactor V2 de forma automática, luego de transcurridos 5 segundos y desconectara las bobinas del contactor V1. Es importante señalar que las bobinas de los contactores V1, V2 y V3, están conectados al variador de frecuencia, estableciendo así el accionamiento de cada nivel de velocidad.

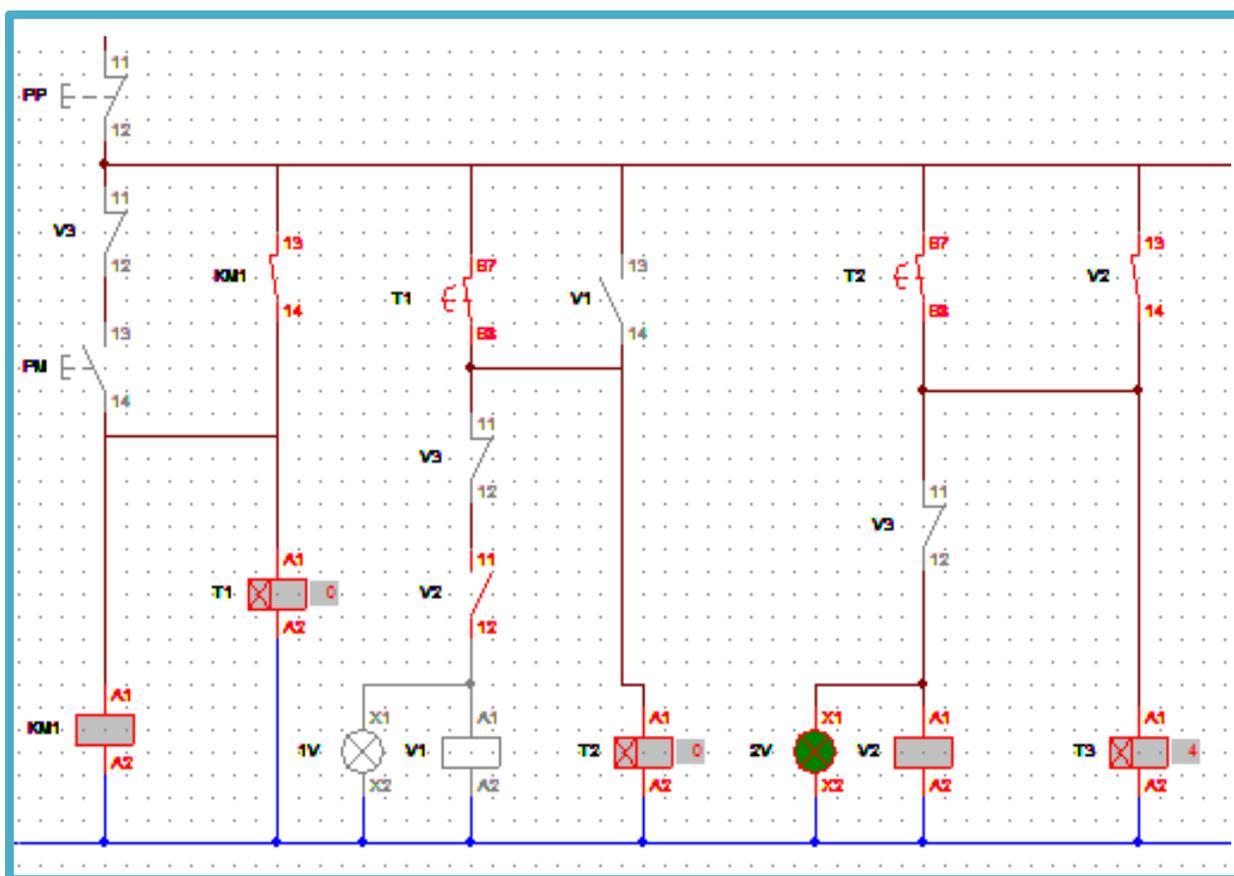


FIGURA N° 40: CIRCUITO DE MANDO ELÉCTRICO – ACCIONAMIENTO DEL SEGUNDO NIVEL DE VELOCIDAD

Tercer nivel de velocidad:

Para el tercer nivel de velocidad, el elemento que realizara la activación será el Temporizador T2 con retardo a la conexión, que de forma automática desconecta la bobina del contactor V2 y conecta la bobina del contactor V3.

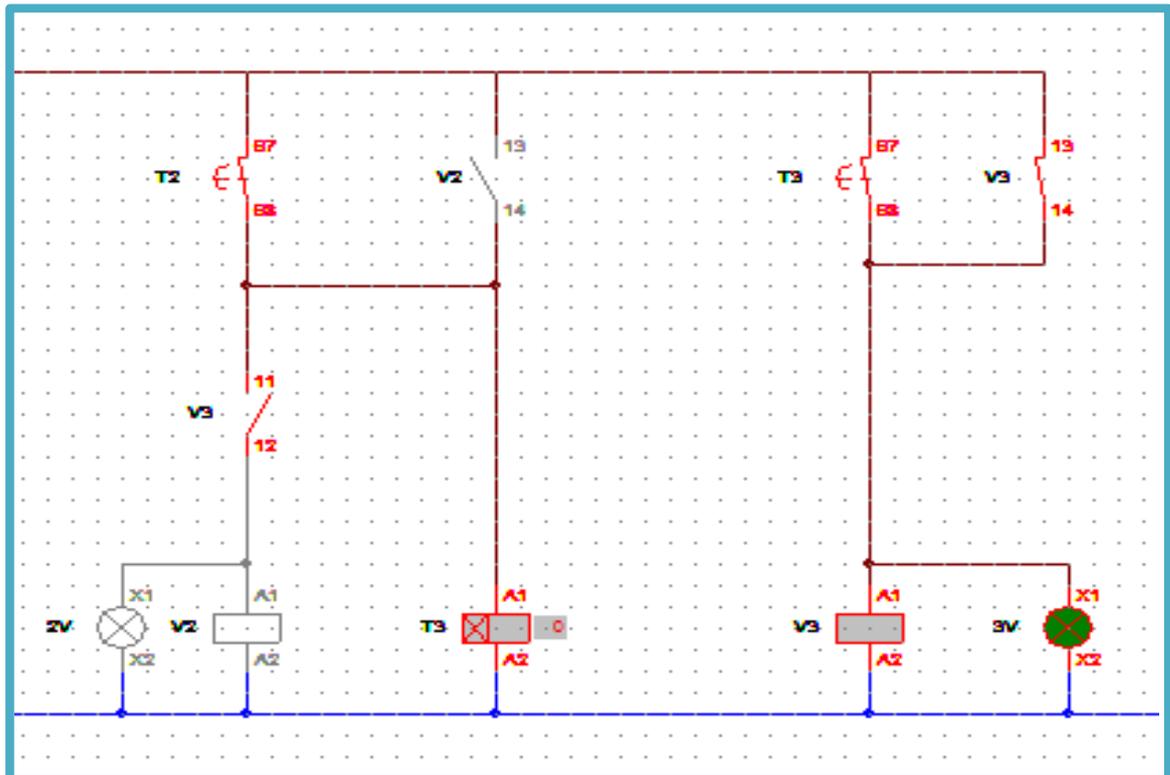


FIGURA N° 41: CIRCUITO DE MANDO ELÉCTRICO – ACCIONAMIENTO DEL TERCER NIVEL DE VELOCIDAD

D. Conexión de Entradas y Salidas al PLC

Todo proceso a automatizar implica la conexión de sensores y actuadores al Controlador Lógico Programable. Para el caso en análisis los elementos de entrada son: el pulsador de marcha y el pulsador de parada, mientras que los actuadores son el contactor que determina el arranque del variador KM1 y los contactores V1, V2 y V3

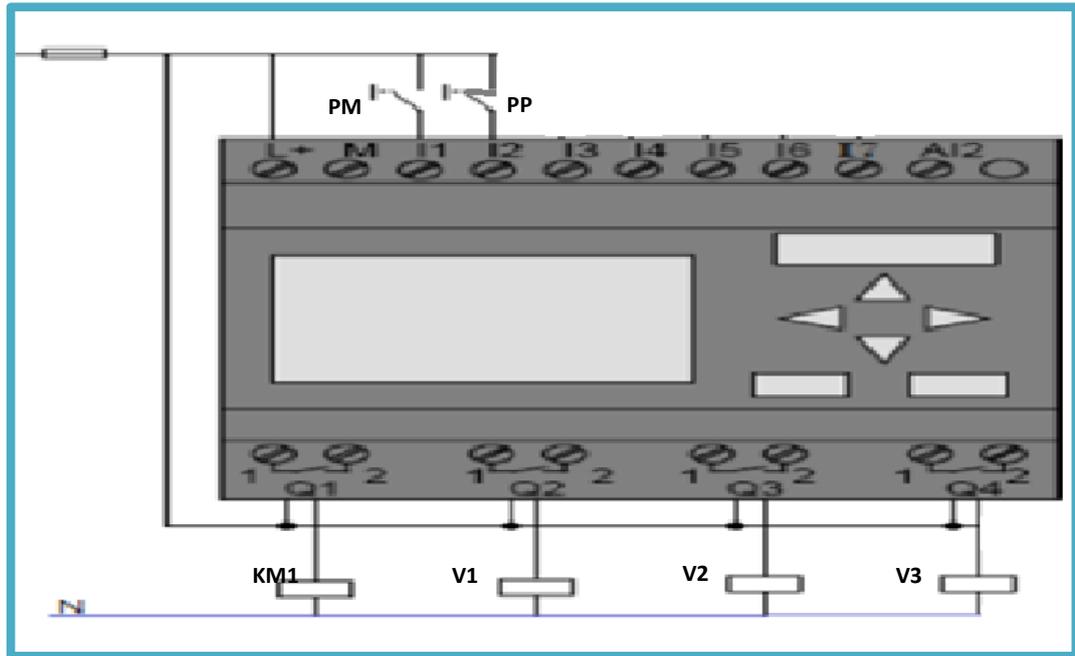


FIGURA N° 42: CIRCUITO DE MANDO ELÉCTRICO – ACCIONAMIENTO DEL TERCER NIVEL

E. Configuración del variador de frecuencia MICROMASTER 440

Previa conexión del variador de frecuencia al controlador Lógico Programable, se configura los siguientes parámetros:

<i>CODIFICACIÓN DEL PARÁMETRO</i>	<i>DENOMINACIÓN DEL PARÁMETRO</i>	<i>VALOR DEL PARÁMETRO</i>
P0304	TENSIÓN PLACA MOTOR	220V
P0305	CORRIENTE PLACA DEL MOTOR	1,9 A
P0307	POTENCIA PLACA DEL MOTOR	1 HP
P0310	FRECUENCIA NOMINAL DEL MOTOR	60HZ
P0311	VELOCIDAD NOMINAL DEL MOTOR	1590 RPM
P1001	FRECUENCIA _ VELOCIDAD 1	20 Hz
P1002	FRECUENCIA _ VELOCIDAD 2	40 Hz
P1003	FRECUENCIA _ VELOCIDAD 3	55 Hz

TABLA N° 04: CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

F. Programación del Controlador Lógico Programable

Network 1: Se considera en la programación un contacto normalmente abierto que represente el pulsador de marcha, y un contacto normalmente cerrado que represente el pulsador de parada, ambos conectados a un bloque de función Set – Reset, el cual activara el arranque del variador, a partir del cual se pretende accionar la banda transportadora con la velocidad inicial configurada.

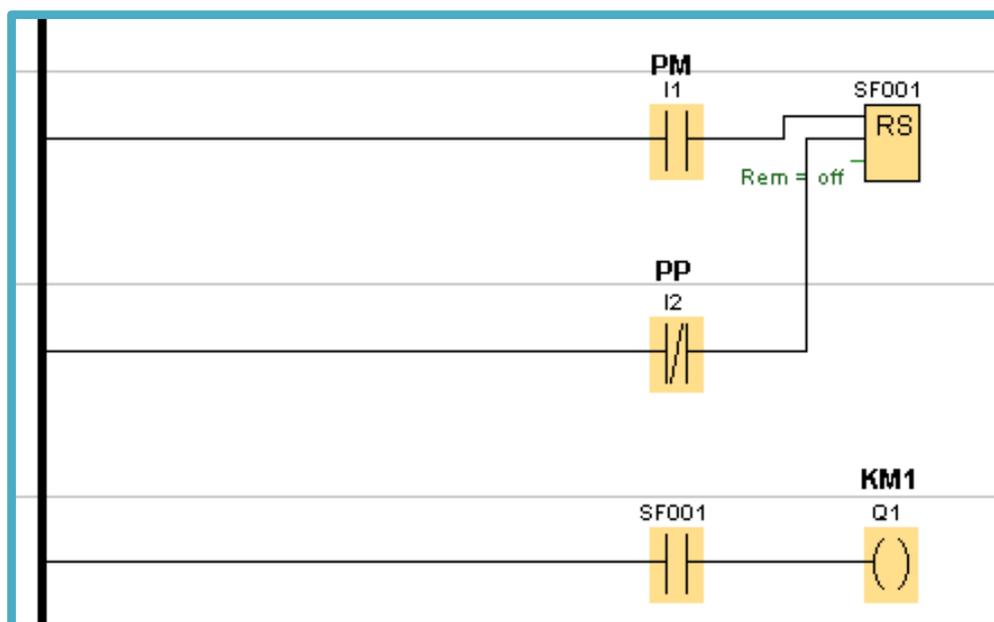


FIGURA N° 43: PROGRAMACIÓN DEL NETWORK 1

Network 2: En la segunda parte de la programación se hace uso de la función temporizador On-Delay, definido por T002, el cual está configurado en un tiempo de 5 segundos. El segmento empieza con el contacto normalmente abierto del temporizador T002, seguido de dos contactos normalmente cerrados de las bobinas Q3 y Q4, que serán los elementos que condicionan la activación de la velocidad V1 (Q2).

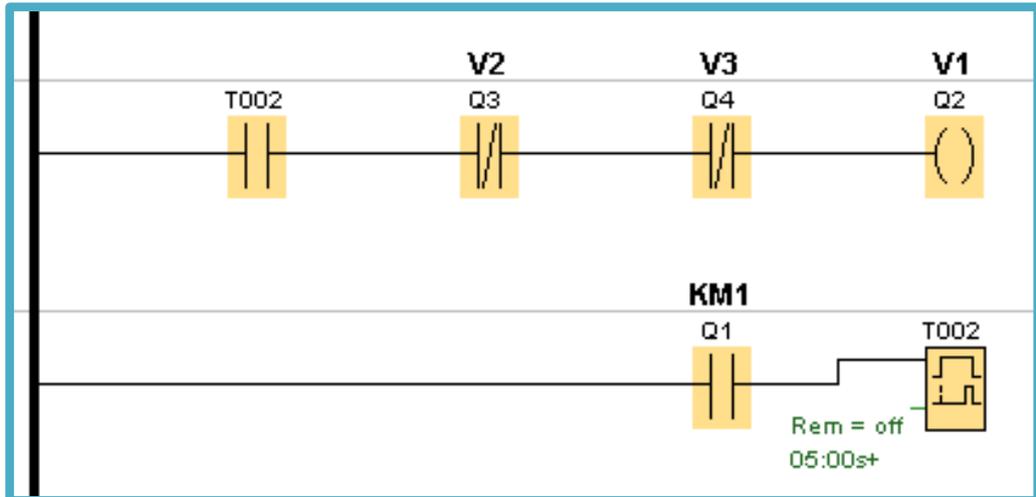


FIGURA N° 44: PROGRAMACIÓN DEL NETWORK 2

Network 3: En este segmento se utiliza un contacto normalmente abierto del contactor KM1 (Q1), el cual activara el temporizador On-Delay T003, configurado en 10 segundos. Es decir los temporizadores T002, T003 y T004, se accionaran simultáneamente, de tal forma que luego de haber transcurrido los 10 primeros segundos, se activara el segundo nivel de velocidad en la banda transportadora.

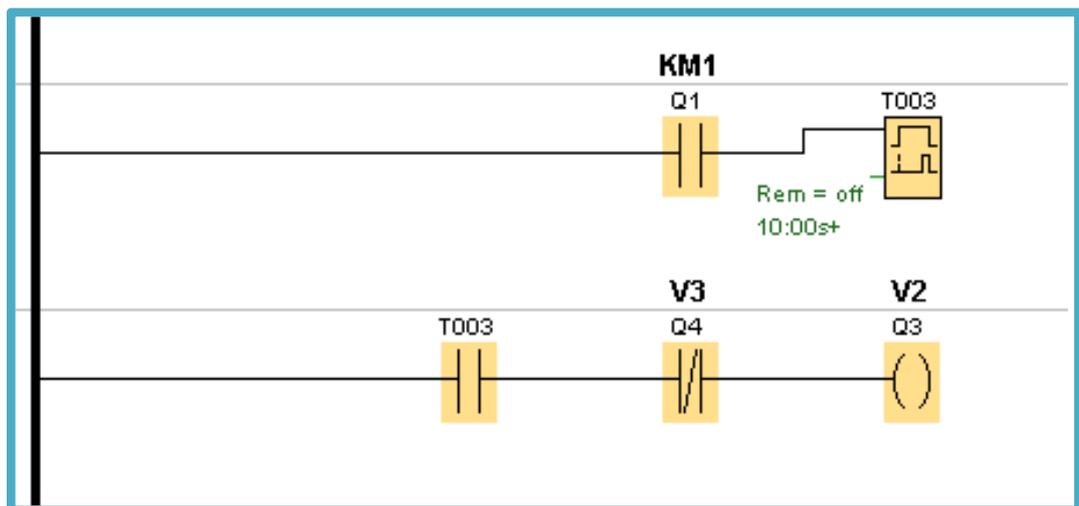


FIGURA N° 45: PROGRAMACIÓN DEL NETWORK 3

Network 4: Tal como en los segmentos anteriores el contacto normalmente abierto activará el temporizador T004, el cual se configura en 15 segundos. Tiempo en el cual se activara la velocidad de nivel 3 mediante la bobina Q4.

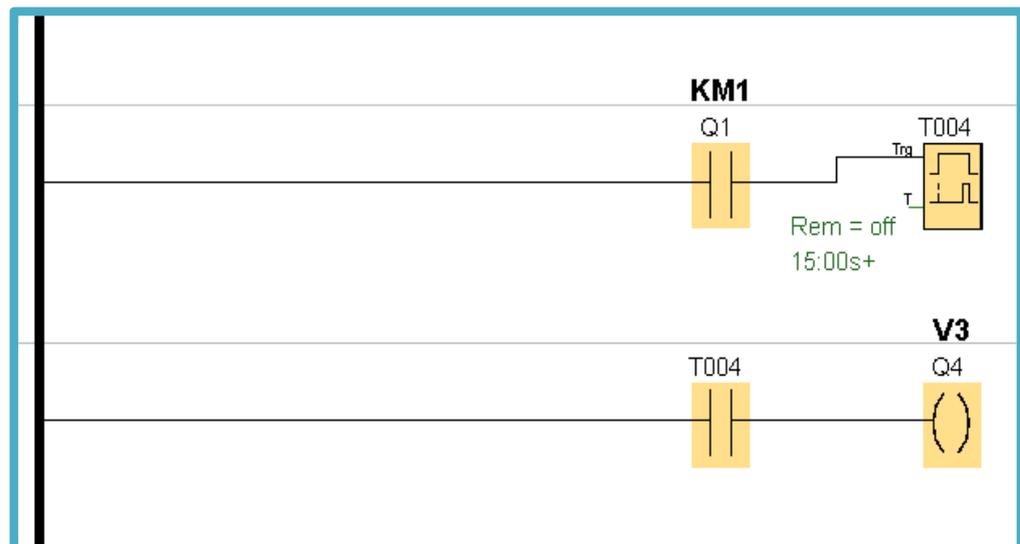


FIGURA N° 46: PROGRAMACIÓN DEL NETWORK 4

3.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN

Puesto que se pretende describir una alternativa para el control automático de velocidad de una banda transportadora mediante variador de frecuencia en la fábrica Cementos Sur S.A, se utilizó el Software de Simulación LOGO SOFT COMFORT V.7, para verificar si lo descrito en el punto anterior garantiza la secuencialidad de los accionamientos de las bobinas que representan los bornes del variador de frecuencia, que regulara el arranque del motor que permite el desplazamiento de la banda transportadora.

A continuación se muestra las imágenes que evidencian lo indicado en el párrafo anterior.

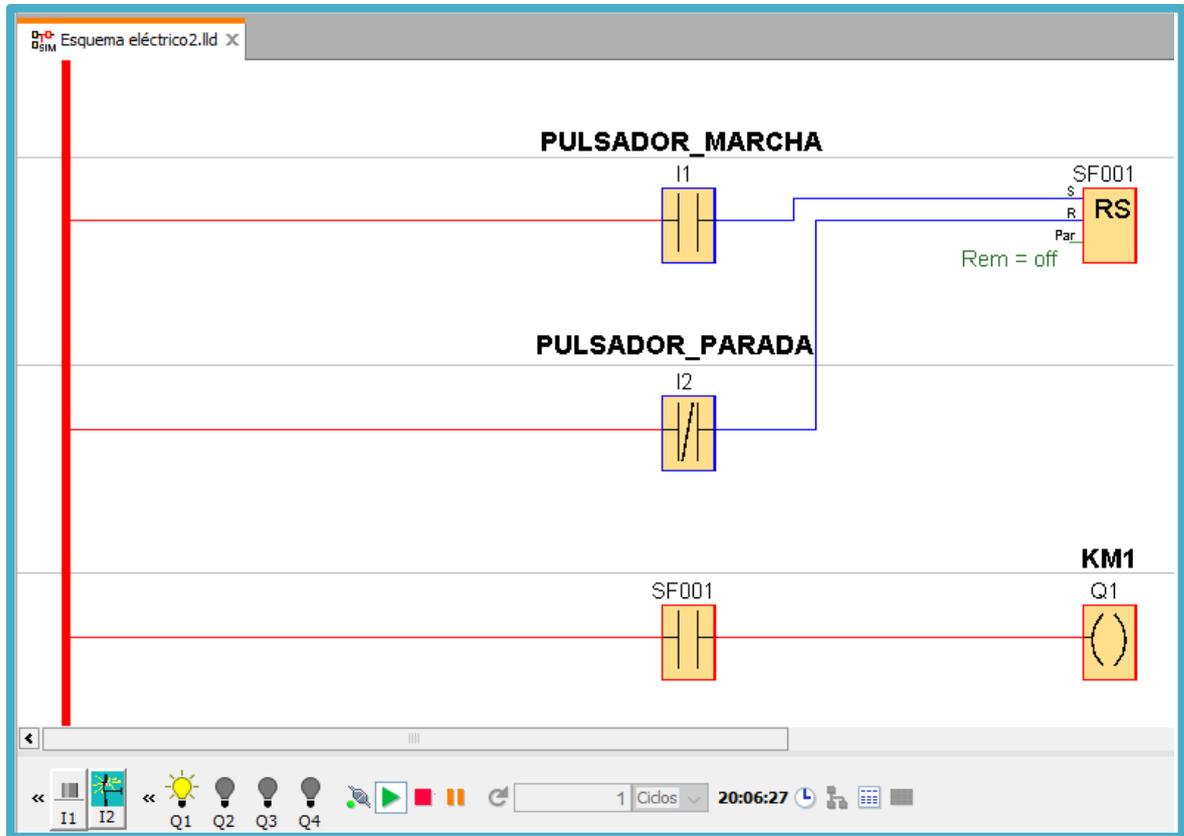


FIGURA N° 47: SIMULACIÓN DEL ARRANQUE DEL MOTOR QUE ACCIONARA LA BANDA TRANSPORTADORA

En la figura anterior se evidencia que al pulsar I1 se activa Q1 mediante el accionamiento de la función SET-RESET (SF001), el cual habilita al variador y arranca al motor con una velocidad configurada en el propio variador.

En la siguiente figura se observa que se activa el temporizador 1 (T002) después de 5 segundos y a la vez se pone en marcha la primera velocidad lo cual dura por 5 segundos esta salida enviara un pulso al variador de frecuencia para la primera velocidad.

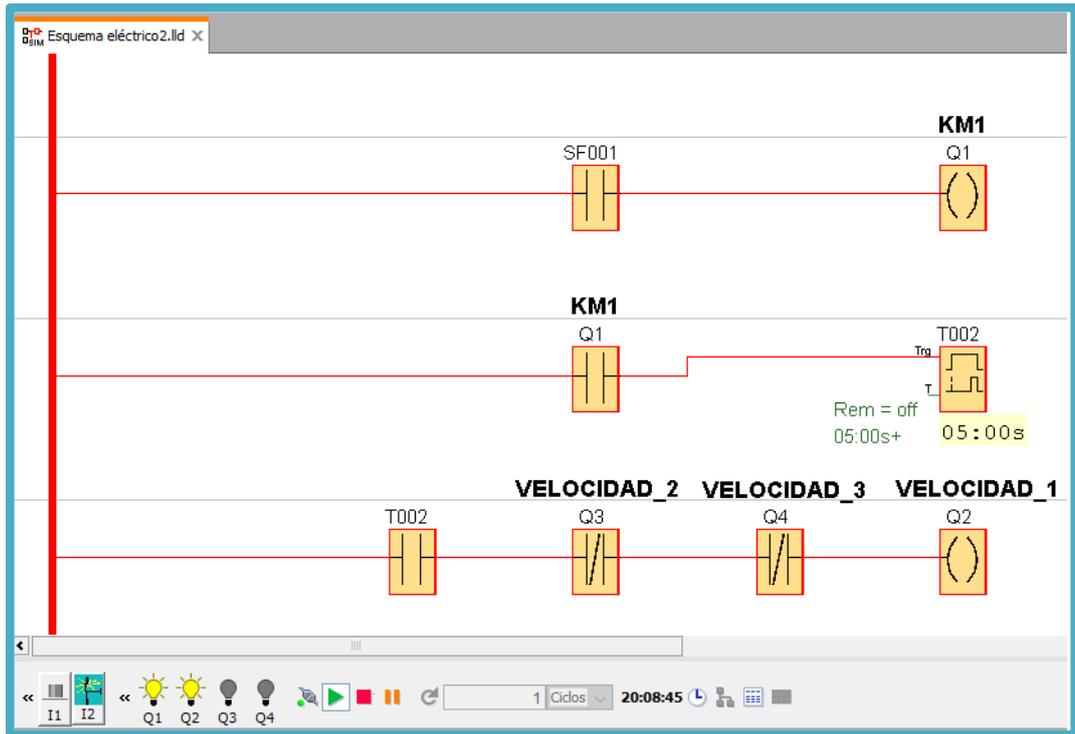


FIGURA N° 48: SIMULACIÓN DE LA ACTIVACIÓN DEL PRIMER NIVEL DE VELOCIDAD DE LA BANDA TRASPORTADORA

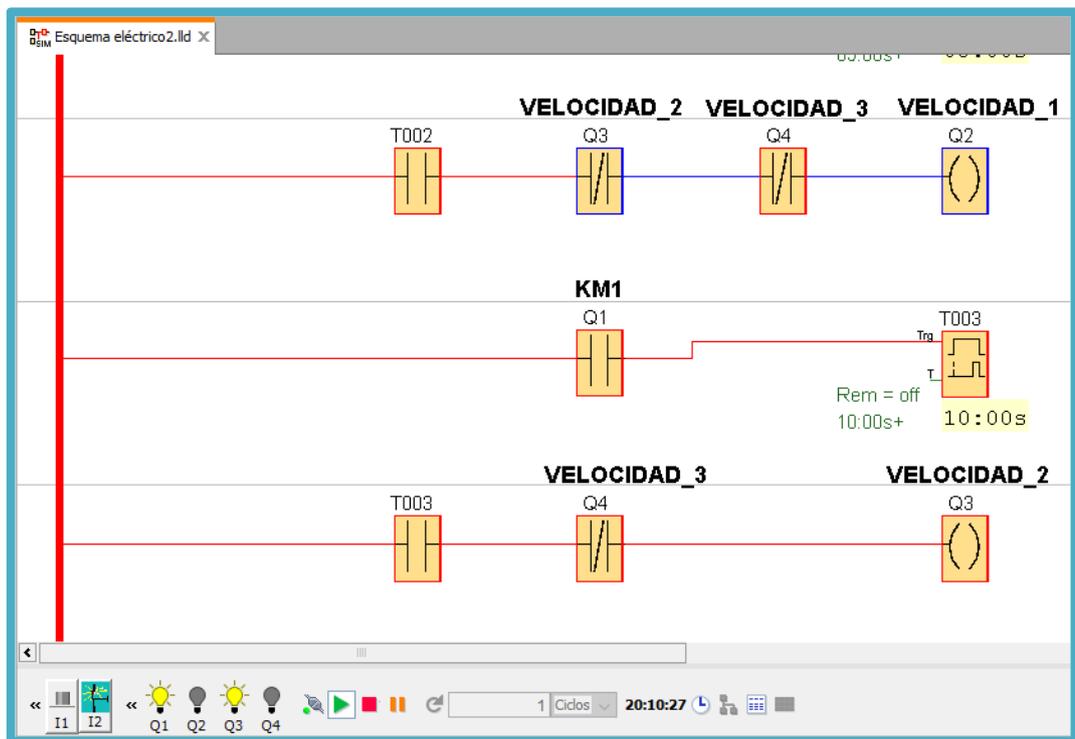


FIGURA N° 49: SIMULACIÓN DE LA ACTIVACIÓN DEL SEGUNDO NIVEL DE VELOCIDAD DE LA BANDA TRASPORTADORA

En la figura anterior se observa que se activa el temporizador 2 (T003) después de 10 segundos y de forma automática el segundo nivel de velocidad de la banda transportadora. Así mismo se evidencia que tiene una duración de 5 segundos. También se observa que en ese instante se desactiva el primer nivel de velocidad donde el PLC envía un pulso al direccionamiento del variador (Q3) para la segunda velocidad.

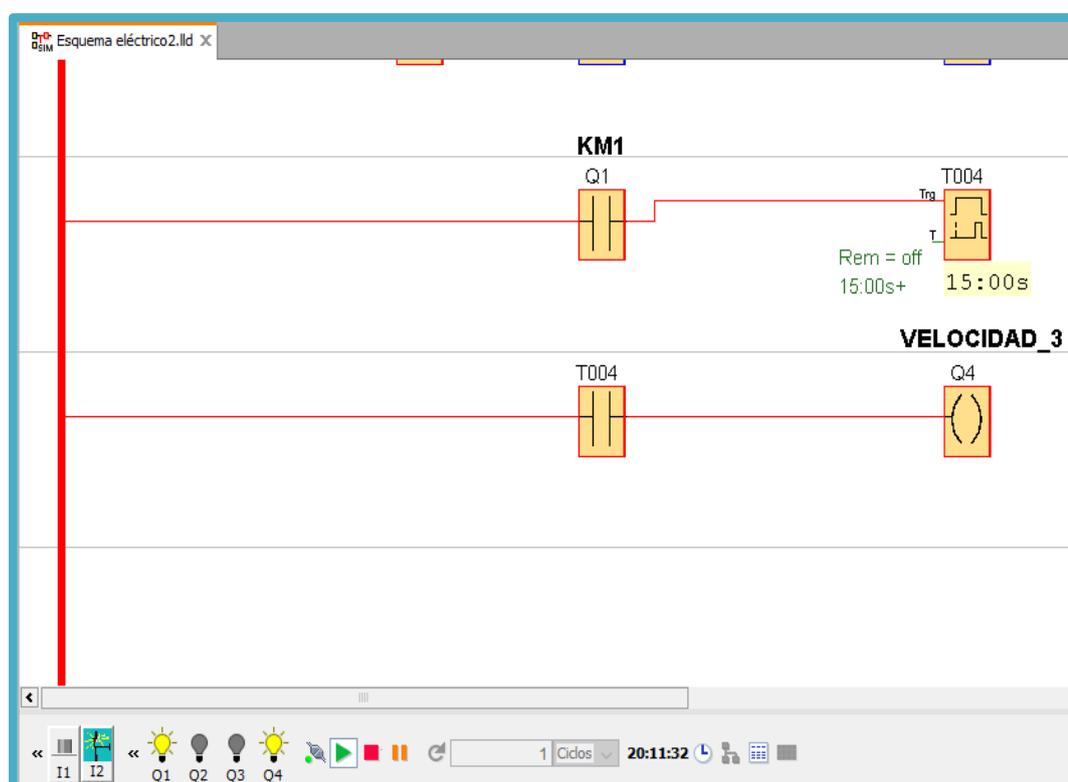


FIGURA N° 50: SIMULACIÓN DE LA ACTIVACIÓN DEL TERCER NIVEL DE VELOCIDAD DE LA BANDA TRANSPORTADORA

En la figura anterior se observa que luego de 15 segundos de activado la función Temporizador T004, se accionada el tercer nivel de velocidad, desactivando la dirección de la bobina de la segunda velocidad (Q3).

CONCLUSIONES

- Se concluye que mediante la propuesta descrita en este proyecto de ingeniería se puede controlar la velocidad de la banda transportadora en 3 niveles mediante un variador de frecuencia cuyas frecuencias relacionadas a estas velocidades son 20Hz, 40 Hz y 55 Hz.
- Se concluye que en el proceso a automatizar se identificaron como elementos de entrada a los sensores discretos, pulsador de parada y pulsador de marcha y como elementos de salida son cuatro contactores que accionaran al variador y a sus 3 niveles de velocidad.
- Finalmente en la programación realizada se evidencia que se establece la secuencialidad de accionamiento de los niveles de velocidades de la banda transportadora, generado mediante un variador de frecuencia.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar esta alternativa en la fábrica Cementos Sur S.A, a fin de controlar el nivel de velocidad de la banda transportadora de la sección de molino crudo.
- Se recomienda tomar como referencia este proyecto de ingeniería a fin de establecer el automatismo de todo el proceso productivo en la fábrica de Cementos Sur S.A, no realizado en este proyecto debido al nivel muy amplio de desarrollo que implica el estructurar la cantidad de sensores y actuadores de todo el proceso.
- Se recomienda utilizar controladores proporcionales, integradores y derivativos para cada una de las variables analógicas a controlar, a fin de que el proceso pueda autorregularse por sí mismo.

BIBLIOGRAFÍA

1. **CARRASCO. L.** (2011). Implementación de un módulo de laboratorio para el control y monitoreo de un motor asíncrono jaula de ardilla mediante un variador de frecuencia, un PLC y SOFTWARE. (Tesis de Pre Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
2. **CARDENAS. R.** (2012). Control de velocidad de motores trifásicos conectados en cascada utilizando el PLC Siemens Simatic S7-200, CPU 222. (Tesis de Pre Grado). Universidad de Magallanes. Chile.
3. **SANCHEZ. M.** (2015). Control de prensado mediante variador de frecuencia controlado por PLC. (Tesis de Pre Grado). Universidad de Valladolid. España.
4. **MARTINEZ. F.** (2003). Instalaciones Eléctricas de alumbrado e Industriales. Madrid, España: PARANINFO
5. **ROLDAN. J.** (2014). Motorización de máquinas y vehículos. Madrid, España: PARANINFO
6. **ROLDAN. J.** (2011). Automatismos Industriales. Madrid, España: PARANINFO
7. **MEDINA, G.** (2010). La Automatización en la Industria Química. Editorial: UPC. España.
8. **MONTELLANO. F.** (2003). Sistemas Servo controlados: Elección y Cálculo de accionamientos, Automática e Instrumentación. Editorial Marcombo.

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

1. **CONTROL DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN USANDO UN VARIADOR DE FRECUENCIA**

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90201/fichero/proyecto.pdf>

Autor: PIÑERO R., J.

2. **DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL PARA LOS PROCESOS DE DOSIFICACIÓN, MEZCLA Y CARGA DE UNA PLANTA DE ASFALTO**

<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16661/T44.07%20L881d.pdf?sequence=1>

Autor: LÓPEZ C., A - MESA H. J.

ANEXO

CARACTERÍSTICAS REALES DE EQUIPOS UTILIZADOS EN CEMENTOS

SUR S.A.

N° Ítem	Componente	Características
1	Motor de la banda transportadora	Potencia 100HP, FS:1.15, Peso: 430Kg
2	Variador de Velocidad Altivar	Alimentación Trifásica 380 VAC (IEC) a 480VAC (NEC) a 60 Hz IP20 – Potencia Nominal 100HP – Dimensión: 630x320x290
3	Inductancia de Línea (CA)	Isc máximo de línea: 50kA, valor de inductancia: 0.038, Corriente nominal: 613A
4	Resistencia de frenado	Protección IP 20; valor óhmico a 20 °C 100 Ohms
5	Controlador lógico Programable	Siemens Logo 230RC – 220VAC

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

N° Ítem	Componente	Costo
1	Motor de la banda transportadora	25,334.00
2	Variador de Velocidad Altivar	2576.50
3	Inductancia de Línea (CA)	389.00
4	Resistencia de frenado	285.00
5	Controlador lógico Programable	685.00
6	Mano de Obra	10,000.00
TOTAL		39,269.50