



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

APLICACIÓN INDUSTRIAL DE ACCIONAMIENTOS (DRIVES) PARA MOTORES DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

E INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

(ÁREA: ELÉCTRICA DE POTENCIA / ELÉCTRICA ELECTRÓNICA)

PRESENTAN:

JOSE RICARDO ARELLANO JIMÉNEZ

CEVERINO ARAGÓN CÁRDENAS

ASESOR:

ING. JOAQUIN JORGE TELLEZ LENDECH

MÉXICO D.F. AGOSTO 2009





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Quiero agradecer a mi Madre

Petra Cárdenas Palacios por todo su amor y sacrificios que realizo por mí, para que pudiera terminar la carrera, gracias por enseñarme, que en la vida hay esfuerzos y sacrificios que valen la pena realizar, espero que con este trabajo se pueda concluir uno de nuestros sueños en común y que te sientas orgullosa de mí, te amo mamá por siempre, gracias a diós que aun estas con migo.

Quiero agradecer a mi Padre

Joel Aragón Rodríguez por todo su amor y sacrificios que realizo por mí, para que pudiera terminar la carrera, gracias por esa mano firme, que con aciertos y errores me enseñó que en la vida hay responsabilidades que no podemos evadir, aun cuando quisiéramos, gracias por que aprendí de tus errores y los míos que siempre podemos salir adelante.

Quiero agradecer a mi esposa

Maria de Lourdes por todo su amor y comprensión, por todos esos momentos que pasamos juntos a lo largo de la carrera y por darme ánimos en los momentos más difíciles, siempre es bueno saber que te tengo y cuento con tigo, te amo.

Quiero agradecer a mis hijos

Adán y Luz Ivonne por ser uno de los más grandes amores de mi vida y por ser talvez la motivación mas fuerte para realizar este ultimo esfuerzo y tratar de ser un buen ejemplo para ustedes, los amo y siempre tratare de ser lo mejor para ustedes.

Ceverino Aragón Cárdenas

Quiero agradecer a mis hermanos

Elsa, Jorge, Joel, David y Erika , gracias por su ayuda y por su tolerancia en esos momentos difíciles y gracias por que siempre han sido mis mejores amigos. Los quiero mucho

Quiero agradecer a mis suegros

Maria de Lourdes y Felipe, por su apoyo en estos años para que pudiese realizar mis proyectos. Es bueno saber que se puede contar con ustedes siempre en las buenas y en las malas.

Quiero agradecer a mis amigos y familiares

Gracias a cada uno de ustedes, que es muy difícil mencionar por que la lista es larga, los que pasaron y los que a una están gracias a todos por que forman parte de todo ese aprendizaje y experiencias de deja la vida.

Quiero agradecer mi Facultad de Ingeniería y Maestros

Gracias por la oportunidad que con su esfuerzo y devoción a la enseñanza, por sus consejos y regaños y por todo lo que sacrificaron por tratar de que aprendiésemos, gracias UNAM por la oportunidad que me distes de ser alguien en la vida.

Ceverino Aragón Cárdenas

Quiero agradecer a mi Madre

Aurora Jiménez quien me enseñó a creer que todo es posible siempre y cuando nos enfoquemos.

A mi hermana Teresa Arellano y hermanos por todo el amor y apoyo para la conclusión de mi carrera quien sin su apoyo no hubiese sido posible.

A Maria Fernanda por impulsarme e inspirarme con su amor y ejemplo.

A mis amigos que siempre han estado y estarán a mi lado.

Y a la facultad de Ingeniería que es y será fuente de logros y metas.

JOSE RICARDO ARELLANO JIMENEZ

Indice

| | | |
|-------|---|----|
| I. | Introducción..... | 2 |
| II. | Movimiento de materiales en una línea de producción..... | 4 |
| III. | Motores eléctricos..... | 10 |
| IV. | Accionamientos (Drives)..... | 23 |
| V. | Controladores Lógicos Programables (PLC's). Sensores y actuadores | 47 |
| VI. | Conformación y Pruebas del sistema..... | 71 |
| VII. | Conclusiones..... | 89 |
| VIII. | Bibliografía..... | 90 |

I. Introducción

Lo que se pretende en este tema de tesis es utilizar lo último que hay en el área de control de motores, o sean los comúnmente llamados drives, y también los controladores lógicos programables (PLC), aplicándolos, en este caso, en uno de tantos controles de proceso como lo es el movimiento de material mediante bandas transportadoras.

Una de las grandes problemáticas con las que nos topamos los recién egresados es que cuando comenzamos a ejercer no tenemos ni idea de cómo funciona, por ejemplo, una industria, ni conocemos, a veces, en lo más mínimo, los procesos de producción, ni mucho menos los equipos que se usan para llevar adelante el proceso productivo (a menos que hayamos comenzado a trabajar antes, lo que ciertamente no es muy común). Así pues, esta tesis está planteada para revertir un tanto estas deficiencias y que nosotros, como futuros profesionistas, comencemos a darnos cuenta de esto; así, lo que se pretende aquí es simular uno de tantos controles de proceso, en este caso, el movimiento de material, en base a un par de bandas transportadoras, utilizando controladores electrónicos de velocidad para motores de inducción (drives) para cada una de las bandas, realizando un PLC labores alternas de control (no de velocidad), interactuando todo ello de la manera más eficiente para el trasiego de material. Es de recalcar que el carácter de este proyecto, es el aprender a usar parte de la tecnología actual, como es la de los accionamientos y PLC's para el movimiento de material por bandas transportadoras, aunque sea a pequeña escala, utilizando equipo muy en boga actualmente y no los viejos equipos que a veces aún se utilizan y, lo que es peor, aún se imparten, en nuestros laboratorios y que al llegar a la industria nosotros los egresados jamás usaremos.

Se montaría para esto un sistema, bancada o maqueta de simulación, conformado por dos drives, un PLC y dos motores de ca de jaula de ardilla, fraccionarios, de diferentes marcas, que moverían dos bandas transportadoras que, a su vez, moverían material; probándose el adecuado funcionamiento del sistema.

En cuanto al alcance de este proyecto es conveniente subrayar la necesidad de ir sustituyendo sistemas o equipos electromecánicos ya obsoletos por otros más modernos que nos posibiliten adentrarnos en la corriente tecnológica actual. Este proyecto serviría para este fin.

El método que se pretende seguir es adentrarnos primero en el estudio de los drives y PLC's de manera general, para ello habría que remitirse a la bibliografía que hay en el área para, posteriormente, pasar a analizar los equipos con los que contamos: un Yaskawa y un Baldor (Drives) y un Moeller (PLC), vía los manuales de cada uno. Esto nos dará las herramientas para poder montarlos y programarlos de manera correcta, que sería el paso siguiente. Se haría, entonces, la bancada (o maqueta) del sistema, haciendo la conexión física (el alambrado) de los drives con los motores de inducción trifásicos jaula de ardilla fraccionarios (actuadores) y el PLC, junto con los sensores a ser utilizados. Además, acopladas (vía coples) a las flechas de los motores irían unos rodillos a través de chumaceras, que soportarían las bandas. Se harían, obviamente, pruebas, para ir tensando adecuadamente las bandas para que funcionen de manera correcta, y poner a punto el control, a través de los drives y PLC, debiendo estar estos, perfectamente programados.

Se espera tener al final del proyecto una bancada o maqueta de simulación con el sistema drive(s)-motor(es)-PLC, que nos posibilite el movimiento de material a través de bandas, y que pueda ser usado en las clases, como claro ejemplo del uso de nueva tecnología en el área del control electrónico de motores.

II. Movimiento de materiales en una línea de producción

Introducción.

El capítulo que a continuación se presenta consiste en la determinación del manejo de materiales de una empresa.

Se pretende conocer las distintas formas en que ha sido abordado el tema y, específicamente, interesa destacar los énfasis y las prioridades en que ha sido tratado.

La importancia de este conocimiento puede ayudar a entender el porqué del funcionamiento eficiente en las ramas de la manufactura, el almacenaje, y la distribución.

De la revisión del tema se muestran los métodos, equipos y sistemas de manejo de materiales, que pueden utilizarse para incrementar la productividad y lograr una ventaja competitiva en el mercado.

Con esto podemos reafirmar y completar conocimientos adquiridos mediante la realización del análisis del manejo de materiales y la planificación de instalaciones. Podemos determinar aspectos importantes de la logística por cuanto abarque el manejo físico, el transporte, el almacenaje y la localización de los materiales.

Marco Teórico.

El manejo de materiales puede llegar a ser el mayor problema en una producción ya que agrega poco valor al producto y consume una buena parte del presupuesto de manufactura. Este manejo de materiales incluye consideraciones de movimiento, lugar, tiempo, espacio y cantidad. El manejo de materiales debe asegurar que las partes, materias primas, material en proceso, productos terminados y suministros se desplacen periódicamente de un lugar a otro.

Cada operación del proceso requiere materiales y suministros a tiempo en un punto en particular, esto es, un eficaz manejo de materiales. Así, se asegura que los materiales serán entregados en el momento y lugar adecuado, así como, la cantidad correcta. El manejo de materiales debe considerar también un espacio para el almacenamiento.

En una época de alta eficiencia en los procesos industriales las nuevas tecnologías para el manejo de materiales se han convertido en una prioridad en lo que respecta al equipo y sistema de manejo de materiales, ya que pueden utilizarse para incrementar la productividad y lograr una ventaja competitiva en el mercado. Aspecto importante de la planificación, control y logística por cuanto abarca el manejo físico, el transporte, el almacenaje y localización de los materiales.

Riesgos de un manejo ineficiente de materiales.

- Sobrestadía.
La sobrestadía es una cantidad de pago exigido por una demora, esta sobrestadía es

aplicada a las compañías si no cargan o descargan sus productos dentro de un periodo de tiempo determinado.

- Desperdicio de tiempo de máquina.

Una máquina gana dinero cuando está produciendo, no cuando está ociosa, si una máquina se mantiene ociosa debido a la falta de productos y suministros, habrá ineficiencia es decir no se cumplirá el objetivo en un tiempo predeterminado. Si trabajan los empleados producirán dinero y si no cumplen el objetivo fijado en el tiempo predeterminado dejarán de ser eficientes.

- Lento movimiento de los materiales por la planta.

Si los materiales que se encuentran en la empresa se mueven con lentitud, o si se encuentran provisionalmente almacenados durante mucho tiempo, pueden acumularse inventarios excesivos y esto provocará un lento movimiento de materiales por la planta.

- Todos han perdido algo en un momento o en otro.

Muchas veces en los sistemas de producción por lote de trabajo, pueden encontrarse mal colocados productos, partes e incluso las materias primas. Si esto ocurre, la producción tenderá a inmovilizarse e incluso los productos que se han terminado podrían no encontrarse cuando así el cliente llegue a recogerlos.

- Un mal sistema de manejo de materiales puede ser la causa de serios daños a partes y productos.

Muchos de los materiales necesitan almacenarse en condiciones específicas, p. ej. - papel en un lugar cálido; leche y helados en lugares frescos y húmedos. El sistema debe proporcionar buenas condiciones y si ellas no fueran así y se da un mal manejo de materiales y no hay un cumplimiento de estas normas, el resultado que se obtendrá será el de grandes pérdidas, así como también daños posibles por un manejo descuidado.

- Un mal manejo de materiales puede dislocar seriamente los programas de producción. En los sistemas de producción en masa, si en una parte de la línea de montaje faltan los materiales, se detiene toda la línea de producción, por el mal manejo de estos, lo que llevará a entorpecer esta línea haciendo así que el objetivo fijado no se llegue a cumplir por el manejo incorrecto de los materiales.

- Desde el punto de vista de la mercadotecnia, un mal manejo de materiales puede significar clientes inconformes. La mercadotecnia lo forma un conjunto de conocimientos donde están involucrados los aspectos de comercialización, proceso social y administrativo. Todo cliente es diferente y el poderlo satisfacer depende del desempeño percibido de un producto para proporcionar un valor en relación con las expectativas del consumidor.

Puesto que el éxito de un negocio radica en satisfacer las necesidades de los clientes, es indispensable que haya un buen manejo de materiales para evitar las causas de las inconformidades.

- Otro problema se refiere a la seguridad de los trabajadores.
Desde el punto de vista de las relaciones con los trabajadores se deben de eliminar las situaciones de peligro para ellos a través de un buen manejo de materiales; la seguridad del empleado debe de ser lo más importante para la empresa ya que ellos deben de sentir un ambiente laboral tranquilo, seguro y confiable, libre de todo peligro. Puesto que si no hay seguridad en la empresa los trabajadores se arriesgarían por cada operación a realizar y un mal manejo de materiales hasta les podría causar la muerte.
El riesgo final de un mal manejo de materiales, es su elevado costo.
- El mal manejo de materiales, representa un costo que no es recuperable. Si un producto es dañado en la producción, puede recuperarse algo de su valor volviéndolo hacer, pero el dinero gastado en el mal manejo de materiales no puede ser recuperado, es pues necesario extremar el cuidado en el uso adecuado de los materiales para no llegar a tener grandes pérdidas de capital.
¿Qué se puede hacer?
- Eliminar.
Si no es posible, se deben de hacer las distancias del transporte tan cortas como sea posible. Debido a que los movimientos más cortos requieren de menos tiempo y dinero que los movimientos largos y ayudan a hacer la producción más eficiente.
- Mantener el movimiento.
Si no es posible, se debe de reducir el tiempo de permanencia en las terminales de una ruta tanto como se pueda.
- Emplear patrones simples.
Se deben de reducir los cruces y otros patrones que conducen a una congestión, ya que la reducción de cruces hace que la producción se haga más ligera, esto tanto y como lo permitan las instalaciones.
- Transportar cargas en ambos sentidos.
Se debe de minimizar el tiempo que se emplea en transporte vacío. Pueden lograrse sustanciales ahorros si se pueden diseñar sistemas para el manejo de materiales que solucionen el problema de ir o regresar sin una carga útil.
- Transportar cargas completas.
Se debe de considerar un aumento en la magnitud de las cargas unitarias disminuyendo la capacidad de carga, reduciendo la velocidad o adquiriendo un equipo más versátil.
- Emplear la gravedad.
Si no es posible, tratar de encontrar otra fuente de potencia que sea igualmente confiable y barata.
- Evítese el manejo manual.

Se debe de procurar disponer de medios mecánicos que puedan hacer el trabajo en formas más efectiva.

- Un último principio es que los materiales deberán estar marcados con claridad o etiquetados.

Es fácil colocar mal o perder los artículos por lo que es recomendado etiquetar el producto.

Existen otros aspectos muy importantes del manejo de materiales a tomarse en cuenta. Entre estas consideraciones se incluyen el movimiento de hombres, máquinas, herramientas e información. El sistema de flujo debe de apoyar los objetivos de la recepción, la selección, la inspección, el inventario; la contabilidad, el empaque, el ensamble y otras funciones de la producción. Se necesita decisión para establecer un plan del movimiento de materiales que se ajuste a las necesidades del servicio sin subordinar la seguridad y la economía.

Dispositivos para el manejo de materiales.

El número de dispositivos para el manejo de materiales con que actualmente se dispone es demasiado grande, por lo que se describirán a continuación brevemente sólo algunos de ellos. El equipo para el transporte horizontal o vertical de materiales en masa puede clasificarse dentro de las tres categorías siguientes.

Grúas.

Mueven el material en el aire, arriba del nivel del suelo, a fin de dejar libre el piso para otros dispositivos de manejo de material que sean importantes. Los objetos pesados y problemáticos son candidatos lógicos para el movimiento en el aire. La principal ventaja de usar grúas se encuentra en el hecho de que no requieren de espacio en el piso.

Transportadores.

Es un aparato relativamente fijo diseñado para mover materiales, pueden tener la forma de bandas móviles: rodillos operados externamente o por medio de gravedad o aquellos para productos utilizados para el flujo de líquidos, gases o material en polvo a presión: Los productos por lo general no interfieren en la producción, ya que se colocan adosados a las paredes, o debajo del piso o en tendido aéreo.

Los transportadores tienen varias características que afectan sus aplicaciones en la industria.

Son independientes de los trabajadores, es decir, se pueden colocar entre máquinas o entre edificios y el material colocado en un extremo llegará al otro sin intervención humana.

Los transportadores proporcionan un buen método para el manejo de materiales mediante el cual los materiales no se extravían con facilidad.

Se pueden usar los transportadores para fijar el ritmo de trabajo siguiendo rutas fijas. Esto limita su flexibilidad pero los hace adecuados para la producción en masa o en procesos de flujo continuo.

Carros.

La mecanización ha tenido un enorme impacto en los materiales en años recientes. Entre los que se incluyen vehículos operados manualmente o con motor. Así, los carros operados en forma manual, las plataformas y los camiones de volteo han sido adecuados para cargas ligeras, viajes cortos y lugares pequeños, mientras que para mover objetos pesados y voluminosos, se han utilizado principalmente los tractores. Sin embargo, la seguridad, la visibilidad y el espacio de maniobra han sido mayormente las primordiales limitaciones.

Con el avance de la tecnología se han desarrollado máquinas para mover material en formas y condiciones nunca antes vistas. No obstante, el desarrollo repentino ha hecho que las instalaciones existentes se vuelvan incompetentes de la noche a la mañana. Y en la prisa por ponerse al día, se han tenido que desarrollar métodos más novedosos. Por supuesto, algunas industrias aún tienen que actualizarse, pero el problema actual más grande es cómo utilizar mejor el equipo moderno y coordinar su potencial en forma más eficiente con las necesidades de producción.

Finalmente, existen varios factores que afectan a las decisiones sobre el manejo de los materiales de entre los cuales podemos mencionar cuatro, a saber:

El tipo de sistema de producción, los productos que se van a manejar, el tipo de edificio dentro del cual se van a manejar los materiales y el costo de los dispositivos para el manejo de los mismos.

Redes de flujo de materiales.

Ha habido un cambio en la perspectiva, ya que el flujo de materiales no se ve como la responsabilidad de un conjunto de personas diferentes que persiguen objetivos diferentes, sino la responsabilidad de un equipo de personas que administran el flujo de materiales y que va desde los distribuidores hasta los clientes como una red continua integrada. Se hacen planes, pues, para cubrir la adquisición de materiales y suministros, su transporte a la planta, su almacenamiento, su transformación en un proceso de producción, su almacenamiento mientras llegan los clientes y sus rutas de transporte. Un sistema construido alrededor de una red de flujo de materiales de esta forma, une efectivamente a los distribuidores de la empresa y a sus clientes.

Existen varias funciones verdaderamente importantes y que son dignas de mencionarse y tomarse en cuenta:

La función de vigilancia del estado de la mercancía almacenada en inventario.

Determina cuanto material está en el sistema en inventario. Mismo que puede bajar y subir mientras fluye a través de la empresa y cuya información debe de vigilarse para proporcionar datos de entrada para los modelos de decisión para determinar la cantidad económica de pedido.

La función de compras.

Aprovisionamiento de la red de flujo de materiales. Desde este punto los pedidos se transmiten a los vendedores para cubrir los suministros requeridos para mantener la red de flujo de materiales balanceados.

La función de logística.

Vigilancia del material que se mueve a través del sistema. El punto central de esta función es indispensable para las decisiones, así como para determinar lo necesario, esto es, cuando y cuanto pedir.

El diseño de materiales desempeña puntos críticos en sectores comerciales y de negocios con la importancia de un buen funcionamiento en las ramas necesarias. Integración de estrategia logística con los requisitos del manejo de materiales.

Se requiere optimizar el diseño de las instalaciones de la empresa, un buen manejo de materiales como requisito y mejoras en los procesos operativos si se requieren. Tomando en cuenta redes de flujo, logística y muchos aspectos relacionados al tema es lo que nos brinda el manejo de materiales.

Los sistemas que hoy en día se emplean para el uso adecuado de materiales son de alta calidad y suministran grandes servicios para las empresas, permitiendo así que la empresa se realice siendo más eficiente optimizando la compra y el manejo de materiales, maximizando el control de la gestión, disminuyendo la burocracia y garantizando la confidencialidad.

Aplicaciones.

El análisis del manejo de materiales investigado fue tomado de LOGSTICS CONSULTING GROUP INC e INGENIERIA M.M. S.A. DE C.V., empresas que venden servicios para el manejo de materiales.

LOGSTICS CONSULTING GROUP ofrece a los clientes estudios de instalaciones y manejo de materiales. Estos estudios ponen en manos de la gerencia estrategias que le facilitan la tarea de escoger los equipos apropiados para el manejo de sus materiales.

Beneficios principales.

- Integración de estrategia logística con los requisitos del manejo de materiales.
- Optimización del diseño de las instalaciones.
- Definición de los requisitos del manejo de materiales.
- Mejora de los procesos operativos.

TECHINT NEW YORK, en cambio, muestra la funcionalidad de un módulo de manejo de materiales, a través de TECHINT GLOBAL SUPPLY MANAGEMENT, un sistema informático resultante del proceso de reingeniería de los procesos de compras y manejo de materiales realizado en esta empresa.

Algunos de los objetivos que guiaron la reingeniería son:

- Mejorar la eficiencia de la cadena de suministros.
- Incrementar la productividad.
- Reducir el tiempo de ciclo de suministros.
- Optimizar la compra y manejo de materiales, entre otros.

III. Motores eléctricos

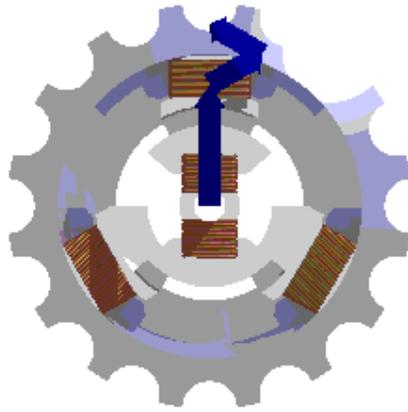


Figura 3.1
Campo magnético que rota como suma de vectores magnéticos a partir de 3 bobinas de la fase



Figura 3.2 Rotor de un motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, es decir, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos regenerativos.

Son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y de particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Una batería de varios kilogramos equivale a la energía que contienen 80 g de gasolina.

Así, en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos.

Principio de funcionamiento.

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

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

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

Ventajas.

En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión:

- A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.
- Se pueden construir de cualquier tamaño.
- Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.
- Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 75%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina).
- Este tipo de motores no emite contaminantes, aunque en la generación de energía eléctrica de la mayoría de las redes de suministro se emiten contaminantes.

Motores de corriente continúa.



Figura 3.3 Diversos motores eléctricos

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma como estén conectados, en:

- Motor serie.
- Motor compound.
- Motor shunt.
- Motor eléctrico sin escobillas.

Además de los anteriores, existen otros tipos que son utilizados en electrónica:

- Motor paso a paso.
- Servomotor.
- Motor sin núcleo.

Motores de corriente alterna.

Los motores de C.A. se clasifican de la siguiente manera:

Asíncrono o de inducción.

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

Jaula de ardilla.

Monofásicos.

- Motor de arranque a resistencia.
- Motor de arranque a condensador.
- Motor de marcha.
- Motor de doble capacitor.
- Motor de polos sombreados.

Trifásicos.

- Motor de Inducción.

A tres fases.

La mayoría de los motores trifásicos tienen una carga equilibrada, es decir, consumen lo mismo en las tres fases, ya estén conectados en estrella o en triángulo. Un motor con carga equilibrada no requiere el uso de neutro. Las tensiones en cada fase en este caso son iguales al resultado de dividir la tensión de línea por raíz de tres. Por ejemplo, si la tensión de línea es 380 V, entonces la tensión de cada fase es 220 V.

Rotor Devanado.

Monofásicos.

- Motor universal.
- Motor de Inducción-Repulsión.

Trifásicos.

- Motor de rotor devanado.
- Motor Asíncrono.
- Motor Síncrono.

Síncrono.

En este tipo de motores y en condiciones normales, el rotor gira a las mismas revoluciones que lo hace el campo magnético del estator.

Cambio de sentido de giro.

Para efectuar el cambio de sentido de giro de los motores eléctricos de corriente alterna se siguen unos simples pasos tales como:

- Para motores monofásicos únicamente es necesario invertir las terminales del devanado de arranque.
- Para motores trifásicos únicamente es necesario invertir dos de las conexiones de alimentación correspondientes a dos fases de acuerdo a la secuencia de trifases.

Regulación de velocidad.

En los motores asíncronos trifásicos existen dos formas de poder variar la velocidad, una es variando la frecuencia mediante un equipo electrónico especial y la otra es variando la polaridad gracias al diseño del motor. Esto último es posible en los motores de devanado separado, o los motores de conexión Dahlander.

Motor asíncrono.

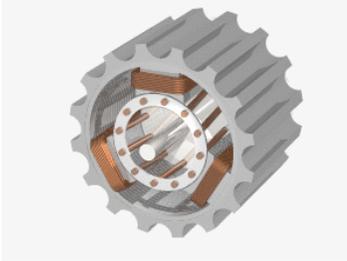


Figura 3.4 Motor asíncrono con rotor en forma de jaula de ardilla

Los motores asíncronos son un tipo de motores eléctricos de corriente alterna.

El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: a) de jaula de ardilla; b) bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° . Según el Teorema de Ferraris, cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas, se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión en el rotor según la Ley de inducción de Faraday:

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

Entonces se da el efecto Laplace (ó efecto motor): todo conductor por el que circula una corriente eléctrica, inmerso en un campo magnético experimenta una fuerza que lo tiende a poner en movimiento. Simultáneamente se da el efecto Faraday (ó efecto generador): en todo conductor que se mueva en el seno de un campo magnético se induce una tensión.

El campo magnético giratorio gira a una velocidad denominada de sincronismo. Sin embargo el rotor gira algo más despacio, a una velocidad parecida a la de sincronismo. El hecho de que el rotor gire más despacio que el campo magnético originado por el estator, se debe a que si el rotor girase a la velocidad de sincronismo, esto es, a la misma velocidad que el campo magnético giratorio, el campo magnético dejaría de ser variable con respecto al rotor, con lo que no aparecería ninguna corriente inducida en el rotor, y por consiguiente no aparecería un par de fuerzas que lo impulsaran a moverse.

También existen motores asíncronos monofásicos, en los cuales el estator tiene un devanado monofásico y el rotor es de jaula de ardilla. Son motores de pequeña potencia y en ellos, en virtud del Teorema de Leblanc, el campo magnético es igual a la suma de dos campos giratorios iguales que rotan en sentidos opuestos.

Motor de Inducción.

Se denomina con este nombre a la máquina cuya armadura o rotor no está conectada a fuente alguna de potencia, sino que la recibe por inducción del flujo creado por los arrollamientos dispuestos en el estator, el cual está alimentado por corrientes mono o polifásicas.

Cuando se excita una máquina de inducción con una corriente polifásica equilibrada se crea en el entrehierro un campo magnético rotativo que gira a velocidad de sincronía:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Donde:

n : Velocidad síncrona.

f : Frecuencia de la red.

p : Número de polos.

Cuando se habla de máquina de inducción, generalmente se está refiriendo al motor de inducción, pues el generador de inducción no tiene mucha aplicación.

Existen dos tipos de rotor, uno es el rotor bobinado y el otro es el rotor jaula de ardilla.

El motor síncrono tiene algunas ventajas tales como prácticamente una absoluta velocidad constante, la habilidad para generar potencia reactiva con un campo sobre excitado, y bajo costo en los motores de baja velocidades. Tienen la desventaja de requerir una fuente de CD(excitador)para la excitación del campo falta de un control de velocidad flexible y un costo elevado para motores de alta velocidad, el motor de inducción polifásico no requiere para su excitación más que la línea de CA.

El motor de inducción gira a baja velocidad sincrónica y se le conoce como maquina asincrónica, su velocidad se disminuye con un par de velocidad que aumenta dado que el motor de inducción no tiene ningunos elementos medios inherentes para producir su excitación, requiere de potencia reactiva y desarrolla una corriente atrasada. Mientras que el factor de potencia a carga nominal es generalmente superior al 80% es bajo con cargas pequeñas. Con el objetivo de limitar la potencia reactiva, la reactancia magnetizante debe ser alta, y por lo tanto el entrehierro más corto que en los motores sincrónicos del mismo tamaño y capacidades nominales, con excepción de los motores pequeños.

Los embobinados del estator de los motores de inducción polifásica son fundamentalmente los mismos que los embobinados del estator de una maquina sincronía, sin embargo los motores los caen en dos categorías dependiendo del rotor que usen uno es el rotor bobinado y el otro es el rotor jaula de ardilla.

a) Rotor Bobinado.

El rotor bobinado está compuesto de un devanado polifásico similar al del estator y con el mismo número de polos que él. Los terminales del devanado del rotor se conectan a anillos rozantes aislados, montados sobre el eje, en los que se apoyan escobillas de carbón, de manera que dichos terminales resultan accesibles desde el exterior.

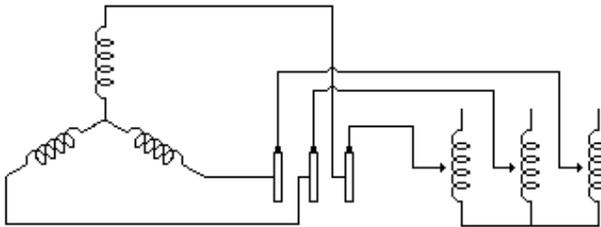


Figura 3.5 Rotor bobinado

b) Rotor Jaula de Ardilla.

El rotor jaula de ardilla está formado por varillas conductoras alojadas en ranuras que existen en el hierro del propio rotor y cortocircuitadas en ambos extremos mediante dos anillos planos conductores dispuestos en cada lado del rotor.

El campo magnético rotatorio producido por los voltajes polifásicos aplicados al embobinado del estator induce corrientes en el círculo del rotor de jaula de ardilla que desarrolla el mismo número de polos del estator. Los polos del estator reaccionan sobre el flujo del estator desarrollando por lo tanto un par en la misma dirección de rotación que la del flujo del estator.

Mientras que el rotor gire abajo ó arriba de la velocidad sincrónica no se tiene ningún movimiento del campo giratorio relativo al rotor, y no se induce ninguna fem en el rotor de por la componente fundamental de flujo. Por consiguiente, el motor de inducción debe operar debajo de la velocidad sincrónica.

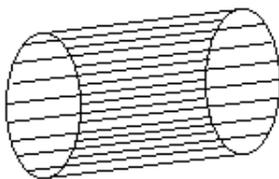


Figura 3.6 Rotor jaula de ardilla

Supongamos que

n : rpm del rotor.

n_s : rpm del estator (velocidad sincrónica, velocidad del campo rotatorio del estator).

El rotor se retrasa respecto al campo del estator en:

$$n' = n_s - n$$

El deslizamiento se expresa por:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Es decir:

$$n = n_s(1 - s)$$

El movimiento relativo entre los conductores del rotor respecto al flujo, induce en ellos una tensión a una frecuencia $s \cdot f$, llamada frecuencia de deslizamiento.

Cuando el rotor está girando en la misma dirección que el campo inductor, la frecuencia de las corrientes rotóricas es $s \cdot f$.

El campo creado por estas corrientes rotóricas girará a la velocidad:

$$n' = \frac{120 \cdot s \cdot f}{p} = s \cdot n_s$$

respecto al rotor, adelantándose.

La velocidad del campo del rotor será:

$$n + n' = n + s \cdot n_s = n_s \cdot (1 - s) + s \cdot n_s = n_s$$

Es decir, ambos campos el del estator y el del rotor permanecen estacionarios uno respecto al otro creándose un torque constante.

El motor de inducción en reposo con rotor cerrado y bloqueado.

Cuando el rotor conduce corriente, hay dos fmm en la máquina y el flujo principal está determinado por la fmm resultante.

Las dos fmm son:

$$F_1 = 0.9 \cdot m_1 \cdot \frac{N_1}{p} \cdot kdp_1 \cdot I_1$$

$$F_2 = 0.9 \cdot m_2 \cdot \frac{N_2}{p} \cdot kdp_2 \cdot I_2$$

Donde:

$$kdp = kd \cdot kp$$

m : Número de fases.

N : Número de vueltas.

p : Número de polos.

I_1, I_2 : Corrientes del primario y secundario.

Suposiciones para referir al primario las cantidades secundarias.

- El rotor conserva el valor original de su fmm

$$F_1' = F_2$$

$$0.9 \cdot m_1 \cdot \frac{N_1}{p} \cdot kdp_1 \cdot I_2' = 0.9 \cdot m_2 \cdot \frac{N_2}{p} \cdot kdp_2 \cdot I_2$$

$$I_2' = \frac{m_2 \cdot N_2 \cdot kdp_2}{m_1 \cdot N_1 \cdot kdp_1} I_2$$

I_2' fluyendo en el devanado del estator, producirá la misma fmm que la producida por I_2 fluyendo en el devanado del rotor.

- Los KVA del rotor conservan su valor original

$$m_1 \cdot E_2' \cdot I_2' = m_2 \cdot E_2 \cdot I_2$$

Reemplazando I_2' , se tiene

$$E_2' = \frac{N_1 \cdot kdp_1}{N_2 \cdot kdp_2} E_2$$

- Las pérdidas I^2R del rotor conservan su valor original

$$m_1 \cdot I_2'^2 \cdot R_2' = m_2 \cdot I_2^2 \cdot R_2$$

Sustituyendo I_2' , se tiene

$$R_2' = \frac{m_1}{m_2} \cdot \left| \frac{N_1 \cdot kdp_1}{N_2 \cdot kdp_2} \right|^2 \cdot R_2$$

- La energía magnética de los flujos de dispersión del rotor $\frac{1}{2} \cdot L_1 \cdot I^2$, conserva su valor original.

$$m_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_2' \cdot I_2'^2 = m_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_2 \cdot I_2^2$$

$$X_2' = \frac{m_1}{m_2} \cdot \left| \frac{N_1 \cdot kdp_1}{N_2 \cdot kdp_2} \right|^2 \cdot X_2$$

La fmm total que produce el flujo principal ϕ está dada por dos fmm. Estas dos fmm producen la fmm resultante:

$$F_1 - F_2 = F_R, \text{ entonces}$$

$$0.9 \cdot m_1 \cdot \frac{N_1}{p} \cdot kdp_1 \cdot I_1 - 0.9 \cdot m_2 \cdot \frac{N_2}{p} \cdot kdp_2 \cdot I_2 = 0.9 \cdot m_1 \cdot \frac{N_1}{p} \cdot kdp_1 \cdot I_m$$

Y se llega a:

$$I_1 - I_2' = I_m$$

Las ecuaciones del estator son:

$$V_1 = E_1 + I_1 \cdot R_1 + jI_1 \cdot X_1$$

Donde:

X_1 = Reactancia de dispersión.

R_1 = Resistencia del estator.

E_1 = FEM inducida por el flujo principal en el devanado del estator.

Las ecuaciones del rotor (bloqueado) son:

$$E_2' = I_2' \cdot R_2' + jI_2' \cdot X_2'$$

Donde:

E_2' : FEM en el devanado del rotor referido al estator.

R_2' : Resistencia referida al estator.

X_2' : Reactancia de dispersión del rotor referido al estator.

Las consideraciones hechas se refieren a un motor de inducción con un rotor devanado y una resistencia externa en el circuito del rotor. Esto también es válido para el rotor jaula de ardilla, pero sin considerar que tiene una resistencia externa en el rotor.

El motor de inducción cuando gira.

Cuando el rotor gira se induce en él una tensión con una frecuencia $f_2 = s \cdot f_1$.

$$E_{2s} = 4.44 \cdot N_2 \cdot f_2 \cdot \phi \cdot kdp_2$$

Como $E_2 = 4.44 \cdot N_2 \cdot f_1 \cdot \phi \cdot kdp_2$, entonces

$$E_{2s} = s \cdot E_2, \text{ de modo que}$$

$$E_{2s}' = \frac{N_1 \cdot kdp_1}{N_2 \cdot kdp_2} \cdot E_{2s} = \frac{N_1 \cdot kdp_1}{N_2 \cdot kdp_2} \cdot s \cdot E_2 = s \cdot E_2'$$

$$N_2 \cdot kdp_2 \quad N_2 \cdot kdp_2$$

Haremos $E_1 = E_{2s'}$, por lo que:

$$s \cdot E_2' = I_2' \cdot R_2' + jI_2' \cdot s X_2'$$

Circuito equivalente del motor de inducción.

Las ecuaciones son:

$$V_1 = E_1 + I_1 \cdot R_1 + jI_1 \cdot X_1$$

$$E_2' = I_2' \cdot R_2' + jI_2' \cdot X_2'$$

$$I_1 - I_2' = I_m$$

En que I_m es la corriente requerida en el estator para crear un flujo resultante en el entrehierro.

Esta corriente se puede descomponer en dos componentes:

- I_{F0} : Corriente en fase con E_1 que corresponde a las pérdidas por histéresis y corrientes de Foucault (F_0).
- I_ϕ : Corriente retrasada en 90° eléctrico respecto a E_1 , que corresponde a la corriente magnetizante.

$$I_m = I_{F0} + I_\phi$$

$$I_{F0} = g_m \cdot E_1$$

$$I_\phi = -jb_m \cdot E_1, \text{ luego}$$

$$I_m = Y_m \cdot E_1$$

$$\text{con } Y_m = g_m - jb_m$$

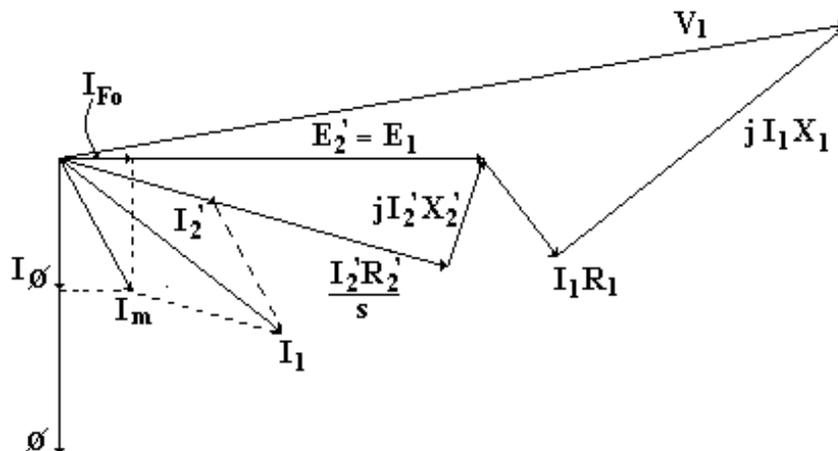


Figura 3.7 Diagrama fasorial

De lo anterior se deduce que el circuito equivalente es:

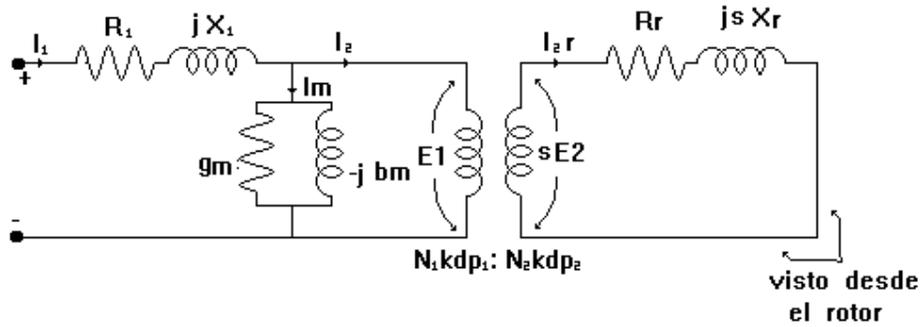


Figura 3.8 Circuito equivalente con transformador ideal

Pasando por los parámetros del rotor al estator, para eliminar el transformador ideal, se obtiene:

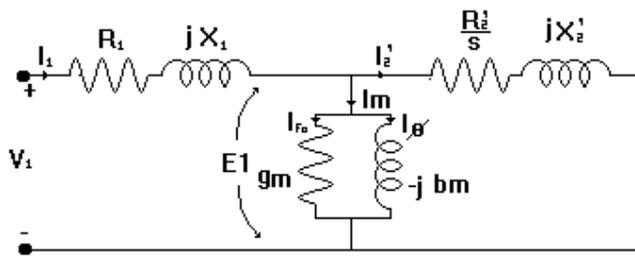


Figura 3.9 Circuito equivalente simplificado

Eliminando las primas del rotor por comodidad y representando R_2 / s como variable, tenemos:

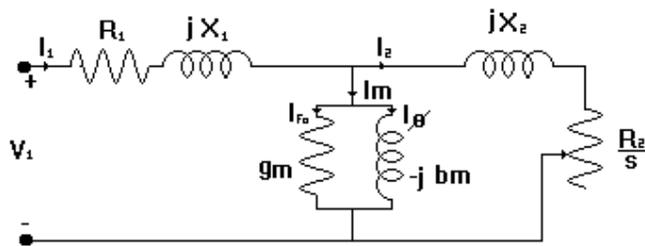


Figura 3.10 Circuito equivalente final

Del circuito se aprecia que la potencia total transferida por el estator a través del entrehierro es:

$$P_c = m_1 \cdot I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s}$$

Donde P_c : Potencia del campo giratorio.

Las pérdidas del cobre del rotor son:

$$P_{CUR} = m_1 \cdot I_2^2 \cdot R_2$$

Por lo tanto, la potencia mecánica desarrollada por el motor es:

$$P_m = P_c - P_{CUR} = m_1 \cdot I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s} - m_1 \cdot I_2^2 \cdot R_2$$

Luego

$$P_m = m_1 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \cdot \frac{(1-s)}{s}$$

$$P_m = (1-s) \cdot P_c$$

Las pérdidas en el cobre también se pueden expresar como:

$$P_{CUR} = s \cdot P_c$$

De aquí se puede ver que de la potencia total suministrada al rotor, la fracción $(1-s)$ se convierte en potencia mecánica y la fracción s se disipa en las pérdidas en su propio cobre. Por lo tanto, un motor de inducción que trabaja con gran deslizamiento es necesariamente de muy bajo rendimiento, entonces, el circuito equivalente es:

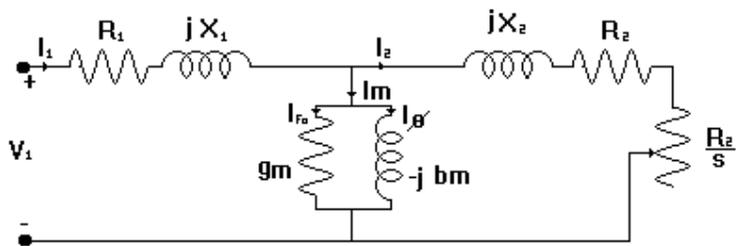


Figura 3.11 Circuito equivalente, con pérdidas en el cobre

El Torque electromagnético es:

$$T = \frac{P_m}{\omega}$$

$$\omega = \omega_s \cdot (1-s)$$

$$T = \frac{m_1 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \cdot (1-s)}{\omega_s \cdot s \cdot (1-s)}$$

$$T = \frac{1}{\omega_s} \cdot m_1 \cdot I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s}$$

ó

$$T = \frac{P_c}{\omega_s}$$

NOTA: Todos los parámetros y circuitos están referidos al primario.

IV. Accionamientos (Drives)

Variador de velocidad.



Figura 4.1 Variador de velocidad electrónico

El Variador de Velocidad (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive) es en un sentido amplio un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable (ASD, también por sus siglas en inglés Adjustable-Speed Drive). De igual manera, en ocasiones es denominado mediante el anglicismo Drive, costumbre que se considera inadecuada.

La maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante o casi-constante, y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc.

Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo. La combinación de un motor de velocidad constante y de un dispositivo mecánico que permita cambiar la velocidad de forma continua (sin ser un motor paso a paso) también puede ser designado como variador de velocidad.

Motivos para emplear variadores de velocidad.

El control de procesos y el ahorro de la energía son las dos de las principales razones para el empleo de variadores de velocidad. Históricamente, los variadores de velocidad fueron desarrollados originalmente para el control de procesos, pero el ahorro energético ha surgido como un objetivo tan importante como el primero.

Velocidad como una forma de controlar un proceso.

Entre las diversas ventajas en el control del proceso proporcionadas por el empleo de variadores de velocidad destacan:

- Operaciones más suaves.
- Control de la aceleración.
- Distintas velocidades de operación para cada fase del proceso.
- Compensación de variables en procesos variables.
- Permitir operaciones lentas para fines de ajuste o prueba.
- Ajuste de la tasa de producción.
- Permitir el posicionamiento de alta precisión.
- Control del Par motor (torque).

Fomentar el ahorro de energía mediante el uso de variadores de velocidad.

Un equipo accionado mediante un variador de velocidad emplea generalmente menor energía que si dicho equipo fuera activado a una velocidad fija constante. Los ventiladores y bombas representan las aplicaciones más llamativas. Por ejemplo, cuando una bomba es impulsada por un motor que opera a velocidad fija, el flujo producido puede ser mayor al necesario. Para ello, el flujo podría regularse mediante una válvula de control dejando estable la velocidad de la bomba, pero resulta mucho más eficiente regular dicho flujo controlando la velocidad del motor, en lugar de restringirlo por medio de la válvula, ya que el motor no tendrá que consumir una energía no aprovechada...

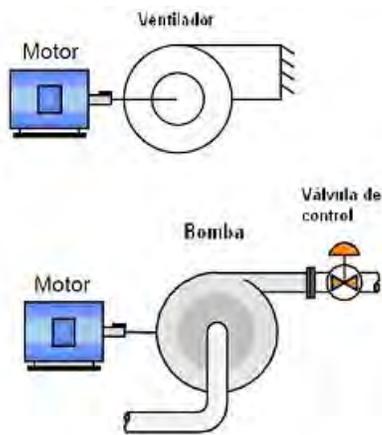


Figura 4.2 Aplicaciones de los variadores en bombas y ventiladores

Tipos de variadores de velocidad.

En términos generales, puede decirse que existen tres tipos básicos de variadores de velocidad: mecánicos, hidráulicos y eléctrico-electrónicos. Dentro de cada tipo pueden encontrarse más subtipos, que se detallarán a continuación. Cabe aclarar que los variadores más antiguos fueron los mecánicos, que se emplearon originalmente para controlar la velocidad de las ruedas hidráulicas de molinos, así como la velocidad de las máquinas de vapores.

Los variadores de velocidad mecánicos e hidráulicos generalmente son conocidos como transmisiones cuando se emplean en vehículos, equipo agroindustrial o algunos otros tipos de maquinaria.

Variadores mecánicos.

- Variadores de paso ajustable: estos dispositivos emplean poleas y bandas en las cuales el diámetro de una o más poleas puede ser modificado.
- Variadores de tracción: transmiten potencia a través de rodillos metálicos. La relación de velocidades de entrada / salida se ajusta moviendo los rodillos para cambiar las áreas de contacto entre ellos y así la relación de transmisión.

Variadores hidráulicos.

- Variador hidrostático: consta de una bomba hidráulica y un motor hidráulico (ambos de desplazamiento positivo). Una revolución de la bomba o el motor corresponde a una cantidad bien definida de volumen del fluido manejado. De esta forma la velocidad puede ser controlada mediante la regulación de una válvula de control, o bien, cambiando el desplazamiento de la bomba o el motor.
- Variador hidrodinámico: emplea aceite hidráulico para transmitir par mecánico entre un impulsor de entrada (sobre un eje de velocidad constante) y un rotor de salida (sobre un eje de velocidad ajustable). También llamado acoplador hidráulico de llenado variable.
- Variador hidrovicoso: consta de uno o más discos conectados con un eje de entrada, los cuales estará en contacto físico (pero no conectados mecánicamente) con uno o más discos conectados al eje de salida. El par mecánico (torque) se transmite desde el eje de entrada al de salida a través de la película de aceite entre los discos. De esta forma, el par transmitido es proporcional a la presión ejercida por el cilindro hidráulico que presiona los discos.

Variadores eléctrico-electrónicos.

Existen cuatro categorías de variadores de velocidad eléctrico-electrónicos:

- Variadores para motores de CC.
- Variadores de velocidad por corrientes de Eddy.
- Variadores de deslizamiento.
- Variadores para motores de CA conocidos como variadores de frecuencia.

Variadores de velocidad eléctrico-electrónicos.

Los variadores eléctrico-electrónicos incluyen tanto el controlador como el motor eléctrico, sin embargo es práctica común emplear el término variador únicamente al controlador eléctrico.

Los primeros variadores de esta categoría emplearon la tecnología de los tubos de vacío. Con los años después se han ido incorporando dispositivos de estado sólido, lo cual ha reducido significativamente el volumen y costo, mejorando la eficiencia y confiabilidad de los dispositivos.

Variadores para motores de CC.

Estos variadores permiten controlar la velocidad de motores de Corriente continua serie, derivación, compuesto y de imanes permanentes. Para el caso de cualquiera de las máquinas anteriores se cumple la siguiente expresión:

$$Vt = K \cdot FM \cdot Nm \dots\dots\dots (1)$$

Donde

Vt = Voltaje terminal (V).

K = Constante de la máquina.

FM = Flujo magnético producido por el campo (Wb).

Nm = Velocidad mecánica (rpm).

Despejando la velocidad mecánica, se obtiene:

$$Nm = \frac{Vt}{K \cdot FM} \dots\dots\dots (2)$$

Entonces, de (2) puede observarse que la velocidad mecánica de un motor de CC es directamente proporcional al voltaje terminal (VT) e inversamente proporcional al flujo magnético (FM), el cual a su vez depende de la corriente de campo (IF). Aprovechando esta situación es que este tipo de variadores puede controlar la velocidad de un motor de CC: controlando su voltaje terminal, o bien, manipulando el valor de la corriente de campo.

Variadores por corrientes de Eddy.

Un variador de velocidad por corrientes de Eddy consta de un motor de velocidad fija y un embrague de corrientes de Eddy. El embrague contiene un rotor de velocidad fija (acoplado al motor) y un rotor de velocidad variable, separados por un pequeño entrehierro. Se cuenta, además, con una bobina de campo, cuya corriente puede ser regulada, la cual produce un campo magnético que determinará el par mecánico transmitido del rotor de entrada al rotor de salida. De esta forma, a mayor intensidad de campo magnético, mayor par y velocidad transmitidos, y a menor campo magnético menores serán el par y la velocidad en el rotor de salida. El control de la velocidad de salida de este tipo de variadores generalmente se realiza por medio de lazo cerrado, utilizando como elemento de retroalimentación un tacómetro de CA.

Variadores de deslizamiento.

Este tipo de variadores se aplica únicamente para los motores de inducción de rotor devanado. En cualquier un motor de inducción, la velocidad mecánica (nM) puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$Nm = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{P} \dots\dots\dots (3)$$

Donde s es el deslizamiento del motor, cuyo valor oscila entre 0 y 1. De esta forma, a mayor deslizamiento, menor velocidad mecánica del motor. El deslizamiento puede incrementarse al aumentar la resistencia del devanado del rotor, o bien, al reducir el voltaje en el devanado del rotor. De esta forma es que puede conseguirse el control de la velocidad en los motores de inducción de rotor devanado. Sin embargo, este tipo de variadores es de menor eficiencia que otros, razón por la cual en la actualidad tiene muy poca aplicación.

Variadores para motores de CA.

Los variadores de frecuencia (siglas AFD, del inglés Adjustable Frequency Drive; o bien VFD Variable Frequency Drive) permiten controlar la velocidad tanto de motores de inducción (asíncronos de jaula de ardilla o de rotor devanado), como de los motores síncronos mediante el ajuste de la frecuencia de alimentación al motor.

- Para el caso de un motor síncrono, la velocidad se determina mediante la siguiente expresión:

$$Ns = \frac{120 \cdot f}{P} \dots\dots\dots (4)$$

- Cuando se trata de motores de inducción, se tiene:

$$Nm = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{P} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

Ns = Velocidad síncrona (rpm).

Nm = Velocidad mecánica (rpm).

f = Frecuencia de alimentación (Hz).

s = Deslizamiento (adimensional).

P = Número de polos.

Como puede verse en las expresiones (4) y (5), la frecuencia y la velocidad son directamente proporcionales, de tal manera que al aumentar la frecuencia de alimentación al motor, se incrementará la velocidad de la flecha, y al reducir el valor de la frecuencia disminuirá la

velocidad del eje. Por ello es que este tipo de variadores manipula la frecuencia de alimentación al motor a fin de obtener el control de la velocidad de la máquina.

Estos variadores mantienen la razón Voltaje/ Frecuencia (V/Hz) constante entre los valores mínimo y máximos de la frecuencia de operación, con la finalidad de evitar la saturación magnética del núcleo del motor y además porque el hecho de operar el motor a un voltaje constante por encima de una frecuencia dada (reduciendo la relación V/Hz) disminuye el par del motor y la capacidad del mismo para proporcionar potencia constante de salida.

Aplicaciones industriales de los variadores de velocidad.

Una gran parte de los equipos utilizados en la industria moderna funcionan a velocidades variables, como por ejemplo los trenes laminadores, los mecanismos de elevación, las máquinas-herramientas, etc. En los mismos se requiere un control preciso de la velocidad para lograr una adecuada productividad, una buena terminación del producto elaborado, o garantizar la seguridad de personas y bienes.

El estudio de este fenómeno para cada caso particular tiene una gran importancia práctica, ya que la elección correcta de las características de los motores y variadores a instalar para un servicio determinado, requieren el conocimiento de las particularidades de este producto.

La regulación de velocidad puede realizarse por métodos mecánicos, como poleas o engranajes, o por medios eléctricos.

La máquina de inducción alimentada con corriente alterna (C.A.), especialmente la que utiliza un rotor en jaula de ardilla, es el motor eléctrico más común en todo tipo de aplicaciones industriales y el que abarca un margen de potencias mayor. Pero no basta conectar un motor a la red para utilizarlo correctamente, sino que existen diversos elementos que contribuyen a garantizar un funcionamiento seguro.

La fase de arranque merece una especial atención. El par debe ser el necesario para mover la carga con una aceleración adecuada hasta que se alcanza la velocidad de funcionamiento en régimen permanente, procurando que no aparezcan problemas eléctricos o mecánicos capaces de perjudicar al motor, a la instalación eléctrica o a los elementos que hay que mover.

El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a su velocidad. La velocidad del motor asíncrono depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación. Como la frecuencia de alimentación que entregan las Compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asíncronos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el resbalamiento o la frecuencia.

El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia. No se requieren motores especiales, son mucho más eficientes y tienen precios cada vez más competitivos.

El variador de frecuencia regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.

Como ya se mencionó, los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía que recibe el motor y, a la vez, son dispositivos que permiten variar la velocidad y la acopla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de par y la velocidad.
- Regulación sin golpes mecánicos.
- Movimientos complejos.
- Mecánica delicada.

El control de los motores eléctricos mediante conjuntos de conmutación Todo o Nada es una solución bien adaptada para el accionamiento de una amplia gama de máquinas. No obstante, conlleva limitaciones que pueden resultar incómodas en ciertas aplicaciones.

Problemas que surgen en el arranque de motores asíncronos.

- El pico de corriente en el arranque puede perturbar el funcionamiento de otros aparatos conectados a la red.
- Las sacudidas mecánicas que se producen durante los arranques y las paradas pueden ser inaceptables para la máquina así como para la seguridad y comodidad de los usuarios.
- Funcionamiento a velocidad constante.

Los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos eliminan estos inconvenientes. Adecuados para motores de corriente tanto alterna como continua, garantizan la aceleración y deceleración progresivas y permiten adaptar la velocidad a las condiciones de explotación de forma muy precisa. Según la clase del motor, se emplean variadores de tipo rectificador controlado, convertidor de frecuencia o regulador de tensión.

Factores a tener en cuenta a la hora de diseñar un sistema de regulación de velocidad.

- Límites o gama de regulación.
- Progresividad o flexibilidad de regulación.
- Rentabilidad económica.
- Estabilidad de funcionamiento a una velocidad dada.
- Sentido de la regulación (aumento o disminución con respecto a la velocidad nominal).
- Carga admisible a las diferentes velocidades.
- Tipo de carga (par constante, potencia constante, etc.).
- Condiciones de arranque y frenado.

- Condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.).
- Tipo de motor (potencia, corriente, voltaje, etc.).
- Rangos de funcionamiento (velocidad máxima, mínima).
- Aplicación mono o multimotor.
- Consideraciones de la red (micro interrupciones, fluctuaciones de tensión, armónicas, factor de potencia, corriente de línea disponible).

| Motor asínrono | ... en uso normal | ... con variador de velocidad |
|--|--|--|
| Corriente de arranque | Muy elevada, del orden de 8 a veces la corriente nominal en valor eficaz: 15 - 20 veces en valor Cresta | Limitado en el motor (en general: cerca de 1,5 veces la corriente nominal) |
| Par de arranque C_d | Elevado y no controlado, del orden de 2 a 3 veces el par nominal C_n | Del orden de 1,5 veces el par nominal C_n y controlado durante toda la aceleración |
| Arranque | Brutal, cuya duración sólo depende de las características del motor y de la carga arrastrada (Par resistente, inercia) | Progresivo, sin brusquedades y controlado (rampa lineal de velocidad, por ejemplo) |
| Velocidad | Variando ligeramente según la carga (Próxima de la velocidad de sincronismo N_s) | Variación posible a partir de cero hasta un valor superior a la velocidad de sincronismo N_s |
| Par máximo C_m | Elevado, del orden de 2-3 veces el par nominal C_n | Elevado disponible para todo el rango de velocidades (del orden de 1,5 veces el par nominal) |
| Frenado eléctrico | Relativamente complejo, necesita protecciones y un esquema particular | Fácil |
| Inversión del sentido de marcha | Fácil solamente después de parada motor | Fácil |
| Riesgo de bloqueo | Si, en caso de exceso de par (par resistente > C_m) o en caso de bajada de tensión | No |
| Funcionamiento del motor en el plano par-velocidad | Ver fig. correspondiente | Ver fig. correspondiente |

Tabla 4.1 Comparación de las características de funcionamiento que demuestran el gran interés de los variadores de velocidad de tipo << convertidores de frecuencia >>

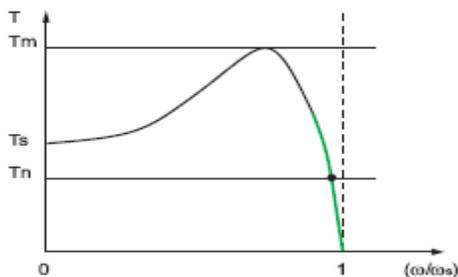


Figura 4.3 Diagrama par-velocidad de un motor alimentado en directo. La zona de funcionamiento del motor en el plano par-velocidad está limitada a la parte verde de la curva

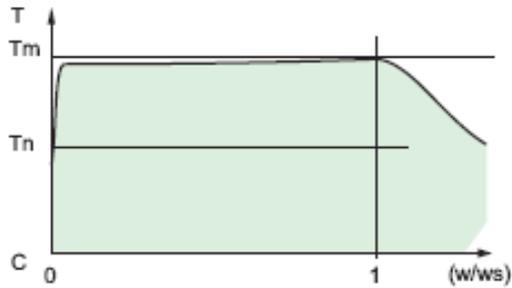


Figura 4.4 Diagrama par-velocidad de un motor alimentado por convertidor de frecuencia. Aquí la zona de funcionamiento del motor en el plano par-velocidad está representada en verde

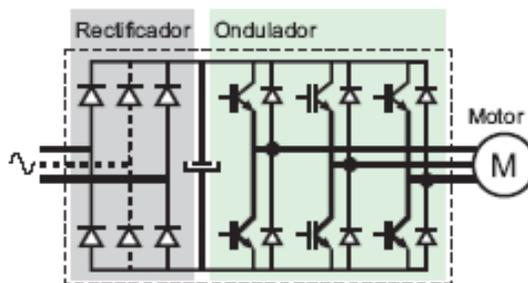


Figura 4.5 Esquema de principio de un convertidor de frecuencia

Ventajas de la utilización del variador de velocidad en el arranque de motores asíncronos.

- El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.
- La conexión del cableado es muy sencilla.
- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo.
- Limita la corriente de arranque.
- Permite el control de rampas de aceleración y deceleración regulables en el tiempo.
- Consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia.
- Puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un equipo. Protege al motor.
- Puede controlarse directamente a través de un autómatas o microprocesador.
- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.
- Nos permite ver las variables (tensión, frecuencia, rpm, etc.).

Inconvenientes de la utilización del variador de velocidad.

- Es un sistema más caro que el convencional, pero rentable a largo plazo.
- Requiere estudio de las especificaciones del fabricante.
- Requiere un tiempo para realizar la programación.
- Requiere de personal capacitado para su instalación.

Aplicaciones en diversos tipos de máquinas.

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

Transportadoras. Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, para dosificar, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta, etc.

Bombas y ventiladores centrífugos. Controlan el caudal, uso en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.

Bombas de desplazamiento positivo. Control de caudal y dosificación con precisión, controlando la Velocidad. Por ejemplo en bombas de tornillo, bombas de engranajes. Para transporte de pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, chocolates, miel, barro, etc.

Ascensores y elevadores. Para arranque y parada suaves manteniendo la cupla del motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.

Envolvedoras. Para el control y regulación de la tensión de la película, así como la velocidad de giro de la tarima, control de movimiento de elevación y descenso del carro porta rollo.

Llenadoras. Para la sincronización de la velocidad de llenado con los transportadores de entrada y salida.

Extrusoras. Se obtiene una gran variación de velocidades y control total de la cupla del motor.

Centrifugas. Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.

Prensas mecánicas y balancines. Se consiguen arranques suaves y velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios de materiales.

Máquinas textiles. Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico; se pueden obtener velocidades del tipo random para conseguir telas especiales.

Compresores de aire. Se obtienen arranques suaves con máxima cupla y menor consumo de energía en el arranque.

Pozos petrolíferos. Se usan para bombas de extracción con velocidades de acuerdo a las necesidades del pozo.

Esto por mencionar algunas de las aplicaciones. En la actualidad la utilización de los variadores de velocidad es ya parte indispensable de los procesos productivos.

Principales funciones de los variadores de velocidad electrónicos.

Aceleración controlada.

La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en «S». Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación.

Variación de velocidad.

Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema, rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación: es lo que se llama «en bucle abierto».

La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna, esta velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

Regulación de la velocidad.

Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado (ver figura siguiente). Posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina, «bucle abierto».

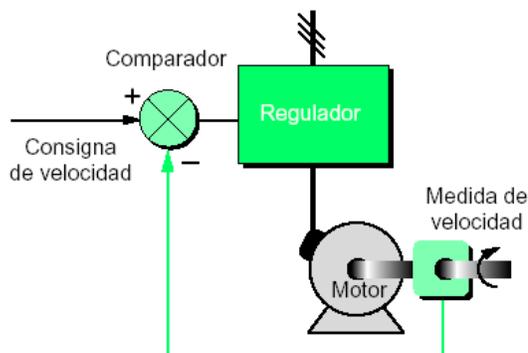


Figura 4.6 Principio de funcionamiento de la regulación de velocidad

La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia.

El valor de la consigna se compara permanentemente con la señal de alimentación, imagen de la velocidad del motor. Esta señal la suministra un generador tacométrico o un generador de impulsos colocado en un extremo del eje del motor.

Si se detecta una desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial.

Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones.

La precisión de un regulador se expresa generalmente en % del valor nominal de la magnitud a regular.

Desaceleración controlada.

Cuando se desconecta un motor, su desaceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (deceleración natural). Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la deceleración mediante una rampa lineal o en «S», generalmente independiente de la rampa de aceleración.

Esta rampa puede ajustarse de manera que se consiga un tiempo para pasar de la velocidad de régimen fijada a una velocidad intermedia o nula:

- Si la desaceleración deseada es más rápida que la natural, el motor debe desarrollar un par resistente que se debe sumar al par resistente de la máquina; se habla entonces de frenado eléctrico, que puede efectuarse reenviando energía a la red de alimentación, o disipándola en una resistencia de frenado.
- Si la desaceleración deseada es más lenta que la natural, el motor debe desarrollar un par motor superior al par resistente de la máquina y continuar arrastrando la carga hasta su parada.

Inversión del sentido de marcha.

La mayoría de los variadores actuales tienen implementada esta función. La inversión de la secuencia de fases de alimentación del motor se realiza automáticamente o por inversión de la consigna de entrada, o por una orden lógica en un borne, o por la información transmitida mediante una red.

Frenado.

Este frenado consiste en parar un motor pero sin controlar la rampa de desaceleración. Con los arrancadores y variadores de velocidad para motores asíncronos, esta función se realiza de forma económica inyectando una corriente continua en el motor, haciendo funcionar de forma especial la etapa de potencia. Toda la energía mecánica se disipa en el rotor de la máquina y,

por tanto, este frenado sólo puede ser intermitente. En el caso de un variador para motor de corriente continua, esta función se realiza conectando una resistencia en bornes del inducido.

Protección integrada.

Los variadores modernos aseguran tanto la protección térmica de los motores como su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad (si la ventilación del motor depende de su velocidad de rotación), un microprocesador calcula la elevación de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo.

Además, los variadores, y especialmente los convertidores de frecuencia, están dotados de protecciones contra:

- Los cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra.
- Las sobre tensiones y las caídas de tensión.
- Los desequilibrios de fases.
- El funcionamiento en monofásico.

Componentes de Potencia.

Los componentes de potencia (ver figura 4.7) son semiconductores que funcionan en «todo o nada», comparables, por tanto, a los interruptores estáticos que pueden tomar dos estados: abierto o cerrado.

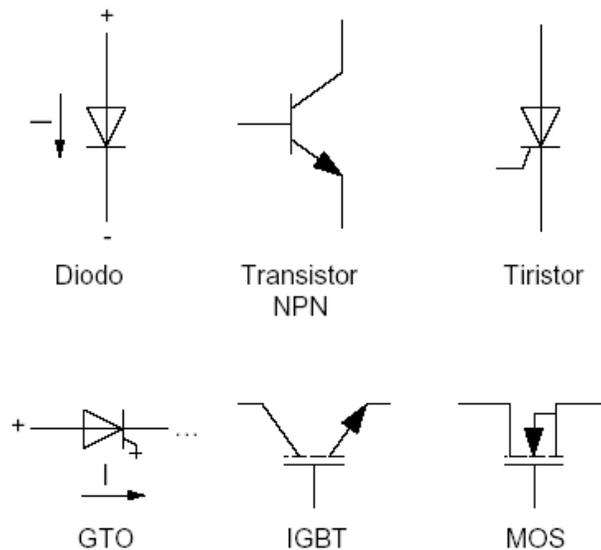


Figura 4.7 Los componentes de potencia

Estos componentes, integrados en un módulo de potencia, constituyen un convertidor que alimenta, a partir de la red a tensión y frecuencia fijas, un motor eléctrico con una tensión y/o frecuencia variables.

Los componentes de potencia son la clave de la variación de velocidad y los progresos realizados estos últimos años han permitido la fabricación de variadores de velocidad económicos.

Composición de un variador de frecuencia.

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

- Etapa Rectificadora. Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.
- Etapa intermedia. Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.
- Inversor o "Inverter". Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobre corriente, sobre tensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobre temperaturas, etc.
- Etapa de control. Esta etapa controla los IGBT para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc. Los variadores más usados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora, puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia.

El Inversor convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de frecuencia y tensión variables. Los IGBT envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor.

La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del motor y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor.

Las señales de control para arranque, parada y variación de velocidad (potenciómetro o señales externas de referencia) están aisladas galvánicamente para evitar daños en sensores o controles y evitar ruidos en la etapa de control.

Composición de un variador de velocidad.

Los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos se componen de dos módulos generalmente montados en una misma envoltura (figura):

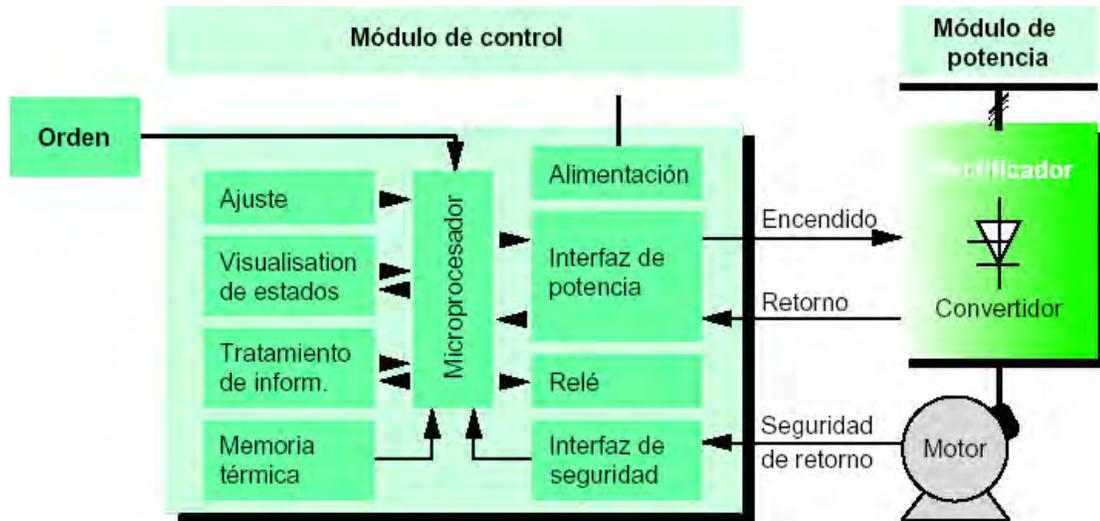


Figura 4.8 Estructura general de un variador de velocidad electrónico

- Un módulo de control que controla el funcionamiento del aparato.
- Un módulo de potencia que alimenta el motor con energía eléctrica.

El módulo de control.

En los arrancadores y variadores modernos, todas las funciones se controlan mediante un microprocesador que gestiona la configuración, las órdenes transmitidas por un operador o por una unidad de proceso y los datos proporcionados por las medidas como la velocidad, la corriente, etcétera.

Las capacidades de cálculo de los microprocesadores, así como de los circuitos dedicados (ASIC) han permitido diseñar algoritmos de mando con excelentes prestaciones y, en particular, el reconocimiento de los parámetros de la máquina arrastrada. A partir de estas informaciones, el microprocesador gestiona las rampas de aceleración y deceleración, el control de la velocidad y la limitación de corriente, generando las señales de control de los componentes de potencia. Las protecciones y la seguridad son procesadas por circuitos especializados (ASIC) o están integradas en los módulos de potencia (IPM).

Los límites de velocidad, las rampas, los límites de corriente y otros datos de configuración, se definen usando un teclado integrado o mediante PLC (sobre buses de campo) o mediante PC.

Del mismo modo, los diferentes comandos (marcha, parada, frenado,...) pueden proporcionarse desde interfaces de diálogo hombre/máquina, utilizando autómatas programables o PC.

Los parámetros de funcionamiento y las informaciones de alarma, y los defectos pueden verse mediante displays, diodos LED, visualizadores de segmentos o de cristal líquido o pueden enviarse hacia la supervisión mediante un bus de terreno.

Los relés, frecuentemente programables, proporcionan información de:

- Fallos (de red, térmicos, de producto, de secuencia, de sobrecarga).
- Vigilancia (umbral de velocidad, pre-alarma, final de arranque).

Las tensiones necesarias para el conjunto de circuitos de medida y de control son proporcionadas por una alimentación integrada en el variador y separadas galvánicamente de la red.

El módulo de potencia.

El módulo de potencia está principalmente constituido por:

- Componentes de potencia (diodos, tiristores, IGBT,...).
- Interfaces de medida de las tensiones y/o corrientes.
- Frecuentemente de un sistema de ventilación.

Diagramas esquemáticos de conexión de los variadores de velocidad utilizados en el proyecto.

CABLEADO DE CONECTOR DE FUERZA DE VARIADOR BALDOR

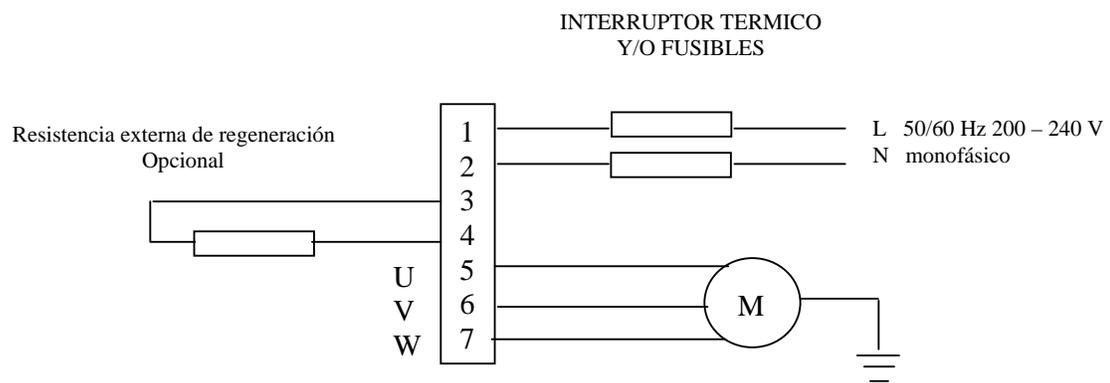


Figura 4.9 Diagrama de conexión Baldor

CABLEADO DE CONECTOR DE CONTROL DE VARIADOR BALDOR

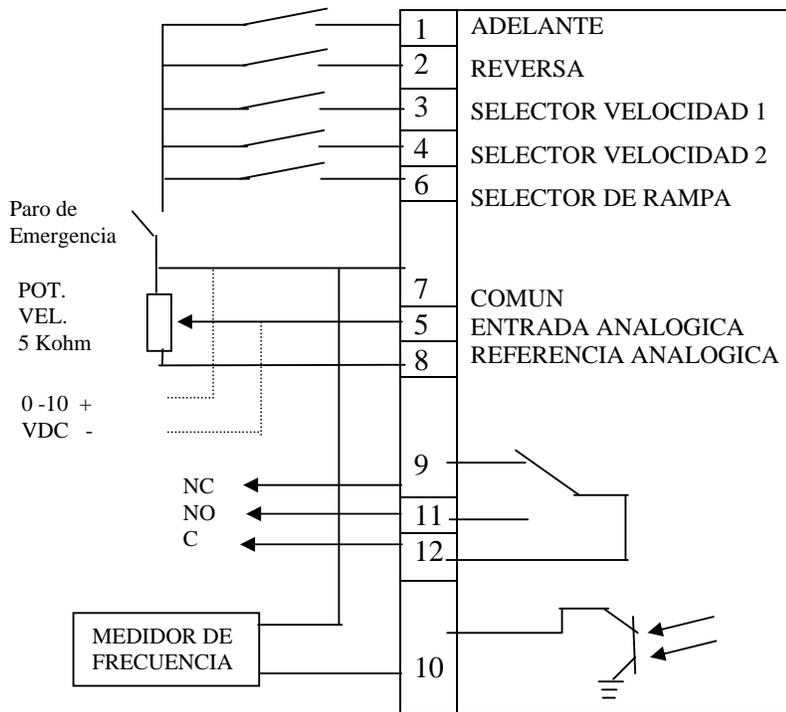


TABLA 2

| ADEL | REV | FUNCION MOTOR |
|---------|---------|---------------|
| ABIERTO | ABIERTO | EN PARO |
| CERRADO | ABIERTO | ADELANTE |
| ABIERTO | CERRADO | REVERSA |
| CERRADO | CERRADO | SIN ACCION |

TABLA 3

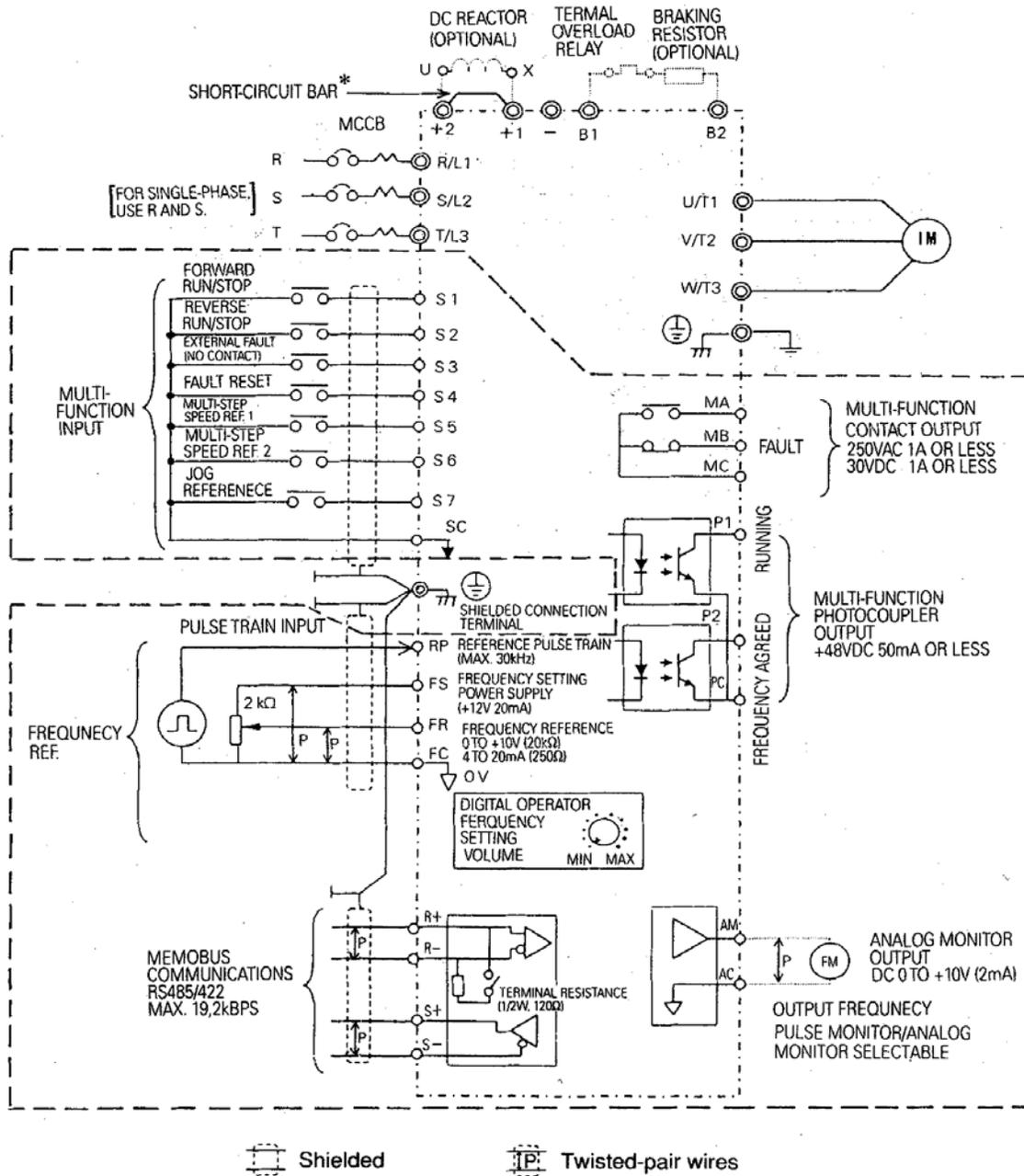
| S1 | S2 | FUNCION |
|---------|---------|-------------|
| ABIERTO | ABIERTO | VELOCIDAD 1 |
| CERRADO | ABIERTO | VELOCIDAD 2 |
| ABIERTO | CERRADO | VELOCIDAD 3 |
| CERRADO | CERRADO | VELOCIDAD 4 |

SELECTOR DE RAMPA ABIERTO
PARAMETROS P9 Y P10 USADOS

SELECTOR DE RAMPA CERRADO
PARAMETROS P11 Y P12 USADOS

Figura 4.10 Diagrama de conexión Baldor

CABLEADO ESTANDAR DE VARIADOR YASKAWA (EN INGLES)



[Dashed Box]: Only basic insulation is provided for the control circuit terminals. Additional insulation may be necessary in the end product.

* Short-circuit bar should be removed when connecting DC reactor.

Figura 4.11 Diagrama de conexión Yaskawa

Armónicas.

Un término muy ligado, y a veces ignorado, en lo que respecta a variadores de velocidad, es el de las Armónicas.

¿Qué son? ¿Cómo se generan?

Se observa que el uso de variadores de velocidad es creciente en la industria, comercio y sector público. Estos variadores de velocidad aportan indudables beneficios como son: mejoramiento en el control de procesos, flexibilidad en condiciones variables, ahorro de energía y reducción en las necesidades de mantenimiento.

Es prudente sin embargo, no emitir algunas desventajas. El principio de operación de los variadores de velocidad se basa en elementos estáticos de disparo o apertura como diodos, transistores y tiristores; los cuales son cargas no lineales en el suministro eléctrico. El voltaje de suministro es prácticamente senoidal pero los elementos estáticos causan distorsión en la línea, debido a que las corrientes generadas tienen forma rectangular. Este efecto se llama Distorsión Armónica y en exceso afecta otras cargas conectadas a la línea, como a los transformadores de alimentación.

Los voltajes y corrientes armónicas son múltiples exactos de la frecuencia fundamental, que en este caso es de 60 HZ. Las armónicas generadas por los rectificadores trifásicos de 6 pulsos usados en los variadores de velocidad son de la:

5a, 7a, 11a, 13a, 17a, etc.

El voltaje distorsionado puede causar problemas a otras cargas conectadas a la línea o sobrecargas a algunos componentes eléctricos que sean parte del sistema. Las cargas más sensibles son otros componentes electrónicos, pero también los motores pueden ser afectados. En el sistema de distribución, los capacitores de corrección de factor de potencia y transformadores de distribución son los más afectados por las corrientes armónicas.

¿Cómo se minimizan?

Como ya se comentó algunas tecnologías usadas en los variadores de velocidad generan más armónicas que otras debido al tipo de rectificador; asimismo, la tecnología que genera menos armónicas es la PWM por rectificar con puente de diodos y tener un inductor en la línea de c. d. (en algunos casos).

Es importante considerar algunas sugerencias que ayudarán a disminuir la generación de armónicas para evitar problemas, como son:

- Instalar los variadores de velocidad con cableado de potencia y tierra apropiados. Es importante seguir las normas de instalación del fabricante.
- Instalar el cableado del motor de modo independiente a la alimentación y al cableado de control.
- Aterrizaje del gabinete, el motor y la canalización.

- Usar cable blindado para el cableado de control.
- Evitar cableados largos.

Si la generación de armónicas es amplia, la solución será hacer un análisis y calcular los porcentajes de distorsión para cada armónica e instalar trampas o filtros dimensionados apropiadamente.

Programación de un variador de velocidad (frecuencia).

A continuación se muestra un ejemplo muy ilustrativo y sencillo de programación de un variador de velocidad (frecuencia). Al igual que en el caso de un PLC y de muchos otros controladores, si se sabe programar uno, se puede programar cualquiera.

Tipo:

Variador de velocidad para motor de corriente alterna.

Características:

Alimentación del variador: monofásico de 110 v a 60 hertz.

Capaz de variar la velocidad de motores con las siguientes características:

- Motor de corriente alterna.
- 0.5 caballos máximo.
- Tres fases.
- Voltaje nominal de 220 voltios.

Programación y puesta de operación:

El sistema posee 6 botones de mando:

- Arranque.
- Paro.
- Subir.
- Bajar.
- Programar/Enter.
- Paro de emergencia.

Al encender por primera vez el sistema, aparecerá en los displays el símbolo: -0 indicando que se encuentra en espera de cualquier indicación. En este estado, el usuario puede poner en

marcha el motor, pulsando el botón de Arranque. Hecho esto, los botones Subir y Bajar se habilitan. Con éstos botones se puede subir o bajar, respectivamente, la velocidad del motor.

Se puede ver en los displays la frecuencia de salida, y la velocidad se puede ajustar desde la frecuencia de 3 Hz (180 RPM), hasta la de 55 Hz (3300 RPM). El motor se puede mantener entre cualquiera de éstas velocidades intermedias, y en cualquier momento se le puede subir o bajar la velocidad con los botones Subir y Bajar, respectivamente.

Se tienen las funciones de preestablecer el valor máximo de la frecuencia de salida, así como de visualizar sobre la marcha el valor de la frecuencia y la velocidad teórica del motor. Además, se puede cambiar el sentido de rotación del motor, así como programar el tiempo de subida a la velocidad preestablecida, y el tiempo de bajada hasta parar el motor.

Sólo se puede acceder al menú de programación cuando el motor está en paro, de esta manera, al apretar Arranque, el motor encenderá y aplicará los parámetros programados. Así, el motor alcanzará la velocidad preestablecida en los segundos preestablecidos. Estando en marcha, se habilitan los botones subir y bajar, por ende, estando trabajando el motor, no se limita sólo a la velocidad programada.

Para acceder al menú de programación, se debe pulsar la tecla Programar/Enter. Después de esto, se despliega en el display rS (rampa de subida), indicando que se puede dar el valor del tiempo de subida en segundos. Si no se desea ajustar este parámetro, con las teclas subir o bajar se accede a los demás parámetros a programar:

rb - Rampa de bajada en segundos.

PF - Programar frecuencia, en hertz.

sa - Salir del menú.

rS - Rampa de subida, en segundos.

En caso contrario, si se desea ajustar el parámetro mostrado en el display, se debe pulsar nuevamente Programar, para entrar al modo de ajuste. En el modo de ajuste, nuevamente se usan las teclas subir o bajar, para ajustar el valor del parámetro elegido. Todos los datos se van mostrando en el display.

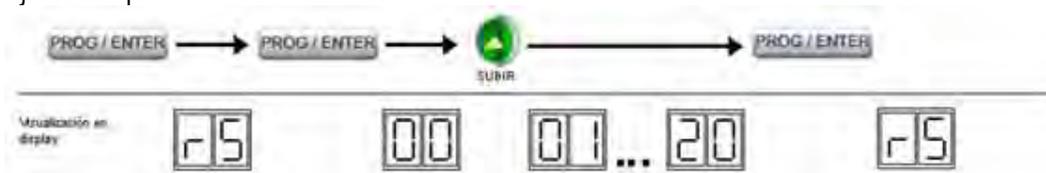
Mientras el motor se encuentra en marcha, en el display del variador siempre se está desplegando el valor de la frecuencia de operación. Si en ese momento se quieren ver los parámetros programados, así como la velocidad teórica actual en RPM, se debe pulsar la tecla Programar/Enter. Hecho esto, se accede a un menú parecido al de programación, donde se pueden ver los parámetros rS (tiempo de subida en segundos), rb (tiempo de paro en segundos), y Fr (velocidad teórica, calculada respecto a la frecuencia de salida. Debido a que se tienen dos displays, y la velocidad se encuentra en el orden de Kilos, la velocidad mostrada se muestra en K, es decir en $RPM \times 10^3$).

Igual que en el menú de programación, para salir de éste, al visualizar sa (salir), se aprieta Programar/Enter, regresando así a visualizar la frecuencia en hertz en curso.

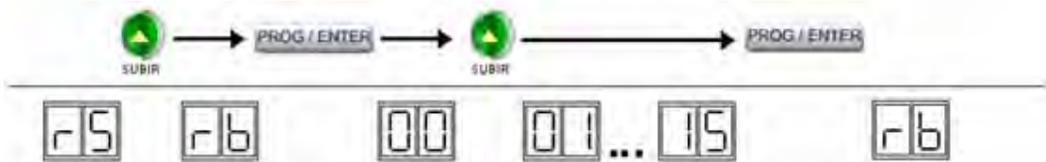
Al pulsar el botón de paro, el motor llegará hasta el alto total en el tiempo programado en el tiempo de bajada. Al pulsar el botón de paro de emergencia, el motor dejará de recibir las señales de control, quedando el sistema en espera de nuevas instrucciones.

A continuación se ejemplifica una rutina para que automáticamente, al apretar el botón de Arranque, el motor llegue a una velocidad de 30 Hz, en 20 segundos y se mantenga allí, y en el momento que se le apriete el botón de paro, pare totalmente en un tiempo de 15 segundos.

Ajusta tiempo de subida.



Ajusta tiempo de bajada.



Ajusta máxima frecuencia.



Salir de menú y puesta en marcha.

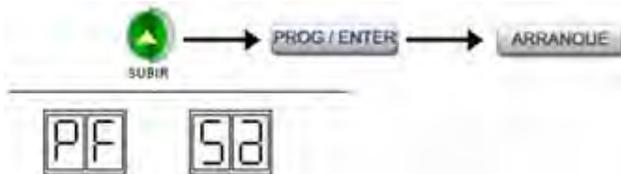


Figura 4.12 Ejemplo de programación de parámetros

Parámetros del drive Baldor a usarse en esta tesis.

| NO. | FUNCION | AJUSTES DE FABRICA | RANGO DE AJUSTE | RESOLUCION DE AJUSTE |
|-----|--|--------------------|-----------------|----------------------|
| P2 | Frecuencia de arranque | 2.0 Hz | 0-15.0 Hz | 0.1Hz |
| P3 | Frecuencia mínima de operación | 2.0 Hz | 0-400.0 Hz | 0.1Hz |
| P4 | Frecuencia máxima de operación | 50.0 Hz | 15.0-400.0 Hz | 0.1Hz |
| P5 | Frecuencia preajustada 1 | 50.0 Hz | 0-400 Hz | 0.1Hz |
| P6 | Frecuencia preajustada 2 | 50.0 Hz | 0-400 Hz | 0.1Hz |
| P7 | Frecuencia preajustada 3 | 50.0 Hz | 0-400 Hz | 0.1Hz |
| P8 | Frecuencia preajustada 4 | 50.0 Hz | 0-400 Hz | 0.1Hz |
| P9 | Tiempo de aceleración 1 | 10.0 s | 0.1-600.0 s | 0.1 s |
| P10 | Tiempo de desaceleración 1 | 10.0 s | 0.1-600.0 s | 0.1 s |
| P11 | Tiempo de aceleración 2 | 10.0 s | 0.1-600.0 s | 0.1 s |
| P12 | Tiempo de desaceleración 2 | 10.0 s | 0.1-600.0 s | 0.1 s |
| P13 | Frecuencia paso a paso (jog) | 10.0 Hz | 0-400.0 Hz | 0.1 Hz |
| P20 | Tiempo de frenado por CD | 0 | 0-15.0 s | 0.1 s |
| P21 | Voltaje CD de frenado | 0 | 0-30 % | 1 % |
| P22 | Voltaje en el punto bajo de V/F | 0 | 0-35 % | 1 % |
| P23 | Frecuencia de punto medio de V/F | 50.0 Hz | 10-400.0 Hz | 0.1 Hz |
| P24 | Voltaje de punto medio de V/F | 100 % | 0-100 % | 1 % |
| P25 | Frecuencia base de V/F | 50.0 Hz | 10-400 Hz | 0.1 Hz |
| P26 | Voltaje base de V/F | 100 % | 0- 100 % | 1 % |
| P27 | Frecuencia de portadora | 4.8 kHz | 2.4-9.6 kHz | 0.1 kHz |
| P28 | Funciones paso a paso (jog) y externas 1: Habilita función paso a paso (jog) 2: Habilita control por terminal externa 3: Habilita control analógico por potenciómetro 4: Habilita control analógico por potenciómetro y control por terminal externa | 0 | 0-4 | 1 |
| P29 | Ajuste de fábrica por default | 0 | 0 ó 1 | |
| P30 | Versión de Software | 1.00 | | |

Tabla 4.2 Parámetros del drive Baldor

Parámetros del drive Yaskawa a usarse en esta tesis.

| Nombre | Parámetro |
|--|---|
| Selección de referencia de operación | N003 = 0 --- Activa el comando MARCHA, PARO/REINICIO del operador = 1 --- Activa la marcha/paro de la terminal del circuito de control = 2 --- Activa las comunicaciones (comunicaciones MEMOBUS) = 3 --- Activa la tarjeta de comunicaciones (opcional) |
| Selección de la frecuencia de referencia | N004 = 0 --- Activa el potenciómetro del operador digital = 1 --- Activa la frecuencia de referencia 1 (parámetro 024) = 2 --- Activa la referencia del voltaje (de 0 a 10V) de la terminal del circuito de control = 3 --- Activa la referencia de corriente (de 4 a 20mA) de la terminal del circuito de control = 4 --- Activa la referencia de corriente (de 0 a 20mA) de la terminal del circuito de control = 5 --- Activa la referencia de línea de la terminal del circuito de control = 6 --- Activa las comunicaciones (comunicaciones MEMOBUS) = 7 --- Activa la referencia de voltaje (de 0 a 10V) de la terminal del circuito del operador = 8 --- Activa la referencia de corriente (de 4 a 20 mA) de la terminal del circuito del operador = 9 --- Activa la tarjeta de comunicaciones (opcional) |

| No. de parámetros | Nombre | Unidad | Margen de configuración | Configuración inicial |
|-------------------|--|--------|--------------------------------------|-----------------------|
| n011 | Frecuencia de salida máxima | 0.1Hz | De 50.0 a 400.0Hz | 60.0Hz |
| n012 | Voltaje máximo | 1V | De 1 a 255.0V (de 0.1 a 510.0V) | 230.0V (460.0V) |
| n013 | Frecuencia de salida de voltaje máximo (frecuencia base) | 0.1Hz | De 0.2 a 400.0Hz | 60.0Hz |
| n014 | Frecuencia de salida media | 0.1Hz | De 0.1 a 399.9Hz | 1.5Hz |
| n015 | Voltaje de frecuencia de salida media | 1V | De 0.1 a 255.0V (de 0.1 a 510.0V) | 12.0V (24.0V) |
| n016 | Frecuencia de salida mínima | 0.1Hz | De 0.1 a 10.0Hz | 1.5Hz |
| n017 | Voltaje de frecuencia de salida mínima | 1V | De 1 a 50.0V (de 0.1 a 100.0V) | 4.3V * (8.6V) |

| No. | Nombre | Unidad | Margen de configuración | Configuración inicial |
|------|---------------------------------|--|--|-----------------------|
| n106 | Deslizamiento nominal del motor | 0.1Hz | De 0.0 a 20.0Hz | * |
| n107 | Resistencia del motor por fase= | 0.001Ω (menos de 10Ω) 0.01Ω (10Ω o más) | De 0.000 a 65.5Ω | * |
| n036 | Corriente nominal del motor | 0.1A | De 0 a 150% de la corriente nominal del inversor | * |
| n110 | Corriente sin carga del motor | 1% | De 0 a 99% (100%=corriente nominal del motor) | 150 |

Tabla 4.3 Parámetros del drive Yaskawa

V. Controladores Lógicos Programables (PLC's). Sensores y actuadores

En este capítulo hablaremos de los PLC's, actuadores y sensores como complemento de los drives para el control de proceso.

Controlador lógico programable.



Figura 5.1 PLC

Los PLC (Programmable Logic Controller en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial.

PLC = Es un hardware industrial, que se utiliza para la obtención de datos. Una vez obtenidos, los pasa a través de bus (por ejemplo por ethernet) en un servidor.

Su historia se remonta a finales de la década de 1960 cuando la industria buscó en las nuevas tecnologías electrónicas una solución más eficiente para reemplazar los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional.



Figura 5.2 PLC moderno instalado (2008) dentro del tablero eléctrico

Hoy en día, los PLC no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores proporcional integral derivativo (PID).

Los PLC actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

Existen varios lenguajes de programación, tradicionalmente los más utilizados son el diagrama de escalera (Lenguaje Ladder), preferido por los electricistas, lista de instrucciones y programación por estados, aunque se han incorporado lenguajes más intuitivos que permiten implementar algoritmos complejos mediante simples diagramas de flujo más fáciles de interpretar y mantener. Un lenguaje más reciente, preferido por los informáticos y electrónicos, es el FBD (en inglés Function Block Diagram) que emplea compuertas lógicas y bloques con distintas funciones conectados entre sí.

En la programación se pueden incluir diferentes tipos de operandos, desde los más simples como lógica booleana, contadores, temporizadores, contactos, bobinas y operadores matemáticos, hasta operaciones más complejas como manejo de tablas (recetas), apuntadores, algoritmos PID y funciones de comunicación multiprotocolos que le permitirían interconectarse con otros dispositivos.

Historia.

Los PLC fueron inventados en respuesta a las necesidades de la automatización de la industria automotriz norteamericana por el ingeniero Estadounidense Dick Morley. Antes de los PLC, el control, las secuenciación, y la lógica para la manufactura de automóviles era realizada utilizando relés, contadores, y controladores dedicados. El proceso para actualizar dichas instalaciones en la industria año tras año era muy costoso y consumía mucho tiempo, y los sistemas basados en relés tenían que ser recableados por electricistas especializados. En 1968 GM Hydramatic (la división de transmisiones automáticas de General Motors) ofertó un concurso para una propuesta del reemplazo electrónico de los sistemas cableados.

La propuesta ganadora vino de Bedford Associates de Boston, Massachusetts. El primer PLC, fue designado 084, debido a que fue el proyecto ochenta y cuatro de Bedford Associates. Bedford Associates creó una nueva compañía dedicada al desarrollo, manufactura, venta y servicio para este nuevo producto: Modicon (MODular Digital CONTroller o Controlador Digital Modular). Una de las personas que trabajó en ese proyecto fue Dick Morley, el que es considerado como "padre" del PLC. La marca Modicon fue vendida en 1977 a Gould Electronics, y posteriormente adquirida por la compañía Alemana AEG y más tarde por Schneider Electric, el actual dueño.

Uno de los primeros modelos 084 que se construyeron se encuentra mostrado en la sede de Modicon en el Norte de Andover, Massachusetts. Fue regalado a Modicon por GM, cuando la unidad fue retirada tras casi veinte años de servicio ininterrumpido.

La industria automotriz es todavía una de las más grandes usuarias de PLC, y Modicon todavía numera algunos de sus modelos de controladores con la terminación ochenta y cuatro. Los PLC son utilizados en muchas diferentes industrias y máquinas tales como máquinas de empaquetado y de semiconductores. Algunas marcas con alto prestigio son ABB Ltd., Koyo, Honeywell, Siemens, Trend Controls, Schneider Electric, Omron, Rockwell (Allen-Bradley), General Electric, Fraz Max, Tesco Controls, Panasonic (Matsushita), Mitsubishi e Isi Matrix Machines.

PLC en comparación con otros sistemas de control.

Los PLC están adaptados para un amplio rango de tareas de automatización. Estos son típicos en procesos industriales en la manufactura donde el coste de desarrollo y mantenimiento de un sistema de automatización es relativamente alto contra el costo de la automatización, y donde van a existir cambios en el sistema durante toda su vida operacional. Los PLC contienen todo lo necesario para manejar altas cargas de potencia; se requiere poco diseño eléctrico y el problema de diseño se centra en expresar las operaciones y secuencias en la lógica de escalera (o diagramas de funciones). Las aplicaciones de PLC son normalmente hechas a la medida del sistema, por lo que el costo del PLC es bajo comparado con el costo de la contratación del diseñador para un diseño específico que solo se va a usar una sola vez. Por otro lado, en caso de productos de alta producción, los sistemas de control a medida se amortizan por sí solos rápidamente debido al ahorro en los componentes, lo que provoca que pueda ser una buena elección en vez de una solución "genérica".

Sin embargo, debe ser notado que algunos PLC ya no tienen un precio alto. Los PLC actuales tienen todas las capacidades por algunos cientos de dólares.

Diferentes técnicas son utilizadas para un alto volumen o una simple tarea de automatización, Por ejemplo, una lavadora de uso doméstico puede ser controlada por un temporizador CAM electromecánico costando algunos cuantos dólares en cantidades de producción.

Un diseño basado en un microcontrolador puede ser apropiado donde cientos o miles de unidades deben ser producidas y entonces el coste de desarrollo (diseño de fuentes de alimentación y equipo de entradas y salidas) puede ser dividido en muchas ventas, donde el usuario final no tiene necesidad de alterar el control. Aplicaciones automotrices son un ejemplo, millones de unidades son vendidas cada año, y pocos usuarios finales alteran la programación de estos controladores. (Sin embargo, algunos vehículos especiales como son camiones de pasajeros para tránsito urbano utilizan PLC en vez de controladores de diseño propio, debido a que los volúmenes son pequeños y el desarrollo no sería económico.)

Algunos procesos de control complejos, como los que son utilizados en la industria química, pueden requerir algoritmos y características más allá de la capacidad de PLC de alto nivel. Controladores de alta velocidad también requieren de soluciones a medida; por ejemplo, controles para aviones.

Los PLC pueden incluir lógica para implementar bucles analógicos, "proporcional, integral y derivadas" o un controlador PID. Un bucle PID podría ser usado para controlar la temperatura de procesos de fabricación, por ejemplo. Históricamente, los PLC's fueron configurados generalmente con solo unos pocos bucles de control analógico y en donde los procesos requieren cientos o miles de bucles, un Sistema de Control Distribuido (DCS) se encarga. Sin embargo, los PLC se han vuelto más poderosos, y las diferencias entre las aplicaciones entre DCS y PLC han quedado menos claras.

Resumiendo, los campos de aplicación de un PLC o autómatas programables en procesos industriales son: cuando hay un espacio reducido, cuando los procesos de producción son cambiantes periódicamente, cuando hay procesos secuenciales, cuando la maquinaria de procesos es variable, cuando las instalaciones son de procesos complejos y amplios, cuando el

chequeo de programación se centraliza en partes del proceso. Sus aplicaciones generales son las siguientes: maniobra de máquinas, maniobra de instalaciones y señalización y control.

Señales Analógicas y digitales.

Las señales digitales o discretas como los interruptores, son simplemente una señal de On/Off (1 ó 0, Verdadero o Falso, respectivamente). Los botones e interruptores son ejemplos de dispositivos que proporcionan una señal discreta. Las señales discretas son enviadas usando la tensión o la intensidad, donde un rango específico corresponderá al On y otro rango al Off. Un PLC puede utilizar 24V de corriente continua en la E/S donde valores superiores a 22V representan un On, y valores inferiores a 2V representan Off. Inicialmente los PLC solo tenían E/S discretas.

Las señales analógicas son como controles de volúmenes, con un rango de valores entre 0 y el tope de escala. Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el PLC, con varios rangos de precisión dependiendo del dispositivo o del número de bits disponibles para almacenar los datos. Presión, temperatura, flujo, y peso son normalmente representados por señales analógicas. Las señales analógicas pueden usar tensión o intensidad con una magnitud proporcional al valor de la señal que procesamos. Por ejemplo, una entrada de 4-20 mA ó 0-10 V será convertida en enteros comprendidos entre 0-32767.

Las entradas de intensidad son menos sensibles al ruido eléctrico (como por ejemplo el arranque de un motor eléctrico) que las entradas de tensión.

Ejemplo:

Como ejemplo, las necesidades de una instalación que almacena agua en un tanque. El agua llega al tanque desde otro sistema, y como necesidad a nuestro ejemplo, el sistema debe controlar el nivel del agua del tanque.

Usando solo señales digitales, el PLC tiene 2 entradas digitales de dos interruptores del tanque (tanque lleno o tanque vacío). El PLC usa la salida digital para abrir o cerrar una válvula que controla el llenado del tanque.

Si los dos interruptores están apagados o solo el de "tanque vacío" esta encendido, el PLC abrirá la válvula para dejar entrar agua. Si solo el de "tanque lleno" esta encendido, la válvula se cerrará. Si ambos interruptores están encendidos sería una señal de que algo va mal con uno de los dos interruptores, porque el tanque no puede estar lleno y vacío a la vez. El uso de dos interruptores previene situaciones de pánico donde cualquier uso del agua activa la bomba durante un pequeño espacio de tiempo causando que el sistema se desgaste más rápidamente. Así también se evita poner otro PLC para controlar el nivel medio del agua.

Un sistema analógico podría usar una báscula que pese el tanque, y una válvula ajustable. El PLC podría usar un PID para controlar la apertura de la válvula. La báscula está conectada a una entrada analógica y la válvula a una salida analógica. El sistema llena el tanque rápidamente cuando hay poca agua en el tanque. Si el nivel del agua baja rápidamente, la válvula se abrirá todo lo que se pueda, si el al contrario, la válvula se abrirá poco para que entre el agua lentamente.

Con este diseño del sistema, la válvula puede desgastarse muy rápidamente, por eso, los técnicos ajustan unos valores que permiten que la válvula solo se abra en unos determinados valores y reduzca su uso.

Un sistema real podría combinar ambos diseños, usando entradas digitales para controlar el vaciado y llenado total del tanque y el sensor de peso para optimizarlos.

Capacidades E/S en los PLC modulares.

Los PLC modulares tienen un limitado número de conexiones para la entrada y la salida. Normalmente, hay disponibles ampliaciones si el modelo base no tiene suficientes puertos E/S.

Los PLC con forma de rack tienen módulos con procesadores y con módulos de E/S separados y opcionales, que pueden llegar a ocupar varios racks. A menudo hay miles de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. A veces, se usa un puerto serie especial de E/S que se usa para que algunos racks puedan estar colocados a larga distancia del procesador, reduciendo el coste de cables en grandes empresas. Algunos de los PLC actuales pueden comunicarse mediante un amplio tipo de comunicaciones incluidas RS-485, coaxial, e incluso Ethernet para el control de las entradas salidas con redes a velocidades de 100 Mbps.

Los PLC usados en grandes sistemas de E/S tienen comunicaciones P2P entre los procesadores. Esto permite separar partes de un proceso complejo para tener controles individuales mientras se permita a los subsistemas comunicarse mediante links. Estos links son usados a menudo por dispositivos de Interfaz de usuario (HMI) como keypads o estaciones de trabajo basados en ordenadores personales.

El número medio de entradas de un PLC es 3 veces el de salidas, tanto en analógico como en digital. Las entradas "extra" vienen de la necesidad de tener métodos redundantes para controlar apropiadamente los dispositivos, y de necesitar siempre más controles de entrada para satisfacer la realimentación de los dispositivos conectados.

Programación.

Los primeros PLC, en la primera mitad de los 80, eran programados usando sistemas de programación propietarios o terminales de programación especializados, que a menudo tenían teclas de funciones dedicadas que representaban los elementos lógicos de los programas de PLC. Los programas eran guardados en cintas. Más recientemente, los programas PLC son escritos en aplicaciones especiales en un ordenador, y luego son descargados directamente mediante un cable o una red al PLC. Los PLC viejos usan una memoria no volátil (magnetic core memory) pero ahora los programas son guardados en una RAM con batería propia o en otros sistemas de memoria no volátil como las memoria flash.

Los primeros PLC fueron diseñados para ser usados por electricistas que podían aprender a programar los PLC en el trabajo. Estos PLC eran programados con "lógica de escalera" ("ladder logic"). Los PLC modernos pueden ser programados de muchas formas, desde la lógica de escalera hasta lenguajes de programación tradicionales como el BASIC o C. Otro método es usar la Lógica de Estados (State Logic), un lenguaje de programación de alto nivel diseñado para programas PLC basándose en los diagramas de transición de estados.

Recientemente, el estándar internacional IEC 61131-3 se está volviendo muy popular. IEC 61131-3 define cinco lenguajes de programación para los sistemas de control programables: FBD (Function block diagram), LD (Ladder diagram), ST (Structured text, similar al Lenguaje de programación Pascal), IL (Instruction list) y SFC (Sequential function chart).

Mientras que los conceptos fundamentales de la programación del PLC son comunes a todos los fabricantes, las diferencias en el direccionamiento E/S, la organización de la memoria y el conjunto de instrucciones hace que los programas de los PLC nunca se puedan usar entre diversos fabricantes. Incluso dentro de la misma línea de productos de un solo fabricante, diversos modelos pueden no ser directamente compatibles.

La estructura básica de cualquier autómatas programable es: - Fuente de alimentación: encargada de convertir la tensión de la red, 220 ca a baja tensión de cc (24v) que es la que se utiliza como tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el autómatas. - CPU: Esta Unidad Central de Procesos es el auténtico cerebro del sistema. Es el encargado de recibir órdenes del operario a través de la consola de programación y el módulo de entradas. Después las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas. - Módulo de entradas: aquí se unen eléctricamente los captadores (interruptores, finales de carrera...). La información que recibe la envía al CPU para ser procesada según la programación. Hay 2 tipos de captadores conectables al módulo de entradas: los pasivos y los activos. - Módulo de salida: es el encargado de activar y desactivar los actuadores (bobinas de contactores, motores pequeños...). La información enviada por las entradas a la CPU, cuando está procesada se envía al módulo de salidas para que estas sean activadas (también los actuadores que están conectados a ellas). Hay 3 módulos de salidas según el proceso a controlar por el autómatas: relés, triac y transistores. - Terminal de programación: El terminal o consola de programación es el que permite comunicar al operario con el sistema. Sus funciones son la transferencia y modificación de programas, la verificación de la programación y la información del funcionamiento de los procesos. - Periféricos: No intervienen directamente en el funcionamiento del autómatas pero sí que facilitan la labor del operario.

Comunicaciones.

Las formas como los PLC intercambian datos con otros dispositivos son muy variadas. Típicamente un PLC puede tener integrado puertos de comunicaciones seriales que pueden cumplir con distintos estándares de acuerdo al fabricante. Estos puertos pueden ser de los siguientes tipos:

- RS-232
- RS-485
- RS-422
- Ethernet

Sobre estos tipos de puertos de hardware las comunicaciones se establecen utilizando algún tipo de protocolo o lenguaje de comunicaciones. En esencia un protocolo de comunicaciones define la manera como los datos son empaquetados para su transmisión y como son codificados. De estos protocolos los más conocidos son:

- Modbus
- Bus CAN
- Profibus
- Devicenet
- Controlnet
- Ethernet I/P

Muchos fabricantes además ofrecen distintas maneras de comunicar sus PLC con el mundo exterior mediante esquemas de hardware y software protegidos por patentes y leyes de derecho de autor.

Ejemplos de aplicaciones generales.

- Maniobra de máquinas
- Maquinaria industrial de plástico
- Máquinas transfer
- Maquinaria de embalajes
- Maniobra de instalaciones:
 - Instalación de aire acondicionado, calefacción...
 - Instalaciones de seguridad
- Señalización y control:
 - Chequeo de programas
 - Señalización del estado de procesos

Programación de un PLC.

Lenguajes de programación en PLC.

Anteriormente ya se ha mencionado algo al respecto, pero ahondando un poco más sobre esto podríamos señalar que los lenguajes de programación son necesarios para la comunicación entre el usuario, sea programador u operario de la máquina o proceso donde se encuentre el PLC y el PLC. La interacción que tiene el usuario con el PLC la puede realizar por medio de la utilización de un cargador de programa también reconocida como consola de programación o por medio de un PC.

En procesos grandes o en ambientes industriales el PLC recibe el nombre también de API (Autómata Programable Industrial) y utiliza como interfase para el usuario pantallas de plasma,

pantallas de contacto (touch screen) o sistemas SCADA (sistemas para la adquisición de datos, supervisión, monitoreo y control de los procesos), cuyo contenido no serán presentados ni tenidos en cuenta en este artículo.

Clasificación de los lenguajes de programación.

Los lenguajes de programación para PLC son de dos tipos, visuales y escritos. Los visuales admiten estructurar el programa por medio de símbolos gráficos, similares a los que se han venido utilizando para describir los sistemas de automatización, planos esquemáticos y diagramas de bloques. Los escritos son listados de sentencias que describen las funciones a ejecutar.

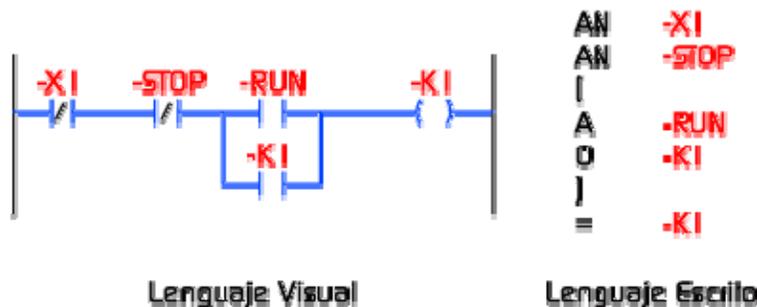


Figura 5.3 Lenguaje de programación visual y escrito

Los programadores de PLC poseen formación en múltiples disciplinas y esto determina que exista diversidad de lenguajes. Los programadores de aplicaciones familiarizados con el área industrial prefieren lenguajes visuales, por su parte quienes tienen formación en electrónica e informática optan, inicialmente por los lenguajes escritos.

Niveles de los lenguajes.

Los lenguajes de programación de sistemas basados en microprocesadores, como es el caso de los PLC, se clasifican en niveles; al microprocesador le corresponde el nivel más bajo, y al usuario el más alto.

| Tipos | Descripción | Nivel | Características |
|----------|---|-------|--|
| Visuales | Utilizan los símbolos de planos esquemáticos y diagramas de bloques | Alto | Restringido a los símbolos que proporciona el lenguaje |
| Escritos | Utilizan sentencias similares a las de programación de computadoras | Bajo | Total a los recursos de programación |

Acceso a los recursos Preferencias de uso

Tabla 5.1 Niveles de los lenguajes

Lenguajes de bajo nivel.

- **Lenguaje de máquina:** Código binario encargado de la ejecución del programa directamente en el microprocesador.
- **Lenguaje ensamblador:** Lenguaje sintético de sentencias que representan cada una de las instrucciones que puede ejecutar el microprocesador. Una vez diseñado un programa en lenguaje ensamblador es necesario, para cargarlo en el sistema, convertirlo o compilarlo a lenguaje de máquina. Los programadores de lenguajes de bajo nivel deben estar especializados en microprocesadores y demás circuitos que conforman el sistema.

| | | |
|----------------|----------------------|--|
| BANKSEL | TICON | |
| CLRF | TMR1H | |
| CLRF | TMR1L | |
| MOVLW | HIGH | ValorH |
| MOVWF | CCPR2H | |
| MOVLW | LOW | ValorH |
| MOVWF | CCPR2H | |
| BSF | TICON, TMR1ON | ¡INICIA CONTEO DE PERIODO! |
| BSF | INTCON, PEIE | ¡HABILITA INTERRUPTIONES PERIFERICAS! |
| BSF | INTCON, GIE | ¡HABILITA INTERRUPTIONES GLOBALES! |

Figura 5.4 Lenguaje tipo ensamblador

Lenguajes de alto nivel.

Se basan en la construcción de sentencias orientadas a la estructura lógica de lo deseado; una sentencia de lenguaje de alto nivel representa varias de bajo; cabe la posibilidad que las sentencias de un lenguaje de alto nivel no cubran todas las instrucciones del lenguaje de bajo nivel, lo que limita el control sobre la máquina. Para que un lenguaje de alto nivel sea legible por el sistema, debe traducirse a lenguaje ensamblador y posteriormente a lenguaje de máquina.

```

If Val(TxtDesde) <= 0 Then
    MsgBox "Verifique en Número Inicial", vbOKOnly
    TxtDesde.SetFocus
    Exit Sub
End If

If Val(TxtDesde) <= 0 Then
    MsgBox "Verifique en Número Final", vbOKOnly
    TxtHasta.SetFocus
    Exit Sub
End If

```

Figura 5.5 Lenguaje tipo alto nivel

Lenguajes de programación para PLC.

Los fabricantes de PLC han desarrollado una cantidad de lenguajes de programación en mayoría de los casos siguiendo normas internacionales, con el fin de suplir las necesidades y expectativas de los programadores.

En la siguiente tabla se presentan lenguajes de uso común.

| Lenguaje | Características | Ejemplos | Tipo | Nivel |
|-------------------------------------|--|-------------------------------|---------|-------|
| Listas | Lista de instrucciones | IL AWL STL IL/ST | Escrito | Bajo |
| Plano | Diagrama eléctrico | LADDER LD KOP | Visual | Alto |
| Diagrama de bloques funcionales | Diagrama lógico | FBD FBS FUD | | |
| Organigrama de bloques secuenciales | Diagrama algorítmico | AS SFC PETRI GRAFSET | | |
| Otros | Lenguajes usados en otras áreas de computación | BASIC C | Escrito | |

* Los nombres fueron asignados por el fabricante.

Tabla 5.2 Lenguajes de uso común

Niveles de los lenguajes específicos para PLC.

- **Bajo nivel:** En el ámbito de programación de PLC no se utiliza directamente el lenguaje de máquina o del ensamblador. Se emplea el lenguaje de lista de instrucciones, similar al lenguaje ensamblador, con una sintaxis y vocabulario acordes con la terminología usada en PLC.
- **Listas:** Lenguaje que describe lo que debe hacer el PLC instrucción por instrucción.
- **Alto nivel:** Se caracterizan principalmente por ser visuales, aunque existen también lenguajes escritos de alto nivel.



Figura 5.6 Lenguaje de alto nivel

- **Diagrama de contactos:** Representa el funcionamiento deseado, como en un circuito de contactores y relés, fácil de entender y utilizar para usuarios con experiencia en lógica alambrada. En general, nos referimos a este lenguaje como LADDER (escalera), ya que la forma de construcción de su esquema se asemeja a una escalera.

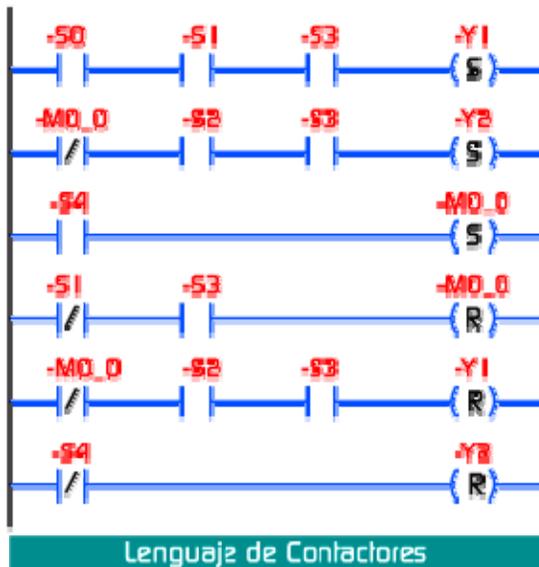


Figura 5.7 Diagrama de contactos

- **Diagrama de bloques funcionales:** Utiliza los diagramas lógicos de la electrónica digital.

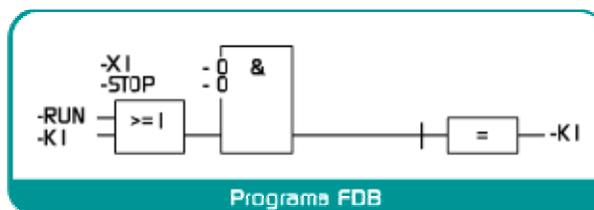


Figura 5.8 Diagrama de bloques funcionales

- **Organigrama de bloques secuenciales:** Explota la concepción algorítmica que todo proceso cumple con una secuencia. Estos lenguajes son los más utilizados por programadores de PLC con mayor trayectoria.

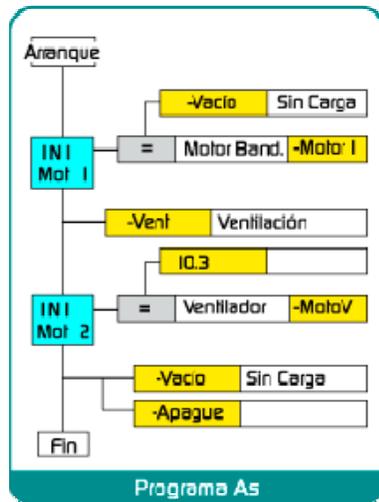


Figura 5.9 Organigrama de bloques secuenciales

Finalmente, no podemos decir que alguno de los lenguajes abordados hasta el momento sea mejor que otro, ya que cada uno de ellos cumple con una función propia que depende del tipo de aplicación. Para aprender PLC es necesario saber cuando menos un lenguaje de programación.

Actuadores y sensores.

Sensores.

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Hay sensores que no solo sirven para medir la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, ó 1 a 5VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable sensada dentro de un rango (span), para fines de control de dicha variable en un proceso.

Puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Áreas de aplicación de los sensores: Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina, Industria de manufactura, Robótica, etc.

Características de un sensor.

Entre las características técnicas de un sensor destacan las siguientes:

- Rango de medida: dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- Offset o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor: relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- Derivas: son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- Repetitividad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (p. ej. - un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

Resolución y precisión.

La resolución de un sensor es el menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida. Sin embargo, la precisión es el máximo error esperado en la medida.

La resolución puede ser de menor valor que la precisión. Por ejemplo, si al medir una distancia la resolución es de 0,01 mm, pero la precisión es de 1 mm, entonces pueden apreciarse variaciones en la distancia medida de 0,01 mm, pero no puede asegurarse que haya un error de

medición menor a 1 mm. En la mayoría de los casos este exceso de resolución conlleva a un exceso innecesario en el coste del sistema. No obstante, en estos sistemas, si el error en la medida sigue una distribución normal o similar, lo cual es frecuente en errores accidentales, es decir, no sistemáticos, la repetitividad podría ser de un valor inferior a la precisión.

Sin embargo, la precisión no puede ser de un valor inferior a la resolución, pues no puede asegurarse que el error en la medida sea menor a la mínima variación en la magnitud de entrada que puede observarse en la magnitud de salida.

Tipos de sensores.

En la siguiente tabla se indican algunos tipos y ejemplos de sensores electrónicos.

| Magnitud | Transductor | Característica |
|------------------------------|---------------------------|----------------|
| Posición lineal o angular | Potenciómetro | Analógica |
| | Encoder | Digital |
| Desplazamiento y deformación | Transformador diferencial | Analógica |
| | Galga extensiométrica | Analógica |
| Velocidad lineal y angular | Dinamo tacométrica | Analógica |
| | Encoder | Digital |
| | Detector inductivo | Digital |
| Aceleración | Acelerómetro | Analógico |
| Fuerza y par (deformación) | Galga extensiométrica | Analógico |
| Presión | Membranas | Analógica |

| | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| | Piezoeléctricos | Analógica |
| Caudal | Turbina | Analógica |
| | Magnético | Analógica |
| Temperatura | Termopar | Analógica |
| | RTD | Analógica |
| | Termistor NTC | Analógica |
| | Termistor PTC | Analógica |
| | Bimetal | I/O |
| Sensores de presencia | Inductivos | I/O |
| | Capacitivos | I/O |
| | Ópticos | I/O y Analógica |
| Sensores táctiles | Matriz de contactos | I/O |
| | Piel artificial | Analógica |
| Visión artificial | Cámaras de video | Procesamiento digital |
| | Cámaras CCD o CMOS | Procesamiento digital |
| Sensor de proximidad | Sensor final de carrera | |

| | | |
|----------------------------------|----------------------|--|
| | Sensor capacitivo | |
| | Sensor inductivo | |
| | Sensor fotoeléctrico | |
| Sensor acústico (presión sonora) | micrófono | |
| Sensores de acidez | IsFET | |
| Sensor de luz | fotodiodo | |
| | Fotorresistencia | |
| | Fototransistor | |
| Sensores captura de movimiento | Sensores inerciales | |

Tabla 5.3 Tipos y ejemplos de sensores electrónicos

Algunas magnitudes pueden calcularse mediante la medición y cálculo de otras, por ejemplo, la aceleración de un móvil puede calcularse a partir de la integración numérica de su velocidad. La masa de un objeto puede conocerse mediante la fuerza gravitatoria que se ejerce sobre él en comparación con la fuerza gravitatoria ejercida sobre un objeto de masa conocida (patrón).

Actuadores.

Se denominan actuadores a aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado.

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas.

Existen tres tipos de actuadores:

- Hidráulicos.
- Neumáticos.

- Eléctricos.

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren mucho equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots. Los servomotores CA sin escobillas se utilizarán en el futuro como actuadores de posicionamiento preciso debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento.

Actuadores hidráulicos.

Los actuadores hidráulicos, que son los de mayor antigüedad, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma de operación, funcionan en base a fluidos a presión. Existen tres grandes grupos:

- Cilindro hidráulico.
- Motor hidráulico.
- Motor hidráulico de oscilación.

Cilindro hidráulico.

De acuerdo con su función podemos clasificar a los cilindros hidráulicos en 2 tipos: de Efecto simple y de acción doble. En el primer tipo se utiliza fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa, diferente, para contraer. El segundo tipo se emplea la fuerza hidráulica para efectuar ambas acciones.

Motor hidráulico.

En los motores hidráulicos el movimiento rotatorio es generado por la presión. Estos motores los podemos clasificar en dos grandes grupos: El primero es uno de tipo rotatorio en el que los engranes son accionados directamente por aceite a presión, y el segundo, de tipo oscilante, el movimiento rotatorio es generado por la acción oscilatoria de un pistón o percutor; este tipo tiene mayor demanda debido a su mayor eficiencia.

Actuadores neumáticos.

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad.

En esta clasificación aparecen los fuelles y diafragmas, que utilizan aire comprimido y también los músculos artificiales de hule, que últimamente han recibido mucha atención.

- De efecto simple.
- Cilindro neumático.
- Actuador neumático de efecto doble.
- Con engranaje.
- Motor neumático con veleta.
- Con pistón.
- Con una veleta a la vez.
- Multiveleta.
- Motor rotatorio con pistón.
- De ranura vertical.
- De émbolo.
- Fuelles, diafragma y músculo artificial.

Actuadores eléctricos.

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.

Existe una gran cantidad de modelos y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua.

Utilización de un pistón eléctrico para el accionamiento de una válvula pequeña.

La forma más sencilla para el accionamiento con un pistón, sería la instalación de una palanca solidaria a una bisagra adherida a una superficie paralela al eje del pistón de accionamiento y a las entradas roscadas.

Existen Alambres Musculares, los cuales permiten realizar movimientos silenciosos sin motores. Es la tecnología más innovadora para robótica y automática, como así también para la implementación de pequeños actuadores.

Partes de un actuador.

- Sistema de "llave de seguridad": Este método de llave de seguridad para la retención de las tapas del actuador, usa una cinta cilíndrica flexible de acero inoxidable en una ranura de deslizamiento labrada a máquina. Esto elimina la concentración de esfuerzos causados por cargas centradas en los tornillos de las tapas y helicoils. Las Llaves de Seguridad incrementan de gran forma la fuerza del ensamblado del actuador y proveen un cierre de seguridad contra desacoplamientos peligrosos.
- Piñón con ranura: Esta ranura en la parte superior del piñón provee una transmisión autocentrante, directa para indicadores de posición e interruptores de posición, eliminando el uso de bridas de acoplamiento. (Bajo la norma Namur).
- Cojinetes de empalme: Estos cojinetes de empalme barrenados y enroscados sirven para simplificar el acoplamiento de accesorios a montar en la parte superior. (Bajo normas ISO 5211 Y VDI).
- Pase de aire grande: Los conductos internos para el pasaje de aire extra grandes permiten una operación rápida y evita el bloqueo de los mismos.
- Muñoneras: Una muñonera de nuevo diseño y de máxima duración, permanentemente lubricada, resistente a la corrosión y de fácil reemplazo, extiende la vida del actuador en las aplicaciones más severas.
- Construcción: Se debe proveer fuerza máxima contra abolladuras, choques y fatiga. Su piñón y cremallera debe ser de gran calibre, debe ser labrado con maquinaria de alta precisión, y elimina el juego para poder obtener posiciones precisas.
- Ceramigard: Superficie fuerte, resistente a la corrosión, parecida a cerámica. Protege todas las partes del actuador contra desgaste y corrosión.
- Revestimiento: Un revestimiento doble, para proveer extra protección contra ambientes agresivos.
- Acople: Acople o desacople de módulos de reposición por resorte, o de seguridad en caso de falla de presión de aire.
- Tornillos de ajuste de carrera: Provee ajustes para la rotación del piñón en ambas direcciones de viaje; lo que es esencial para toda válvula de cuarto de vuelta.
- Muñoneras radiales y de carga del piñón: Muñoneras reemplazables que protegen contra cargas verticales. Muñoneras radiales soportan toda carga radial.
- Sellos del piñón - superior e inferior: Los sellos del piñón están posicionados para minimizar todo hueco posible, para proteger contra la corrosión.
- Resortes indestructibles de seguridad en caso de falla: Estos resortes son diseñados y fabricados para nunca fallar y posteriormente son protegidos contra la corrosión. Los resortes son clasificados y asignados de forma particular para compensar la pérdida de

memoria a la cual está sujeta todo resorte; para una verdadera confianza en caso de falla en el suministro de aire.

Los actuadores más usuales son:

- Cilindros neumáticos e hidráulicos. Realizan movimientos lineales.
- Motores (actuadores de giro) neumáticos e hidráulicos. Realizan movimientos de giro por medio de energía hidráulica o neumática.
- Válvulas. Las hay de mando directo, motorizadas, electroneumáticas, etc. Se emplean para regular el caudal de gases y líquidos.
- Resistencias calefactoras. Se emplean para calentar.
- Motores eléctricos. Los más usados son de inducción, de continua, sin escobillas y paso a paso.
- Bombas, compresores y ventiladores. Movidos generalmente por motores eléctricos de inducción.

PLC a usarse en esta tesis.

Microplc Easy Moeller 800* (Eaton). [Empresa Alemana.]

- Maniobra y controla, mediante ajuste; visualización.
- Configuración por software o en pantalla.
- Capacidad: 8 entradas y 4 - 8 salidas.
- $V = 24 / 115 / 220$ VCA y $12 / 24$ VCD.

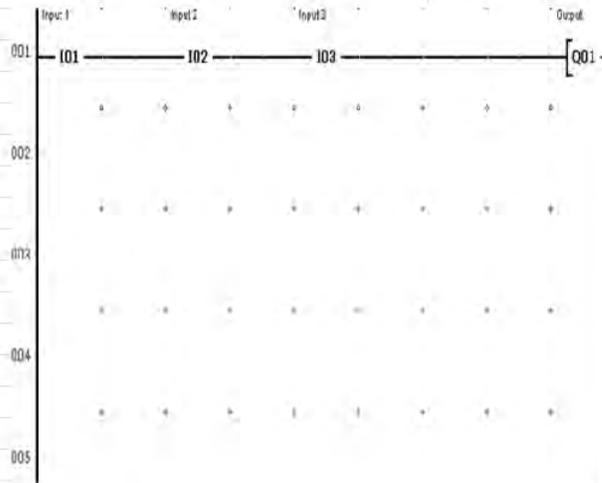
* Aunque este equipo es muy parecido a un PLC, se trata más bien lo que se le conoce como un relé inteligente (o smart relay), contando con características por demás similares.

Instrucciones del PLC Moeller a usarse en esta tesis (en Ingles).

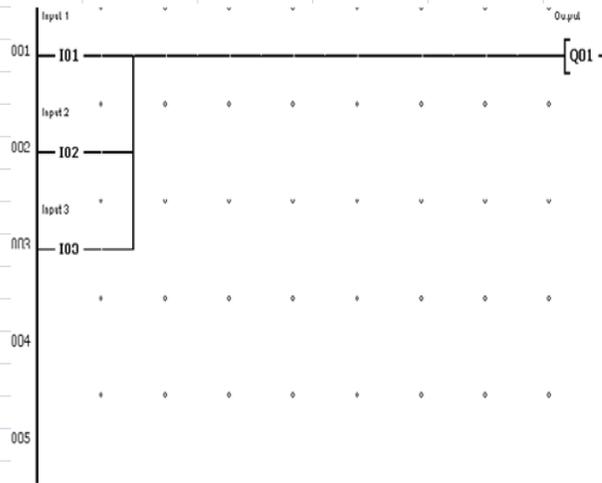
Programming with easySoft

To learn about the function of the AND operation, 3 inputs are linked together in an AND circuit.
 I1 - I3 are the digital inputs of the device. As soon as the corresponding minimum voltage for the device is present, its status is set to 1 in the program. If all 3 inputs are set to 1, the device output Q01 is set to 1.

A 1 signal at an input is similar to a closed contact. The device output can be compared to a coil, that picks up when it is energized. The series inputs (contacts) must be set to 1 (closed) so that the output (coil) switches (picks up).

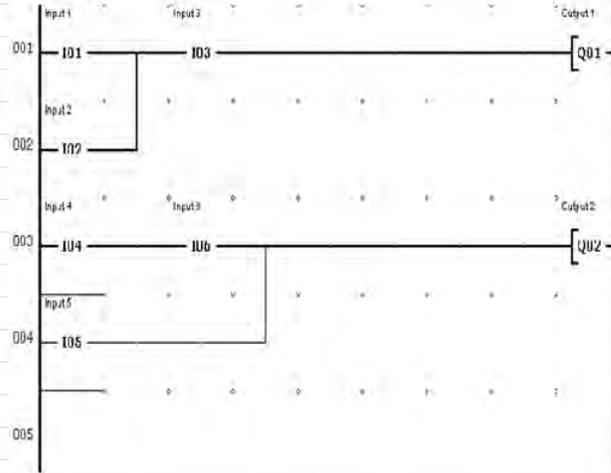


To learn about the function of the OR operation, 3 inputs are linked together in an OR circuit.
 Unlike the previous example, the device inputs are not connected in series but in parallel. This means that the output is switched when any one of the device inputs I1-I3 is switched.

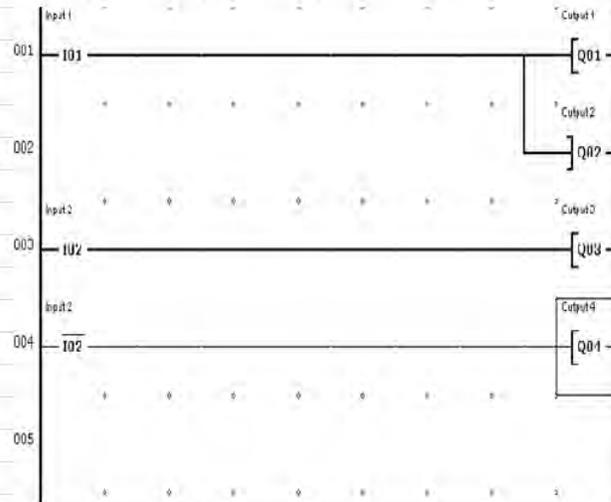


The OR and AND operations are combined together here. Either an OR operation is inserted in an AND operation or a path of the OR operation contains an AND circuit. The device output 1 is set to 1 if either IO1 OR IO2 are 1 AND IO3 is also 1.

The AND operation here is located in a path of the OR operation, which causes either IO4 AND IO5 to switch the device output OR IO5 to switch output 2 on its own.

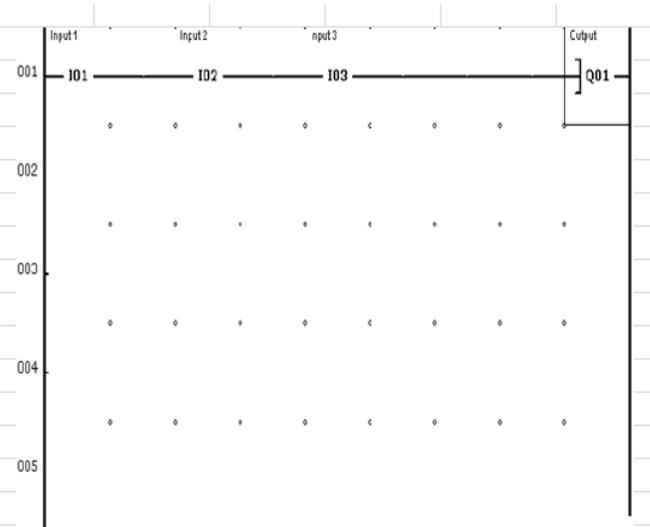


In this lesson, the outputs and inputs are "negated". If IO1 is set to 1, Q01 is switched. The "negated contactor" function enables the results of operations to be inverted. The function of IO2 is negated (inverted) by being configured as a "break contact". The inversion enables the inactive states of inputs to be detected.



In this operation, the negation is used from the previous lesson.

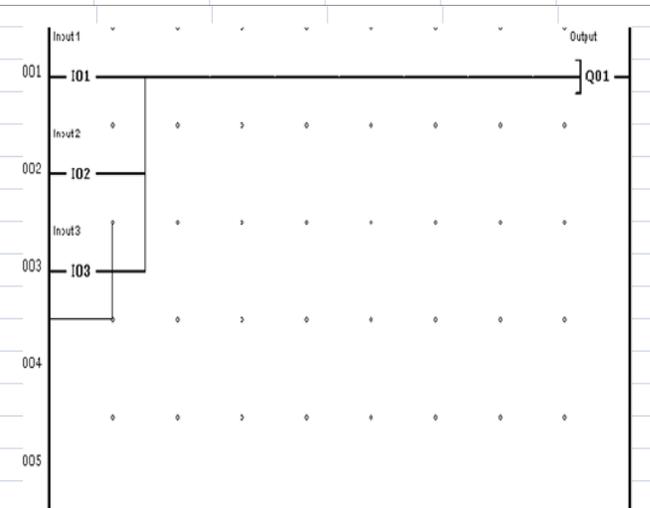
A NAND operation only sets a 0 at the output if all inputs are 1, and only sets a 1 at the output if at least one input is 0. This is a negated (inverted) AND operation. In order to achieve the inversion of the AND operation, the circuit is created as in the first lesson. However, the output is now configured as a "negated contactor" thus inverting the circuit of the first lesson and producing a NAND operation.



In this operation, the negation is used from lesson 4.

In a NOR circuit the output is only set to 1 if all the inputs are 0. This is a negated (inverted) OR operation. To achieve the inversion of the OR operation, the OR circuit is created as in the second lesson.

However, the output is configured as a "negated" contactor which produces the inversion of the operation in the second lesson.



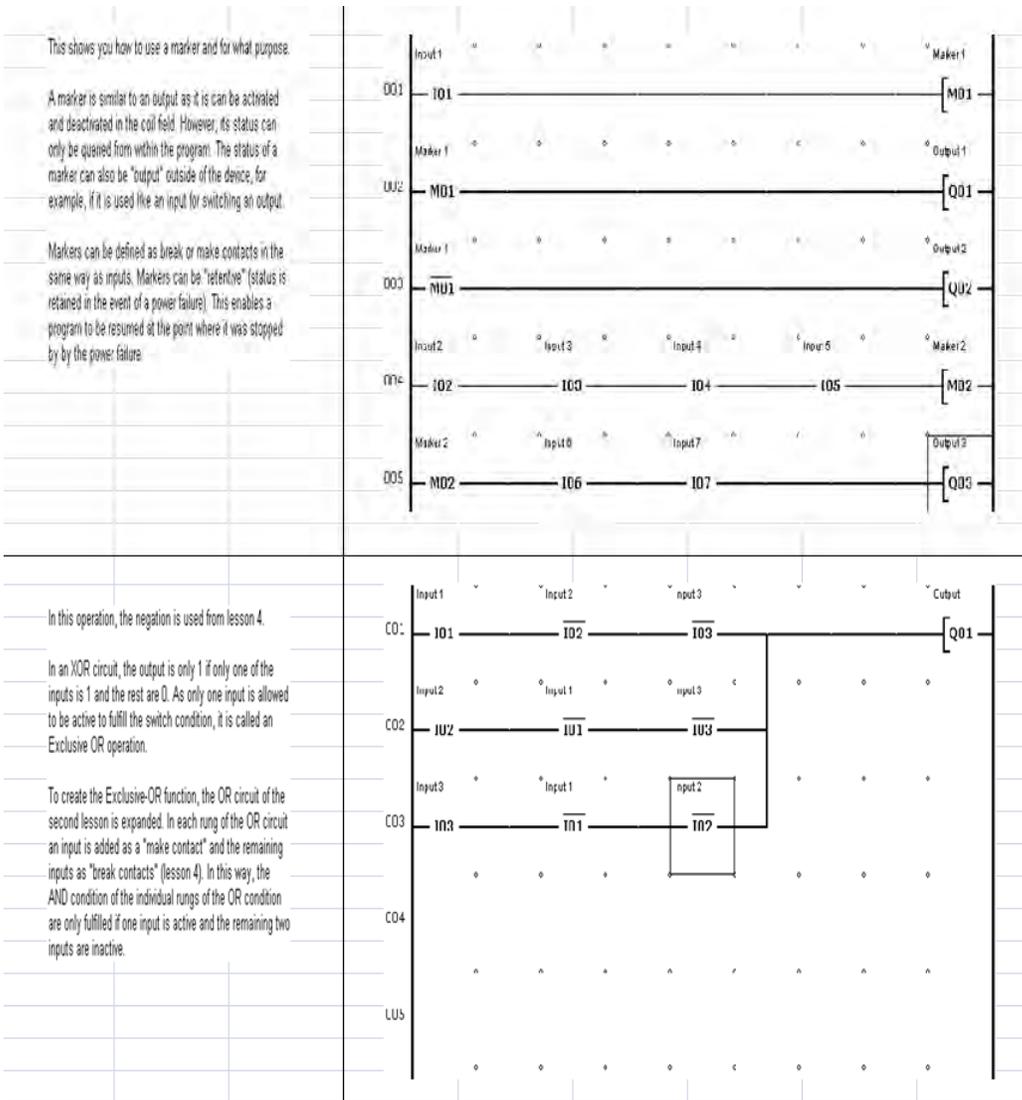


Figura 5.10 Programando con easySoft

VI. Conformación y Pruebas del sistema

Conformación del sistema.

En la realización de nuestra bancada o maqueta de simulación se pretende simular un proceso mediante control de bandas transportadoras de materiales. Con la cual se podrían realizar una o varias prácticas en la que los alumnos aprendan a utilizar los drives (variadores de velocidad) y los PLC's y con ello puedan actualizarse en cuanto a los conocimientos básicos que todo ingeniero eléctrico debe de tener y que existen en su campo de trabajo.

El sistema estará constituido por los siguientes componentes:

- Dos motores jaula de ardilla de potencia fraccionaria.
- Dos drives (variadores de velocidad) Yaskawa y Baldor.
- Un micro PLC Easy 800 Moeller.
- Botoneras para paro y arranque manual.
- Selector para manual y automático.
- Sensores (fotoceldas) para el control de movimiento de motores (bandas).

A continuación se muestran algunas figuras de la maqueta en general.

Diagrama de bancada.

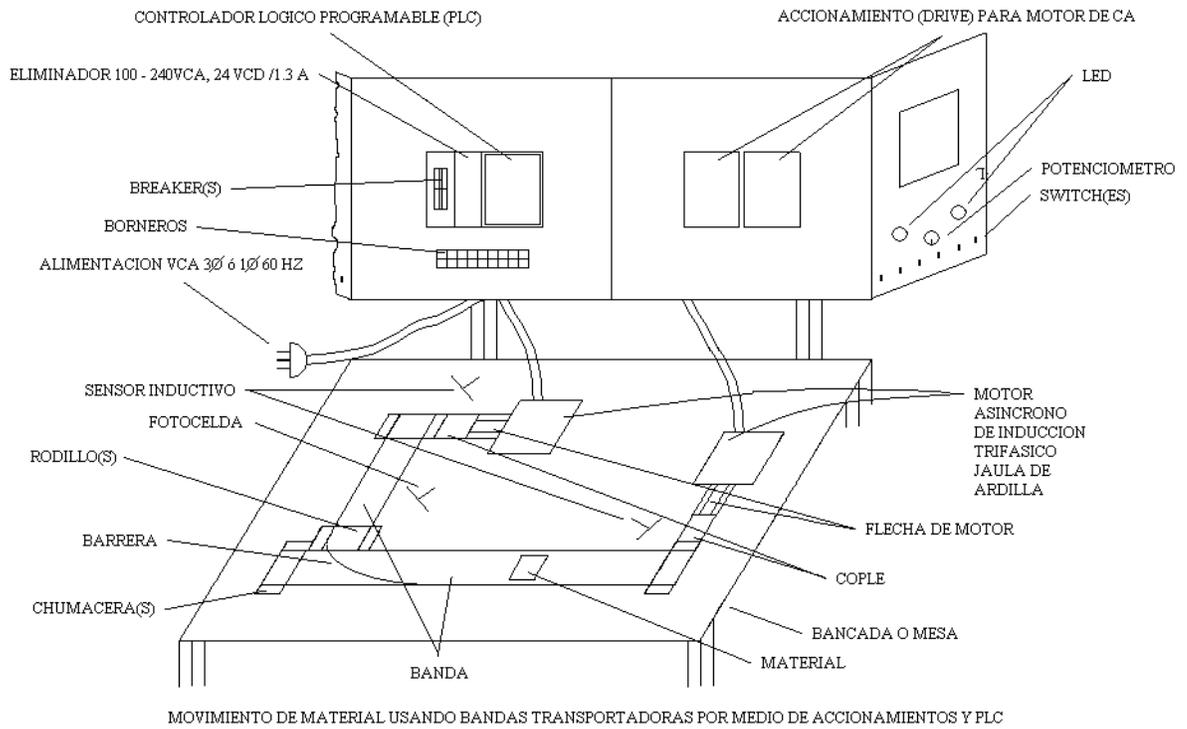


Figura 6.1 Diagrama de bancada

Diagrama sensores / actuadores (viéndose también aspecto mecánico).

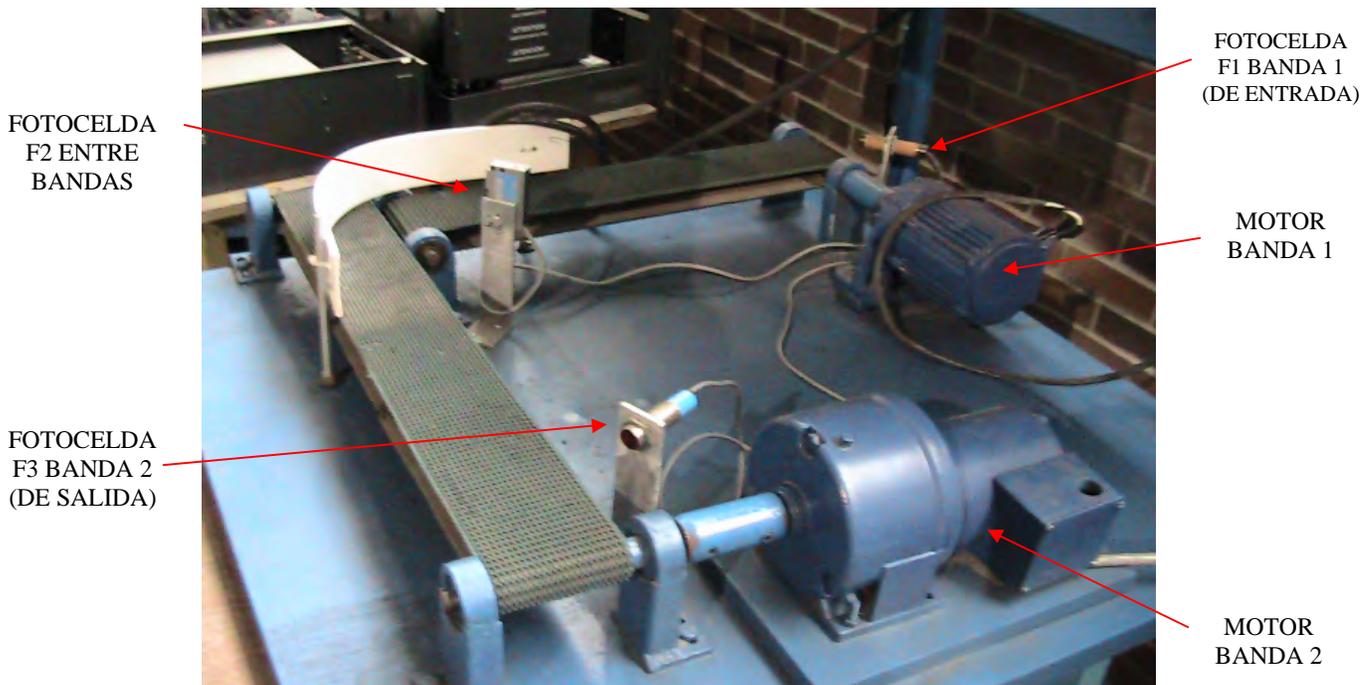


Figura 6.2 Diagrama sensores y actuadores

En esta foto (figura 6.2) se observan los sensores y actuadores de la bancada de simulación de un sistema de transportadores.

Del lado izquierdo se muestran las bandas (junto con una barrera de contención) por donde circulará el contenedor y, acopladas a éstas, un par de motores que se observan del lado derecho.

Diagrama de control (viéndose también aspecto eléctrico).

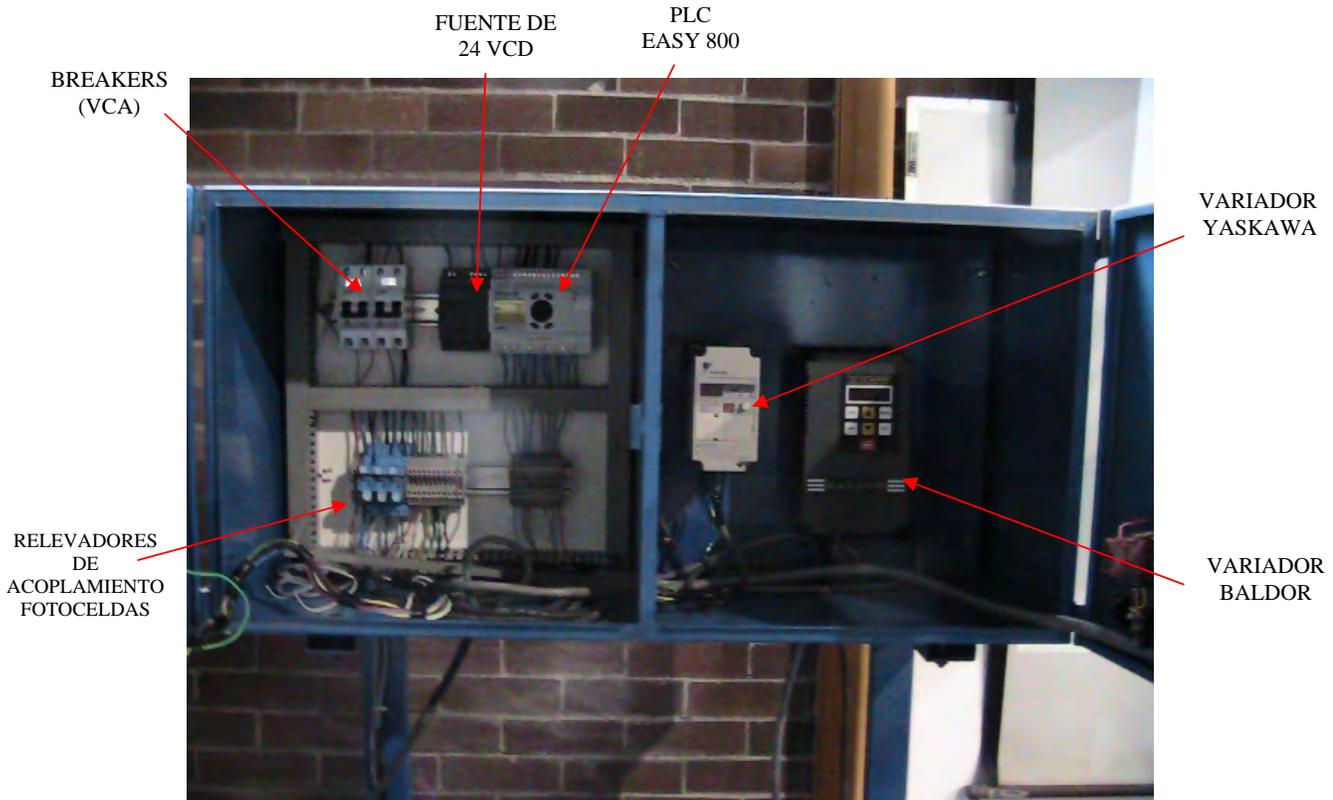


Figura 6.3 Diagrama de control

En esta foto (figura 6.3) se observa el tablero de control de la bancada de simulación de un sistema de transportadores.

Del lado izquierdo se encuentra la platina de control, la cual está compuesta por el plc, la fuente de alimentación para los sensores y los breakers o pastillas térmicas para energizado y protección de los drives, así como los relevadores de acoplamiento para los sensores.

Del lado derecho podemos observar los dos variadores de velocidad el Yaskawa y el Baldor.

Diagrama general de cableado de control.

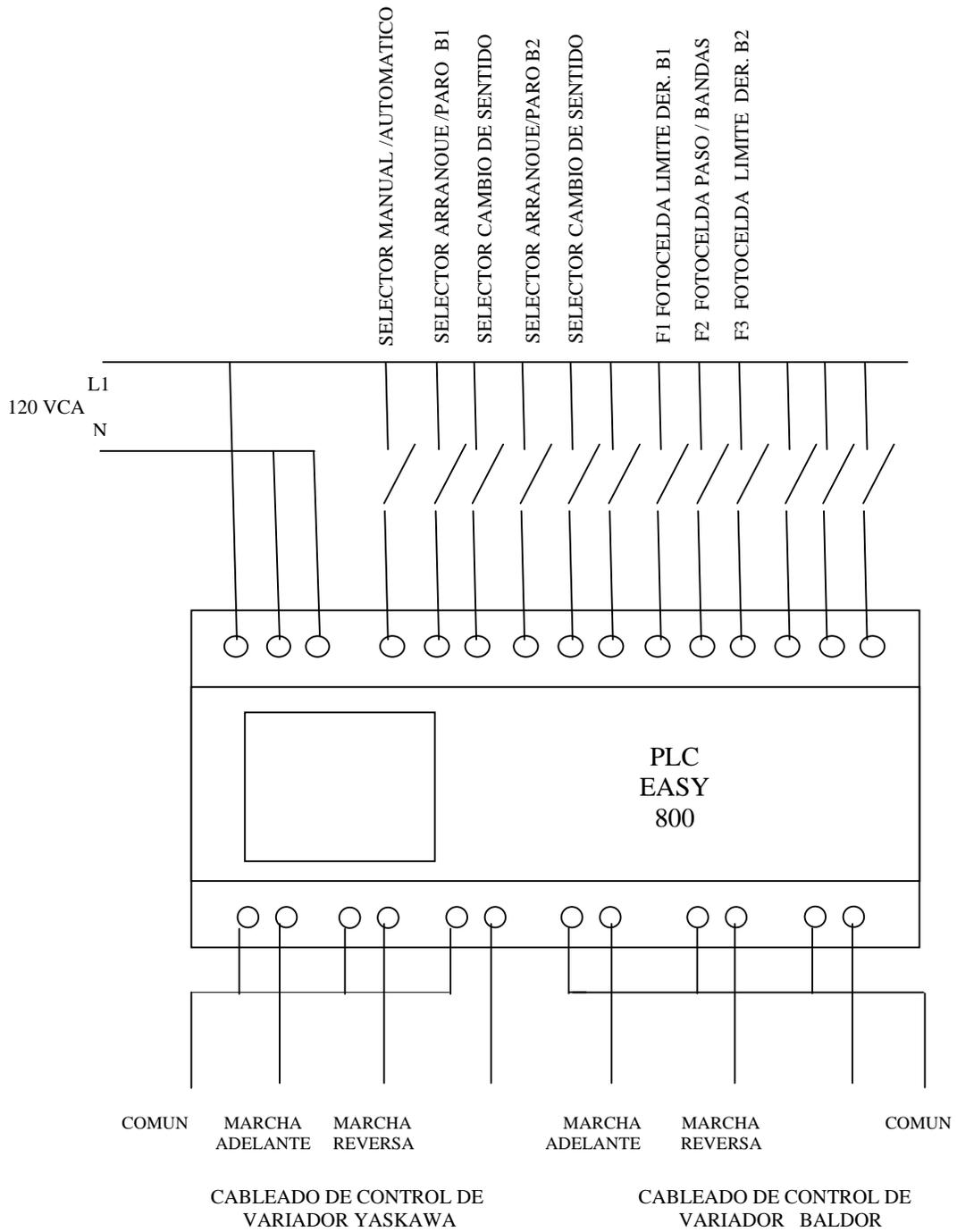


Figura 6.4 Diagrama general de control

Diagrama eléctrico de fuerza.

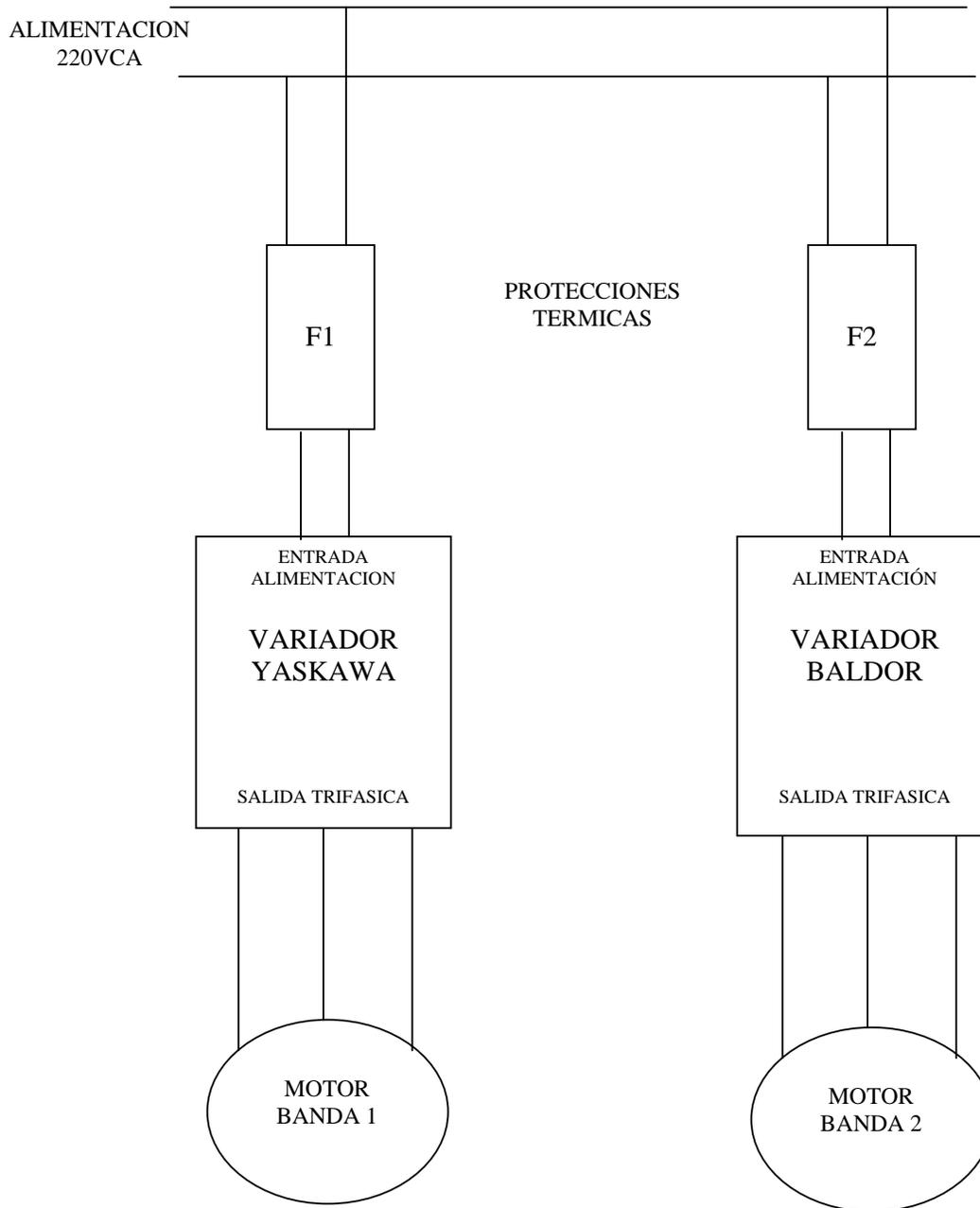


Figura 6.5 Diagrama eléctrico de fuerza

Pruebas del sistema.

Secuencia de control.

El sistema de bandas será capaz de funcionar en manual y/o automático.

Operación manual.

El tablero de control de bandas para la operación de cada banda en forma independiente contará con selectores de arranque/paro y selector de cambio de sentido de giro.

Para este modo de operación se deberá colocar el selector MANUAL/AUTOMATICO (I 01) en posición MANUAL.



Figura 6.6 Arranque modo manual

Una vez realizado lo anterior, el sistema estará preparado para trabajar en forma manual; al accionar los selectores de arranque de cada motor éste arrancará en marcha hacia delante, esto es, se coloca el selector ARRANQUE B1 (I 02) hacia arriba y se coloca el selector ARRANQUE B2 (I 04), en la misma posición.



Esta operación en manual serviría como primer chequeo de que las bandas están actuando adecuadamente antes de hacer funcionar el sistema en automático.

Operación automática.

En el modo de operación automática se cuenta con dos programas de control.

Programa 1.

Este programa realiza la simulación del traslado de una pieza desde el inicio de la banda 1 de entrada hasta el final de la banda 2 de salida.

Para ello se acciona el selector de MANUAL / AUTOMATICO(I 01) a posición de AUTOMATICO.



Figura 6.10 Arranque modo automático programa 1

Se accionan los selectores de arranque de las dos bandas, esto es, se coloca el selector ARRANQUE B1 (I 02) hacia arriba y se coloca el selector ARRANQUE B2 (I 04), en la misma posición; los selectores de cambio de sentido permanecen en posición de apagado (abajo).



Figura 6.11 Arranque de drives modo automático

Una vez realizados estos ajustes, el sistema se encontrará listo para actuar en automático, quedando en espera de que llegue una pieza a la banda 1 de entrada, la cual al ser detectada por la fotocelda 1 (I 07) arranca automáticamente la banda 1 (Q 01) trasladando la pieza hasta el final de la banda donde se encuentra la fotocelda 2 (I 08), la cual al detectar la unidad arranca la banda 2 (Q 04) y un vez que deja de detectar la fotocelda 2 para la banda 1, la banda 2 continua transportando el producto hasta el final de dicho transportador al llegar éste al final y ser detectado por la fotocelda 3 (I 09), la banda 2 para con lo cual termina el ciclo de operación.

Programa 2.

Se pretende aquí simular, principalmente, el movimiento de un contenedor vacío hasta una tolva, en donde se cargará material en éste, para luego devolver el contenedor ya cargado, vaciarlo en el lugar de origen y repetir la operación.

Para ello se acciona el selector de MANUAL/AUTOMATICO (I 01) a posición de AUTOMATICO.



Figura 6.12 Arranque automático programa 2

Se accionan los selectores de arranque de las dos bandas esto es, se coloca el selector ARRANQUE B1 (I 02) hacia arriba y se coloca el selector ARRANQUE B2 (I 04) en la misma posición; los selectores de cambio de sentido de giro también son accionados, para indicar al sistema que trabajará en ambos sentidos, esto es, se coloca el selector CAMBIO DE SENTIDO DE GIRO B1 (I 03) hacia arriba y se coloca el selector ARRANQUE B2 (I 05), en la misma posición.



Figura 6.13 Accionamiento programa 2

Una vez realizados estos ajustes, el sistema se encontrará en espera de que llegue el contenedor vacío al inicio de la banda 1 de entrada, el cual al ser detectado por el sensor o la fotocelda 1 (I 07) arranca automáticamente la banda 1 (Q 01) trasladando éste al final de este transportador donde se encuentra la fotocelda 2 (I 08), la cual al detectar el contenedor arranca la banda 2 (Q 04) y un vez que deja de detectar la fotocelda 2 para la banda 1, la banda 2 continúa transportando el contenedor hasta el final de su recorrido, o sea al término de dicho transportador, donde está ubicada la tolva, al llegar el contenedor al final y ser detectado por la fotocelda 3 (I 09), la banda 2 para y se inicia un tiempo de espera (simulándose el llenado del contenedor) para luego arrancar la banda 2 en reversa (Q 05) y llevar nuevamente el contenedor cargado con material de regreso sobre la banda 2, al ser detectado el material nuevamente por la fotocelda 2 (I 08), al inicio de la banda 2 y final de la banda 1, arrancará la banda 1 en reversa (Q 02) y una vez que deja de detectar la fotocelda 2 para la banda 2, la banda 1 continúa energizada hasta que el material llega al punto de inicio, en donde parará al ser detectado el contenedor por el sensor 1, para ser vaciado y terminar con el ciclo de operación.

Esta programación del PLC, de hecho, podría modificarse sin mayor problema, pudiéndose programar cada uno de estos ejemplos automáticos en una malla (o loop), dando los tiempos pertinentes y tener una simulación más completa, sin embargo, esto se ha soslayado considerándose que sería un buen ejercicio de reprogramación, entre otras muchas modificaciones, simulando diversos procesos productivos.

En cuanto a los accionamientos, ambos, tanto el Baldor como el Yaskawa, han sido previamente programados, habilitándoseles con la característica de *alto par de arranque*, que tienen y que, como el nombre lo indica, les da a los motores un mayor par en el arranque, que el usual, previendo lo pesado de la carga en el contenedor. También, como en el caso de la programación del PLC, los drives pueden ser reprogramados, simulándose diversas condiciones de carga y operación. A continuación se muestran los programas cargados en ambos drives.

Yaskawa:

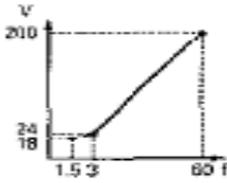


Figura 6.14 Gráfica de control Yaskawa

- n011: 60.0 [Frecuencia de salida máxima]
- n012: 200.0 [Voltaje máximo]
- n013: 60.0 [Frecuencia de salida de voltaje máximo (frecuencia base)]
- n014: 3.0 [Frecuencia de salida media]
- n015: 24.0 [Voltaje de frecuencia de salida media]
- n016: 1.5 [Frecuencia de salida mínima]
- n017: 18.0 [Voltaje de frecuencia de salida mínima]

Baldor:

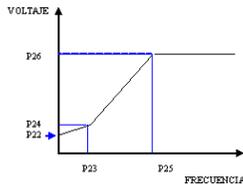


Figura 6.15 Gráfica de control Baldor

- P22: 5 [V/F punto de voltaje bajo]
- P23: 30 [V/F frecuencia de punto medio]
- P24: 10 [V/F voltaje de punto medio]
- P25: 50 [V/F frecuencia base]
- P26: 100 [V/F voltaje base]

Nota: Para evitar el que la tesis fuese demasiado extensa, únicamente se hace mención en esta tesis lo referente a los parámetros e instrucciones de programación, soslayándose lo demás, aún así, se puede acceder a más información, vía internet, entrando a las páginas de los fabricantes (bibliografía); y es también posible acudir al Laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la FI-UNAM en donde están disponibles los manuales para su consulta, así como también la bancada en cuestión.

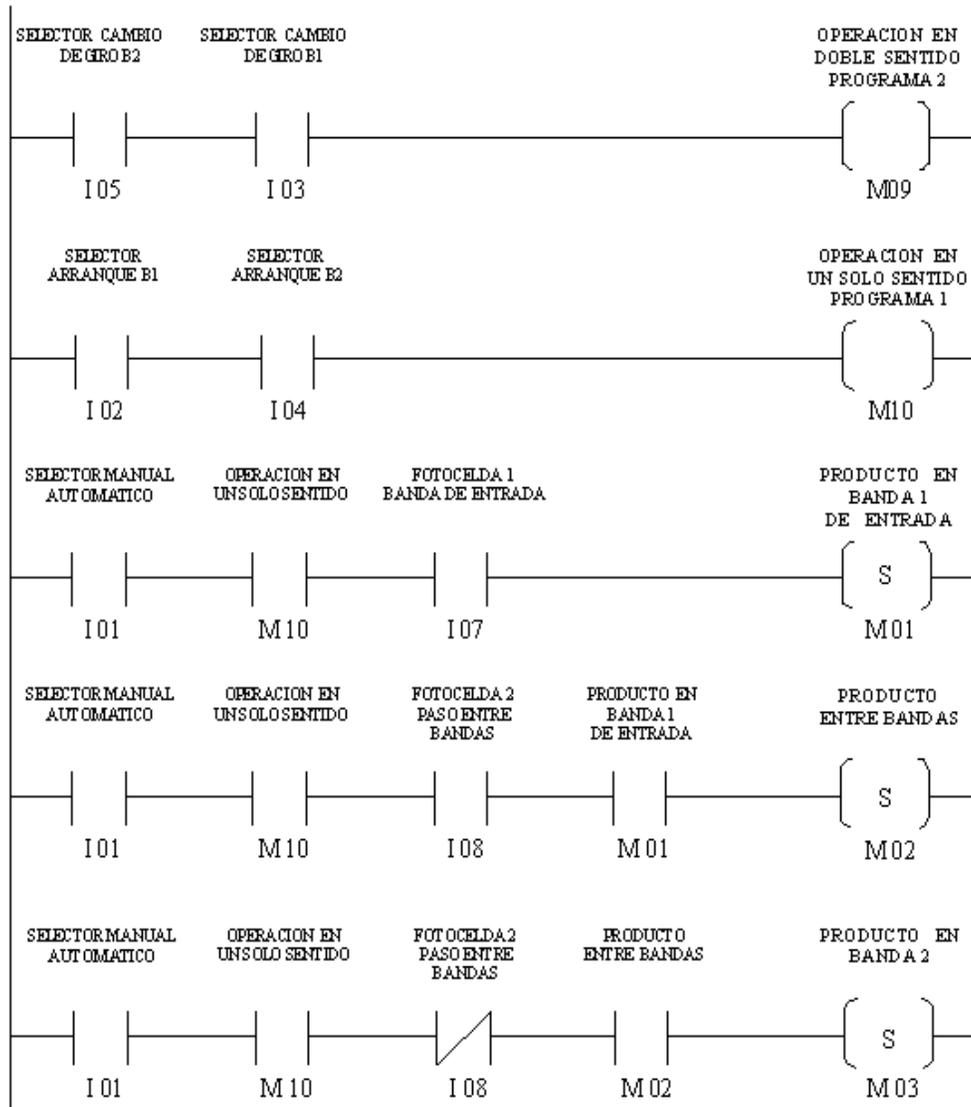
Listado de entradas, salidas y marcas internas.

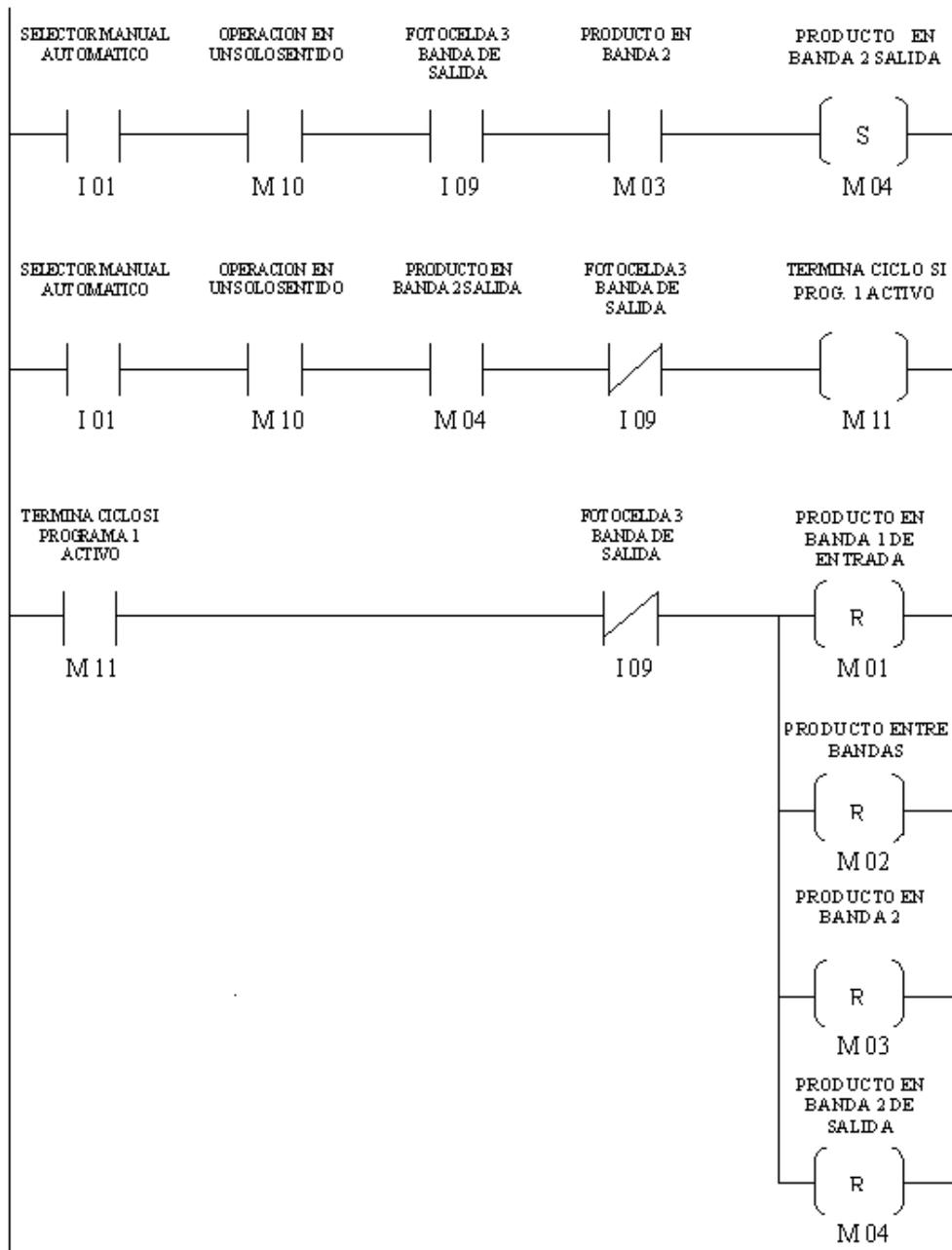
| OPERANDO | DESCRIPCION |
|------------------------|---|
| ENTRADAS | |
| I 01 | SELECTOR MANUAL/AUTOMATICO |
| I 02 | SELECTOR ARRANQUE/PARO BANDA 1 |
| I 03 | SELECTOR INVERSIÓN DE GIRO BANDA 1 |
| I 04 | SELECTOR ARRANQUE/PARO BANDA 2 |
| I 05 | SELECTOR INVERSIÓN DE GIRO BANDA 2 |
| I 07 | FOTOCELDA 1 ENTRADA BANDA 1 |
| I 08 | FOTOCELDA 2 PASO ENTRE BANDAS |
| I 09 | FOTOCELDA 3 SALIDA BANDA 2 |
| | |
| SALIDAS | |
| Q 01 | MARCHA ADELANTE BANDA 1 |
| Q 02 | MARCHA REVERSA BANDA 1 |
| Q 04 | MARCHA ADELANTE BANDA 2 |
| Q 05 | MARCHA REVERSA BANDA 2 |
| | |
| MARCAS INTERNAS | |
| | |
| M 01 | PRODUCTO EN BANDA 1 DE ENTRADA |
| M 02 | PRODUCTO ENTRE BANDAS |
| M 03 | PRODUCTO EN BANDA 2 |
| M 04 | PRODUCTO EN BANDA 2 SALIDA |
| M 05 | PRODUCTO EN BANDA 2 REGRESA |
| M 06 | PRODUCTO ENTRE BANDAS DE REGRESO |
| M 07 | PRODUCTO EN BANDA 1 DE REGRESO |
| M08 | PRODUCTO REGRESO ENTRADA BANDA 1 |
| M 09 | OPERACIÓN EN DOBLE SENTIDO PROGRAMA 2 |
| M 10 | OPERACIÓN EN UN SOLO SENTIDO PROGRAMA 1 |
| M 11 | TERMINA CICLO SI PROGRAMA 1 ACTIVO |
| M 12 | REGRESAR PRODUCTO |
| | |
| TIMER | |
| T1 | TIEMPO ESPERA PARA REGRESO |

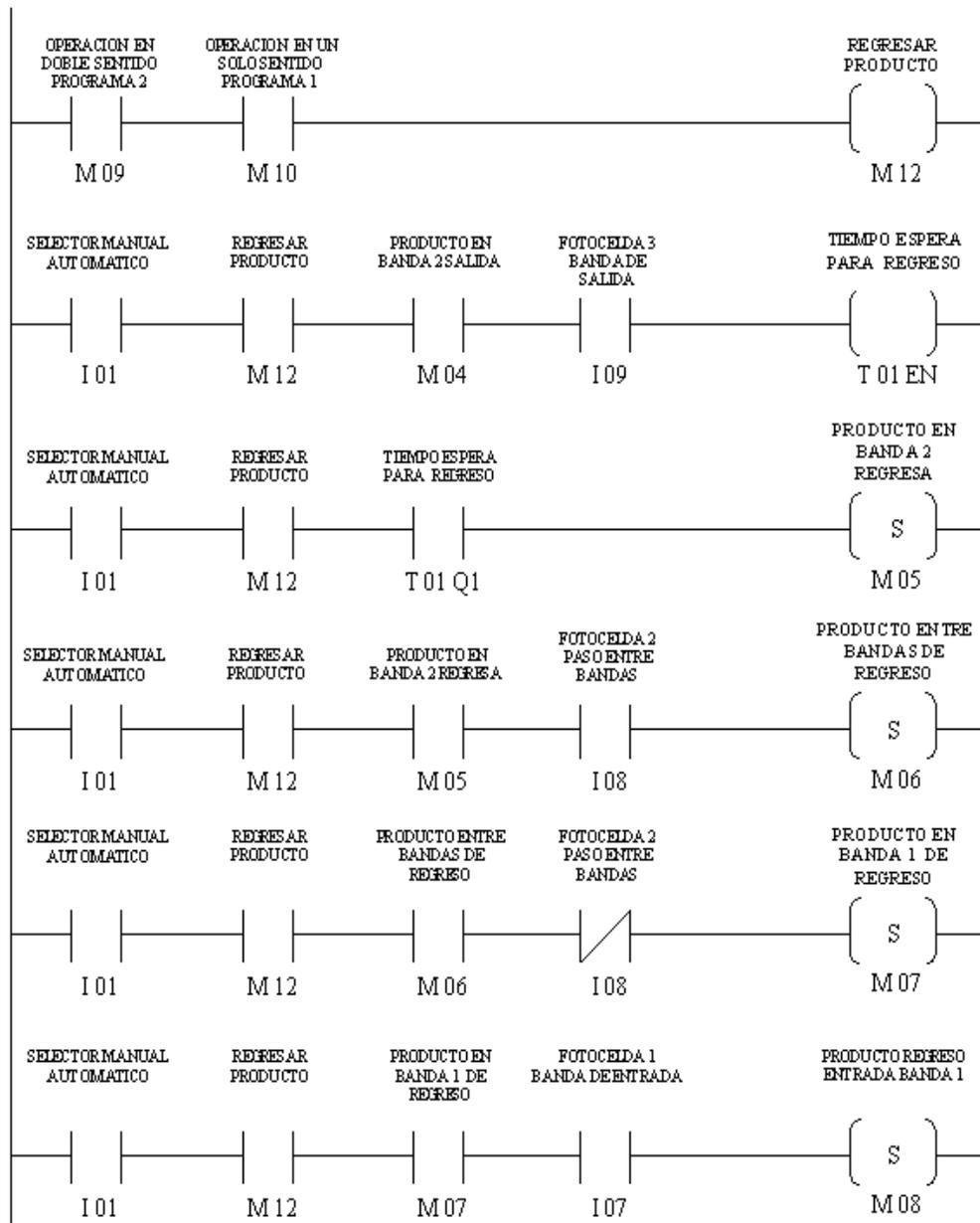
Tabla 6.1 Entradas, salidas y marcas internas

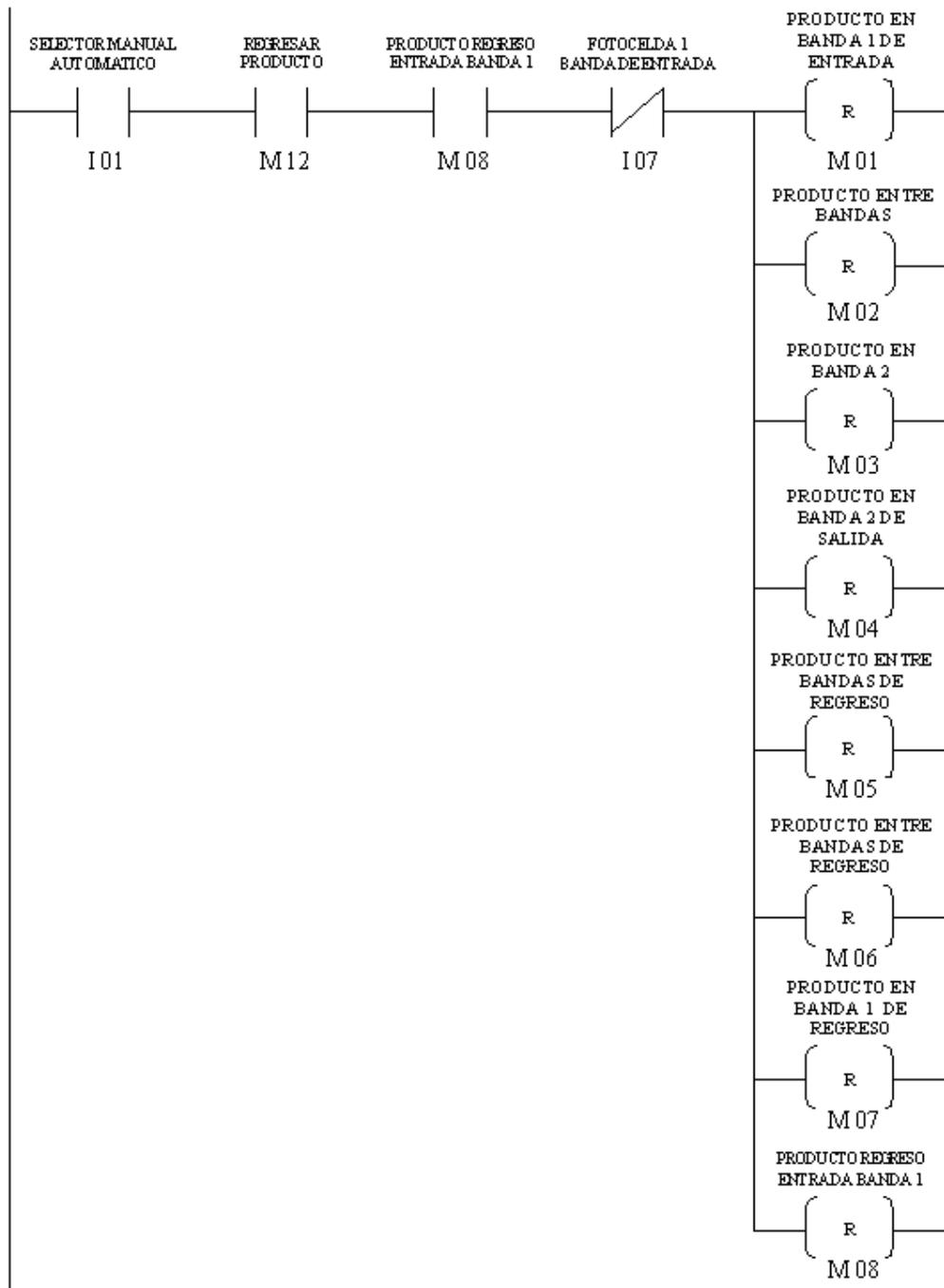
Programa de control.

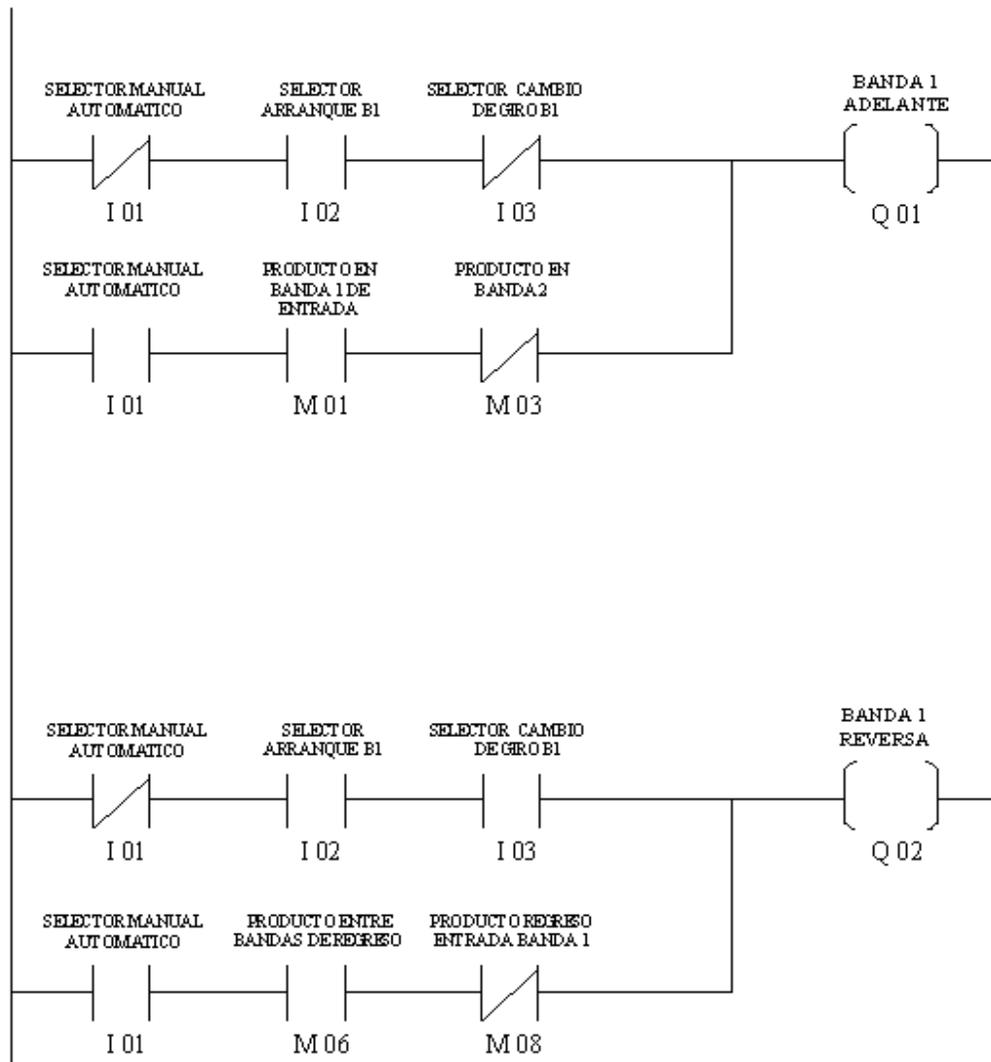
Programa de control de bandas en Diagrama de escalera.

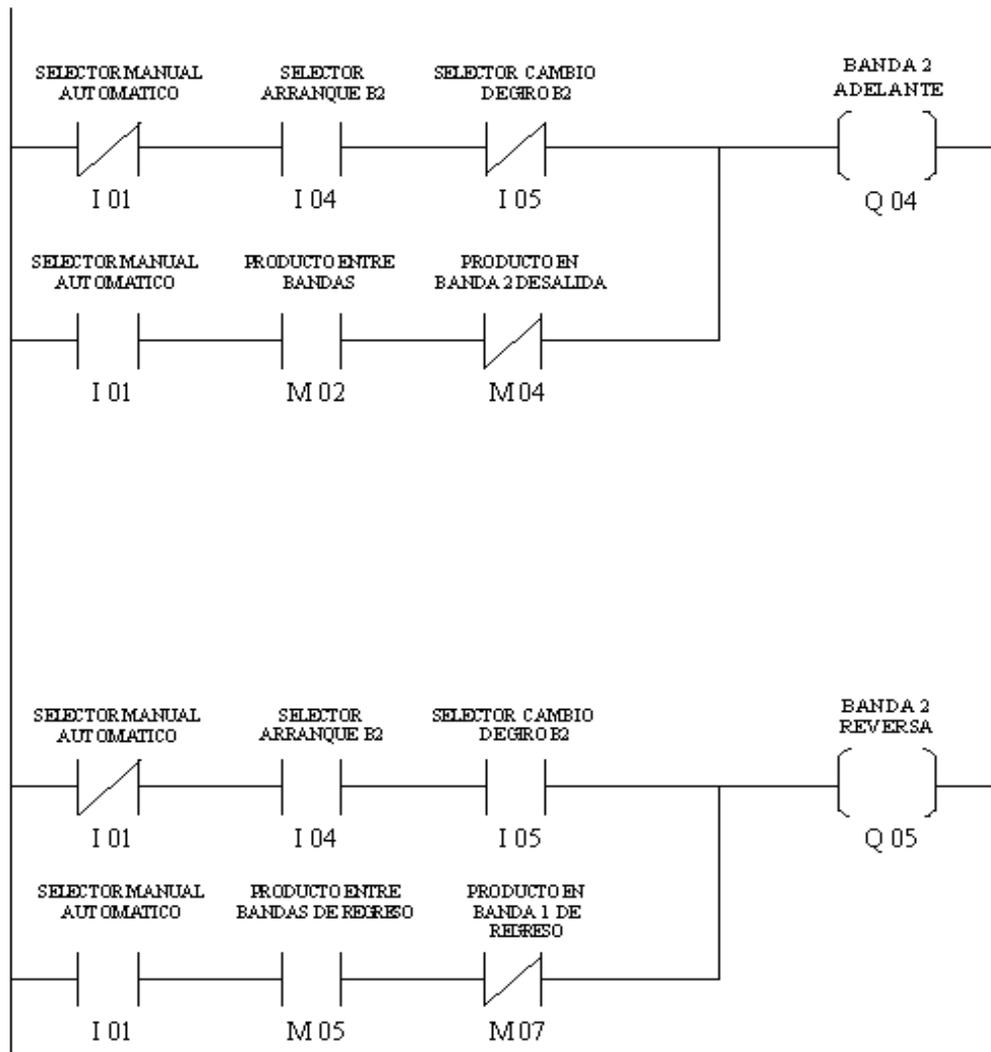












VII. Conclusiones

A través de esta tesis nos hemos percatado de lo valioso que es para un estudiante tanto el conocimiento científico (teórico-práctico), aprendido a través de las aulas y laboratorios, como el conocimiento tecnológico, vía la utilización de equipo que se usa de manera corriente fuera de la escuela, en la industria. Esto nos ha abierto el panorama de manera notable y nos impulsa a seguir conociendo más sobre equipos similares y adentrarnos en un conocimiento más profundo de los equipos aquí usados.

De manera particular, con referencia a este proyecto en cuestión, lo que costó más trabajo fue la realización de la bancada que, de cierto, fue lo más difícil; hubo que escoger tanto los materiales adecuados, cortar y soldar, colocar los motores, los drives, el PLC, los sensores a usarse, y poner a punto toda la cuestión mecánica, a través de ir ajustando sobre la marcha, p. ej. - las bandas sobre las chumaceras.

Existen muy diversas industrias donde es igualmente muy diverso el uso de las bandas transportadoras en sus procesos productivos. Se estuvo pensando muy seriamente en el proceso a simular y, en términos burdos, se acordó un movimiento "automatizado" en el que un contenedor, al principio vacío, se mueve a un extremo para ser llenado y retorna ya con la carga para ser utilizada, repitiéndose esto una y otra vez (aunque también de manera manual, puede ser movido a voluntad, pudiendo ajustarse la velocidad, los sentidos de movimiento, etc.).

Se pensó en algún momento algún proceso industrial más complejo que el que se había decidido, pero ello requeriría hacer modificaciones a la posición de las bandas ya colocadas lo que retrasaría el proyecto en cuestión mucho más de lo que ya nos había llevado y así, con el aval de nuestro director de tesis, se decidió dejarlo tal cual, con una serie de movimientos de las bandas que pudieran parecer sencillos, pero que aún así conllevarían un buen trabajo encima, como puede verse en el diagrama de escalera que resultó, considerándose que lo principal ya estaba hecho y que era el montaje de toda la bancada.

La finalidad última de este proyecto fue, y es, dejar una bancada que pueda servir como apoyo en las clases para que los alumnos conozcan y practiquen este tipo de tecnología, nueva para ellos, que les redituará en el salir mejor preparados, lo que les dará mayores oportunidades de empleo, tan escaso y tan competido en nuestros días.

VIII. Bibliografía

Movimiento de materiales en una línea de producción

- www.lcgrp.com/
- www.techintnewyork.com/
- www.imm.com.mx/

Motores eléctricos

- http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico
- http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_as%C3%ADncrono
- <http://html.rincondelvago.com/motor-de-induccion-trifasico.html>

Accionamientos (Drives)

- http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_velocidad
- “Los variadores de velocidad como un medio para ahorrar energía eléctrica”. FIDE.
- <http://www.baldor.com>
- <http://www.yaskawa.com>
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/sandoval_t_cl/capitulo5.pdf

Controladores Lógicos Programables (PLC's). Sensores y actuadores

- http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_l%C3%B3gico_programable
- http://www.yoreparo.com/blogs/martin_torres/industrial/programacion-plc.html
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Actuador>
- <http://trainingcenter.moeller.net/basics>

Conformación y pruebas del sistema

- Instruction and Operating Manual. BDI 1100 Frequency Inverter. Baldor Motors and Drives.
- <http://www.baldor.com>
- <http://www.yaskawa.com>
- <http://www.moeller.net>