



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE – LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN
DEL TITULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**“SINCRONISMO Y SUPERVISIÓN DE POSICIÓN Y VELOCIDAD
DE UN MOTOR TRIFÁSICO ASÍNCRONO CON UN SISTEMA DE
ENCODERS MAESTRO-ESCLAVO PARA APLICACIONES DE
CONTROL DE EJES.”**

ADRIAN OSWALDO LEÓN AGUIRRE

JORGE VICENTE TAPIA VACA

LATACUNGA - ECUADOR

OCTUBRE DE 2009

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado fue desarrollado en su totalidad por los señores ADRIAN OSWALDO LEÓN AGUIRRE y JORGE VICENTE TAPIA VACA, previo a la obtención de su Titulo de Ingeniero Electrónico en Instrumentación.

Latacunga, 6 de Octubre del 2009

Ing. Fausto Tapia.
DIRECTOR

Ing. Mario Jiménez.
CODIRECTOR

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Adrian Oswaldo León Aguirre y Jorge Vicente Tapia Vaca, como autores de la tesis "sincronismo y supervisión de posición y velocidad de un motor trifásico asíncrono con un sistema de encoders maestro-esclavo para aplicaciones de control de ejes", autorizamos la publicación del presente proyecto de grado en la biblioteca virtual de la ESPE.

Latacunga, 6 de Octubre del 2009

Adrian León Aguirre

Jorge Tapia Vaca

DECLARACIÓN

Nosotros, Adrian Oswaldo León Aguirre y Jorge Vicente Tapia Vaca, declaramos que somos los autores y responsables de la tesis “sincronismo y supervisión de posición y velocidad de un motor trifásico asíncrono con un sistema de encoders maestro-esclavo para aplicaciones de control de ejes”.

Latacunga, 6 de Octubre del 2009

Adrian León Aguirre

Jorge Tapia Vaca

“La madurez del hombre es haber vuelto a encontrar la seriedad con la que jugaba cuando era niño.”

Friedrich Nietzsche

AGRADECIMIENTO

A los maestros que con vocación supieron transmitir sus conocimientos para formar en nosotros bases sólidas y permanentes en nuestra formación profesional, y a los Ingenieros Fausto Tapia y Mario Jiménez, por su dirección y recomendaciones en el desarrollo del proyecto, a la Ingeniera Katya Torres, por las tantas veces que nos facilitó el laboratorio.

DEDICATORIA

A mis padres Jaime e Irma, que con su esfuerzo, ejemplo y valores han inspirado en mi las ganas de salir adelante a pesar de las adversidades, para mis hermanos Andrés y Gabriela, que son mi apoyo incondicional, para Martín y Benjamín por quienes luchamos para hacer de éste un mundo mejor, y por supuesto a Dios que es el eje fundamental de mi vida.

Adrian León Aguirre.

A mi esposa Carmita, mis hijos Jorge, Diego y Melany que son la luz que guía e inspira para alcanzar las metas y objetivos en mi vida y por supuesto a mis padres y a Dios fuente de toda inspiración.

Jorge Tapia Vaca.

CONTENIDO

CAPÍTULO I FUNDAMENTOS

1.1.	Descripción del problema.....	1
1.2.	Sistemas de transmisión de potencia mecánica.....	3
1.2.1.	Poleas y bandas.....	5
1.2.1.1.	Transmisión simple.....	6
1.2.1.2.	Transmisión compuesta.....	7
1.2.2.	Cadenas.....	8
1.2.3.	Engranajes.....	9
1.2.3.1.	Engranajes rectos.....	10
1.2.3.2.	Engranajes helicoidales.....	10
1.2.3.3.	Engranajes cónicos.....	11
1.2.3.4.	Transmisión simple.....	13
1.2.3.5.	Transmisión compuesta.....	14
1.2.4.	Reductores de velocidad.....	15
1.3.	Control de ejes.....	18
1.4.	Principios de motores trifásicos de inducción.....	21
1.4.1.	Motores jaula de ardilla.....	23
1.4.1.1.	Principio de funcionamiento.....	24
1.4.1.2.	Clasificación de los motores jaula de ardilla.....	25
1.5.	Encoder.....	26
1.5.1.	Encoder incremental.....	27
1.5.2.	Encoder absoluto.....	29
1.5.3.	Resolver.....	32
1.6.	Servomotor.....	35
1.6.1.	Principio de funcionamiento.....	37
1.7.	Diferencias entre motores jaula de ardilla y servomotores.....	37
1.8.	Variadores de velocidad.....	39
1.8.1.	Control de velocidad de un motor jaula de ardilla.....	41

1.8.2.	Esquema de un variador de frecuencia.....	43
1.9.	Servodrive.....	45
1.10.	PLC o autómata programable.....	49
1.10.1.	Arquitectura interna.....	50
1.10.2.	Software de programación.....	57
1.10.3.	Lenguajes de programación para PLCs	57
1.11.	Sistemas HMI.....	59

CAPÍTULO II DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

2.1.	Características del sistema.....	64
2.2.	Diagrama de bloques del sistema.....	65
2.3.	Selección de componentes.....	67
2.3.1.	Selección de los motores.....	68
2.3.2.	Selección de censores.....	69
2.3.3.	Selección de variadores de velocidad.....	72
2.3.4.	Selección del panel de operación.....	73
2.4.	Selección y puesta en marcha del PLC.....	74
2.5.	Diseño de la etapa de reducción de velocidad.....	79
2.6.	Configuración de los variadores de velocidad.....	81
2.7.	Diseño del HMI.....	84
2.7.1.	Pantalla principal.....	85
2.7.2.	Pantalla de sincronismo de posición.....	85
2.7.3.	Pantalla de sincronismo de velocidad.....	86
2.7.4.	Pantalla de puesta a cero del sistema.....	87
2.7.5.	Pantalla de arranque del sistema.....	88
2.7.6.	Pantalla de gestión de alarmas.....	88
2.7.7.	Pantalla de comportamiento de la variable posición.....	89
2.7.8.	Pantalla de información de los autores.....	90

CAPÍTULO III RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1.	Pruebas experimentales.....	91
3.2.	Descripción física del sistema.....	92

3.3.	Pruebas del sincronismo de posición angular y velocidad.....	93
3.4.	Análisis de pruebas experimentales.....	97
3.5.	Alcances y limitaciones.....	98
3.6.	Análisis técnico económico.....	99

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	Conclusiones.....	105
4.2.	Recomendaciones.....	108

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES.....	110
------------------------------------	-----

ANEXOS

Anexo A	Glosario de términos.
Anexo B	Manual de operación.
Anexo C	Planos eléctricos.
Anexo D	Hojas de especificaciones técnicas.
Anexo E	Listado del programa del PLC.

INDICE DE TABLAS.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS

Tabla 1. Clasificación NEMA.....	25
Tabla 2. Código de salida de un encoder absoluto.....	32
Tabla 3. Diferencias entre motor jaula de ardilla y servomotor.....	39

CAPÍTULO II**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

Tabla 4. Características de los motores seleccionados.....	68
Tabla 5. Características principales de los encoder.....	71
Tabla 6. Características de los variadores de velocidad.....	72
Tabla 7. Características de la pantalla de supervisión.....	73
Tabla 8. Selección del PLC.....	75
Tabla 9. Especificaciones del PLC D0-06DD2.....	75
Tabla 10. Parámetros de ajuste.....	82
Tabla 11. Parámetros de control del motor.....	82
Tabla 12. Parámetros de Entradas/Salidas.....	83
Tabla 13. Parámetros de control.....	83
Tabla 14. Parámetros de comunicación.....	83
Tabla 15. Parámetros de funciones.....	84

CAPÍTULO III RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

Tabla 16. Pruebas de posición y velocidad con polea de $3\frac{1}{2}$ "	96
Tabla 17. Valores de error en un sistema lineal.....	102
Tabla 18. Costo de los componentes.....	103
Tabla 19. Costo de mano de obra del proyecto.....	103

INDICE DE FIGURAS.**CAPÍTULO I****FUNDAMENTOS**

Figura 1. Transmisión de potencia por poleas y bandas.....	6
Figura 2. Transmisión simple por poleas y bandas.....	7
Figura 3. Transmisión compuesta por poleas y bandas.....	8
Figura 4. Engranaje recto.....	10
Figura 5. Engranaje helicoidal.....	11

Figura 6. Engranaje cónico.....	11
Figura 7. Diámetros de una rueda dentada.....	12
Figura 8. Longitud de los dientes de una rueda dentada.....	12
Figura 9. Transmisión simple con engranajes.....	13
Figura 10. Transmisión compuesta con engranajes.....	15
Figura 11. Curva característica de un motor asincrónico.....	22
Figura 12. Constitución de un motor de inducción.....	23
Figura 13. Caja de bornes a) Conexión estrella b) Conexión triángulo.....	24
Figura 14. Encoder incremental.....	27
Figura 15. Representación de las señales incrementales en disco óptico.....	27
Figura 16. Representación gráfica de las señales incrementales.....	28
Figura 17. Representación gráfica de las fases de conmutación.....	29
Figura 18. Encoder absoluto.....	30
Figura 19. Esquema de un resolver y las señales de entrada y salida.....	32
Figura 20. Espectro de frecuencias de las señales de salida del resolver.....	34
Figura 21. Construcción de un resolver.....	34
Figura 22. a) Esquema de conexión interna b) Conexión eléctrica.....	35
Figura 23. Constitución de un servomotor brushless.....	36
Figura 24. Variación de velocidad actuando sobre el deslizamiento.....	42
Figura 25. Esquema genérico de un variador de frecuencia.....	45
Figura 26. Vista frontal de un servodrive.....	46

CAPÍTULO II DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Figura 27. Diagrama de bloques del sistema.....	65
Figura 28. Variador de velocidad Altivar 31.....	73
Figura 29. Arreglo interno del PLC DL06.....	74
Figura 30. Cable D2-DSCBL.....	76
Figura 31. Disposición de pines del cable D2-DSCBL.....	76
Figura 32. Configuración de modo de entradas.....	77
Figura 33. Configuración de entradas de alta velocidad.....	77
Figura 34. Lazo de control del sistema.....	78
Figura 35. Reductor de velocidad acoplado al motor maestro.....	79
Figura 36. Sistema de poleas en transmisión simple.....	81
Figura 37. Pantalla principal.....	85
Figura 38. Pantalla de sincronismo de posición.....	86

Figura 39. Pantalla de sincronismo de velocidad.....	87
Figura 40. Pantalla de puesta a cero del sistema.....	87
Figura 41. Pantalla de arranque del sistema.....	88
Figura 42. Pantalla de gestión de alarmas en estado normal.....	89
Figura 43. Pantalla de gestión de alarmas en fallo crítico.....	89
Figura 44. Pantalla de comportamiento del sistema en función del tiempo.....	90
Figura 45. Pantalla de información de los autores.....	90

CAPÍTULO III RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

Figura 46. Alimentadores.....	94
Figura 47. Sierra transversal.....	94
Figura 48. Representación desfase de 90º.....	95
Figura 49. Aplicación de corte con distancias definidas.....	100

INTRODUCCIÓN

En la industria se hace necesario el reemplazo de elementos mecánicos como levas, frenos-embragues, cadenas, piñones, en las que se requiere vincular dos ejes en movimiento en forma mecánica, los que por ser elementos rígidos, imposibilitan el cambio rápido de los perfiles de movimiento, provocando de esta forma elevados tiempos de detención de proceso, y gran utilización de energía para su remoción.

En éste proyecto se buscó llegar a obtener dos ejes que tengan la misma velocidad, con diferentes ángulos de desfase y que éste desfase se lo haga sin la necesidad de detener el sistema , por lo que se percibió la necesidad de diseñar un sistema de control electrónico, que facilita el sincronismo de posición angular de un motor con respecto a otro, a través de un sistema de encoders maestro-esclavo, además de controlar y proporcionar información acerca de velocidad, y poder conseguir el máximo rendimiento del sistema.

El presente proyecto se ha dividido en cuatro capítulos:

En el capítulo I, se presenta el marco teórico, que va a servir para llevar una referencia de los principios de funcionamiento de los elementos a utilizar para la ejecución del proyecto.

Dentro del capítulo II, se encuentran las fases de diseño y construcción del proyecto, en donde se entregan las contribuciones de los autores en el campo de desarrollo del proyecto, esto implica la selección y puesta en marcha de cada uno de los elementos utilizados.

En el capítulo III, se entregan detalles de los resultados que se obtuvieron al hacer las pruebas de experimentación con el prototipo, y algunas aplicaciones que se le pueden dar al mismo.

Finalmente en el capítulo IV, se detallan las conclusiones y recomendaciones que podrán contribuir con trabajos del orden de la robótica industrial.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS

1.1. Descripción del problema.

Las exigencias de la industria son cada día más altas, más producción en menos tiempo, reducción de los costos y aumento de la productividad. Un avance constante da lugar a muchos componentes y dispositivos nuevos que salen constantemente al mercado para satisfacer al cliente mas exigente; el especialista, el ingeniero, el cual tiene que aplicar todos éstos elementos en sus proyectos, debe ir más allá de ser un experto sólo en el ramo mecánico, neumático o electrónico. El debe ser especialista en un campo más amplio que combine todas estas experiencias en una, para lograr un proyecto complejo.

En procesos en los que se hace necesario el control de posición y velocidad, se hace indispensable la utilización de instrumentos de precisión como son los encoder, ya que con este tipo de sensores se puede convertir a cualquier tipo de motor, en este caso motores asincrónicos trifásicos; que como es conocido no entregan sus características de placa en un cien por ciento, debido en muchos casos por recalentamiento del mismo y desgaste de rodamientos, lo que no los hace del todo confiables, en una aproximación a lo que hoy por hoy se está utilizando cuando de control de posición, velocidad y frenado se trata, se habla de servomotores brushless trifásicos, los mismos que al ser adquiridos se hace necesario obtener su propio variador de velocidad, (conocido como servo drive), es decir, que las características del variador vayan acorde con las características del servomotor, este tipo de variadores tienen su propia parametrización, que no es de fácil acceso debido a que no a sido muy difundido; además los servomotores tienen acoplado el encoder al eje lo que hace que cuando existe alguna falla en el encoder, se tenga que desmontar todo el servomotor para poder cambiar dicho instrumento.

El presente proyecto propone tener sincronismo de un motor(esclavo) a través de un sistema de encoders maestro-esclavo, lo que implica que dicho motor se sincronice con otro motor(maestro), es decir que mantengan una relación de velocidad y posición aún en el caso en que el motor maestro se vea forzado por agentes externos a variarla; acoplando a los ejes de los motores, encoders incrementales que entreguen información de las variables ya mencionadas, la variable posición permitirá además tener control sobre otra variable que es el frenado del motor en una posición determinada. Por lo que se debe lidiar con variables mecánicas típicas de los motores como son: deslizamiento, torque de arranque y velocidad nominal.

En definitiva lo que el problema implica es el obtener un control de ejes con motores de inducción, lo que engloba de acuerdo a esto el control de posición y velocidad, así como la sincronización entre ellos.

1.2. Sistemas de transmisión de potencia mecánica¹.

Generalmente, cuando se habla de máquinas es necesario hacerlo también de motores, pues en la mayoría de los casos toda máquina lleva incorporada un motor que transforma, mediante un mecanismo de transmisión, la energía rotatoria de su eje en trabajo mecánico.

Uno de los retos más importantes que tiene el hombre de hoy en día es aprovechar al máximo la energía de que dispone. Pues bien, quizás en ese sentido el motor eléctrico tiene mucho que decir, pues del mismo modo que un generador eólico transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica a la salida del generador, con esta energía producida podemos accionar a su vez otra máquina que lleve a cabo una nueva función.

Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de trasmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. Son parte fundamental de los elementos u órganos de una máquina, muchas veces clasificado como uno de los dos subgrupos fundamentales de estos elementos de transmisión y elementos de sujeción. En la gran mayoría de los casos, estas transmisiones se realizan a través de elementos rotantes, ya que la transmisión de energía por rotación ocupa mucho menos espacio que aquella por traslación.

Una transmisión mecánica es una forma de intercambiar energía mecánica distinta a las transmisiones neumáticas o hidráulicas, ya que para ejercer su función emplea el movimiento de cuerpos sólidos, como son los engranajes y las correas de transmisión. Típicamente, la transmisión cambia la velocidad de rotación de un eje de entrada, lo que resulta en una velocidad de salida diferente. Las transmisiones se

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Reductores_de_velocidad

emplean en una gran variedad de aplicaciones, algunas de ellas estacionarias.

Muchos sistemas, como las transmisiones empleadas en los automóviles, incluyen la capacidad de seleccionar alguna de varias relaciones diferentes. En estos casos, la mayoría de las relaciones (llamadas usualmente "marchas" o "cambios") se emplean para reducir la velocidad de salida del motor e incrementar el par de giro; sin embargo, las relaciones más altas pueden ser sobre marchas que aumentan la velocidad de salida.

El torque disponible en la flecha de salida es igual al torque en la flecha de entrada multiplicado por la relación de reducción de velocidad. Existen varias categorías de transmisión de potencia mecánica, la transferencia del torque mediante dispositivos mecánicos se logra a través de:

- Poleas y bandas.
- Cadenas.
- Engranajes.
- Reductores de velocidad.

Estos elementos mecánicos, a su vez, suelen ir montados sobre los llamados ejes de transmisión, que son piezas cilíndricas sobre las cuales se colocan los mecanismos de transmisión correspondientes y que serán los encargados de transmitir el movimiento de una parte a otra del sistema.

1.2.1. Poleas y bandas².

Los sistemas de transmisión de poleas y bandas se emplean para transmitir la potencia mecánica proporcionada por el eje del motor entre dos ejes separados entre sí por una cierta distancia. La transmisión del movimiento por correas se debe al rozamiento de éstas sobre las poleas, de manera que ello sólo será posible cuando el movimiento rotórico y de torsión que se ha de transmitir entre ejes sea inferior a la fuerza de rozamiento. El valor del rozamiento depende, sobre todo, de la tensión de la correa y de la resistencia de ésta a la tracción; es decir, del tipo de material con el que está construida (cuero, fibras, hilos metálicos recubiertos de goma, etc.) y de sus dimensiones.

Las poleas son ruedas con una o varias hendiduras, sobre las cuales se apoyan las correas. Las correas son cintas cerradas de cuero y otros materiales que se emplean para transmitir movimiento de rotación entre dos ejes generalmente paralelos. Pueden ser de forma plana, redonda, trapezoidal o dentada.

Este sistema se emplea cuando no se quiere transmitir grandes potencias de un eje a otro. Su principal inconveniente se debe a que el deslizamiento de la correa sobre la polea produce pérdidas considerables de potencia; sobre todo en el arranque. Para evitar esto parcialmente se puede utilizar una correa dentada, que aumenta la sujeción.

Para evitar que las correas se salgan de las poleas, será necesario que las primeras se mantengan lo suficientemente tensas como para que sean capaces de transmitir la máxima potencia entre ejes sin llegar a salirse ni romperse. Para evitar este problema se emplean a veces rodillos tensores, los cuales ejercen sobre las correas la presión necesaria para mantenerlas en tensión.

² http://www.fodami.com.ar/monografias/potencia_por_correas.pdf

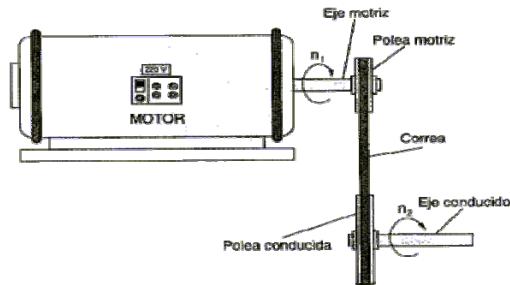


Figura 1. Transmisión de potencia por poleas y bandas.

En todo mecanismo de transmisión existen como mínimo dos ejes, llamados eje motriz y eje conducido o arrastrado, el eje motriz es el que genera el movimiento y puede estar acoplado a un motor o ser accionado manualmente por medio de una manivela; el eje conducido es el que recibe el movimiento generado por el eje motriz.

Se denomina mecanismo multiplicador de velocidad a aquel que transforma la velocidad recibida de un elemento motor (velocidad de entrada) en otra velocidad mayor (velocidad de salida); y se denomina mecanismo reductor de velocidad a aquél que transforma la velocidad de entrada en una velocidad de salida menor.

Cada vez se tiende más a sustituir la cadena del árbol de levas por una correa ya que hace menos ruidoso el motor. A cambio, hay que sustituir la correa con más frecuencia que una cadena y consume un poco mas de potencia del motor.

1.2.1.1. Transmisión simple.

Cuando un mecanismo se transmite directamente entre dos ejes (motriz y conducido), se trata de un sistema de transmisión simple. Si se consideran dos poleas de diámetros "d1" y "d2" que giran a una velocidad "n1" y "n2" respectivamente, tal y como se indica en la figura 2

al estar ambas poleas unidas entre sí por medio de una correa, las dos recorrerán el mismo arco, en el mismo periodo de tiempo.

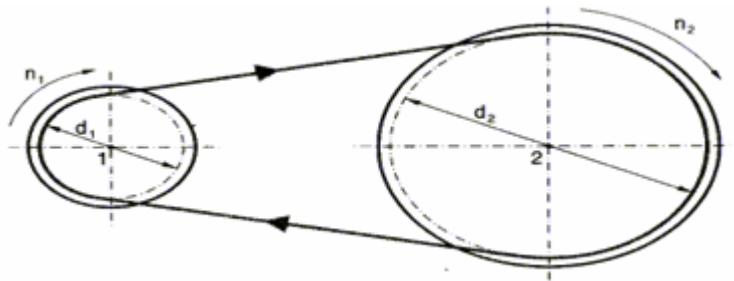


Figura 2. Transmisión simple.

De donde se deduce que los diámetros son inversamente proporcionales a las velocidades de giro y, por tanto, para que el mecanismo actúe como reductor de velocidad, la polea motriz ha de ser de menor diámetro que la polea conducida. En caso contrario actuará como mecanismo multiplicador. El sentido de giro de ambos ejes es el mismo.

De la figura 2 se tiene además una relación de transmisión:

$$i = \frac{\text{velocidad de salida}}{\text{velocidad de entrada}}$$

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (\text{Ecuación 1.})$$

Cuando i es mayor que 1 es un sistema multiplicador, cuando i es menor que 1 es un sistema reductor.

1.2.1.2. Transmisión compuesta.

Cuando un movimiento se transmite entre más de dos árboles o ejes de transmisión se dice que se trata de un sistema de transmisión compuesta. Considerar el siguiente ejemplo de la figura 3.

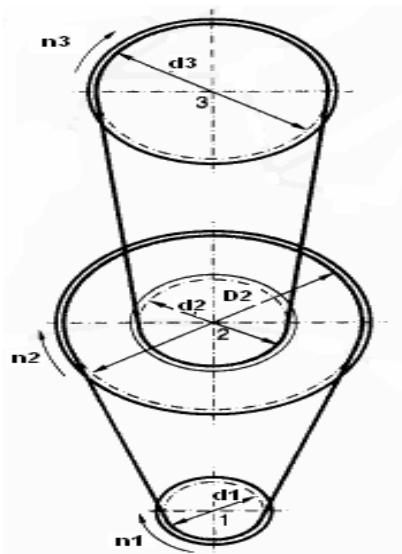


Figura 3. Transmisión compuesta.

De la figura 3, se obtienen también las relaciones de transmisión:

$$n_1 \times d_1 = n_2 \times D_2$$

$$n_2 \times d_2 = n_3 \times d_3$$

$$i = \frac{n_3}{n_1} = \left(\frac{d_1}{D_2}\right) \times \left(\frac{d_2}{d_3}\right)$$

$$i = i_{1,2} \times i_{2,3} = \left(\frac{d_1}{D_2}\right) \times \left(\frac{d_2}{d_3}\right) = \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \times \left(\frac{n_3}{n_2}\right) \quad (\textbf{Ecuación 2.})$$

1.2.2. Cadenas³.

Una cadena de transmisión sirve para transmitir el movimiento a las ruedas o de un mecanismo a otro. Se usan para transmitir el movimiento de los pedales a la rueda en las bicicletas o dentro de un motor para transmitir movimiento de un mecanismo a otro. Por ejemplo del cigüeñal al árbol de levas.

Hay algún modelo de bicicleta que usa un cardán para transmitir el movimiento a las ruedas. Sin embargo, el sistema de cadena da una

³ <http://almez.pntic.mec.es/jgonza86/Sistemas%20de%20cadenas.htm>

cierta elasticidad que ayuda a iniciar el movimiento, sobre todo en cuestas. Su inconveniente es que se puede enganchar y es más débil que un cardán.

En los motores se usan cadenas para el árbol de levas porque necesita cierta fuerza. Las correas se usan para otros mecanismos de menos potencia como bomba de agua o el alternador.

1.2.3. Engranajes⁴.

Se trata de uno de los mecanismos de transmisión, conjuntamente con las poleas, más antiguos que se conocen. Los engranajes son mecanismos utilizados en la transmisión de movimiento rotatorio y movimiento de torsión entre ejes.

Este sistema posee gran ventaja con respecto a las correas y poleas como: reducción del espacio ocupado, relación de transmisión más estable (no existe posibilidad de resbalamiento), posibilidad de cambios de velocidad automáticos y, sobre todo, mayor capacidad de transmisión de potencia. Sus aplicaciones son muy numerosas, y son de vital importancia en el mundo de la mecánica en general y del sector del automóvil en particular.

Se trata de un sistema reversible capaz de transmitir potencia en ambos sentidos, en el que no son necesarios elementos intermedios como correas y cadenas para transmitir el movimiento de un eje a otro.

En un sistema de este tipo se le suele llamar rueda al engranaje de mayor diámetro y piñón al más pequeño. Cuando el piñón mueve la rueda se tiene un sistema reductor de velocidad, mientras que cuando la rueda mueve el piñón se trata de un sistema multiplicador de velocidad.

⁴ <http://almez.pntic.mec.es/jgonza86/Sistemas%20de%20engranajes.htm>

Obviamente, el hecho de que una rueda tenga que endentarse con otra para poder transmitir potencia entre dos ejes hace que el sentido de giro de éstos sea distinto. En función de la forma de sus dientes y de la del propio engranaje, éstos pueden ser:

1.2.3.1 Engranajes rectos.

Son engranajes cilíndricos de dientes rectos y van colindantes con el propio eje de la rueda dentada. Se utilizan en transmisiones de ejes paralelos formando así lo que se conoce con el nombre de trenes de engranajes. Este hecho hace que sean unos de los más utilizados, pues no en vano se pueden encontrar en cualquier tipo de máquina: relojes, juguetes, máquinas herramientas, etc.

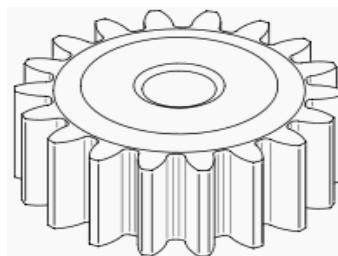


Figura 4. Engranaje recto.

1.3.3.2. Engranajes helicoidales.

Son aquellos cuyos dientes están dispuestos siguiendo la trayectoria de hélices paralelas alrededor de un cilindro. Estos engranajes pueden transmitir movimiento (potencia) entre ejes paralelos o entre ejes que se cruzan en cualquier dirección (incluso perpendiculares). Debido a su forma geométrica, su construcción resulta más cara que los anteriores y se utiliza en aplicaciones específicas tales como: cajas de cambios, cadenas cinemáticas, máquinas herramientas, etc.

En este caso, el sistema de engrane de sus dientes proporciona una marcha más suave que la de los engranajes rectos, lo cual hace que se

trate de un sistema más silencioso, con una transmisión de fuerza y de movimiento más uniforme y segura.



Figura 5. Engranaje helicoidal.

1.3.3.3. Engranajes cónicos.

Se utilizan para transmitir movimiento entre ejes perpendiculares, aunque también se fabrican formando ángulos diferentes a 90 grados. Se trata de ruedas dentadas en forma de troncos de cono, con dientes tallados en una de sus superficies laterales. Dichos dientes pueden ser rectos o curvos (hipoides), siendo estos últimos muy utilizados en sistemas de transmisión para automóviles.

Obviamente para que en un sistema de engranajes se endenten o se engranen unos con otros, el tamaño de los dientes deberá ser el mismo para todas las ruedas.



Figura 6. Engranaje cónico.

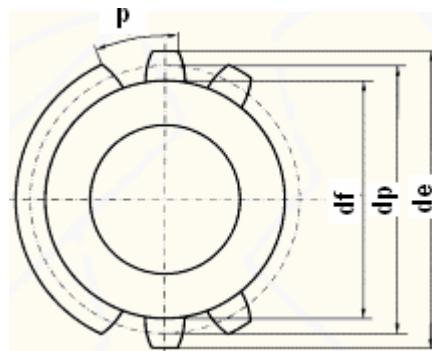


Figura 7. Diámetros de una rueda dentada.

Al número de dientes de una rueda se le denominará con la letra "Z"; se denominará paso "p" a la distancia entre dos dientes consecutivos. La circunferencia primitiva o diámetro primitivo " d_p ", sobre el que se supone que las ruedas realizan la transmisión, está relacionado con otro parámetro importante denominado módulo "m", que es la relación entre el diámetro primitivo y el número de dientes. Tanto el módulo como el paso se expresarán en unidades de longitud (mm).

$$m = \frac{d_p}{Z} \quad (\text{Ecuación 3.})$$

Donde:

m : módulo.

d_p : Diámetro primitivo.

Z : Número de dientes.

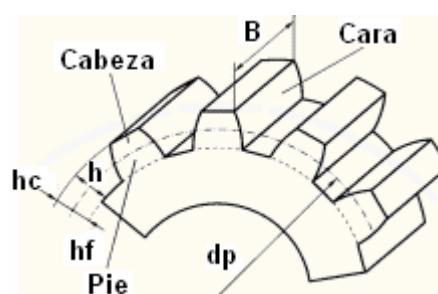


Figura 8. Longitud de los dientes de una rueda dentada.

El valor del módulo suele ser un número entero o fracción sencilla. Por su parte, la altura total del diente "h" se divide generalmente en dos partes:

- La altura de la cabeza del diente " h_c " que normalmente toma como valor : $h_c = m$
- La altura de fondo o pie del diente que normalmente toma como valor: $h_f = 1.25 \times m$

Conocido el diámetro primitivo y la altura total del diente "h", se puede determinar el diámetro exterior " d_e " y el diámetro de fondo " d_f ":

$$h = h_c + h_f = 2.25 \times m$$

$$d_e = d_p + 2 \times h_c = d_p + 2 \times m$$

$$d_f = d_p - 2 \times h_f = d_p - 2.5 \times m \quad (\text{Ecuación 4.})$$

Finalmente, queda por mencionar la longitud del diente "B", que suele tener también un valor normalizado de $B = 10 \times m$.

1.3.3.4. Transmisión simple.

Cuando el movimiento se transmite directamente entre dos ejes se trata de un sistema de transmisión simple como se ve en la figura 9.

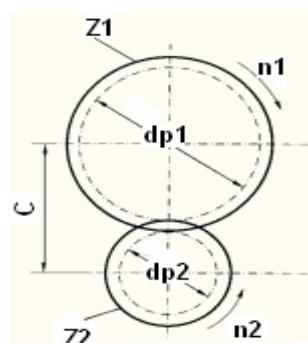


Figura 9. Transmisión simple con engranajes.

Para calcular la relación de transmisión se tienen las siguientes expresiones:

$$m = \frac{d_{p1}}{Z_1} ; \quad m = \frac{d_{p2}}{Z_2} ; \quad \text{Igualando ambas expresiones se obtiene:}$$

$$\frac{d_{p1}}{d_{p2}} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$n_1 \cdot d_{p1} = n_2 \cdot d_{p2}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{d_{p1}}{d_{p2}} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$n_1 \cdot Z_1 = n_2 \cdot Z_2 \quad (\textbf{Ecuación 5.})$$

Donde Z_1 y Z_2 es el número de dientes de la rueda conductora y conducida respectivamente, n_1 y n_2 la velocidad de giro en RPM de ambos ejes. Por su parte la relación de transmisión “i” del sistema así como la distancia entre ejes “c” será igual a:

$$i = \frac{\text{velocidad...de...salida}}{\text{velocidad...de...entrada}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$c = \frac{d_{p1} + d_{p2}}{2} \quad (\textbf{Ecuación 6.})$$

1.3.3.5. Transmisión compuesta.

En este caso la transmisión se realiza entre más de dos ejes simultáneamente, para lo cual será necesario que en cada uno de los ejes intermedios vayan montadas obligatoriamente dos ruedas dentadas (Z_2 y z_2). Una de ellas engrana con la rueda motriz, que es la que proporciona el movimiento, mientras que la otra conecta con el eje siguiente al que arrastra.

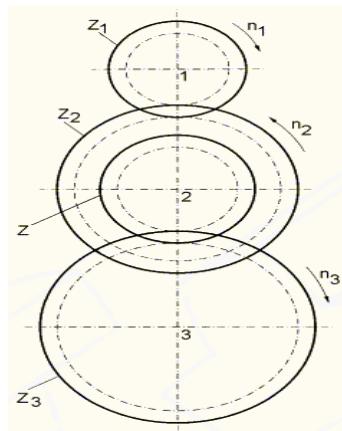


Figura 10. Transmisión compuesta con engranajes.

Para el cálculo de la relación de transmisión se tienen las siguientes expresiones:

$$n_1 \cdot z_1 = n_2 \cdot z_2 , \quad n_2 \cdot Z_2 = n_3 \cdot z_3$$

$$i = i_{1,2} \cdot i_{2,3} = \frac{z_1}{Z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{n_3}{n_2}$$

$$i = \frac{n_3}{n_1} = \frac{z_1}{Z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \quad (\text{Ecuación 7.})$$

1.3.4. Reductores de velocidad⁵.

En todo tipo de industria siempre se requiere de equipos, cuya función es variar la velocidad angular de entrada, que por lo general son mayores de 1200, entregando a la salida una menor velocidad angular, sin sacrificar de manera notoria la potencia. Esto se logra por medio de los reductores o motorreductores de velocidad. Los Reductores o Motorreductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad angular en una forma segura y eficiente. Las transmisiones de fuerza por correa, cadena o trenes de engranajes que aún se usan para la reducción de velocidad presentan ciertos inconvenientes.

⁵ www.monografias.com/trabajos13/reducty/reducty.shtml?monosearch

Esta adaptación se realiza generalmente con uno o varios pares de engranajes que adaptan la velocidad y potencia mecánica montados en un cuerpo compacto denominado reductor de velocidad aunque en algunos países hispano-parlantes también se le denomina caja reductora.

Los reductores de velocidad se suelen clasificar de un modo bastante anárquico, solapándose en algunos casos las definiciones de modo individual y en otros casos hay que usar diversas clasificaciones para definirlos. Los reductores se pueden clasificar por la tipología de sus engranajes, las clasificaciones más usuales son: Sin fin-corona, engranajes y planetarios.

El reductor sin fin-corona es quizás el tipo de reductor de velocidad más sencillo, se compone de una corona dentada, normalmente de bronce en cuyo centro se ha embutido un eje de acero (eje lento), esta corona está en contacto permanente con un husillo de acero en forma de tornillo sin-fin. Una vuelta del tornillo sin fin provoca el avance de un diente de la corona y en consecuencia la reducción de velocidad. La reducción de velocidad de un sin fin corona se calcula con el producto del número de dientes de la corona por el número de entradas del tornillo sin fin.

Paradójicamente es el tipo de reductor de velocidad más usado y comercializado a la par que todas las tendencias de ingeniería lo consideran obsoleto por sus grandes defectos que son, el bajo rendimiento energético y la irreversibilidad.

Los reductores de engranajes son aquellos en que toda la transmisión mecánica se realiza por pares de engranajes de cualquier tipo excepto los basados en tornillo sin fin. Sus ventajas son el mayor rendimiento energético, menor mantenimiento y menor tamaño.

Los reductores planetarios son reductores de engranajes con la particularidad que no están compuestos de pares de engranajes si no de

una disposición algo distinta: Sobre un cuerpo-corona oscilan un grupo indeterminado de engranajes iguales accionados por un engranaje central llamado solar. Esta especial configuración y según la construcción de los engranajes les da dos posibles particularidades. La primera que la relación de transmisión puede ser exacta, sin decimales, lo que los hace aptos para trabajos de precisión. La segunda es que al tener más puntos de contacto entre engranajes en cada juego de reducción pueden transmitir más potencia. En contrapartida tienen serios problemas de calentamiento.

La fabricación o selección de un reductor de velocidad es algo sumamente complejo en algunas ocasiones dada la gran cantidad de parámetros a tener en cuenta. Los principales son:

- Par: El par motor, es la potencia que puede transmitir un motor en cada giro.
- Par nominal: Es el par transmisible por el reductor de velocidad con una carga uniforme y continua; está íntimamente relacionado con la velocidad de entrada y la velocidad de salida. Su unidad en el SI es el N m (newton metro).
- Par resistente: Representa el par requerido para el correcto funcionamiento de la máquina a la que el reductor de velocidad va a ser acoplado. Su unidad en el SI es el N m.
- Par de cálculo: Es el producto del par resistente y el factor de servicio requerido por la máquina a la que el reductor de velocidad va a ser acoplado. Su unidad en el SI es el N m.
- Potencia: Expresada normalmente en kw (kilovatios) la potencia eléctrica es considerada en dos niveles distintos: la potencia eléctrica aplicada y la potencia útil; esta última es el producto de la potencia aplicada al ser multiplicado por cada uno de los

rendimientos de cada par de engranajes del reductor de velocidad.

- Potencia térmica: Los rendimientos de los trenes de engranajes tienen una pérdida de potencia en forma de calor que tiene que ser disipada por el cuerpo de los reductores de velocidad. Puede ocurrir que la potencia transmisible mecánicamente provoque un calor en el reductor de velocidad a unos niveles que impiden su funcionamiento normal. La potencia térmica, expresada en Kw, indica la potencia eléctrica aplicada en el eje rápido del reductor de velocidad que este es capaz de transmitir sin limitación térmica.

1.3. Control de ejes⁶.

En todo sistema de control, el objetivo es mantener la variable a controlar dentro de ciertos límites permisibles por el sistema, en control de ejes la variable típica de control es la posición. El objetivo es que el servomotor realice el movimiento programado con precisión, controlando su posición y en consecuencia su velocidad y aceleración.

El término control de ejes aparece en el momento que tenemos que realizar un movimiento controlado. Dicho movimiento puede ser controlando la velocidad y corriente en lazo cerrado e incluso controlando la posición en lazo cerrado.

Los componentes básicos que forman un sistema de control de ejes son:

- HMI (Interfase Humano Máquina).
- PLC.
- Sistema Motion Control.

⁶ http://www.infoplcn.net/Documentacion/Docu_MotionControl/infoPLC_net_ISA_rt0603_motion_control.html

- Accionamiento.
- Servomotores.

Con todos estos componentes se realiza la automatización de un control de ejes. La mayoría de las máquinas disponen de una interfaz humano-máquina mediante la cual un operario puede introducir valores de parámetros, estar informado del estado de la máquina (alarmas, avisos), dar órdenes de mando, etc. El PLC se encarga de las tareas de maniobra de máquina y de las tareas de control lógico de la máquina.

El sistema motion control en cambio es la parte “inteligente del sistema”, realiza el control de posición, el control de esta variable lo hace por medio de un algoritmo de control PID con algunos filtros adicionales, el cual debe ser sintonizado para el tipo de aplicación particular, con el fin de mantener en todo momento el error de posición lo más cercano a cero posible; además de funciones tecnológicas (control de temperaturas, presión) necesarias en la máquina. Dependiendo del tipo de aplicación el sistema motion control puede estar formado por:

- Control numérico y PLC en el caso de la máquina herramienta.
- Sistema motion control con funcionalidad: PLC, motion control y tecnológicas en el caso de máquinas de producción. Debido a la importancia que tiene la coordinación entre ejes y rapidez de respuesta, los sistemas motion control tienden a ser sistemas con inteligencia centralizada, que realiza las tareas de motion de todos los ejes que forman el sistema y además integran funcionalidad PLC en un único sistema.

Con base en los requerimientos del programa de aplicación, el controlador corrige el error de posición en cada periodo de actualización, modificando la señal de comando enviada al sistema de accionamiento o servo drive, al reaccionar el servomotor a ese cambio, modificará la señal de retroalimentación o posición real, la cuál será recibida por el

PLC y que servirá para calcular nuevamente el error en el siguiente periodo de actualización y corregirlo nuevamente.

Este periodo de actualización es muy importante, así como cada uno de los elementos del sistema para lograr la precisión deseada, en la mayor parte de controladores orientados a control de ejes, ésta corrección se repite cada 62.5 microsegundos.

El accionamiento forma junto con el motor, la parte de potencia del sistema. Hay dos tipos de accionamientos teniendo en cuenta el tipo de señal de tensión de entrada. Los convertidores AC-AC, entrada alterna – salida alterna, son típicos para aplicaciones mono eje. En el mismo accionamiento está la unidad de rectificado y la unidad inversora. Los inversores u onduladores DC-AC, entrada continua – salida alterna, son típicos para aplicaciones multi – eje; el accionamiento realiza el control de corriente y el de velocidad, ambos en lazo cerrado.

La función del servomotor es la de transmitir el movimiento a la parte mecánica, en la mayoría de los casos siempre que se precisa un control de posición se utilizan servomotores de corriente alterna sinusoidal de imanes permanentes que llevan incorporado un sistema de medida (encoder). A través de éste encoder el accionamiento cierra el lazo de corriente y el de velocidad y el sistema motion control cierra el lazo de posición.

El sistema descrito puede sufrir diferentes variaciones de acuerdo al tipo de equipo manejado, por ejemplo, en caso de utilizar un servo drive digital inteligente, éste elemento tomará las funciones del servo amplificador y el controlador de movimiento; o por ejemplo en sistemas multi – ejes, el controlador de movimiento manejará varias parejas de servomotor y servo amplificador (una por eje), y con esto podrá lograr movimientos coordinados de maestro – esclavo.

1.4. Principios de motores trifásicos de inducción⁷.

El funcionamiento de un motor, en general, se basa en las propiedades electromagnéticas de la corriente eléctrica y la posibilidad de crear, a partir de ellas, unas determinadas fuerzas de atracción y repulsión encargadas de actuar sobre un eje y generar un movimiento de rotación.

Suponiendo que un motor de inducción comercial de jaula de ardilla se haga arrancar con el voltaje nominal en las terminales de línea de su estator (arranque a través de la línea) desarrollará un par de arranque de acuerdo que hará que aumente su velocidad. Al aumentar su velocidad a partir del reposo (100 por ciento de deslizamiento), disminuye su deslizamiento y su par disminuye hasta el valor en el que se desarrolle el par máximo. Esto hace que la velocidad aumente todavía más, reduciéndose en forma simultánea el deslizamiento y el par que desarrolla el motor de inducción.

Los pares desarrollados al arranque y al valor del deslizamiento que produce el par máximo ambos exceden (en el caso normal) al par aplicado a la carga. Por lo tanto la velocidad del motor aumentará, hasta que el valor del deslizamiento sea tan pequeño que el par que se desarrolla se reduzca a un valor igual al par aplicado por la carga. El motor continuará trabajando a esta velocidad y valor de equilibrio del deslizamiento hasta que aumente o disminuya el par aplicado.

La figura 11 es representación gráfica de la corriente y el par desarrollados en el rotor del motor como funciones del deslizamiento desde el instante del arranque (punto a) hasta la condición de funcionamiento en estado estable (en general entre marcha en vacío y marcha a plena carga - puntos c y d) cuando los pares desarrollado y aplicado son iguales.

⁷ <http://www.monografias.com/trabajos10/motore/motore.shtml>

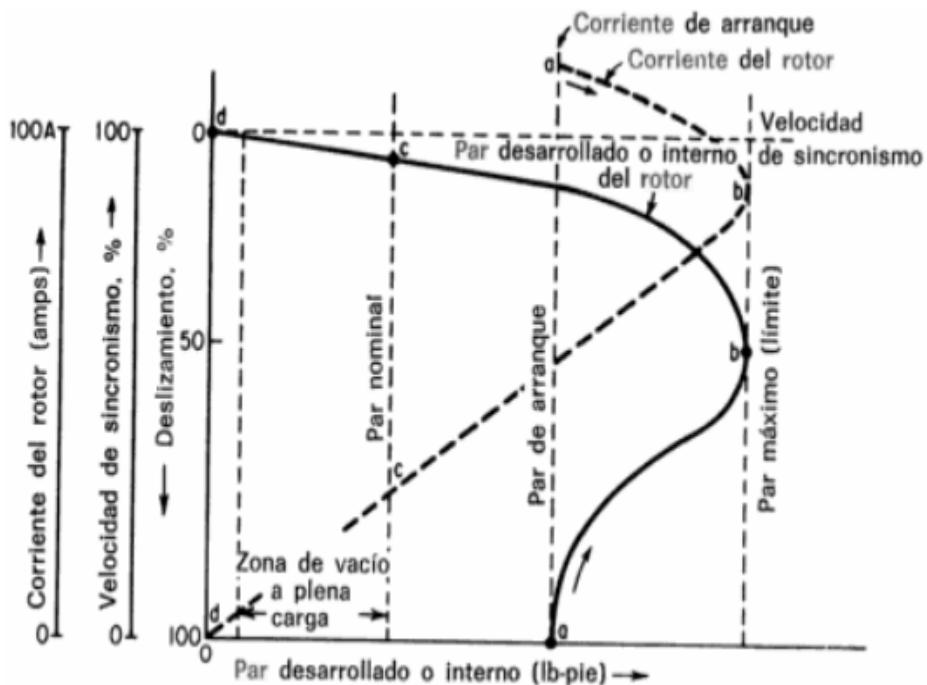


Figura 11. Curva característica de un motor asincrónico.

Un motor de inducción se comporta como un transformador donde el devanado primario = estator y devanado secundario = rotor. La corriente del devanado primario (estator) crea un campo magnético giratorio, el cual induce una corriente en el devanado secundario (rotor). La corriente del rotor junto con el campo magnético inducido provocan una fuerza, que es la causa de la rotación del motor.

Debido a que la transformación de potencia entre rotor y estator depende de la variación del flujo, si la velocidad del rotor aumenta, menos cantidad de potencia se puede convertir y además se van solapando la velocidad del rotor con la del campo magnético giratorio, 50 o 60 Hz. Esto significa que a la velocidad de sincronismo no existe conversión de potencia y el motor se para. La diferencia entre la velocidad de sincronismo y la velocidad real se la denomina deslizamiento. La velocidad del motor viene determinada por la frecuencia y el deslizamiento.

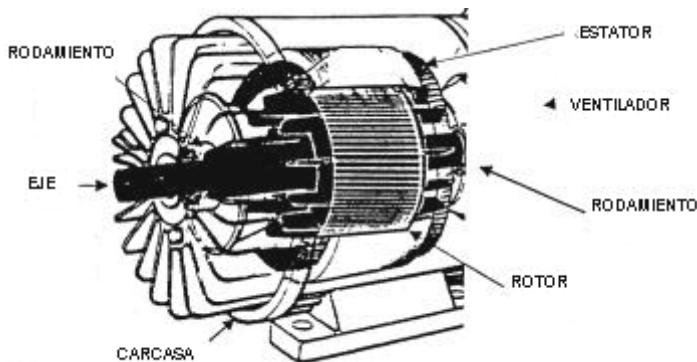


Figura 12. Constitución de un motor de inducción

1.4.1. Motores jaula de ardilla⁸.

Una jaula de ardilla es un devanado formado por unas barras alojadas en las ranuras del rotor que quedan unidas entre sí por sus dos extremos mediante sendos aros o anillos de cortocircuito. El número de fases de este devanado depende de su número de barras. Muchas veces estos anillos poseen unas aletas que facilitan la evacuación del calor que se genera en la jaula durante el funcionamiento de la máquina.

El rotor bobinado tiene un devanado trifásico normal cuyas fases se conectan al exterior a través de un colector de tres anillos y sus correspondientes escobillas. En funcionamiento normal estos tres anillos están cortocircuitados (unidos entre sí).

En ambos tipos de rotor se suelen emplear ranuras ligeramente inclinadas con respecto al eje de la máquina. El bloque de chapas que forma el circuito magnético del rotor tiene un agujero central donde se coloca el eje o árbol de la máquina. En muchas ocasiones se coloca un ventilador en este eje para facilitar la refrigeración de la máquina.

La carcasa es la envoltura de la máquina y tiene dos tapas laterales donde se colocan los cojinetes en los que se apoya el árbol. Esta carcasa suele disponer de aletas para mejorar la refrigeración de la

⁸ <http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXIV/documentos/ro/118.pdf>

máquina. Sujeta a la carcasa está la placa de características donde se indican las magnitudes más importantes de la máquina. En la carcasa se encuentra también la caja de bornes a donde van a parar los extremos de los bobinados.

En una máquina asíncrona trifásica de jaula de ardilla la caja de bornes tiene seis terminales, correspondientes a los extremos de las tres fases del estator (dos extremos, principio y final, por cada fase), formando dos hileras de tres. De esta forma resulta fácil el conectar el devanado del estator en estrella o en triángulo.

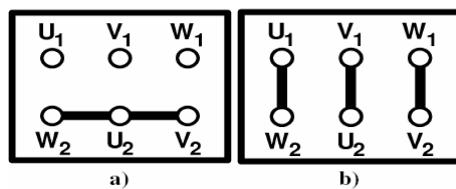


Figura 13. Caja de bornes a) Conexión estrella, b) Conexión triángulo

1.4.1.1. Principio de funcionamiento.

Los motores de corriente alterna y los motores de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cuál 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.

La velocidad del rotor es inferior a la del campo giratorio y por eso este tipo de motor se llama asíncrono, en los motores trifásicos el campo giratorio es producido por tres bobinados fijos geométricamente decalados 120° y recorridos por corrientes alternas con el mismo desfasaje eléctrico. La composición de los tres campos alternos producidos forman un campo giratorio de amplitud constante.

1.4.1.2. Clasificación del motor jaula de ardilla.

Para distinguir entre diversos tipos disponibles, la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) ha desarrollado un sistema de identificación con letras en la cual cada tipo de motor comercial de inducción de jaula de ardilla se fabrica de acuerdo con determinada norma de diseño y se coloca en determinada clase, identificada con una letra. Las propiedades de la construcción eléctrica y mecánica del rotor, en las cinco clases NEMA de motores de inducción de jaula de ardilla, se resume en la siguiente tabla:

Clase NEMA	Par de arranque (# de veces del nominal)	Corriente de arranque	Regulación de velocidad (%)	Nombre de clase del motor
A	1.5 - 1.75	5.0 - 7.0	2.0 - 4.0	Normal
B	1.4 - 1.6	4.5 - 5.0	3.0 - 5.0	De propósito general
C	2 - 2.5	3.5 - 5-0	4.0 - 5.0	De doble jaula alto par
D	2.5 - 3.0	3.0 - 8.0	5.8 - 8.13	De alto par alta resistencia
F	1.25	2.0 -4.0	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque

Tabla 1. Clasificación NEMA.

1.5. Encoder⁹.

Un encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales, éstos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos del tipo angular o del tipo lineal, también conocidos como encoders de ejes y encoders de posición, tienen muchos usos como por ejemplo: un encoder rotatorio puede medir la velocidad angular de un motor, o puede medir el ángulo de un brazo robótico, o el azimut de una antena-radar rotatorio.

Los encoders pueden ser clasificados en dos grandes categorías: Absolutos y Relativos; una analogía entre un encoder absoluto y relativo es encontrar la dirección de una casa. Suponga que está tratando de encontrar una casa en particular, la dirección absoluta de la casa es Avenida 4 calle Número. 3, la dirección absoluta de la casa es: “desde donde estás tú ahora, camina dos cuadras hacia el norte, tres cuadras hacia el oeste y es la cuarta casa a la derecha”. Ambas direcciones harán que se llegue al mismo lugar, pero la dirección relativa es útil solamente desde un punto de inicio definido. Si se cometen errores cuando se recorren las calles o se cruzan en calles erróneas, la dirección absoluta no cambia, pero la información de la dirección relativa pierde su utilidad.

Lo mismo pasa con los encoder rotatorios; si se comete un error y se pierde el reporte de una posición, toda la información de posiciones futuras serán erróneas. Durante la inicialización y encendido, se debe indicar y almacenar la posición actual de encoder para saber la referencia. El encoder absoluto en cambio, actúa como una memoria no volátil, indica la posición actual al inicio así como lo hizo en la última ejecución.

⁹ <http://www.iit.upcomillas.es/palacios/pfc/itei/pfc2000-2001/blanquer.pdf>

1.5.1. Encoder incremental (Encoder relativo)¹⁰.

Este tipo de encoder se caracteriza porque determina su posición, contando el número de impulsos que se generan cuando un rayo de luz es atravesado por marcas opacas en la superficie de un disco unido al eje.

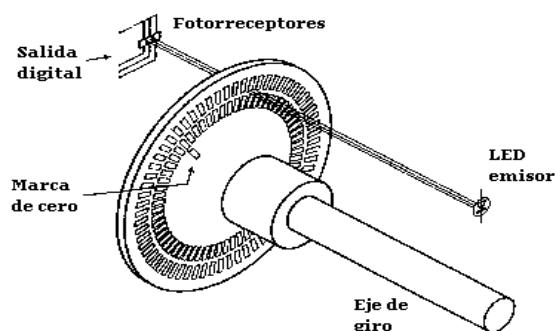


Figura 14. Encoder incremental.

En el estator hay como mínimo dos pares de fotorreceptores ópticos, escalados un número entero de pasos más $\frac{1}{4}$ de paso. Al girar el rotor genera una señal cuadrada, el escalado hace que las señales tengan un desfase de $\frac{1}{4}$ de periodo si el rotor gira en un sentido y de $\frac{3}{4}$ si gira en el sentido contrario, lo que se utiliza para discriminar el sentido de giro.

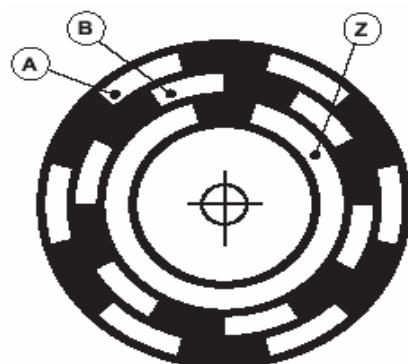


Figura 15. Representación de las señales incrementales en disco óptico.

¹⁰ <http://www.hohner.es/de/increm/increm2.htm>

Un simple sistema lógico permite determinar desplazamientos a partir de un origen, a base de contar impulsos de un canal y determinar el sentido de giro a partir del desfase entre los dos canales. Algunos encoder pueden disponer de un canal adicional que genere un pulso por vuelta y la lógica puede dar número de vueltas más fracción de vuelta.

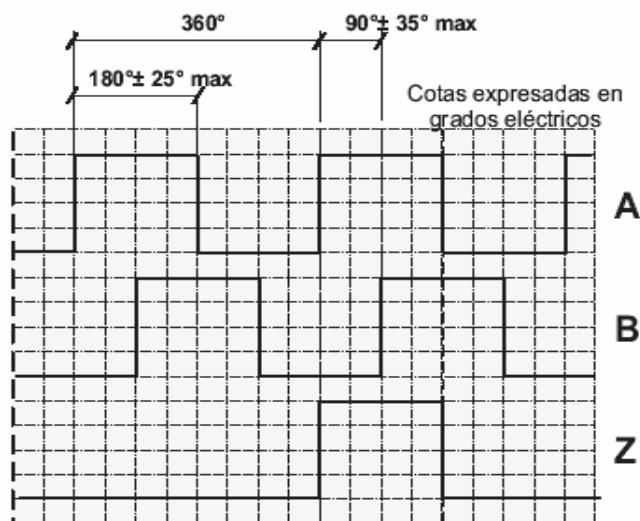


Figura 16. Representación gráfica de las señales incrementales.

La precisión de un encoder incremental depende de factores mecánicos y eléctricos entre los cuales, el error de división de retículo, la excentricidad del disco, la de los rodamientos, el error introducido por la electrónica de lectura de tipo óptico.

La unidad de medida para definir la precisión de un encoder es el grado eléctrico, éste determina la división de un impulso generado por el encoder: en efecto. Los 360 grados eléctricos corresponden a la rotación mecánica del eje, necesaria para hacer que se realice un ciclo o impulso completo de la señal de salida. Para saber cuántos grados mecánicos corresponden 360 grados eléctricos es suficiente aplicar la fórmula siguiente.

$$360^\circ \text{ eléctrico} = \frac{360^\circ \text{ mecánico}}{N.\text{impulsos}/\text{giro}} \quad (\textbf{Ecuación 8.})$$

Existen además de los encoder incrementales tradicionales con las señales A, B y Z, que se han descrito hasta este momento, otros encoder que forman parte de la misma familia, pero que integran otras señales eléctricas disponibles a la salida. Es el caso de los encoder incrementales con señales de conmutación integrados, los cuales por lo general se utilizan como retroacción a bordo del motor.

Estas señales suplementarias realizan la función de simulación de las fases de hall que generalmente se encuentran en los motores con conmutación tipo brushless y por lo general se realizan con censores magnéticos, éstos impulsos de conmutación se pueden repetir varias veces dentro de un giro mecánico del encoder por que dependen directamente de los polos del motor que está conectado, tendremos por lo tanto fases de conmutación para motores con 4, 6 o más polos.

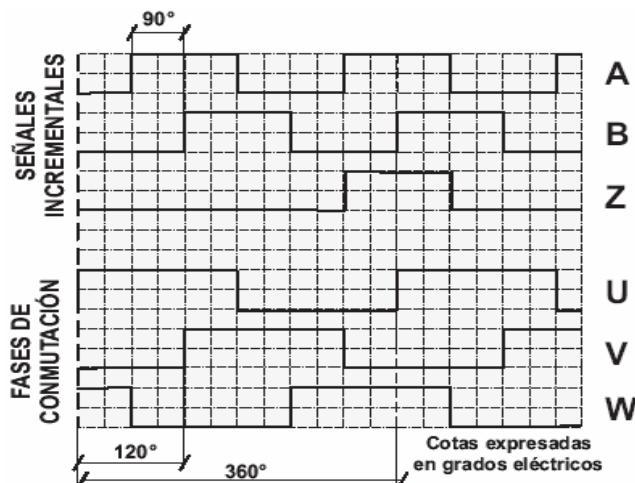


Figura 17. Representación gráfica de las fases de conmutación.

1.5.2. Encoder absoluto¹¹.

En el encoder absoluto, el disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, dispuestas de tal forma que

¹¹ <http://jdllope.tripod.com/encoders.html>

en sentido radial el rotor queda dividido en sectores, con marcas opacas y transparentes codificadas en código Gray.

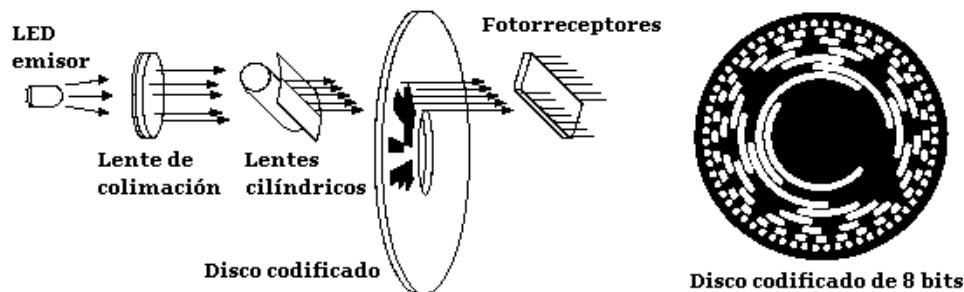


Figura 18. Encoder absoluto.

El estator tiene un fotorreceptor por cada bit representado en el disco, el valor binario obtenido de los fotorreceptores es único para cada posición del rotor y representa su posición absoluta. Se utiliza el código Gray en lugar de un binario clásico porque en cada cambio de sector sólo cambia el estado de una de las bandas, evitando errores por falta de alineación de los captadores.

Para un encoder con n bandas en el disco, el rotor permite 2^n combinaciones, por lo cual la resolución será 360° dividido entre los 2^n sectores; Por ejemplo para encoder de 12 y 16 bits se obtiene una resolución angular de 0.0879° y 0.00549° respectivamente.

$$\text{Resolución angular} = \frac{360^\circ}{2^n} \quad (\text{Ecuación 9.})$$

Respecto a los encoder incrementales, los encoder absolutos muestran importantes diferencias desde el punto de vista funcional. Mientras en los encoder incrementales la posición está determinada por el cómputo del número de impulsos con respecto a la marca del cero, en los encoder absolutos la posición queda determinada mediante la lectura del código de salida, el cual es único para cada una de las posiciones dentro de la vuelta. Por consiguiente los encoder absolutos no pierden la

posición real cuando se corta la alimentación (incluso en el caso de desplazamientos), hasta un nuevo encendido (gracias a una codificación directa en el disco), la posición está actualizada y disponible sin tener que efectuar, como en el caso de los encoder incrementales la búsqueda del punto de cero.

La elección más obvia del código de salida para un encoder absoluto es el binario, por que fácilmente puede ser manipulado por los dispositivos de control externos para la lectura de la posición, sin tener que efectuar particulares operaciones de conversión. En vista que el código se toma directamente desde el disco (que se encuentra en rotación) la sincronización y la captación de la posición en el momento de la variación entre un código y el otro se vuelve muy problemática.

En efecto, si por ejemplo se toman dos códigos binarios consecutivos como 7 (0111) y el 8 (1000), se nota que todos los bits del código sufren un cambio de estado; una lectura efectuada en el momento de la transición podría resultar completamente errónea por que es imposible pensar que las variaciones sean instantáneas y que se produzcan todas en el mismo momento. Debido a este problema se utiliza una variante del código binario: el código Gray, el cual tiene la particularidad que al pasar entre dos códigos consecutivos (o desde el último código al primero), uno sólo cambia su estado.

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

14	1110	1001
15	1111	1000

Tabla 2. Código de salida de un encoder absoluto.

Generalmente, los encoder incrementales proporcionan mayor resolución con un costo más bajo que los encoder absolutos; además, su electrónica es más simple ya que tienen menos líneas de salida, típicamente un encoder incremental solo tiene cuatro líneas: 2 de cuadratura, una de poder y una tierra. Un encoder absoluto tiene una línea de salida por cada bit, una línea de poder y la tierra.

1.5.3. Resolver¹².

El resolver es un sistema para obtener la posición absoluta del eje del rotor de un motor. Generalmente esta acoplado directamente al motor. Se suele usar sobretodo en aplicaciones donde se requiere conocer la posición con cierta precisión, el funcionamiento de un resolver es el de un transformador, se basa en el esquema de la figura 19:

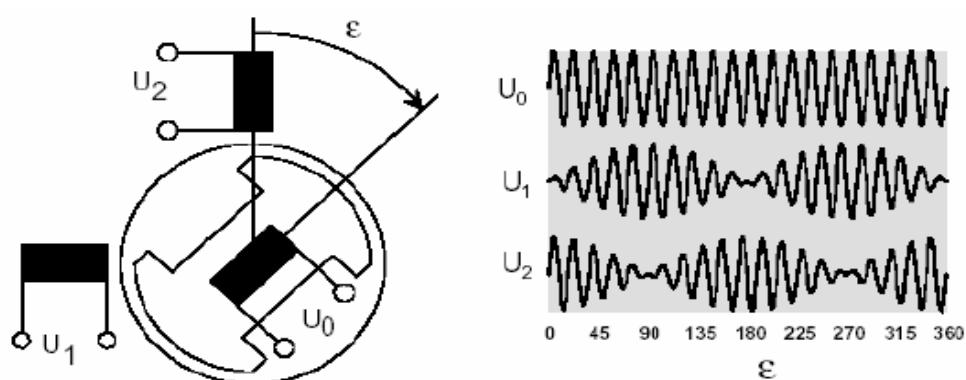


Figura 19. Esquema de un resolver y las señales de entrada y salida

¹² <http://www.scielo.cl/pdf/rfacing/v11n2/ART03.pdf>

En el rotor hay una bobina (con N vueltas) que es alimentada con tensión alterna u_0 de frecuencia f_{ref} , que sirve como portadora. En el estator hay otras dos bobinas (normalmente con $N/2$ vueltas) desfasadas 90° una de la otra, en éstas se inducen las tensiones u_1 y u_2 , que son la señal portadora (u_0) moduladas con el seno y coseno respectivamente del ángulo mecánico (ε), como se ve en la figura 19. Estas señales siguen las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} u_0(t) &= \hat{u}_0 \cdot \sin(\omega_{ref} t) \\ u_1(t, \varepsilon) &= \hat{u}_0 \cdot \sin(\omega_{ref} t) \cdot 0.5 \cdot \sin(\varepsilon) \\ u_2(t, \varepsilon) &= \hat{u}_0 \cdot \sin(\omega_{ref} t) \cdot 0.5 \cdot \cos(\varepsilon) \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 10.})$$

Con las señales u_1 y u_2 es posible obtener el ángulo mecánico del motor (ε) operando de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \arctan\left(\frac{u_1(n)}{u_2(n)}\right) &= \arctan\left(\frac{\hat{u}_0 \cdot \sin(\omega_{ref} t) \cdot 0.5 \cdot \sin(\varepsilon)}{\hat{u}_0 \cdot \sin(\omega_{ref} t) \cdot 0.5 \cdot \cos(\varepsilon)}\right) = \arctan\left(\frac{\sin(\varepsilon)}{\cos(\varepsilon)}\right) = \\ \arctan(\tan(\varepsilon)) &= \varepsilon \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 11.})$$

Como la función arco tangente no es biyectiva se tiene que operar de la siguiente manera para obtener el ángulo en los cuatro cuadrantes:

$$\varepsilon(n) = \begin{cases} \arctan\left(\frac{u_1(n)}{u_2(n)}\right) & \text{si } \dots u_2(n) \geq 0 \\ \pi + \arctan\left(\frac{u_1(n)}{u_2(n)}\right) & \text{si } \dots u_2(n) \leq 0 \end{cases} \quad (\text{Ecuación 12.})$$

El espectro de las señales u_1 y u_2 es el de la figura 20:

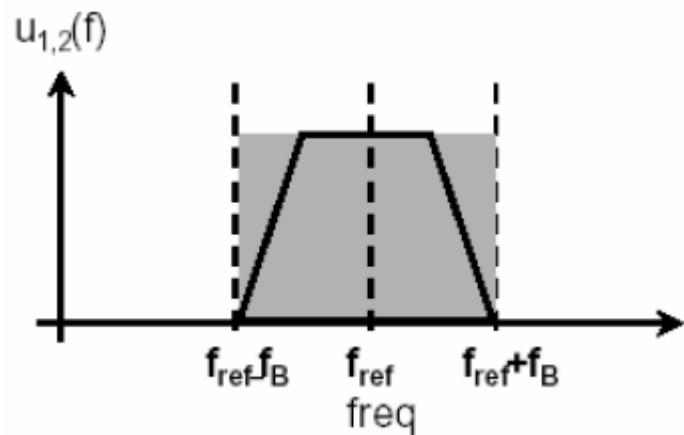


Figura 20. Espectro de frecuencias de las señales de salida del resolver.

Donde:

$$f_B = \frac{\omega_{mec,max}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \left. \frac{d\varepsilon}{dt} \right|_{max}$$

En general, el bobinado de referencia está localizado en el rotor del resolver, los bobinados de seno y coseno en el estator, los bobinados de seno y coseno están mecánicamente desplazados 90^0 uno del otro. En un resolver sin escobillas, la energía es suministrada al bobinado de referencia (rotor) a través de un transformador rotatorio, esto elimina las escobillas.

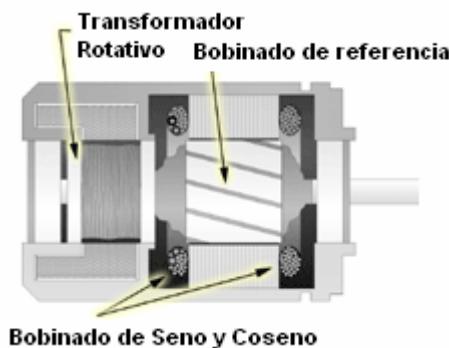


Figura 21. Construcción de un resolver.

El bobinado de referencia es excitado por un voltaje AC llamado Voltaje de referencia (V_r). Los voltajes inducidos en los bobinados del seno y

coseno son equivalentes al valor del voltaje de referencia multiplicado por el seno y el coseno del ángulo del eje, con referencia a un punto de cero. Entonces el resolver provee dos voltajes cuya proporción representa la posición absoluta del eje.

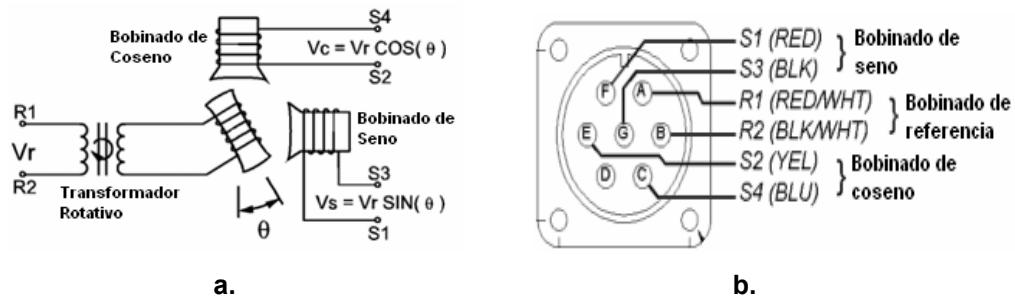


Figura 22. a) Esquema de conexión interna b) Conexión eléctrica.

1.6. Servomotor¹³.

Un servomotor podría definirse genéricamente como un motor utilizado para obtener una salida precisa y exacta en función del tiempo, dicha salida está expresada habitualmente en términos de posición, velocidad y/o torque.

La aplicación industrial de dichos motores está desarrollándose significativamente por múltiples razones entre las que podemos mencionar: nuevos y más potentes componentes magnéticos para los motores como los imanes de tierras raras, reducción del costo de los motores y los equipos electrónicos necesarios para el control de los mismos, incorporación en dichos equipos electrónicos de nuevas funciones para un control preciso y confiable del movimiento que permiten utilizarlos eficientemente e incorporar nuevas áreas a su dominio de aplicación.

Esencialmente un motor brushless a imán permanente es una máquina sincrónica con la frecuencia de alimentación, capaz de desarrollar altos

¹³ www.eurotechsa.com.ar/ascensores/Servomotores%20brushless%20de%20iman%20permanent

torques (hasta tres o cuatro veces su torque nominal) en forma transitoria para oponerse a todo esfuerzo que trate de sacarla de sincronismo. La denominación brushless viene del hecho de que no posee escobillas y es una forma de diferenciarlo de sus predecesores los servomotores a imán permanente alimentados con corriente continua.

Constructivamente el servomotor brushless posee un estator parecido al de un motor de jaula con un núcleo laminado y un bobinado trifásico uniformemente distribuido. El rotor está constituido por un grupo de imanes permanentes fijados en el eje de rotación. La forma de los rotores a imanes varía de acuerdo al diseño y puede clasificarse en cilíndricos o de polos salientes.

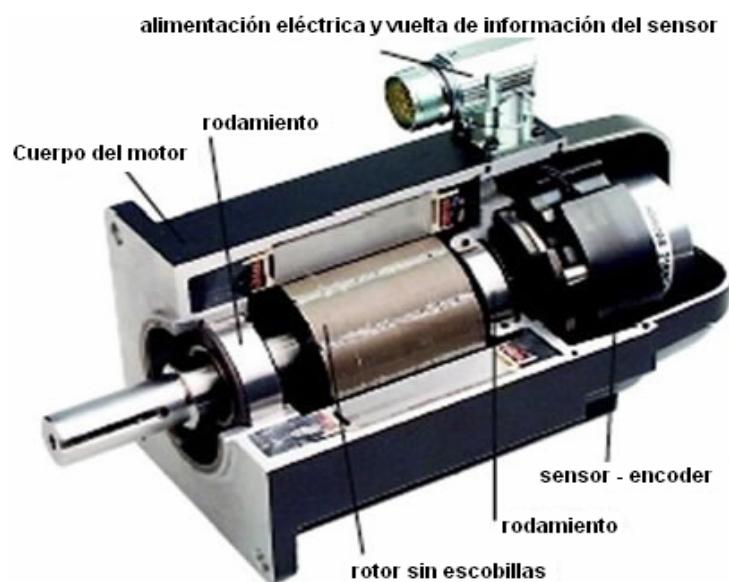


Figura 23. Constitución de un servomotor brushless

La fijación de los imanes al rotor ha sido uno de los puntos críticos en la construcción de éstos motores debido a las altas fuerzas centrífugas a las que se encuentran sometidos durante los procesos de aceleración y frenado. Actualmente se combinan fijaciones mecánicas de diferentes tipos.

1.6.1. Principio de funcionamiento.

Haciendo circular corriente alterna en las fases del bobinado de estator, se produce un campo magnético rotante en el entrehierro del motor. Si en cada instante el campo magnético generado en el estator intersecta con el ángulo correcto al campo magnético producido por los imanes del rotor, se genera torque para lograr el movimiento del motor y la carga acoplada a el.

La utilización de un dispositivo electrónico denominado servo drive para alimentar el estator con la tensión y frecuencia correcta, permite en cada instante, generar un campo magnético estatórico de magnitud y posición correctamente alineada con el campo magnético del rotor, de ésta forma se obtiene el torque necesario para mantener la velocidad y posición deseada del eje del motor.

El proceso implica conocer en todo instante la posición del rotor para lo cual se equipan los servomotores con dispositivos tales como resolvers, encoder u otros. Los mismos rotan solidariamente con el eje del servomotor e informan al servo drive la posición del rotor. Dichos dispositivos de realimentación de posición se diferencian en la robustez, resolución, capacidad de retener la información de posición ante cortes de alimentación y número de conexiones necesarias, entre otras.

1.7. Diferencias entre motores jaula de ardilla y servomotores.

La principal diferencia entre un motor jaula de ardilla y un servomotor brushless es que el primero es un motor asíncrono, mientras que el servomotor es síncrono, esto quiere decir que mientras en un motor jaula de ardilla la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético del estator son desiguales, en un servomotor éstas velocidades son iguales.

Un servomotor en comparación con un motor asíncrono a jaula de ardilla con las mismas características de torque/velocidad en su eje, la inercia de un servomotor brushless es sustancialmente menor. Ambas características: sobretorques importantes e inercias reducidas son características apreciadas y útiles para el control del movimiento pues permiten rápidas aceleraciones y deceleraciones así como control preciso de posición en altas velocidades.

El servomotor tiene entre sus características un tiempo de aceleración muy bajo incluso con el par máximo, su aceleración es el 400% de un motor de inducción jaula de ardilla.

Un motor con bajo momento de inercia es mas favorable en prestaciones dinámicas, tanto más cuanto mayor sea el momento de inercia de la masa a mover, un motor jaula de ardilla tiene un 220% más que un servomotor.

El servomotor es cinco veces más dinámico que el de inducción jaula de ardilla, por lo que se lo emplea en aplicaciones de accionamientos rápidos y precisos.

La desventaja de los servos es el costo relativamente alto.

	Jaula de ardilla	Servomotor
Costo	Bajo	Elevado
Arranque directo en la red	Cómodo	No previsto
Variador de velocidad	Fácil	Siempre
Costo de la solución con variador de velocidad	Cada vez mas económico	Bastante económico
Prestaciones con variador de velocidad	Cada vez mayores	Muy elevadas
Empleo	Velocidad constante o variable	Velocidad variable

Utilización industrial	Universal	Máquinas herramientas, gran dinámica
Instalación	Bajo	Medio
Mantenimiento	Muy bajo	Bajo

Tabla 3. Diferencias entre motor jaula de ardilla y servomotor.

1.8. Variadores de velocidad.¹⁴

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 quasi-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, 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

¹⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_velocidad

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.

El control de procesos y el ahorro de la energía son 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.

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).

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.

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. 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 algún otro tipo de maquinaria.

1.8.1. Control de velocidad de un motor de jaula de ardilla¹⁵.

En principio, un motor de jaula de ardilla fue de velocidad fija. El afán de obtener velocidades variables dio origen a los motores asincrónicos jaula de ardilla de polos comutables, más conocidos como motores Dahlander. La ecuación de la velocidad de un motor asincrónico es:

$$N = \frac{120 \cdot f}{p} (1 - s) \quad (\text{Ecuación .13})$$

Donde:

N = Velocidad del motor en revoluciones por minuto

f = Frecuencia de suministro al motor en Hz

p = Número de polos en el estator

s = Coeficiente de deslizamiento

De esta ecuación, se desprende que la velocidad puede ser variada de tres formas diferentes:

a) Cambiando el número de polos.

Esto requiere un motor con doble bobinado, y además la velocidad no varía de forma continua sino que se produce un

¹⁵ www.tecnicsuport.com/elec/taulesconsulta/vectorials

salto de una velocidad a otra. Por ejemplo, un motor de 2-8 polos conectado a 60Hz tiene dos velocidades de sincronismo: 3600 y 900 RPM respectivamente.

b) Cambiando el deslizamiento.

Esto puede hacerse variando la tensión suministrada al motor, lo que provoca que la curva de par velocidad disminuya causando un mayor deslizamiento conforme aumenta la carga en el motor. En general, la reducción de par es proporcional al cuadrado de la reducción de voltaje.

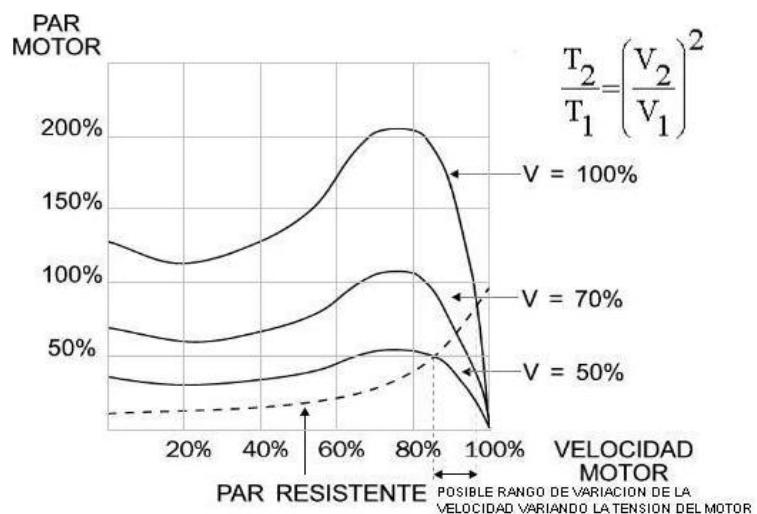


Figura 24. Variación de velocidad actuando sobre el deslizamiento.

c) Variando la frecuencia de suministro del motor.

Para trabajar correctamente, este método requiere una carga con característica creciente de par y velocidad. Cualquier variación en la carga causará una variación en la velocidad del motor.

Este método es el utilizado por los controladores de velocidad electrónicos. Este es el mejor método para el control de la velocidad, por las siguientes razones:

- Se obtiene un rendimiento elevado en todo el rango de velocidades.
- Se dispone de una variación continua (sin saltos) de la velocidad, que puede ser controlada eléctricamente vía señales de control tales como 0-10Vdc o 4-20mA. Esto hace que los variadores de velocidad para motores de CA sean ideales para los procesos de automatización.
- El par disponible en el motor es constante, incluso a bajas velocidades, esto posibilita trabajar con cualquier tipo de carga.
- Se puede trabajar con frecuencias superiores a 60Hz.

1.8.2. Esquema de un variador de frecuencia¹⁶.

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

1) Etapa rectificadora

Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos o tiristores.

2) Etapa intermedia

Filtro compuesto por condensadores y/o bobinas para suavizar la tensión rectificada, reducir la emisión de armónicos y mejorar el factor de potencia. La función del circuito intermedio es alimentar al inversor y esto puede hacerlo funcionando como fuente de tensión, en cuyo caso se colocaría un condensador electrostático entre los terminales (+) y (-) para mantener constante la tensión y

¹⁶ www.varimak.com

daría lugar a un inversor con circuito intermedio de tensión. Cuando el circuito intermedio funciona como fuente de intensidad para el inversor, se utiliza una inductancia en serie con una de sus ramas, su función es mantener constante la intensidad.

Según la configuración que se adopte las características del inversor son distintas y condiciona cuestiones tales como: armónicos, resistencia de frenado, gama de potencias, accionamiento para un solo motor o varios a la vez, etc.

3) Inversor o "Inverter"

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

Los equipos más modernos utilizan IGBTs inteligentes que incorporan un microprocesador que incluyen protecciones, tales como: sobre corriente, sobre tensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobre temperaturas, entre otras.

4) Etapa de control.

Esta etapa controla los IGBTs para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Además controla los parámetros externos en general. La técnica de conmutación más empleada para los

interruptores de estado sólido es la modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulso).

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 su rendimiento y la longitud permisible del cable hacia el motor.

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

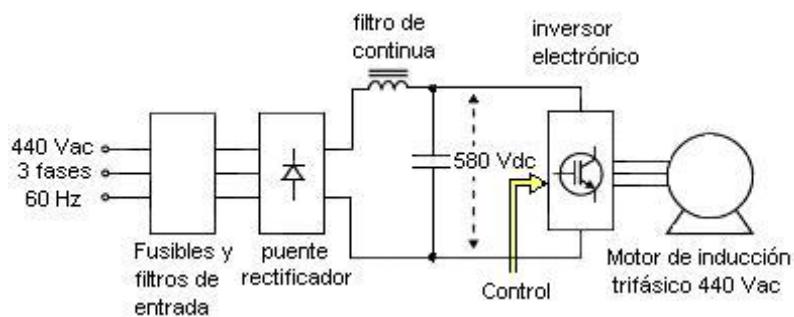


Figura 25. Esquema genérico de un variador de frecuencia.

1.9. Servo drive¹⁷.

Un servo drive es un amplificador electrónico especial, usado con servomotores de potencia, existen principalmente dos tipos de drives para servomotores de imán permanente, diferenciados por la forma de señal de corriente que comunican al motor y por el tipo de sistema de retroalimentación:

- Drive con commutación tipo bloque / Brushless DC.

¹⁷http://www.infoplcn.net/Descargas/Descargas_Schneider/Des_Schneider_Files/infoplcn.net_Ponencia_SCHNEIDER_SERVOS.html

- Drive con conmutación sinusoidal / Brushless AC.

La tecnología brushless DC fue la primera que se aplicó para el control de motores brushless síncronos, el desarrollo de la tecnología del tratamiento digital de la señal ha permitido el desarrollo de la tecnología brushless AC.

Los drivers brushless DC requieren de un encoder de baja resolución para realizar la conmutación, por motivos de coste se opta por sensores de efecto hall, normalmente hay seis puntos de conmutación por revolución eléctrica, mientras que los brushless AC necesitan un encoder absoluto de alta resolución (4096 – 16384 puntos de conmutación por vuelta).

Como los drives brushless DC solo tienen seis posibles posiciones de conmutación por una revolución eléctrica no es posible que el ángulo sea de 90^0 en todo momento. En cambio el brushless AC al tener mas posiciones de conmutación puede controlar la conmutación siempre alrededor de 90^0 .



Figura 26. Vista frontal de un servodrive.

Los variadores de velocidad para motores brushless están destinados a la regulación de par, velocidad y/o posición de dichos motores, éstos variadores están destinados a las aplicaciones de alto rendimiento que exigen algoritmos de seguimiento de posición de gran precisión y dinamismo.

Dichos variadores están principalmente diseñados para controlarse por acopladores de posicionamiento soportados por las plataformas de automatismos específicas. Además suelen disponer de un posicionador integrado utilizable en casos de aplicaciones simples que no requieran de acopladores de posicionamiento; los variadores para servomotores suelen contar con:

- Alimentación directa a partir de la red trifásica cuyo valor nominal puede ser cualquier tensión incluida en el rango a 208...480 V, 50...60Hz.
- Resistencia a las perturbaciones electromagnéticas y no propagación de perturbaciones electromagnéticas gracias al filtro CEM integrado en los variadores.
- Suelen ser compatibles con los regímenes de neutro TT (neutro a tierra) o TN (puesta a neutro). En caso de régimen IT (neutro aislado), es necesario prever un transformador de aislamiento con el fin de reconstruir en el secundario (lado del variador) un régimen de neutro a tierra.
- Una alimentación auxiliar en CD de 24 V es necesaria para la alimentación de los circuitos electrónicos internos y las interfaces de entradas / salidas (aislamiento necesario con la alimentación de potencia del motor).

Éstos variadores disponen asimismo de una resistencia de frenado interna de 80 a 200 W. Para la regulación y tratamiento de las señales suelen disponer de:

- Tres reguladores numéricos integrados programables:
- Un regulador de corriente (imagen del par) que presenta un periodo del bucle de regulación de 62.5 μ s.
- Un regulador de velocidad de ganancia proporcional e integral con un periodo de bucle de regulación de 250 μ s.
- Un regulador de posición con un periodo de bucle de regulación de 250 μ s.
- Tratamiento de las señales de retorno posición motor a partir del sensor motor (resolver o codificador absoluto de alta resolución). A partir de ésta información, el variador puede generar un retorno de codificador simulado que puede ser de tipo incremental o absoluto. Éste retorno de codificador simulado se utiliza exclusivamente con un codificador externo.
- Dos informaciones “Todo o Nada” para controlar el automatismo:
- Una entrada DC a 24 V de validación del variador.
- Una salida relé libre de potencial, fallo del variador.
- Dos entradas / dos salidas analógicas +10 V y cuatro entradas / dos salidas “Todo o Nada” a 24 V DC, que permiten integrar los variadores en sistemas de control secuencial controlados por autómatas programables. Las funciones de éstas entradas / salidas son configurables.

Actualmente los servo drives operan por técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM) con configuraciones de hardware (básicamente en la parte de potencia) parecidas a los inversores para el control de

motores asíncronos. De hecho existen en el mercado drives que permiten controlar ambos tipos de motores. Debe puntualizarse que para la operación normal de un servomotor se necesita un servo drive, el motor no puede ser operado directamente de la red de suministro.

1.10. PLC o autómata programable¹⁸.

Se entiende por autómata programable, o PLC (Controlador Lógico Programable), toda máquina electrónica, diseñada para controlar procesos secuenciales, en tiempo real y en ambientes industriales. Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: series, paralelas, temporizaciones, contajes y otras más avanzadas como cálculos, regulaciones, etc.

Otra definición de PLC, es una “caja” en la que existen, por una parte, terminales de entrada o captadores a los que se conectan: pulsadores, finales de carrera, photoceldas, detectores, etc. y por otra, terminales de salida o actuadores, a los que se conectan: bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas, etc., de forma que la actuación de estos últimos está en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.

La función básica de los PLCs, es la de reducir el trabajo del usuario a realizar el programa, es decir, la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida, puesto que los elementos tradicionales (como relés auxiliares, de enclavamiento, temporizadores, contadores...) son internos.

Un PLC o Autómata Programable, es un dispositivo programable diseñado para el control de señales eléctricas asociadas al control

¹⁸ CEKIT S.A., “Electrónica Industrial y Automatización”, Tomo 2, Colombia, 2002

automático de procesos industriales o automatización industrial. Posee las herramientas necesarias, tanto de software como de hardware, para controlar dispositivos externos, recibir señales de sensores y tomar decisiones de acuerdo a un programa que el usuario elabore según la aplicación. Esto conlleva, que además de los componentes físicos requeridos para la adaptación de señales, es necesario disponer de un programa para que el PLC pueda saber qué es lo que tiene que hacer con cada una de ellas.

1.10.1. Arquitectura interna¹⁹.

El hardware de un PLC, básicamente consta de los siguientes componentes:

- Fuente de alimentación
- CPU
- Memoria datos (RAM)
- Memoria de programa (ROM; EEPROM o FLASH)
- Módulos de entradas/salidas
- Terminal de programación

➤ Fuente de alimentación.

Es la encargada de suministrar los niveles de tensión DC a todos los módulos que se conectan al PLC, así como a la CPU. Su función es reducir y adaptar el voltaje de entrada, generalmente de 120 ó 220 VAC a voltajes más bajos DC, usualmente 12 ó 24 VDC.

Con frecuencia, las fuentes son de tipo conmutadas, cuyas principales características son un peso y tamaño reducidos, y un

¹⁹ www.unicrom.com/tut_PIC3.asp

amplio rango de tensión de entrada. A esto se añade toda la electrónica que realiza las funciones de protección, regulación e inclusive gestión de alarmas y estado de la fuente.

En algunas aplicaciones, inclusive es necesario utilizar el criterio de redundancia, para mantener siempre en estado operativo al PLC, y el uso de un UPS o fuente ininterrumpida de potencia, la cual suministra el voltaje adecuado, por un tiempo determinado, a la fuente del PLC o directamente a la CPU y módulos, hasta que se pueda restablecer el suministro de la energía convencional.

Algunos PLCs incluyen una batería de respaldo para alimentar a la memoria del programa cuando ésta sea desconectada de la alimentación de la red. También puede ser utilizada para el almacenamiento de algún tipo de configuración, en caso de ser guardada en una memoria de tipo RAM. Dichas baterías son recargables y la operación de carga es efectuada por el mismo equipo en forma automática. El tiempo de duración de este tipo de baterías oscila entre 2 y 10 años.

➤ **CPU.**

Como en toda computadora, la CPU es la unidad que controla todas las acciones del PLC y proporciona la capacidad de cálculo. Los circuitos integrados que permite esta acción son los microprocesadores y el conjunto de circuitos adicionales conocido como chipset.

Se encarga de recibir las órdenes del operario por medio de la consola de programación y los módulos de entradas. Posteriormente, las procesa para enviar respuestas a los módulos de salidas. En su memoria se encuentra residente el programa destinado a controlar el proceso. Contiene las siguientes partes:

- Unidad central o de proceso
- Temporizadores y contadores
- Memoria de programa
- Memoria de datos
- Memoria imagen de entrada
- Memoria de salida
- Periféricos

El microprocesador en un ciclo de instrucción, lee el contenido de las entradas, que previamente han sido copiadas en un segmento de memoria, conocido como imagen de las entradas. Luego, interpreta las instrucciones almacenadas en la memoria de programa, para posteriormente ordenar la activación de las salidas físicas a través de otro segmento de memoria de salida. En realidad el microprocesador no interactúa directamente con los módulos de entradas y salidas, son otros circuitos los que realizan estas acciones.

➤ **Memoria de datos (RAM).**

En la memoria de datos se copia los operandos y/o el resultado de las instrucciones, así como ciertas configuraciones del PLC.

La memoria RAM se caracteriza por su extremada rapidez, en ella se puede leer y escribir cuantas veces se requiera. Su principal desventaja es que pierde todo su contenido al perder la alimentación. El microprocesador del PLC utiliza esta memoria para escribir los datos (estado de las entradas, órdenes de salida, resultados intermedios, etc.) y recurre a ella para leer el programa.

No se utiliza otro tipo de memoria (la EPROM, por ejemplo) porque, aunque tienen la ventaja de no perder los datos cuando no tienen alimentación, son memorias lentas, que requieren procesos más complicados para su borrado y regrabación. Otra de las ventajas de la memoria RAM es que no se necesita borrar los datos que

contiene, se puede escribir directamente los nuevos datos sobre los que ya tiene grabados.

➤ **Memoria de programa (ROM).**

En esta memoria no volátil reside el programa y el sistema operativo del PLC, más conocido como firmware.

Tecnológicamente los PLCs están implementando esta área, a través de memorias EEPROM o tipo FLASH. En el caso de ciertas CPU's de la familia KOYO DL06, se ha integrado una ranura para batería, lo que garantiza la permanencia fija de su contenido y la facilidad de reprogramación.

➤ **Módulos de entrada.**

Son el hardware que transfiere las señales eléctricas entre la CPU del PLC y los sensores que intervienen en el proceso.

En el caso de los módulos de entrada, las señales provenientes de los sensores, que usualmente oscilan entre 12 y 240 V AC/DC, acondicionan a la CPU como señales binarias compatibles con la lógica TTL, es decir niveles binarios de 0 y 1 con voltajes entre 0 y 5 VDC, respectivamente.

Cada cierto tiempo el estado de las entradas se transfiere a la memoria imagen de entrada. La información recibida en ella, es enviada a la CPU para ser procesada de acuerdo a la programación.

Se pueden diferenciar dos tipos de sensores o captadores que van conectados a los módulos de entradas: los pasivos y los activos.

Los captadores pasivos son los que cambian su estado lógico (activado o no activado) por medio de una acción mecánica. Corresponde a los interruptores, pulsadores, finales de carrera, etc.

Los captadores activos son dispositivos electrónicos que suministran una tensión al PLC, que es función del estado de una variable.

➤ **Módulos de salida.**

Por su parte, los módulos de salida, transforman las señales TTL en diversos niveles de voltaje y corriente para ser llevados a los actuadores del proceso.

Son los encargados de activar y desactivar los actuadores: bobinas de contactores, solenoides, lámparas, motores pequeños, etc.

La información enviada por las entradas a la CPU, una vez procesada, se envía a la imagen de memoria de las salidas, y luego a la interfase de las salidas, para que éstas sean activadas o desactivadas.

Según el tipo de proceso a controlar por el PLC, se puede utilizar diferentes módulos de salidas. Existen tres tipos bien diferenciados:

- A relés: son usados en circuitos de corriente continua y corriente alterna. Están basados en la conmutación mecánica, por la bobina del relé, de un contacto eléctrico normalmente abierto.
- A triac: se utilizan en circuitos de corriente continua y corriente alterna que necesitan maniobras de conmutación muy rápidas.
- A transistores a colector abierto: son utilizados en circuitos que necesiten maniobras de conexión/desconexión muy rápidas.

El uso de este tipo de módulos es exclusivo en circuitos de corriente continua.

➤ **Terminal de programación.**

El terminal o consola de programación es el que permite comunicar al operario con el sistema. Las funciones básicas de éste son las siguientes:

- Transferencia y modificación de programas.
- Verificación de la programación.
- Información del funcionamiento de los procesos.

Como consolas de programación, pueden ser utilizadas las construidas específicamente para el PLC, tipo calculadora o bien un computador personal (PC), que soporte un software específicamente diseñado para resolver los problemas de programación y control.

El equipo de programación de un PLC tiene por misión configurar, estructurar, programar, almacenar y aprobar las diferentes funciones del automatismo, tanto las contenidas en la CPU básica, como las que aparecen en las CPU auxiliares y módulos periféricos. Se define entonces el equipo de programación como el conjunto de medios: hardware y software, mediante los cuales el programador introduce y depura el programa a ejecutar, en uno u otro lenguaje.

Son funciones específicas de los tipos de programación las siguientes:

- Escritura del programa de usuario, directamente en la memoria del autómata, o en la memoria auxiliar del mismo equipo.
- Verificación sintáctica y formal del programa escrito.

Introducido el programa, el equipo de programación lo compila a:

- Código máquina ejecutable directamente por el procesador del PLC.
- Código intermedio interpretado por el procesador del PLC para obtener un código máquina ejecutable.
- Edición y documentación del programa o aplicación.
- Almacenamiento y gestión del programa o bloques del programa.
- Transferencias de programas de y hacia el PLC.
- Gestión de errores del PLC, con identificación de los mismos, ayudas para su localización y corrección, y reinicialización del sistema.

Además de las funciones anteriores, es muy frecuente encontrar otras adicionales:

- Puesta en marcha y detención del PLC (RUN / STOP).
- Monitorización del funcionamiento, sobre variables seleccionadas o sobre las propias líneas del programa.
- Forzado de variables binarias o numéricas y preselección de contadores, temporizadores y registros de datos.

1.10.2. Software de programación.

Los paquetes de software para programación de PLCs convierten a un PC en un equipo de programación específico, aprovechando sus potentes recursos de interfaz con otros sistemas (impresoras, otros PCs) y con el usuario (teclado, monitor), y el bajo precio del hardware debido a la estandarización y generalización de uso de los PCs. Esta opción (PC + software) constituye, junto con las consolas, y éstas en menor medida, prácticamente la totalidad de equipos de programación utilizados por los programadores de PLCs.

Los requisitos de hardware y software exigidos para instalar sobre el PC un entorno de programación de PLCs, varían en función del tipo de PLC.

En el caso del software DirectSOFT 4.0, que permite la programación de los PLCs de marca KOYO; los requerimientos son un PC con procesador Pentium I en adelante, con sistema operativo Windows 98/2000/XP(HOME and PRO), 512 Mb de memoria RAM, 33 Mb de espacio libre en disco duro y un puerto serial libre.

El paquete de programación se completa con la unidad externa de conexión que convierte y hace compatibles las señales físicas entre la salida serie estándar de PC (RS-232C, RS-422/485) y el puerto de conexión de la consola del PLC, canal usualmente utilizado también para la conexión con el PC.

1.10.3. Lenguajes de programación para PLCs²⁰.

Cuando surgieron los PLCs, lo diseñaron con la necesidad de sustituir a los enormes tableros de maniobra construidos con contactores y relés. Por lo tanto, la comunicación hombre-máquina debería ser similar a la

²⁰ http://www.infoplcn.net/Documentacion/Docu_PLC/infoPLC_net_lenguajes_programacion_V4.html

utilizada hasta ese momento. El lenguaje usado, debería ser interpretado con facilidad por los mismos técnicos eléctricos que anteriormente estaban en contacto con la instalación. Estos lenguajes han evolucionado, en los últimos tiempos, de tal forma que algunos de ellos ya no tienen nada que ver con el típico plano eléctrico a relés. La norma IEC 1131 sugiere los siguientes lenguajes de programación:

a. Lenguaje a contactos.

La lógica de escalera o ladder es el lenguaje de programación mas usado de PLC's, fue el primero con el que se comenzó a programar, de ahí que presente grandes semejanzas con los diagramas eléctricos de escalera utilizados por los técnicos anteriormente a la aparición del autómata, éste lenguaje está especialmente indicado para facilitar el cambio de un sistema de control realizado con relés por un PLC.

b. Lenguaje por lista de instrucciones.

Es un tipo de lenguaje ensamblador con un repertorio muy reducido de instrucciones, los programas utilizan un estilo muy similar al empleado por los lenguajes e ensamblador, éste tipo de lenguajes es una transcripción elemental e inmediata de las instrucciones de lenguaje máquina que están representados por expresiones nemotécnicas, se suele aplicar para optimizar partes de una aplicación.

c. Texto estructurado.

Los lenguajes basados en texto estructurado facilitan la programación de procesos que requieren instrucciones complejas y cálculos muy grandes, se trata de lenguajes de alto nivel

d. Esquema básico de funciones.

Es un lenguaje gráfico, los programas son bloques cableados entre sí de forma análoga al esquema de un circuito, tiene una interfase de E/S bien definida, y además poseen un código interno oculto.

e. Diagrama funcional secuencial.

En sus orígenes fue GRAFCET (Gráfico Funcional de Control Etapa Transición), es una eficaz técnica para describir el comportamiento secuencial de un proceso y de un programa, se usa para distribuir un problema de control.

1.11. Sistemas HMI²¹.

A menudo, las palabras SCADA y HMI inducen cierta confusión, cierto es que todos los sistemas SCADA ofrecen una interfaz gráfica PC – Operario tipo HMI, pero no todos los sistemas de automatización que tienen HMI son SCADA.

La diferencia radica en la función de supervisión que pueden realizar estos últimos a través del HMI como: Adquisición y almacenado de datos para recoger, procesar y almacenar la información recibida en forma continua y confiable; representación gráfica y animada de variables de proceso y monitorización de éstas por medio de alarmas; ejecutar acciones de control para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) o bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

²¹ http://www.walter-fendt.de/m11s/human_machine_20.htm

Son también de arquitectura abierta y flexible con capacidad de ampliación y adaptación; conectividad con otras aplicaciones y bases de datos locales o distribuidas en redes de comunicación; supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control; transmisión de información con dispositivos de campo y otros PC; base de datos, gestión de datos con bajos tiempos de acceso; presentación, representación gráfica de los datos, Interfaz del Operador o HMI (Human Machine Interface); explotación de los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera; alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos), estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.

Una Interfaz Humano-Máquina, HMI (Human-Machine Interface), es un mecanismo que le permite a un operador humano interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado (prendido/apagado) o magnitud de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial.

La interfaz puede ser tan simple como una lámpara indicadora del estado de un aparato, hasta una o varias pantallas desarrolladas en una computadora que llegan a mostrar en la pantalla del monitor representaciones esquemáticas de todo el proceso bajo supervisión. Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- **Configuración:** Permite al usuario definir el entorno de trabajo de su aplicación según la disposición de pantallas requeridas y los niveles de acceso para los distintos usuarios. Dentro del módulo de configuración, el usuario define las pantallas gráficas o de texto que va a utilizar, importándolas desde otra aplicación o generándolas desde el propio SCADA. Para ello, se incorpora un editor gráfico que permite dibujar a nivel de píxel (punto de pantalla) o utilizar elementos estándar

disponibles, líneas, círculos, textos o figuras, con funciones de edición típicas como copiar, mover, borrar, etc.

También, durante la configuración, se seleccionan los drivers de comunicación que permitirán el enlace con los elementos de campo y la conexión o no en red de estos últimos, se selecciona el puerto de comunicación sobre el ordenador y los parámetros de la misma, etc.; en algunos sistemas, es también en la configuración, donde se indican las variables que después se van a visualizar, procesar o controlar, en forma de lista o tabla, donde se pueden definir y facilitar la programación posterior.

- **Interfaz gráfica del operador:** proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta; el proceso a supervisar se representa mediante gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación de uso general (Paintbrush, DrawPerfect, AutoCAD, etc.) durante la configuración del paquete.

Las pantallas están formadas por un fondo fijo y varias zonas activas que cambian dinámicamente a diferentes formas y colores, según los valores leídos en la planta o en respuesta a las acciones del operador. Se deben tener en cuenta algunas consideraciones a la hora de diseñar las pantallas: Las mismas que deben tener apariencia consistente, con zonas diferenciadas para mostrar la planta, las botoneras, entradas de mando (control) y las salidas de mensajes del sistema (estados, alarmas).

La representación del proceso se realizará preferentemente mediante pantallas que se desarrollan de izquierda a derecha. La información presentada aparecerá sobre el elemento gráfico que la genera o soporta, y las señales de control estarán agrupadas por funciones. La clasificación por colores ayuda a la comprensión rápida de la

información; los colores serán usados de forma consistente en toda la aplicación.

- **Módulo de proceso:** ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas. Sobre cada pantalla se puede programar relaciones entre variables del ordenador o del autómata que se ejecutan continuamente mientras la pantalla esté activa. Es muy frecuente que el sistema SCADA confíe a los dispositivos de campo, principalmente autómatas, el trabajo de control directo de la planta, reservándose para sí las operaciones propias de la supervisión, como el control del proceso, análisis de tendencias, generación de históricos, etc.

Las relaciones entre variables que constituyen el programa de mando que el SCADA ejecuta de forma automática pueden ser de los tipos siguientes: Acciones de mando automáticas preprogramadas dependiendo de valores de señales de entrada, salida o combinaciones de éstas; maniobras o secuencias de acciones de mando; animación de figuras y dibujos, asociando su forma, color, tamaño, etc., a valor actual de las variables; gestión de recetas, que modifican los parámetros de producción (consignas de tiempo, de conteo, estados de variables, etc.) de forma preprogramada en el tiempo o dinámicamente según la evolución de planta.

- **Gestión y archivo de datos:** Se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, según formatos inteligibles para periféricos hardware (impresoras, registradores) o software (bases de datos, hojas de cálculo) del sistema, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Pueden seleccionarse datos de planta para ser capturados a intervalos periódicos, y almacenados como un registro histórico de actividad, o para ser procesados inmediatamente por alguna aplicación software para presentaciones estadísticas, análisis de calidad o mantenimiento.

Ésto último se consigue con un intercambio de datos dinámico entre el SCADA y el resto de aplicaciones que corren bajo el mismo sistema operativo.

Por ejemplo, el protocolo DDE de Windows permite intercambio de datos en tiempo real. Para ello, el SCADA actúa como un servidor DDE que carga variables de planta y las deja en memoria para su uso por otras aplicaciones Windows, o las lee en memoria para su propio uso después de haber sido escritas por otras aplicaciones. Una vez procesados, los datos se presentan en forma de gráficas analógicas, histogramas, representación tridimensional, etc., que posteriormente permiten analizar la evolución global del proceso.

Existen en los procesos varios sistemas que permiten controlar y supervisar como son: PLC, DCS y ahora SCADA, que se pueden integrar y comunicar entre sí mediante una red Ethernet y así mejorar en tiempo real la interfaz al operador. No sólo se puede supervisar el proceso, sino además tener acceso al historial de las alarmas y variables de control con mayor claridad, combinar bases de datos relacionadas y presentar en un simple computador. Por ejemplo, en una plantilla Excel, en documento Word, todo en ambiente Windows, siendo así de esta manera el sistema más amigable.

Para el presente proyecto se empleará el software de diseño de interfaz HMI llamado EZTouch Editor, el que permite crear diferentes páginas y establecer la comunicación con el PLC, para luego ser descargadas en la pantalla que se empleará como elemento de supervisión y de la que se detalla en el siguiente capítulo, los requerimientos del software son un PC con procesador Pentium I en adelante, con sistema operativo Windows 98/2000/XP(HOME and PRO), 512 Mb de memoria RAM, 33 Mb de espacio libre en disco duro y un puerto serial libre.

CAPITULO II

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

2.1. Características del sistema.

El sistema de control del presente proyecto está conformado por un motor (maestro) que estará controlado por un variador de velocidad, y se empleará un encoder incremental que esté acoplado mecánicamente al eje de este motor, como sensor de posición y velocidad del mismo, dicho motor (maestro) es el que deberá ser seguido por el motor esclavo, el encoder incremental del motor maestro estará conectado al PLC, mismo que procesará los pulsos que el encoder le envíe y a través de la rutina de control establecer el set point del sistema, manteniendo de esta forma la relación de velocidad y posición por medio de una salida analógica enviada hacia un variador de velocidad, el que se encargará de darle la consigna de velocidad y posición al motor seguidor.

Además, se tendrá acoplado otro encoder incremental (esclavo) al eje del motor seguidor, que enviará sus señales de tipo digital al PLC, cerrando de esta forma el lazo de control del sistema. El presente proyecto pretende eliminar los elementos de transmisión de potencia mecánica, y esto se logrará a través del motor seguidor o esclavo, que puede ser controlado a distancia, ya que no depende de mecanismo rígido alguno, este método de control de velocidad y posición en motores, se denomina eje virtual o eje eléctrico, ya que reemplaza como se dijo antes elementos mecánicos rígidos como cadenas o poleas por sensores de posición y velocidad, lo que hace que el control sea más exacto, no se tiene la necesidad de tener a los dos ejes cerca el uno del otro y permite además la expansión de programación en un PLC.

2.2. Diagrama de bloques del sistema.

Se ha optado por la representación del proyecto en el diagrama de bloques de la figura 27, la que facilita a los autores en la selección de los componentes y en la forma de disposición de los mismos, el orden de la numeración empleada es de acuerdo al flujo de información del sistema.

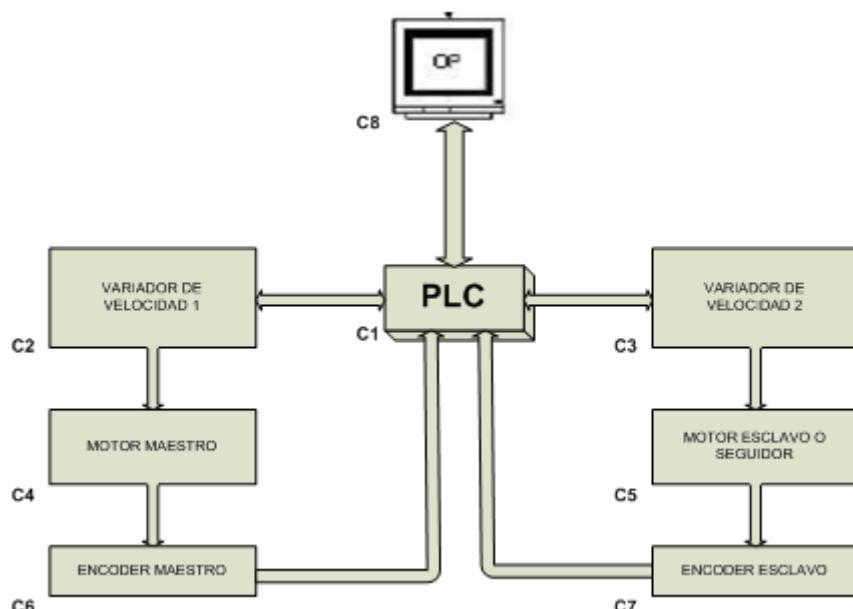


Figura 27. Diagrama de bloques del sistema.

C1.- Representa al PLC que se utiliza en el proyecto, se emplea la plataforma KOYO con CPU DL06DD2 y software de programación DirectSOFT 4. El PLC se encargará de gestionar las entradas digitales de los encoder maestro y esclavo, de controlar la posición de los ejes conducidos y el consenso de velocidad de los variadores de velocidad, a través de sus salidas y entradas analógicas, y de comunicar el estado del sistema con un panel de operaciones.

C2.- Variador de velocidad 1. Es el encargado de controlar al motor maestro, la consigna de velocidad de este variador será dada desde el panel de operador con consignas en valor de porcentaje; los valores del variador de velocidad 1 se consideran como la referencia de velocidad del variador de velocidad esclavo.

C3.- Variador de velocidad 2. Se refiere al control del motor seguidor o esclavo, a través de este se procura controlar la velocidad y por medio de la velocidad la posición del motor esclavo con respecto al motor maestro; recibirá en su entrada analógica la señal enviada desde el PLC dependiendo de los datos que la rutina de control arroje.

C4.- Motor maestro. Es el motor que representa a la referencia tanto de posición como de velocidad del sistema, será controlado por el variador de velocidad 1.

C5.- Motor esclavo o seguidor. Como el motor maestro, es un motor asíncrono trifásico de corriente alterna, éste motor será controlado por el variador de velocidad 2, y tendrá que seguir las referencias de velocidad y posición que se introduzcan desde el panel de operador.

C6.- Encoder maestro. Es el encargado de enviar hacia el PLC la información de posición del eje maestro, dicha información será procesada por el PLC para establecerla como la referencia de posición del sistema.

C7.- Encoder esclavo. Con éste sensor se cerrará el lazo de control de posición, teniendo en su señal la información necesaria para generar el desfase de posición entre el eje maestro y el eje esclavo.

C8.- Panel de operación. Éste ejecuta el software HMI, desde el que se podrá cambiar las referencias de velocidad y de posición, además de observar el comportamiento del sistema y las alarmas que se puedan presentar.

2.3. Selección de componentes.

Dentro del diseño de procesos de automatización y control es muy importante la etapa de selección de los componentes a utilizar, y aún más cuando se trata de motores, debido a que de éstos dependen las características de movimiento de los ejes mecánicos; en el presente proyecto además se deberán seleccionar componentes electrónicos de control como son PLC, variadores de velocidad y los sensores necesarios para mantener la velocidad y posición entre el eje maestro y el motor seguidor.

Debido a que el presente proyecto es un prototipo y de carácter demostrativo, la selección de los motores se hará bajo la consideración de reducir costos, aunque se detallarán más adelante las características de éstos para la selección de los variadores de velocidad y de los encoder, ya que dependen en gran medida de las características de los motores, y exactamente de la potencia, de la velocidad y torque de arranque de éstos respectivamente, además para seleccionar las debidas protecciones como son guarda – motores.

En el caso de los encoder es necesario además tener en cuenta varios parámetros que se detallarán más adelante.

2.3.1. Selección de los motores.

Los motores eléctricos en la industria, son los actuadores más empleados e importantes, puesto que son la primera fuente de movimiento mecánico. El proceso de selección de un motor conlleva aspectos tales como: características de accionamiento; aspectos constructivos; potencia, calentamiento y refrigeración; medio ambiente; sistema aislante; aspectos de instalación, mantenimiento y protecciones.

Se han tomado en cuenta los siguientes parámetros:

- a) Potencia y dimensiones mecánicas requeridas
- b) Tensión y frecuencia de alimentación
- c) Velocidad requerida
- d) Tipo de mando

De acuerdo a los requerimientos del sistema y considerando que el tipo de mando del motor es un arranque a velocidad variable, los motores que se emplearán tienen las siguientes características:

	Motor maestro	Motor esclavo
Voltaje	220 V	220 V
Corriente	1.7 A	1.7 A
Potencia	0.5 HP	0.5 HP
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
Velocidad	1680 RPM	1680 RPM
CosΦ	0.76	0.76
Clase	NEMA F	NEMA F
IP	55	55
Temp. Amb.	45° C	45° C

Tabla 4. Características de los motores seleccionados.

Los motores seleccionados son de las mismas características, debido a que se implementará una etapa de reducción de velocidad en las que se podrán diferenciar las características físicas y de velocidad entre los ejes maestro y esclavo, por lo que el hecho de que los motores tengan las

mismas características no influye en el objetivo del proyecto, que es el sincronismo de los ejes en los que se acoplan los encoder.

Los motores de inducción jaula de ardilla estándar están diseñados para funcionar a velocidad fija, el funcionamiento a baja velocidad puede hacer que el motor se caliente en exceso, ya que el ventilador de refrigeración no es tan efectivo. Debe instalarse un termistor de protección en los motores y si fuese necesario utilizar un ventilador eléctrico por presión.

2.3.2. Selección de sensores²².

Existen ciertos parámetros para selección de encoders como son: Resolución, respuesta máxima en frecuencia, diámetro del eje, par de arranque, velocidad máxima de rotación, momento de inercia, grado de protección, los que se detallan a continuación.

- Resolución se refiere al número de pulsos que entrega el encoder por cada revolución del eje, valores típicos de resolución son: 10, 60, 100, 200, 300, 360, 500, 600, 1000 y 2000 pulsos/revolución.
- Respuesta máxima en frecuencia: Se trata de la frecuencia máxima a la cual el encoder puede responder eléctricamente, para garantizar su correcto funcionamiento, en los encoder incrementales es el máximo número de pulsos de salida que se pueden emitir por segundo.
- Diámetro del eje: diámetro del eje del encoder sobre el que vamos a medir, los valores típicos de diámetro son: 6, 7, 10, 12 mm.

²² http://www.infopl.net/Documentacion/Docu_Instrumentacion/infoPLC_net_ENCODERS_OPTICOS.pdf

- Par de arranque: Es la fuerza necesaria medida en Ncm para conseguir que el eje comience a dar vueltas, los valores típicos son: 1, 1.5 y 2 Ncm.
- Velocidad máxima de rotación: representa al número máximo de revoluciones que el encoder puede soportar mecánicamente, la velocidad del eje del encoder debe respetar la velocidad máxima de rotación y la frecuencia máxima de respuesta

$$Frecuencia \geq \frac{rpm}{60 \times resolución}$$

Valores típicos de respuesta son: 3000, 5000, 6000 R.P.M.

- Momento de inercia: es el momento de inercia de rotación del eje, cuanto menor sea, más sencillo es de parar.
- Grado de protección²³: Los grados de protección, al igual que en los motores se compone de dos dígitos: Protección contra sólidos y protección contra el agua.

Cuerpos sólidos:

- I. No está protegido contra el ingreso de cuerpos extraños.
- 1. Protegido contra ingreso de cuerpos de más de 50 mm. de diámetro.
- 2. Protegido contra ingreso de cuerpos de más de 12 mm. de diámetro.
- 3. Protegido contra ingreso de cuerpos de más de 2.5 mm. de diámetro.
- 4. Protegido contra ingreso de cuerpos de más de 1 mm. de diámetro.

²³ UL: Estados Unidos. Pruebas para componentes- Listing Mark y Recognition Mark. <http://www.ul.com/>

5. Protección contra depósito de polvo.
6. Totalmente protegido contra polvo.

Agua:

0. Sin protección.
1. Protección contra goteo de agua condensada.
2. Protección contra goteo hasta 15° de la vertical.
3. Protección contra lluvia con un ángulo inferior a 60°.
4. Protección contra salpicaduras en cualquier dirección.
5. Protección contra chorros de agua en cualquier dirección.
6. Protección contra chorros fuertes de agua (comparable al golpe de una marea).
7. Protección contra la inmersión temporal.
8. Protección contra la inmersión indefinida.

Tomando en cuenta los parámetros que se deben seguir para la selección de encoder, los sensores que se emplearán tienen las características siguientes:

	Encoder Maestro	Encoder Esclavo
Tipo	TRD-S360BD	TRD-S360BD
Voltaje de alimentación	24 VDC-5% a 28 VDC+10%	24 VDC-5% a 28 VDC+10%
Consumo de corriente	100 mA máx.	100 mA máx.
Tipo de salida	Colector abierto NPN	Colector abierto NPN
No. Impulsos	360 pulsos/Rev.	360 pulsos/Rev.
Máx. respuesta de freq.	7 KHz	7 KHz
Diámetro del eje	10 mm	10 mm
No. máx. revoluciones	5000 RPM	5000 RPM
Protección	IP52	IP52

Tabla 5. Características principales de los encoder.

Las hojas de características técnicas de los encoder se muestran en las páginas de anexos D, hojas de especificaciones técnicas.

2.3.3. Selección de variadores de velocidad.

Como se dijo anteriormente, la selección de los variadores de velocidad dependen directamente de los motores a controlar, en este caso los variadores serán de iguales características, debido a que los motores tendrán también las mismas características, pero los parámetros de éstos van a ser diferentes.

Se han elegido los variadores de velocidad de la marca Telemecanique, de la gama Altivar 31, debido a que éste tipo de variadores de velocidad presentan las características necesarias para la ejecución del presente proyecto, las características se presentan en la siguiente tabla:

	Variador Maestro	Variador Esclavo
Voltaje de alimentación	220 Vac +10%-15% 3Φ	220 Vac +10%-15% 3Φ
Corriente nominal de salida	2 A a torque constante	2 A a torque constante
Frecuencia de entrada	60 Hz	60 Hz
Frecuencia de salida	0 a 120 Hz	0 a 120 Hz
Potencia del motor aplicable	0.5 HP = 0.375 Kw	0.5 HP = 0.375 Kw
Tipos de control	Control vectorial de flujo sin realimentación	Control vectorial de flujo sin realimentación
	Control vectorial de flujo con realimentación	Control vectorial de flujo con realimentación
	V/Hz Escalar	V/Hz Escalar
Humedad	0 a 90% sin condensación	0 a 90% sin condensación
Temperatura de operación	0 a 40 C	0 a 40 C
Métodos de frenado	Frenado reostático	Frenado reostático
	Frenado óptimo (Optimal Braking)	Frenado óptimo (Optimal Braking)
	Frenado DC	Frenado DC
Entradas digitales	2 Aisladas: 10Vdc	2 Aisladas: 10Vdc
Entradas analógicas	2 Diferenciales: 0...10Vdc o 0/4...20mA 1	2 Diferenciales: 0...10Vdc o 0/4...20mA 1
	Aislada: 0...10Vdc	Aislada: 0...10Vdc
Protecciones	Sobrecorriente / Cortocircuito en la salida	Sobrecorriente / Cortocircuito en la salida
	Link DC sub/sobretensión	Link DC sub/sobretensión
	Subtensión en la alimentación	Subtensión en la alimentación
	Sobretemperatura en el variador	Sobretemperatura en el variador
	Sobrecarga en la salida	Sobrecarga en la salida

Tabla 6. Características de los variadores de velocidad.



Figura 28. Variador de velocidad Altivar 31.

Las hojas de características técnicas de los variadores se pueden revisar en las páginas de anexos D, hojas de especificaciones técnicas.

2.3.4. Selección del panel de operación.

Para el sistema propuesto de sincronismo y supervisión es necesario emplear un dispositivo que permita la introducción de un interfaz de operador acorde a los requerimientos de los autores del proyecto, que además establezca comunicación con el dispositivo de control, en este caso el PLC KOYO DL06, el mismo que cuenta con un puerto para comunicaciones configurable para protocolo RS232 y que pueda soportar el número de tags (variables) o enlaces desde el PLC tantos como los autores empleen.

Con las necesidades expuestas anteriormente se decidió utilizar como dispositivo de supervisión una pantalla táctil dedicada para HMI del fabricante AUTOMATION DIRECT con las siguientes características:

Modelo	EZ-T4C-FS
Display	Gráfica a colores
Tamaño	4 pulgadas
Teclado	Touch screen
Memoria	Mayor a 1MB
Protocolos de comunicación	DirectNet, K-Sequence MPI o Profibus DP
Puertos de comunicación	RS-232 RS-485

Tabla 7. Características de la pantalla de supervisión.

La pantalla presenta un software de programación de fácil comprensión llamado EZTouch, se puede encontrar un tutorial de este software en la página www.automationdirect.com/manuales.

2.4. Selección y puesta en marcha del PLC²⁴.

Para la selección del PLC se han tomado en cuenta factores como:

- Entradas de conteo rápido.
- Fácil conexión con el PC.
- Puerto disponible para comunicación con panel de operador.
- Por lo menos una salida analógica.

Tomando en cuenta estos parámetros se ha optado por emplear un PLC de marca KOYO, de la familia DL06 el modelo D0-06DD2, como se detalla en la tabla 8; esta familia de PLCs ofrece módulos de expansión de entradas y salidas discretas y análogas, contadores de alta velocidad, matemática de punto flotante, controladores PID, varias opciones de comunicaciones seriales y con Ethernet y un visor LCD opcional, como se puede observar en la figura 29.

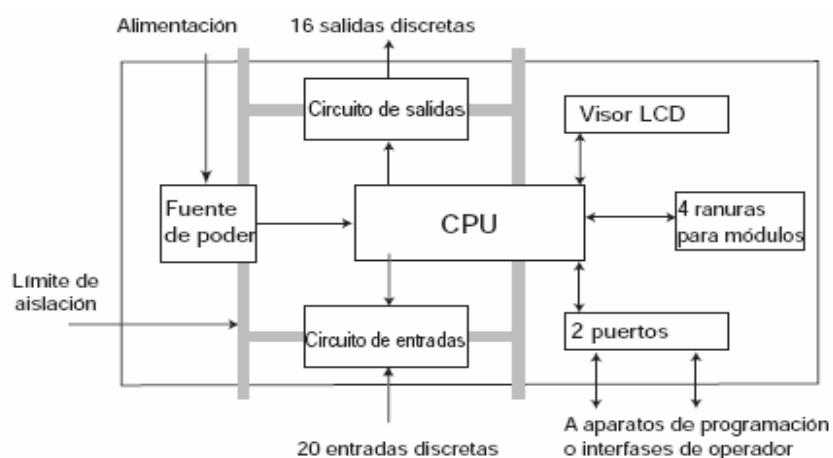


Figura 29. Arreglo interno del PLC DL06.

²⁴ Manual D0-06USER-M-SP.: <http://www.automationdirect.com/manuales>

Hay nueve versiones de este PLC, todos tienen el mismo tamaño y en general las mismas funciones de CPU, todos los PLCs DL06 tienen dos puertos de comunicación seriales que pueden ser usados para programación, para interfaces de operador, para redes, etc.

Las unidades con entradas de corriente continua tienen características de alta velocidad en cuatro puntos de entrada. Las unidades con salidas de corriente continua tienen pulsos de salidas de alta velocidad en diferentes formatos en el primero y segundo punto de salida.

Tipos de PLC's				
Artículo	Tipos de entradas discretas	Tipos de salidas discretas	Alimentación	Entradas de alta velocidad
D0-06AA	CA	CA	95-240 VCA	No
D0-06AR	CA	Relevador	95-240 VCA	No
D0-06DA	CC	CA	95-240 VCA	Si
D0-05	CC	Drenadoras	95-240 VCA	No
D0-06DD2	CC	Surtidoras	95-240 VCA	Si

Tabla 8. Selección del PLC.

Especificaciones generales D0-06DD2	
Requerimientos de alimentación	100 – 240 VCA, 40 VA máximo,
Puerto de comunicación 1, 9600 baud (Fijo), 8 bits de datos, 1 bit stop, paridad Odd	K-Sequence (Esclavo), DirectNET (Esclavo), MODBUS (Esclavo)
Puerto de comunicación 2, 9600 baud (original), 8 bits de datos, 1 bit stop, paridad Odd	K-Sequence (Esclavo), DirectNET (Maestro/Esclavo), MODBUS (Maestro/Esclavo), Non-sequence/print, ASCII
Tipo de cable de programación	D2-DSCBL
Temperatura de operación	32 a 131° F (0 a 55 C)
Temperatura de almacenamiento	-4 a 158° F (-20 a 70 C)
Humedad relativa	5 a 95% (sin condensación)
Calidad del aire ambiente	No se permite en ambientes con gases corrosivos
Vibración	MIL STD 810C 514.2
Choque	MIL STD 810C 516.2
Inmunidad al ruido	NEMA ICS3-304
Tipo de terminal	Removable
Sección del cable	Un AWG#16 o dos AWG#18, AWG#24 mínimo

Tabla 9. Especificaciones del PLC D0-06DD2.

También se debe conectar un módulo de expansión con salidas analógicas que es el elemento F0-4AD2DA-2. Para la programación del PLC se necesita el cable D2-DSCBL, que consta de un terminal RJ12 en

el extremo que se conecta al PLC y un terminal DB-9 hembra en el extremo que se conecta al PC, como se ve en la figura 30, este cable se lo puede fabricar de manera sencilla y económica siguiendo las especificaciones que se muestran en la figura 31.; también existe un convertidor DB-9 a USB, que se puede adquirir como el accesorio D2-DSUSB en el proveedor del fabricante que es Automation Direct.



Figura 30. Cable D2-DSCBL.

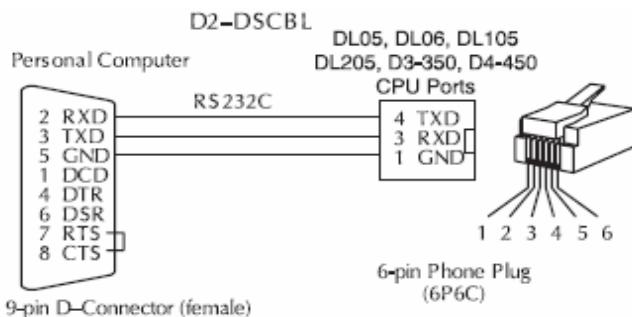


Figura 31. Disposición de pines del cable D2-DSCBL.

Una vez descritas las características del PLC y de sus puntos más relevantes, se procede a ponerlo en marcha y es muy importante conocer que debido a que las señales que se tiene como entradas son de dos encoder que generan 360 pulsos/rev, es necesario establecer en el PLC el modo de operación que se le dan a las entradas, esto se configura a través de unas cuantas líneas de programa que se ejecutan

en el primer ciclo de scan de la CPU y que se accede en la dirección de memoria V7633.

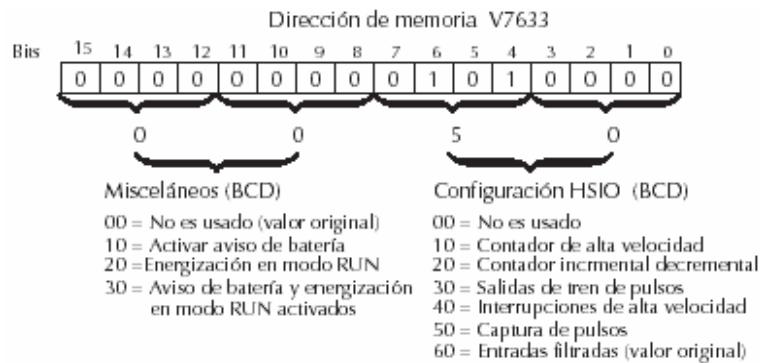


Figura 32. Configuración de modo de entradas.

Para poder acceder a la dirección de memoria V7633 y cargar el modo 10, se cargarán en el PLC las siguientes líneas de programa:

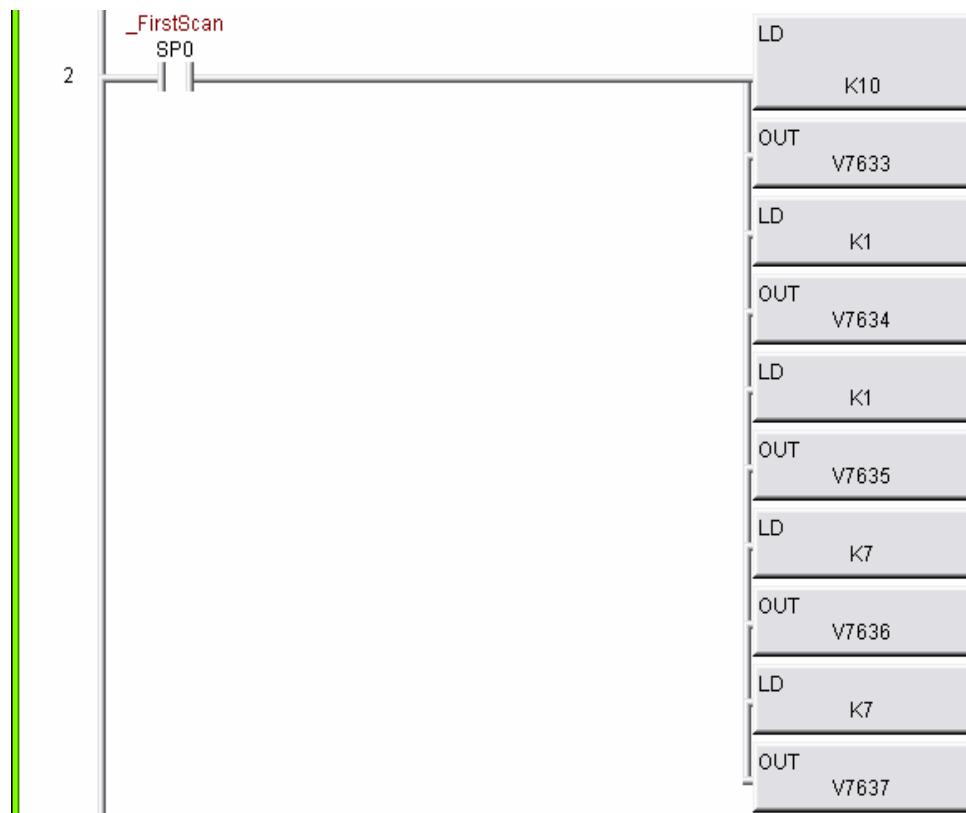


Figura 33. Configuración de entradas de alta velocidad.

Esto nos permite configurar las entradas X0 y X1 como de alta velocidad, y automáticamente se asignan a los contadores CT174 y CT176 como sus acumuladores respectivamente, los mismos que almacenan la cantidad de pulsos como una palabra de 16 bits que se recuperan como un número de cuatro dígitos en sistema octal.

El contador CT174 contiene los datos del encoder maestro y el contador CT176 contiene los datos del encoder esclavo, para realizar el sincronismo de los motores se establece una diferencia entre el número de pulsos del encoder maestro y el número de pulsos del encoder esclavo, a esta diferencia se la reconoce como el set point del sistema, ya que generando este margen de diferencia que debe haber entre los motores es que se puede incrementar o reducir la velocidad, según sea el caso, del motor esclavo, hasta alcanzar la velocidad y la posición del motor maestro, en la figura 34 se representa el lazo de control del sistema.

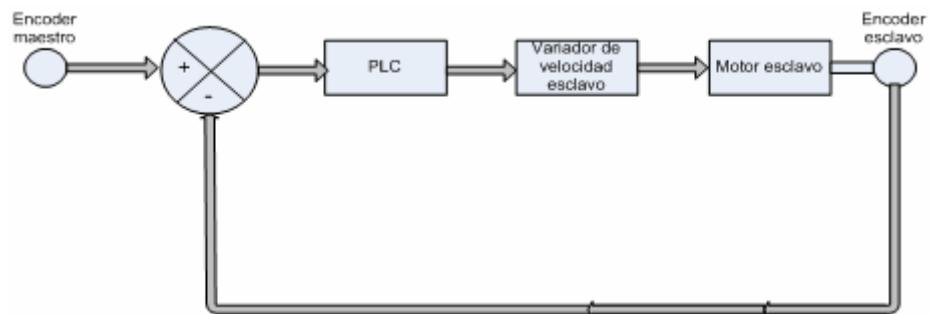


Figura 34. Lazo de control del sistema.

El lazo de control sirve para entender de mejor manera las líneas de programación necesarias para alcanzar el objetivo del proyecto que es el sincronismo de los motores. Todas las líneas de programa se encuentran en el anexo E: Listado del programa del PLC.

2.5. Diseño de la etapa de reducción de velocidad.

Debido a que el proyecto es un prototipo se ha visto la necesidad de contar con reductores de velocidad que permitan observar con mayor claridad el sincronismo de los motores, es por eso que se han adquirido dos motorreductores de tipo sin fin corona, los cuales tienen un factor de reducción de uno a doce ($\frac{1}{12}$), estos están acoplados a los motores y ayudarán a observar con mayor claridad el sincronismo de posición y velocidad y además el desfase que se genera entre los ejes maestro y esclavo.



Figura 35. Reductor de velocidad acoplado al motor maestro.

La velocidad nominal con la frecuencia de la red aplicada a los motores es de 1680 RPM, al acoplar los reductores de velocidad tanto en el motor maestro como en el motor esclavo se obtiene una velocidad de 140 RPM, la que es una velocidad relativamente baja.

$$\text{Velocidad de salida} = \frac{\text{Velocidad de entrada}}{\text{factor de reducción}}$$

$$\text{Velocidad de salida} = \frac{1680 \text{ RPM}}{12}$$

$$\text{Velocidad de salida} = 140 \text{ RPM}$$

Además se ha diseñado un sistema de poleas con transmisión simple, que se aplica a los dos motores, como se observa en la figura 36, en donde el eje motriz será el eje del reductor de velocidad y tendrá acoplado una polea de 50mm de diámetro, el eje conducido será un eje montado en una chumacera y tendrá acoplado una polea de 100mm de diámetro, el mismo que será el eje final del sistema y es donde se acopla por medio de un elemento conocido como matrimonio el encoder maestro, la polea motriz transmite su potencia mecánica a través de una banda PIX-A20 13x510Li con 56.5cm de longitud, dando como resultado una velocidad de 70 RPM, para el caso del motor maestro.

De acuerdo a la ecuación 1:

$$\frac{\text{Velocidad de salida}}{\text{Velocidad de entrada}} = \frac{\text{Diámetro eje motriz}}{\text{Diámetro eje conducido}}$$

$$\text{Velocidad de salida} = \frac{(50\text{mm}) * (140\text{RPM})}{100\text{mm}}$$

$$\text{Velocidad de salida} = 70\text{RPM}$$

En el eje del motor esclavo, se acoplará un reductor de velocidad de iguales características al del motor maestro, en el eje de éste reductor de velocidad se acoplará una polea de 50mm de diámetro, finalmente el eje conducido será un eje montado en una chumacera y tendrá acoplado una polea de 89mm de diámetro, la polea motriz conduce su potencia mecánica a través de una banda PIX-A20 13x510Li de igual característica que la banda del eje maestro, dando como resultado una velocidad de 79RPM.

De la ecuación 1:

$$\text{Velocidad de salida} = \frac{(50\text{mm}) * (140\text{RPM})}{89\text{mm}}$$

$$\text{Velocidad de salida} = 79\text{RPM}$$



Figura 36. Sistema de poleas en transmisión simple.

2.6 Configuración de los variadores de velocidad.

En esta etapa del proyecto, se hace necesario redactar los procedimientos empleados y también los parámetros que se han ajustado para el funcionamiento de los variadores de velocidad tanto del maestro como del esclavo, muchos de los parámetros de configuración de los dos variadores no diferirán entre ambos, ya que el modo de trabajo es prácticamente el mismo.

Los variadores tienen un panel frontal de acceso como se ve en la figura 28, que se encuentra en el apartado 2.3.3, desde donde se accede a los ítems de parametrización, utilizando las teclas de posicionamiento para cambiar entre menús y presionando la tecla ENT para acceder a cada uno de ellos. Vale aclarar que existen parámetros que no pueden ser cambiados mientras los variadores están en marcha.

Menú	Parámetro	Descripción	Valor
Set	ACC	Tiempo de rampa de aceleración	3.0
	dEC	Tiempo de rampa de deceleración	3.0
	LSP	Mínima velocidad	0.0
	HSP	Máxima velocidad	66.0
	ItH	Protección térmica del motor	4.8
	UFr	Optimización del par a velocidad baja	20
	FLG	Ganancia del bucle de frecuencia	20
	StA	Estabilidad del bucle de frecuencia	20
	SLP	Compensación de deslizamiento	100
	tdC I	Tiempo de inyección de corriente continua en la parada	0.5
	SdC I	Intensidad de la corriente de inyección en la parada	3.3

tdC 2	2° tiempo de inyección de corriente en la parada	0.0
SdC 2	2° intensidad de corriente en la parada	2.4
JPF	Frecuencias ocultas	0.0
JF2	2° frecuencia oculta	0.0
SP2	2° velocidad preseleccionada	10.0
SP3	3° velocidad preseleccionada	15.0
SP4	4° velocidad preseleccionada	20.0
CL I	Limitación de corriente	7.2
tLS	Tiempo de funcionamiento a mínima velocidad	0.0
Ftd	Umbral de frecuencia del motor	60.0
Ttd	Umbral del estado térmico del motor	100
Ctd	Umbral de corriente del motor	4.8
SdS	Factor de escala del parámetro de visualización	30.0
SFr	Frecuencia de corte	4.0

Tabla 10. Parámetros de ajuste.

Menú	Parámetro	Descripción	Valor
drC	bFr	Frecuencia estándar del motor	60
	UnS	Tensión nominal del motor	220
	FrS	Frecuencia nominal del motor	60.0
	nCr	Corriente nominal del motor	1.7
	nSP	Velocidad nominal del motor	1680
	COS	Coseno del ángulo de desfase del motor	0.76
	rSC	Resistencia del estator en frío	no
	tUn	Autoajuste del control del motor	no
	tUS	Estado del autoajuste	tAb
	Uft	Elección del tipo de ley tensión/frecuencia	N
	Nrd	Frecuencia de corte aleatoria	YES
	SFr	Frecuencia de corte(1)	4.0
	tFr	Frecuencia máxima de salida	72.0
	SrF	Eliminación del filtro del bucle de velocidad	no
	SCS	Grabación de la configuración	no
	CFG	Configuración fuente	Std
	FCS	Retorno al ajuste de fábrica	no

Tabla 11. Parámetros de control del motor.

Menú	Parámetro	Descripción	Valor
I-O-	tCC	Tipo de control	2C
	tCt	Tipo de control 2 hilos	LEL
	rrS	Marcha atrás por entrada lógica	LI2
	CrL3	Valor para la mínima velocidad LSP en la entrada AI3	4.0
	CrH3	Valor para la máxima velocidad HSP en la entrada AI3	20.0
	AOlt	Configuración de la salida analógica	IOU
	dO	Salida analógica/lógica AOC/AOV	Ofr

r1	Relé 1	Run
r2	Relé 2	No
SCS	Grabación de la configuración	No
CFG	Configuración fuente	Std
FCS	Retorno al ajuste de fábrica	No

Tabla 12. Parámetros de Entradas/Salidas.

Menú	Parámetro	Descripción	Valor
Ctl	LAC	Nivel de acceso a las funciones	L1
	Fr1	Configuración consigna 1	AI3
	Fr2	Configuración consigna 2	No
	rFC	Comutación de consigna	Fr1
	LCC	Control a través del terminal remoto	No
	PSt	Prioridad stop	YES
	SCS	Grabación de la configuración	No
	CFG	Configuración fuente	Std
	FCS	Retorno al ajuste de fábrica	No

Tabla 13. Parámetros de Control.

Menú	Parámetro	Descripción	Valor
COM-	Add	Modbus: Dirección del variador	1
	tbr	Modbus: Velocidad de transmisión	19.2
	tFO	Formato de comunicación Modbus	8EI
	ttO	Modbus: time-out	10.0
	AdCO	CANopen: Dirección del variador	0
	bdCO	CANopen: Velocidad de transmisión	125.0
	ErCO	CANopen: Registro de errores	0
	FLO	Forzado local	No

Tabla 14. Parámetros de comunicación.

Menú	Submenú	Parámetro	Descripción	Valor
FUN-	rPC-	rPt	Tipo de rampa	Lin
		Inr	Incremento de la rampa	0.1
		ACC	Tiempo de rampa de aceleración	3.0
		dEC	Tiempo de rampa de deceleración	3.0
		rPS	Comutación de rampa	no
		FrT	Umbral de comutación de rampa	0.0
		brA	Adaptación de la rampa de deceleración	YES
	StC-	Stt	Modo de parada normal	rNP

	FSt	Parada rápida por entrada lógica	no
	dCI	Inyección de corriente continua por entrada lógica	no
	nSt	Parada en rueda libre por entrada lógica	no
AdC-			
	AdC	Inyección automática de corriente en la parada	YES
SAI-			
	SA2	Sumatorio entrada 2	AI2
	SA3	Sumatorio entrada 3	no
PSS-			
	PS2	2 velocidades preseleccionadas	LI3
	PS4	4 velocidades preseleccionadas	LI4
	PS8	8 velocidades preseleccionadas	no
	PS16	16 velocidades preseleccionadas	no
JOG-			
	JOG	Marcha paso a paso	no
PI-			
	PIF	Retorno del regulador PI	no
	SCS	Grabación de la configuración	no
	CFG	Configuración fuente	Std
	FCS	Retorno al ajuste de fábrica	no

Tabla 15. Parámetros de funciones.

2.7 Diseño del HMI.

Uno de los objetivos específicos de este proyecto es el diseño del interfaz humano máquina, lo que permitirá visualizar varias pantallas de operación y acceder directamente a las variables posición y velocidad, dispuestas en las siguientes pantallas:

- Página principal.
- Referencia de posición.
- Referencia de velocidad.
- Puesta a cero del sistema.
- Selección de polea esclavo.
- Gestión de alarmas.
- Comportamiento de la variable posición en función del tiempo.
- Información de los autores del proyecto.

2.7.1. Pantalla principal.

Esta pantalla como se puede ver en la figura 37, contiene el menú de entrada principal del HMI, lo que contempla un grupo de botones que servirán para alternar entre las diferentes pantallas según quiera el operador. Debido a que la pantalla es de característica táctil al presionar suavemente los botones se puede elegir la pantalla que se observará.



Figura 37. Pantalla principal.

2.7.2. Pantalla de sincronismo de posición

Presenta como se observa en la figura 38, el ángulo de desfase que tienen los ejes conducidos de los motores, representado en un tacómetro que incluye además un display en el que se verán los valores de desfase reales; se muestra también un botón de valor de referencia de desfase, al presionar éste botón se despliega una pantalla en la que se puede fijar el valor de referencia entre los valores de 0° y 360° , se podrá observar físicamente el desfase entre los ejes, luego de fijar un valor de referencia es necesario presionar también el botón aceptar, de lo contrario el valor no será reconocido.

Además se tienen los botones Velocidad y Alarmas, los que al ser presionados permiten desplazarse a las pantallas de sincronismo de velocidad y gestión de alarmas respectivamente.

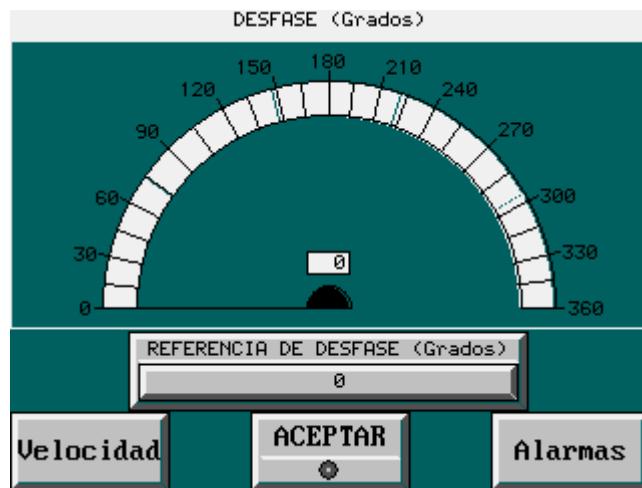


Figura 38. Pantalla de sincronismo de posición.

2.7.3. Pantalla de sincronismo de velocidad.

En esta pantalla se presenta los valores de frecuencia aplicados a los variadores de velocidad tanto del maestro como del esclavo, el botón de referencia de velocidad, permite cambiar la frecuencia aplicada al motor maestro, en valores de porcentaje, es decir que si se establece un valor de 45, esto significa que al motor se le aplica un 45% de la frecuencia total aplicable que es 27Hz, por lo que el rango de valores es desde cero hasta cien (0-100%), lo que equivale a 0-60Hz respectivamente, luego de fijar el valor de referencia de velocidad es necesario presionar el botón aceptar; además y como se observa en la figura 39, se cuenta con botones de inicio, posición y alarmas, los que permiten alternar entre las pantallas designadas con esos nombres.



Figura 39. Pantalla de sincronismo de velocidad.

2.7.4. Pantalla de puesta a cero del sistema.

Desde esta pantalla se pone a cero los ejes, es decir que al presionar el botón Encerar, los ejes conducidos, tanto maestro como esclavo, buscarán a baja velocidad el cero de encoder y al llegar a esa posición se detendrán, para que esta operación se lleve a cabo, es necesario que el operador no cambie de pantalla, hasta que se haya encerado el sistema. Además se tienen los botones de salto de pantalla como se observa en la figura 40.



Figura 40. Pantalla de puesta a cero del sistema.

2.7.5. Pantalla de arranque del sistema.

Desde esta pantalla se tiene el botón de arranque del sistema, se muestra la polea que se emplea en el eje esclavo o seguidor. También se podrá cambiar de pantalla según el requerimiento del operador.



Figura 41. Pantalla de arranque del sistema.

2.7.6. Pantalla de gestión de alarmas.

En esta pantalla se muestran eventos que no permiten al sistema su normal desenvolvimiento como son que las protecciones se abran o que el variador, ya sea del motor maestro como del motor esclavo, presente alguna falla que le ha obligado a detenerse; luego de ser corregidas las fallas, se debe presionar el botón Aceptar alarma para restablecer el sistema, si a ocurrido una falla, la pantalla será como se muestra en la figura 43. Se tiene también los botones de visualización de pantallas principal (Inicio), de sincronismo de posición (Posición) y sincronismo de velocidad (Velocidad).



Figura 42. Pantalla de gestión de alarmas en estado normal.



Figura 43. Pantalla de gestión de alarmas en fallo crítico.

Además en todas las pantallas se mostrará una señal luminosa que indique la presencia de alarma en el sistema, o de la activación del paro de emergencia.

2.7.7. Pantalla de comportamiento de la variable posición.

Dentro de esta pantalla se puede observar una gráfica en la que se presenta el comportamiento del posicionamiento en función del tiempo, y la comparación de esta variable con respecto al valor de referencia de

desfase, que también se podrá cambiar en esta pantalla, confirmando el valor con el botón aceptar después de haber seleccionado dicho valor, además se tiene un botón para regresar a la pantalla principal.

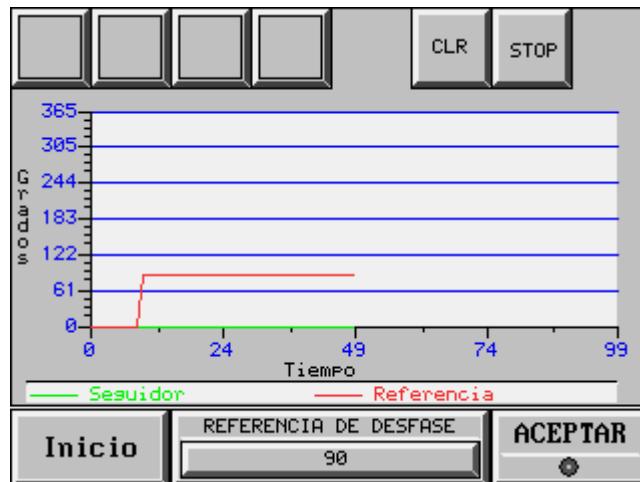


Figura 44. Pantalla de comportamiento del sistema en función del tiempo.

2.7.8. Pantalla de información de los autores.

En esta pantalla se presenta el título, así como también los nombres de los autores del proyecto de tesis de grado, y un botón para regresar a la página principal.

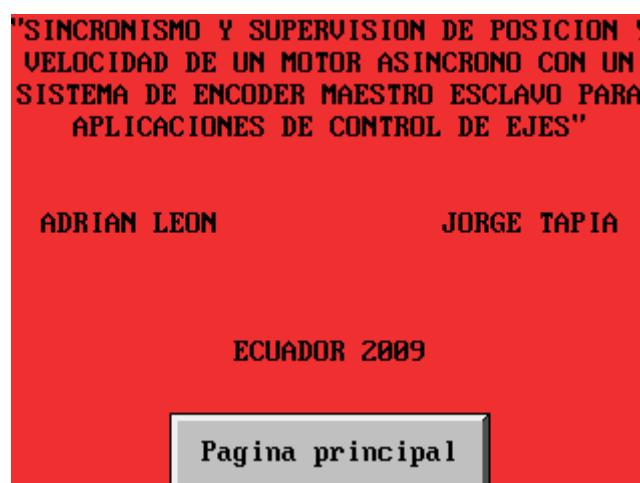


Figura 45. Pantalla de información de los autores.

CAPITULO III

RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1 Pruebas experimentales.

En el presente capítulo se pondrá en números los resultados del análisis del proyecto, de acuerdo a las variables que los autores se han propuesto controlar; en base a éstas se podrá obtener tiempos de respuesta, márgenes de error, limitaciones de velocidad, etc., Con los cuales se determinará conclusiones acerca del proyecto y en definitiva del manejo de las variables controladas, así como entregar recomendaciones para trabajos posteriores en el área de la robótica industrial.

Se presentarán algunas aplicaciones que puede prestar el presente proyecto, teniendo en cuenta que es una base para la investigación del

control de posicionamiento de motores asíncronos trifásicos, que como es conocido son los de mayor difusión y menor costo en el mercado, tanto nacional como extranjero.

Es necesario también que los futuros diseñadores de sistemas de control de posición y velocidad, conozcan que en lo que a control de movimiento se refiere existen una innumerable cantidad de elementos controladores, que exigen mayor resolución en los elementos sensores mientras más robustos son, y que además necesitan un alto grado de redundancia para realimentación, haciendo de esta forma que este tipo de control tenga costos elevados, y que cada vez existan más compañías desarrollando equipos orientados exclusivamente al control de movimiento haciendo de esto un tema extenso.

3.2 Descripción física del sistema.

El sistema consta de cuatro partes, la etapa de potencia, etapa de sensado, etapa de control, y por último la etapa de acoplamiento mecánico, cada una de estas se ve a diario en el área de diseño y montaje de control industrial automático.

- Etapa de potencia: Es todo lo que se refiere a alimentación de energía trifásica y monofásica; para el presente proyecto, se ha empleado energía trifásica de 220V entre fases, que son suministrados en primer lugar a los variadores y a través de éstos a los motores; para la alimentación eléctrica del PLC, se ha tomado la energía de una fase y del neutro del sistema eléctrico, ya que como se muestra en el capítulo anterior la alimentación que necesita este elemento es de 110VAC, las alimentaciones están dispuestas en las borneras ubicadas en el tablero, ver Anexo C: Planos eléctricos.

- Etapa de sensado: Se refiere a los encoder, que son los elementos utilizados para medir tanto velocidad como posición de los ejes motrices resultantes de los motores, éstos sensores necesitan de alimentación eléctrica de 24VDC, como se indica en el capítulo anterior, y es proporcionada por una fuente que también alimenta al panel de operación.
- Etapa de control: Esta etapa consta de todos los elementos que reciben las señales de los elementos sensores y que después de ser gestionadas por la rutina de control envían una señal coherente con dicha rutina, teniéndose de esta forma el producto final del presente proyecto, que es el control de la posición y la velocidad de un motor asíncrono trifásico en referencia a otro, además se considera dentro de esta etapa al panel de operación, debido a que a través de éste se generan los valores de referencia del sistema.
- Etapa de acoplamiento mecánico: Engloba todos los elementos acoplados a los motores tanto maestro como esclavo y el acople de los encoder; éstos elementos son: Motorreductores, poleas, chumaceras y bandas.

Después de entregar al detalle las etapas que contiene el proyecto, se presentan los datos del análisis de las pruebas realizadas.

3.3 Pruebas del sincronismo de posición angular y velocidad.

Los objetivos específicos del proyecto es el control de posición y velocidad, para este caso concreto es la posición angular del eje del motor seguidor con respecto al eje del motor maestro; existe una innumerable cantidad de aplicaciones que necesitan que la variable

posición sea controlada de una forma precisa, como se puede observar en las figuras 46 y 47²⁵, que representan aplicaciones en las que es necesario tener sincronismo entre un eje maestro y un eje seguidor, todo este sistema en base a elementos sensores aplicados en la robótica industrial, y aún más específicamente en la mecatrónica.

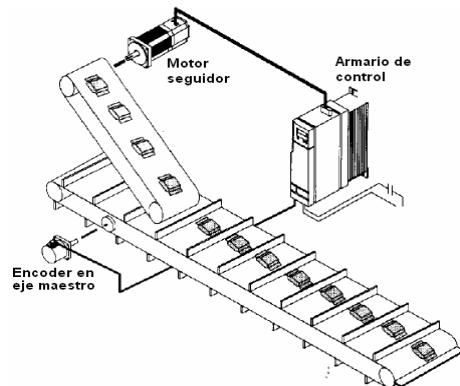


Figura 46. Alimentadores.

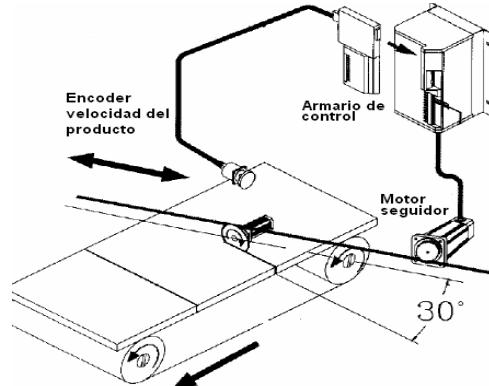


Figura 47. Sierra transversal.

Para el desarrollo del presente proyecto se buscó inicialmente que la posición del eje del motor seguidor se sincronice, es decir. sea igual tanto en posición como en velocidad al eje del motor maestro en todo momento, pero observando aplicaciones como las mostradas en las figuras 46 y 47, se buscó también controlar un ángulo de desfase entre el eje del motor seguidor con respecto al eje del motor maestro, que puede traducirse a una distancia de separación lineal; sin dejar de lado el sincronismo de velocidad que es otro de los objetivos de éste proyecto.

Por lo tanto, al tener un desfase por ejemplo de 90° entre los ejes mencionados, quiere decir que sí el eje del motor maestro está girando a 60 RPM, el eje del motor seguidor estará girando a los mismos 60 RPM pero 90° retrasado o 90° adelantado, este ejemplo se representa en la figura 48.

²⁵ EURO TECHNIQUES, "Leva Virtual", Diapositivas, 2007.

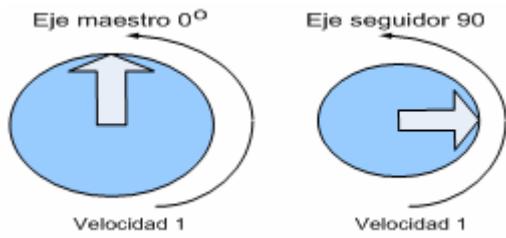


Figura 48. Representación desfase de 90°.

Para las pruebas de posición angular y velocidad, se ha establecido la necesidad de dar los datos de precisión que entrega el sistema en rangos de posición entre ejes, variando la velocidad del motor maestro, es decir, que se mantendrá un ángulo de desfase y se variará la velocidad, antes de empezar las pruebas se pone a cero el desfase entre los motores para establecer el ángulo de desfase en la marcha de los motores, haciendo de ésta forma un jog dinámico, que no es más que hacer los desplazamientos de posición del eje esclavo en relación al eje maestro durante la operación de los mismos, sin detener la marcha de los ejes.

Luego se han establecido los valores de prueba y también tomado los valores extremos, y una vez ingresados a través de la pantalla de operación se espera hasta que el sistema se estabilice para poder medir los grados de desviación de posición existente entre el eje del motor maestro y el valor de referencia de desfase del eje del motor seguidor, dando como resultado los valores mostrados en la tabla 16.

Para las pruebas de velocidad, se aumentará progresivamente la frecuencia aplicada al motor maestro, con la finalidad de comprobar qué tan preciso es el sincronismo de velocidad.

En la tabla 16, se muestran los valores de las pruebas realizadas empleando la polea de 4" en el eje maestro y la polea de 3½" en el eje seguidor, se emplean los datos de posición de 0°, 90° y 180°; mientras se va subiendo la velocidad, esto para probar la precisión del sistema en

una posición mientras la velocidad aumenta, debido a que uno de los objetivos es sincronizar la velocidad de los ejes, y sólo de éste modo se consigue el sincronismo de la posición de éstos ejes, se hace necesario por medio del programa del PLC, realizar una conversión debido que al dimensionar la polea se obtiene una velocidad mayor como se expuso en el capítulo 2 en el apartado 2.5.

Desfase (Grados)	Porcentaje de velocidad (%)	Frec. (HZ)	Velocidad calculada (RPM)	Velocidad medida (RPM)	Desviación de velocidad (%)	Desviación de posición (Grados)
0	10	6,60	8,25	8,75	0,50	± 1
	20	13,00	15,18	15,30	0,12	± 1
	30	19,60	22,89	22,31	0,58	± 1
	40	26,00	30,30	29,83	0,47	± 1
	50	32,60	37,90	36,76	1,14	± 2
	60	39,50	46,03	45,18	0,85	± 2
	70	46,10	53,70	52,39	1,31	± 4
	80	52,50	61,18	59,63	1,55	± 5
	90	59,20	68,90	66,58	2,32	± 5
	100	66,00	76,90	75,54	1,36	± 6
90	10	6,60	8,25	8,74	0,49	± 1
	20	13,00	15,18	15,32	0,14	± 1
	30	19,60	22,89	22,17	0,72	± 1
	40	26,00	30,30	29,70	0,60	± 1
	50	32,60	37,90	36,98	0,92	± 2
	60	39,50	46,03	45,11	0,92	± 2
	70	46,10	53,70	52,11	1,59	± 3
	80	52,50	61,18	59,76	1,42	± 4
	90	59,20	68,90	66,77	2,13	± 5
	100	66,00	76,90	74,30	2,60	± 5
180	10	6,60	8,25	8,79	0,54	± 1
	20	13,00	15,18	15,29	0,11	± 1
	30	19,60	22,89	22,44	0,45	± 1
	40	26,00	30,30	29,90	0,40	± 1
	50	32,60	37,90	37,25	0,65	± 2
	60	39,50	46,03	45,21	0,82	± 2
	70	46,10	53,70	52,64	1,06	± 3
	80	52,50	61,18	59,45	1,73	± 4
	90	59,20	68,90	66,40	2,50	± 4
	100	66,00	76,90	75,45	1,45	± 5

Tabla 16. Pruebas de posición y velocidad con polea de $3\frac{1}{2}$ " .

Para las pruebas realizadas, es necesario contar con un tacómetro para poder comprobar si la velocidad con la que gira el eje del motor seguidor es igual o que tanto se aparta la variable del valor de referencia

representado en el eje del motor maestro; además se debe tener en cuenta que al pedir un desfase entre los ejes maestro y esclavo, para lograr dicho valor, es lógico que la velocidad del motor esclavo disminuya o aumente por un tiempo necesario para poder lograr el desfase, también se puede observar el sincronismo de velocidad en la pantalla de operador, comparando los valores de frecuencia aplicados a los motores, cabe notar que las pruebas fueron sometidas a repetibilidad, lo que implica tomar varias muestras de los datos a lo largo del tiempo.

Una vez entregados los valores de sincronismo de posición y velocidad, se presentan los datos en los que el sistema no es estable y en que valores es inestable, para obtener las limitaciones que presenta el proyecto, y posteriormente las recomendaciones para tratar de reducir las limitaciones del proyecto, los datos son los siguientes:

- Como se observa en la tabla 16, el sistema no es tan preciso cuando se incrementa la velocidad de los motores, en cualquier valor de desfase entre los ejes de los motores.
- Cuando se emplea el cien por ciento de velocidad aplicable al motor maestro, el sistema se aleja del valor de referencia, aunque no es una desviación exagerada.

3.4 Análisis de pruebas experimentales.

Los resultados de las pruebas muestran un sistema bastante fiable a las velocidades empleadas, los datos de desviación de posición son aceptables para el movimiento continuo que realizan los motores, notándose de esa forma el jog dinámico que realiza el eje seguidor o esclavo al realizar el desfase con respecto al maestro.

Cuando se hace trabajar a los motores a frecuencias por debajo de los 30Hz, éstos se recalientan, lo que provocaría daños en los motores; de modo que los parámetros de operación básica del sistema deben ser desde el 50% de la velocidad de acuerdo a los parámetros de la tabla 16, obteniendo así una desviación en la posición de $\pm 2^\circ$ del eje esclavo con respecto al eje maestro.

Debido a que los motores tienen una carga fija y estable, que es el sistema de reducción mecánica, los valores de corriente que presentan los dos motores a cualquier frecuencia aplicada por los variadores, es siempre la corriente nominal de los motores.

3.5 Alcances y limitaciones.

Una vez realizadas las pruebas de posición y velocidad, se ha encontrado y se han expuesto los puntos en los que el sistema pierde precisión y los puntos en los que el sistema es inestable al controlar la variable posición, cambiando los valores de velocidad, y por lo tanto, al realizar las pruebas se pudo deducir cuales son las limitaciones del sistema y cuales son los elementos que provocan dichas limitantes, datos que se presentan a continuación; y posteriormente en el capítulo IV, se darán las conclusiones del proyecto y recomendaciones para poder acceder a un sistema con mayor capacidad de respuesta, éstos son los alcances y limitaciones del proyecto:

- La principal limitante del proyecto es la velocidad de adquisición de las señales de encoder, en consecuencia la velocidad angular de los ejes a los que éstos están acoplados.
- El sistema tiene un comportamiento aceptable al 100% de su velocidad, es decir a 70 RPM, resultando una desviación de hasta 6° , hay que tener en cuenta que los encoder soportan una velocidad máxima en el eje de 5000 RPM, se deduce entonces

que el elemento que provoca dicha desviación es el PLC, debido a que tiene un tiempo de barrido de programa, lo que hace que presente demoras en el control de la corrección del desfase de los ejes de los motores.

- A pesar de ser un control a lazo cerrado, el tipo de control que se emplea no es óptimo al ser comparado con dispositivos especializados en control de movimiento, los cuales emplean sus entradas específicamente para lectura de los encoder, los que aportan realimentación de posición, además de tener realimentación de corriente de los servomotores y el tiempo de corrección de la posición es bastante rápido.
- Teniendo en cuenta que el PLC se encarga no solo de gestionar las entradas rápidas de encoder, sino también la comunicación con la pantalla de interfaz y las posibles alarmas, hay que simplificar lo más que se pueda la rutina de control de desfase.
- Al operar por un tiempo extremadamente largo aplicando a los motores frecuencias menores y mayores a un rango de $\pm 25\%$ de la frecuencia nominal, éstos motores se calientan en exceso y su tiempo de vida útil disminuye.

3.6 Análisis técnico económico.

En este apartado se analizará la factibilidad técnica del proyecto contrastando con el factor económico, debido a que es un prototipo, el análisis se hará con respecto al tipo de aplicaciones que se le puedan dar, una vez aclarado el sentido del análisis, se examinará una aplicación y su factibilidad técnica de desarrollo.

Una de las aplicaciones que se le puede dar al prototipo es el que se ve en la figura 49, mostrada a continuación; en el que se requiere velocidad

tangencial idéntica entre cuchilla y material durante el corte, además de establecer y modificar las distancias de corte y mantenerlas.

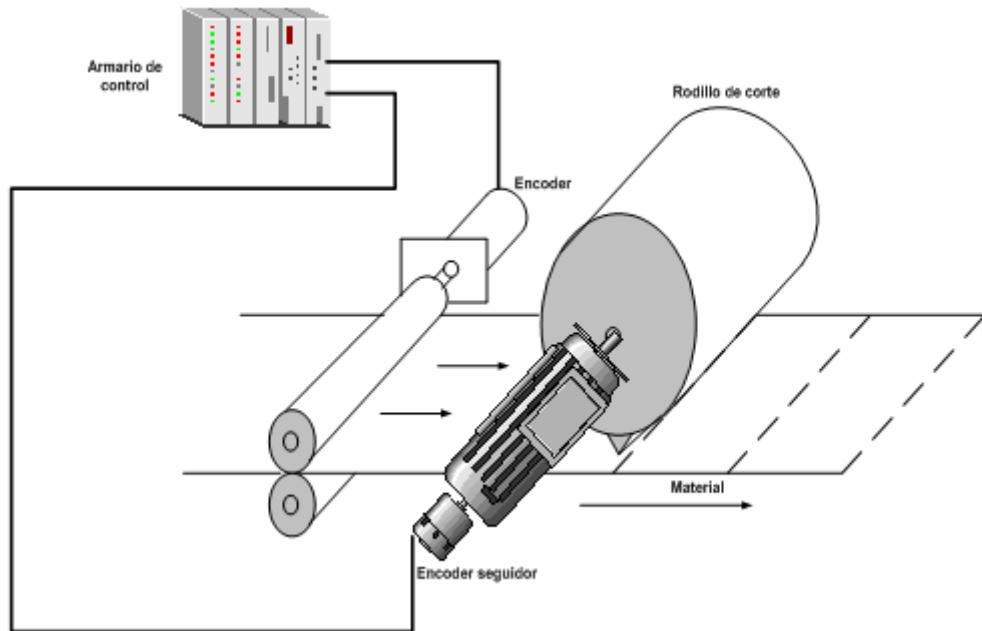


Figura 49. Aplicación de corte con distancias definidas.

Con el prototipo presentado y las adaptaciones necesarias, que son más de orden mecánicas, se puede conseguir la aplicación mostrada, debido a que para lograr los cortes a una medida predeterminada, es necesario comparar las señales de los encoder de eje maestro y esclavo, para definir la distancia de operación y troquelado, teniendo de esta forma una corrección en la velocidad de los ejes, para poder mantener la posición requerida.

Con esto se logra que la velocidad tangencial del rodillo de corte y del material sean las mismas, sin importar el diámetro del seguidor, debido a que el factor de corrección es realizando el control en velocidad del motor eléctrico a fin de mantener la relación deseada entre los referidos ejes.

Además se pueden establecer valores de distancias de corte para de esa forma definir formatos, lo que evitaría el cambio esencialmente del

rodillo de corte, ya que se puede mantener para los distintos formatos, tan solo con la selección de los formatos desde el panel de operador; también se pueden hacer modificaciones de formato durante el proceso.

Haciendo referencia a las pruebas presentadas en la tabla 17, se puede establecer la distancia de corte de la troqueladora, y el tamaño de la desviación en los cortes que podría proporcionar, esto trasladando el sistema a un movimiento lineal, lo que se explica del siguiente modo:

La distancia lineal recorrida por el eje en una vuelta completa o revolución de éste se define por:

$$\pi \times D = 3,1415 \times 10\text{cm} \quad (\textbf{Ecuación 14.})$$

$$\text{Distancia}=31,41\text{cm}$$

Donde:

D: Diámetro de la polea.

Esto indica que cuando se tenga un desfase de 0° , el producto troquelado tendrá una distancia de 31,41cm.

Debido a que la resolución de los encoder es de $360^\circ/\text{revolución}$, para conocer la distancia de error en el troquelado que generaría la desviación en el desfase, se necesita conocer la distancia que se mueve la polea por cada pulso, a través de la siguiente expresión:

$$\text{Distancia recorrida en un pulso de encoder}=\frac{31,41\text{cm}}{360\text{pulsos}} \quad (\textbf{Ecuación 15.})$$

$$\text{Distancia recorrida en un pulso de encoder}=0,087 \frac{\text{cm}}{\text{pulso}}$$

Entonces para obtener los datos de error en forma lineal, es necesario multiplicar la distancia recorrida en un pulso de encoder por los valores de desviación de posición entregados en la tabla 16, las distancias que se obtienen son las siguientes:

Desviación de posición (Grados)	milímetros por pulso de encoder	Error en milímetros
1	0,87	0,87
1		0,87
1		0,87
1		0,87
2		1,74
2		1,74
4		3,48
5		4,35
5		4,35
6		5,22

Tabla 17. Valores de error en un sistema lineal.

Tomando el valor de error mas grande que representa a la máxima velocidad del sistema, se observa que el producto troquelado tendrá una longitud de 31,93cm, esto significa que el valor de error de 5,22mm, representa al 1,66% de la longitud del producto troquelado.

Con estos antecedentes, en la tabla 18 se muestran los valores de los dispositivos y materiales empleados en la ejecución del proyecto, en la tabla 19 se presentan los valores correspondientes a mano de obra de ingeniería y montaje del proyecto, tomando en cuenta que intervienen dos personas. Para la estimación del costo de ingeniería se empleará el modelo constructivo de costes (Cocomo)²⁶ que se establece con la siguiente expresión:

$$\text{Costo(USD)}=K \cdot \text{No horas persona} \quad (\textbf{Ecuación 16.})$$

Donde:

K: Valor hora profesional en USD, estimado en 20.00 USD.

²⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/COCOMO>

Para calcular el costo de la mano de obra por montaje del proyecto, se emplea la misma expresión, pero asignando a K un valor de 3.00 USD, y una carga horaria de 30 días 8 horas diarias. Hay que tener en cuenta que el costo total del proyecto es el costo de los componentes más el costo de la mano de obra.

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo Unitario(USD)	Subtotal (USD)
1	Motor 1/2 HP 220V 3Φ	2	73,50	147,00
2	Reductor de velocidad 1/12	2	296,82	593,64
3	Polea de 2"	2	1,70	3,40
4	Polea de 4"	2	3,00	6,00
5	Bandas A20	2	2,00	4,00
6	Chumacera 3/4"	2	10,00	20,00
7	Brida	2	5,00	10,00
8	Variador Telemecanique 0.5HP	2	186,90	373,80
9	Tablero 80x60x20 cm	1	110,50	110,50
10	PLC D0-06DD2	1	273,70	273,70
11	Encoder TRD-S360BD	2	153,00	306,00
12	Módulo in/out analoga F0-4AD2DA-2	1	293,12	293,12
13	Pantalla Monocromática 4" KOYO	1	324,75	324,75
14	Guardamotor rango ajustable	2	37,53	75,06
15	Bornera	29	0,71	20,70
16	Fusiblera 10x38	2	1,32	2,64
17	Fusible 10x38	2	0,20	0,39
18	Fuente 24 VDC	1	80,00	80,00
19	Cable blindado RJ12	1	2,90	2,90
20	Cable conexión pantalla-PLC	1	4,50	4,50
Total				2.652,10

Tabla 18. Costo de los componentes.

Ítem	Descripción	K (USD)	No.horas-hombre	Subtotal (USD)
1	Ingeniería del proyecto	20,00	70,00	1.400,00
2	Montaje e instalaciones eléctricas	3,00	240,00	720,00
Total				2.120,00

Tabla 19. Costo de mano de obra del proyecto.

Entonces el costo total del proyecto es de 4.772,10 dólares americanos.

Al comparar los valores de los componentes, con valores de componentes dedicados a control de movimiento, se puede notar que este sistema es bastante económico, debido a que un drive Unidrive SP para un servomotor de 0,5 HP, del fabricante EURO TECHNIQUES, esta por sobre los 3,000 USD, incluyendo costos de envío, debido a que en el país no hay distribuidor de estos productos, si la aplicación va a ser montada con servomotor, el costo del mismo es por sobre los 1500 USD.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

- Debido a la construcción de los motores asíncronos, no se consigue una precisión del 100% en el desfase.
- La resolución de los encoder es aceptable para ésta aplicación, debido a que se manejan bajas velocidades, y además las entradas de conteo rápido del PLC, soportan velocidades de conteo de hasta 7Khz, con puntos de entrada de ancho de pulso mínimo de 100 microsegundos.

- Se implementó un sistema HMI para el control de las variables posición (desfase) y velocidad de los motores, a través de una pantalla touchscreen.
- Se automatizó el prototipo a través de un PLC y de dos variadores de frecuencia, uno para el motor maestro y otro para el motor esclavo.
- Cuando se manejan un mayor número de variables, se corre el riesgo de hacer que las líneas de programa en el PLC, sean tantas que el tiempo de barrido propio de todos los elementos mencionados, interfiera con la rutina de control, presentando así un control poco preciso en el posicionamiento.
- La implementación del proyecto, permitió conocer la configuración de entradas de alta velocidad de PLC's de varios fabricantes, pero prefiriendo el PLC empleado por su costo razonable y su facilidad en la comunicación.
- El PLC empleado, maneja una resolución de 12 bits para entradas y salidas analógicas, por ésta razón, el control de la velocidad del motor seguidor, no es tan preciso, haciendo que la desviación de posición sea mayor.
- El uso de encoders incrementales como dispositivos de sensado de posición, hace al sistema bastante confiable debido a que la adquisición de sus señales es bastante sencilla y precisa, puesto que emplea tres líneas de salida, dos de cuadratura y una de cero.
- Los componentes utilizados para el presente proyecto están disponibles en el mercado nacional, aunque los encoder necesitan de un tiempo de espera, debido a que el stock es limitado.

- Se ha optimizado la reducción mecánica reduciendo los juegos mecánicos, incrementando la resolución del sistema y manteniendo los costos razonables.
- Cuando se hace trabajar los motores trifásicos a velocidades bajas, éstos se recalientan, debido a que el ventilador posterior no genera la suficiente ventilación.
- La variable que se maneja directamente es la velocidad angular de los ejes, igualando estas velocidades, para mantener el desfase entre eje maestro y esclavo.
- No se pueden reemplazar servomotores por motores trifásicos asíncronos, por el posicionamiento exacto, lo que lo convierte en la principal razón, además de la inercia, aceleración y frenado que los primeros presentan.
- Para el control de la posición del eje esclavo con respecto al eje maestro, se utilizó el algoritmo conocido como control numérico, ya que el movimiento de los motores es continuo y éste algoritmo permite controlar el movimiento del eje seguidor, es decir, subir o bajar su velocidad dependiendo del desfase, y además permite una corrección del error bastante rápida.
- Al término del proyecto se cumplió con el objetivo principal de sincronizar los motores tanto en velocidad como en posición, además de lograr un desfase entre ellos, manteniendo la misma velocidad tangencial.

4.2 Recomendaciones.

- Antes de realizar las conexiones y posterior puesta en marcha de cualquier equipo electrónico es necesario leer los manuales para estar seguros de los parámetros que se van a manipular.
- Verificar las comunicaciones entre dispositivos de control y supervisión, además verificar la alimentación trifásica, ya que puede existir la falta de una de las fases.
- Verificar el tensado de las bandas, ya que esto podría ocasionar error en las lecturas de los encoder y por consiguiente errores en el sincronismo y en el desfase.
- Para evitar deslizamiento en las bandas, se debe utilizar poleas y bandas sincrónicas, o bien emplear sistemas con piñones.
- Emplear un sistema de PLC's maestro-esclavo, con la finalidad de tener el número de líneas de programa necesario para gestionar en el PLC maestro el sincronismo de velocidad y posición, a través de la lectura de las entradas, mientras que con el PLC esclavo gestionar todo lo referente a interfaces, fallos en el sistema y salidas tanto discretas como analógicas.
- Para tener un control más exacto en el desfase, es recomendable manejar entradas/salidas analógicas de mayor resolución, para obtener mayor corrección en la velocidad del eje esclavo.
- Para manejar velocidades más altas, es necesario emplear dispositivos con mayores etapas de realimentación, como son los servo drives, que no sólo realimentan posición, sino también corriente, y que además tienen un tiempo de corrección bastante corto.

- Para obtener un frenado exacto de los motores, eléctricamente, se recomienda el método de inyección de corriente continua o frenado dinámico, que consiste en disipar la energía cinética del sistema móvil, previo su conversión en energía eléctrica, en efecto Joule en la propia resistencia del devanado rotórico.
- Otra forma de frenado eléctrico es el frenado regenerativo, para lo que hay que mantener el estator conectado a la red, y tan pronto la velocidad del rotor exceda en un ligero porcentaje a la de sincronismo, la máquina pasa a funcionar, sin solución de continuidad, como generador, entregando a la red, la energía que el descenso de la carga mecánica supone.
- Mecánicamente, para el frenado de los motores, es recomendable la utilización del llamado motor-freno, que es similar a los frenos de zapata, o de disco de los autos, accionados por un electroimán alimentado en paralelo con el motor, de forma que cuando éste funciona, el electroimán, contrarrestando la acción de los resortes de frenado, mantiene el freno libre, y al desconectar el motor de la red y quedar el electroimán desexcitado, actúa el freno.
- Es recomendable que para el diseño y ejecución de proyectos de automatización, se sigan procedimientos que dictan las normas internacionales.
- Se sugiere realizar chequeos de los rodamientos de los motores, para evitar sobrecalentamiento, debido a sobreesfuerzo del motor.
- Debido a los avances tecnológicos, es recomendable conocer las nuevas técnicas de control de posición, esto es conocer el funcionamiento de los dispositivos destinados a este propósito.

BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES

1. CEKIT S.A., “Curso práctico de Electrónica Industrial y Automatización”, Tomo 1 y 2, Pereira-Colombia, 2002.
2. Maloney Timothy J., “Electrónica Industrial Moderna”, Tercera Edición, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., México, 1997.
3. CORRALES Luis, “Redes Industriales Digitales”, Área de Automatización e Instrumentación Industriales, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 2004.
4. FERRATER SIMÓN María Misericordia, “Control de Bajo Costo de un Motor Brushless mediante un Procesador Digital de

Señales(DSP)", Tesis de Ingeniería Industrial, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, 2005.

5. <http://www.eurotechsa.com.ar/data/download/soluciones/EJEELECTR.pdf>.
6. <http://www.eurotechsa.com.ar/data/download/soluciones/ascensores/NA1%20-%20Envolvedora%20de%20Pallets.pdf>.
7. LOBOSCO Orlando, DIAZ José Luiz, "Selección y aplicación de motores eléctricos", Tomo 1, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona-España, 1989.
8. PERAT BENAVIDES José I. "Contribución al Control de Motores de Reluctancia Autoconmutados", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, 2006.
9. Manuel Antoni, "Instrumentación Virtual: Adquisición, procesado y análisis de señales", México D.F., Alfaomega, 2002.
10. BORENSTEIN J, "Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning", University of Michigan and United States Department of Energy, 1996.
11. IEEEExplorer, <http://ieeexplore.ieee.org>
12. Automation Direct, <http://www.automationdirect.com>
13. http://es.wikipedia.org/wiki/Reductores_de_velocidad
14. <http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXIV/documentos/ro/118.pdf>
15. <http://www.hohner.es/de/increm/increm2.htm>

- 16.** http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_velocidad
- 17.** www.tecnicsuport.com/elec/taulesconsulta/vectorials
- 18.** www.varimak.com
- 19.** http://www.walter-fendt.de/m11s/human_machine_20.htm
- 20.** <http://www.ul.com/>
- 21.** <http://www2.ing.puc.cl/power/research/dixonprojects.htm>
- 22.** http://www.eurotechsa.com.ar/data/download/soluciones/cut_to_length.pdf
- 23.** http://www.urany.net/articulos/caract_controlmovimiento.htm
- 24.** <http://www.infoplcc.net/Documentacion>

ANEXOS

- | | |
|-----------------|--|
| Anexo A. | GLOSARIO DE TÉRMINOS. |
| Anexo B. | MANUAL DE OPERACIÓN. |
| Anexo C. | PLANOS ELÉCTRICOS. |
| Anexo D. | HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. |
| Anexo E. | LISTADO DEL PROGRAMA DEL PLC. |

ANEXO A.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

AC.- *Alternating Current. Corriente Alterna.*

ASCCI.- *Código estándar norteamericano para el intercambio de información.*

B

BRUSHLESS, Servomotor.- *Servomotor sin escobillas, motor con estator de imán permanente.*

C

CPU.- *Central Proccess Unit. Unidad Central de Procesamiento.*

D

DB-9.- *Conecotor de nueve pines, empleado generalmente con los standard RS-232 y RS-485.*

DC.- *Direct Current. Corriente Continua.*

DCS.- *Distribuited Control System. Sistema de Control Distribuido.*

DDE.- *Dynamic Data Exchange. Intercambio Dinámico de Datos*

DL06.-*PLC de KOYO.*

E

EEPROM.- *Electrical Erasable Programmable Read Only Memory. Memoria de Sólo Lectura Borrable y Programable Eléctricamente.*

F

FIRMWARE.- *Hibrido entre hardware y software, en el caso de PLC's y equipos industriales es el sistema operativo residente en la memoria ROM.*

FLASH Memory.- *Memoria tipo ROM, de tecnología FLASH de funciones similares a la EEPROM.*

G

GRAY, Código.- *Código es el que cada secuencia de palabra difiere por un bit del código que le precede.*

GTO.- *Gate Turn-off. Tiristor Desconectable por puerta.*

H

HARDWARE.- *Elementos físicos de un computador o PLC.*

HMI.- *Human Machine Interface. Interfaz Humano Máquina.*

I

IGBT.- *Isolated Gate Bipolar Transistor. Transistor Bipolar de Compuerta Aislada.*

L

LCD.- *Liquid Crystal Display, Display de Cristal Liquido.*

M

MODBUS.- *Interfaz de comunicación que combina señales digitales y analógicas.*

MOSFET.- *Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor. Transistor de Efecto de Campo Metal-Oxido-Semiconductor.*

N

NO.- *Contacto normalmente abierto.*

NC.- *Contacto normalmente cerrado.*

O

OP.- *Operation panel. Pantalla, Panel de Operación.*

P

PID.- *Control Proporcional Integral Derivativo.*

PIXEL.- *Punto que se visualiza en la pantalla.*

PC.- *Personal Computer. Computador Personal.*

PLC.- *Controlador Lógico Programable.*

PWM.- *Pulse Wave Modulation. Modulación de Ancho de Pulso.*

R

RAM.- *Random Access Memory. Memoria de Acceso Aleatorio.*

REACTANCIA.- *Oposición al flujo de corriente alterna.*

RELÉ.- *Componente conmutador electromecánico.*

RJ-12.- *Plug de conexión de seis pines.*

ROM.- *Read Only Memory. Memoria de Sólo Lectura.*

RPM.- *Revoluciones por minuto.*

RS-232.- *Recommended Standard 232. Interfaz de comunicación serial.*

RS-485.- *Recommendad Standard 485. Interfaz de comunicación serial.*

S

SOFTWARE.- *Programas que ejecuta un computador o PLC.*

SCADA.- *Supervisory Control And Data Acquisition. Supervisión Control y Adquisición de Datos.*

T

TRIAC.- *Tiristor de potencia, principalmente usado en aplicaciones de control de fase.*

TTL.- *Transistor-Transistor Logic. Lógica Transistor-Transistor. Método que establece niveles binarios de 0 y 1, con voltajes entre 0 y 5 VDC respectivamente.*

U

UPS.- *Uninterruptible Power Supply. Fuente de Poder Ininterrumpida.*

ANEXO B.

MANUAL DE OPERACIÓN

El sistema está compuesto de dos motores asíncronos trifásicos, dispuestos de forma paralela entre ellos, esto con la finalidad de observar el desfase entre sus ejes; para empezar a operar este sistema es necesario observar que en el panel de operación que está en la parte frontal del tablero eléctrico se visualice la pantalla principal, desde donde se puede alternar las pantallas según el requerimiento de visualización.



Figura B-1. Proyecto.



Figura B-2. Tablero eléctrico.



Figura B-3. Pantalla principal.

Para arrancar el sistema, se debe presionar el botón que lleva el nombre arranque, lo que pasará a otra pantalla en la que se observa un botón a manera de un selector, al presionar éste el sistema arrancará, para

cambiar el desfase entre los ejes, se debe presionar el botón con el nombre de posición **Posicion**, lo que cambiará la pantalla a la que se muestra a continuación.



Figura B-3. Pantalla de sincronismo de posición

Para pedir un valor de desfase, es necesario presionar el botón que lleva por nombre Referencia de desfase (grados), aparecerá una pantalla en la que se ingresará el valor de desfase requerido, luego se debe presionar el botón aceptar, para que el cambio haga efecto en el sistema.



Figura B-4. Pantalla de sincronismo de velocidad.

Para variar el parámetro de velocidad del motor maestro, se debe presionar el botón Velocidad, aparecerá una pantalla en la que se observan los valores de frecuencia aplicada a los motores maestro y esclavo, varios botones, entre los que se encuentra el botón que lleva la etiqueta de Referencia de velocidad %, al presionar éste botón, aparecerá otra pantalla, en la que se presionará el valor requerido, una vez hecho esto, es necesario presionar el botón aceptar para que el cambio surta efecto.

Hay que recordar que el panel de operador es de característica touchscreen, por lo que al momento de presionar algún botón, hay que hacerlo despacio.

En caso de presentarse alguna alarma, es necesario revisar los variadores de frecuencia, según sea el caso, puede ser el variador del motor maestro o el variador del motor esclavo, las causas de las alarmas pueden ser: Ausencia de voltaje en alguno de los variadores, falla en cualquiera de los variadores, sobre-corriente en los motores y ausencia de una de las fases de alimentación eléctrica.

Una vez controlada la fuente de la alarma, se debe presionar el botón  para restablecer el sistema y volverlo a utilizar.

ANEXO C.

PLANOS ELÉCTRICOS

4

3

2

1

D

D

C

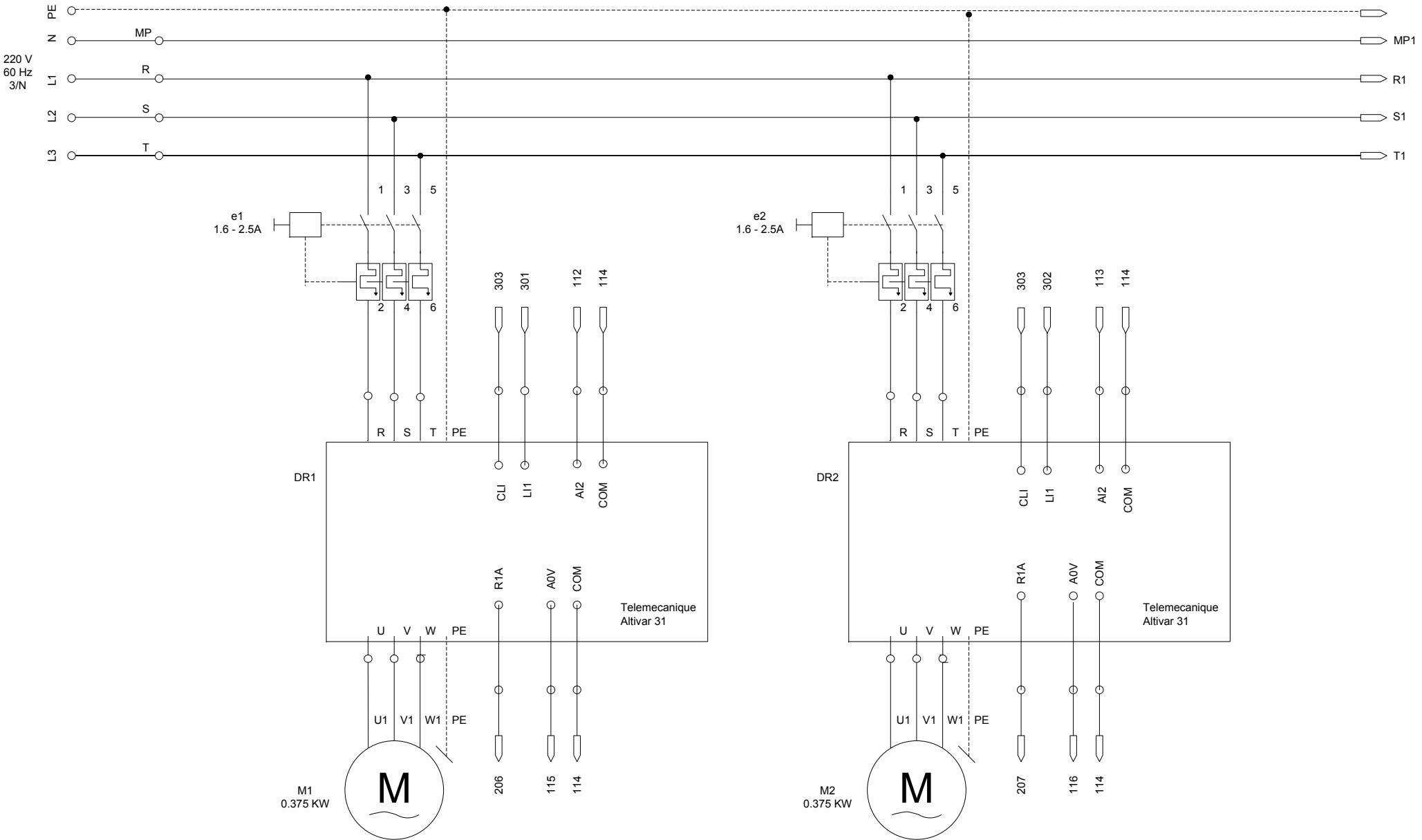
C

B

B

A

A



	Fecha	Nombre	Firmas	Titulo	Fecha: 16/02/2009	Num: 1 de 6
Dibujado	30/01/2009	Adrian León Jorge Tapia		CIRCUITO ELÉCTRICO DE POTENCIA.		
Comprobado	16/02/2009	Ing. Fausto Tapia Ing. Mario Jimenez			Archivo: Tesis.cad	

4

3

2

1

D

D

C

C

B

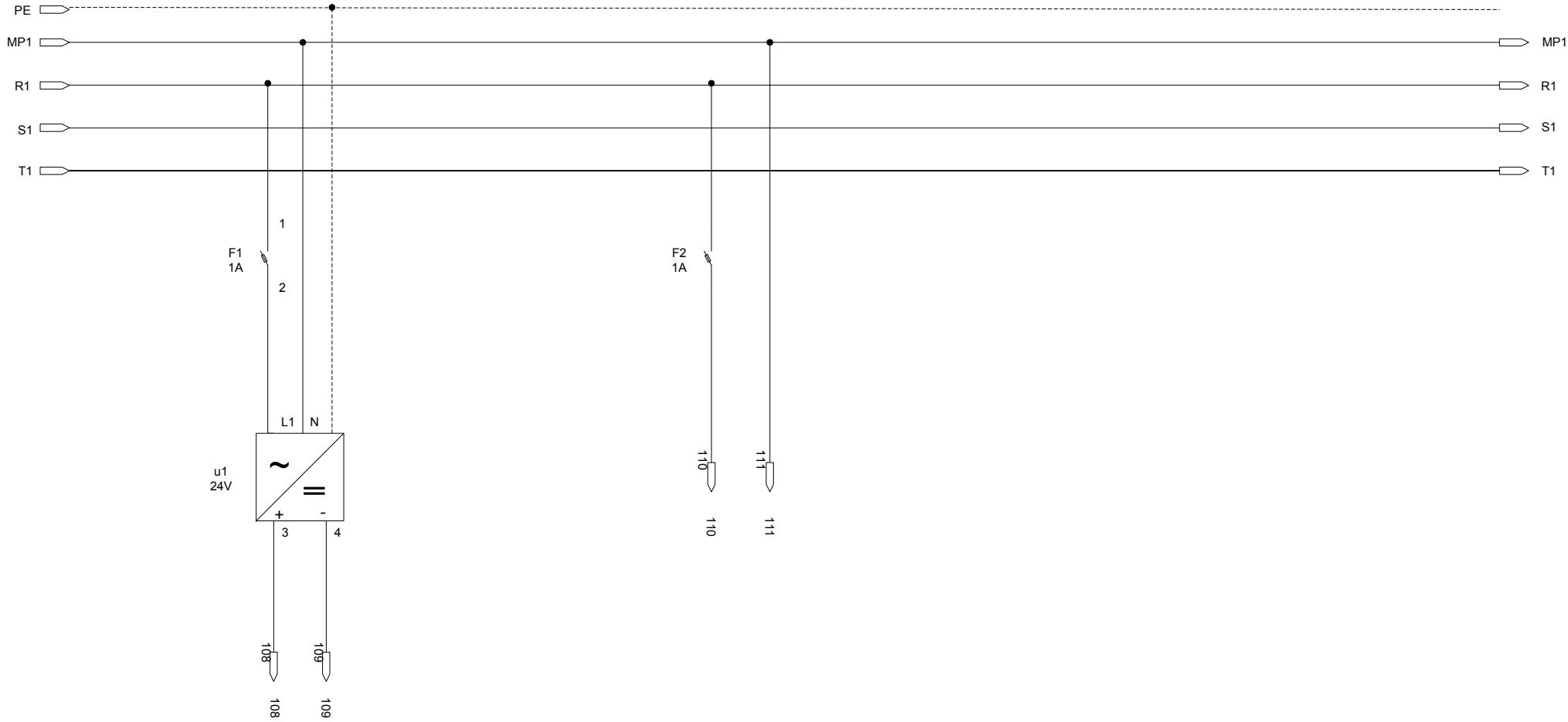
B

A

A

ALIMENTACIÓN CIRCUITOS
A 24 V

ALIMENTACIÓN AL PLC



CIRCUITO ELÉCTRICO DE POTENCIA.

	Fecha	Nombre	Firmas	Titulo	Fecha: 16/02/2009	Num: 2 de 6
Dibujado	30/01/2009	Adrian León Jorge Tapia				
Comprobado	16/02/2009	Ing. Fausto Tapia Ing. Mario Jimenez			Archivo: Tesis.cad	

4

3

2

1

D

D

C

C

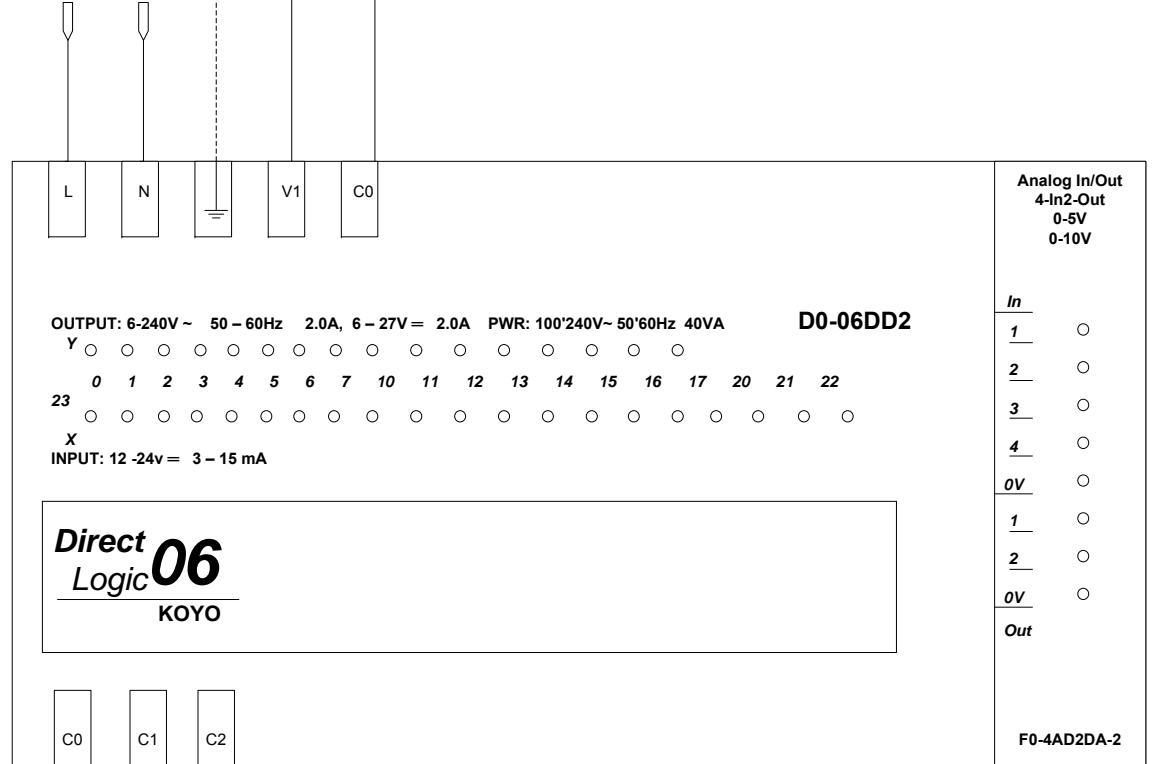
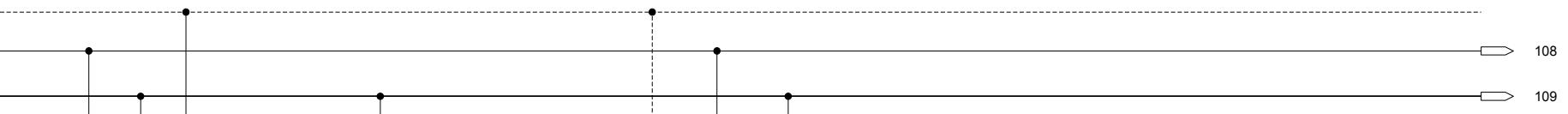
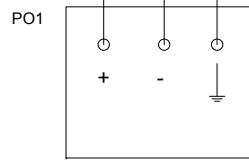
B

B

A

A

PANEL DE OPERACIÓN



	Fecha	Nombre	Firmas	Titulo	Fecha: 16/02/2009	Num: 3 de 6
Dibujado	30/01/2009	Adrian León Jorge Tapia				
Comprobado	16/02/2009	Ing. Fausto Tapia Ing. Mario Jimenez		CONFIGURACIÓN DEL PLC.	Archivo: Tesis.cad	

4

3

2

1

D

D

C

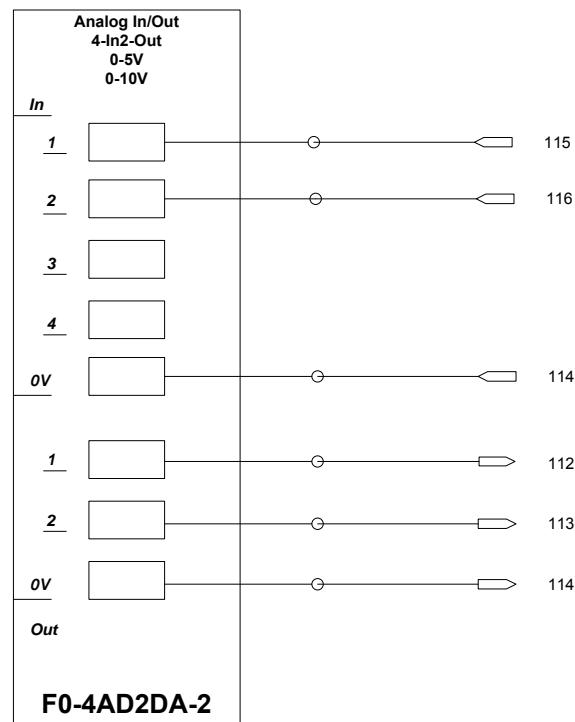
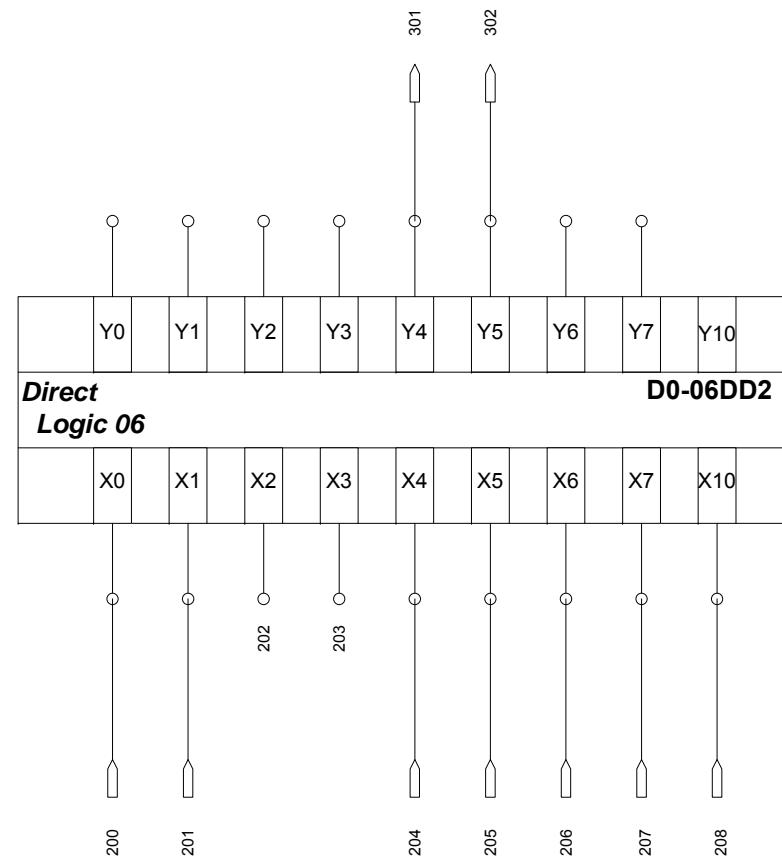
C

B

B

A

A



	Fecha	Nombre	Firmas	Titulo	CIRCUITO ELÉCTRICO DE CONTROL.	Fecha: 16/02/2009	Num: 5 de 6
Dibujado	30/01/2009	Adrian León Jorge Tapia					
Comprobado	16/02/2009	Ing. Fausto Tapia Ing. Mario Jimenez				Archivo: Tesis.cad	

4

3

2

1

4

3

2

1

D

D

C

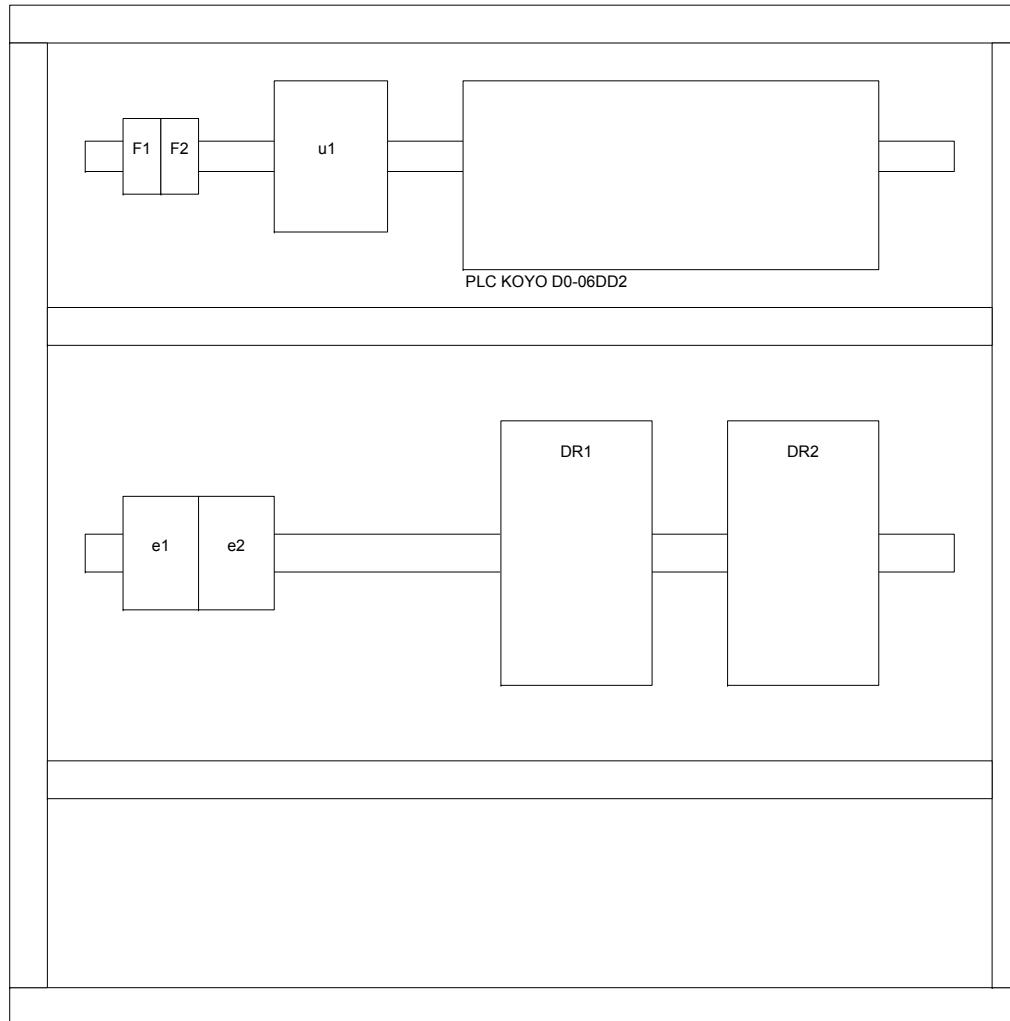
C

B

B

A

A



BORNERAS

	Fecha	Nombre	Firmas	Titulo	TABLERO ELÉCTRICO.	Fecha: 16/02/2009	Num: 6 de 6
Dibujado	30/01/2009	Adrian León Jorge Tapia					
Comprobado	16/02/2009	Ing. Fausto Tapia Ing. Mario Jimenez				Archivo: Tesis.cad	

4

3

2

1

4

3

2

1

D

D

C

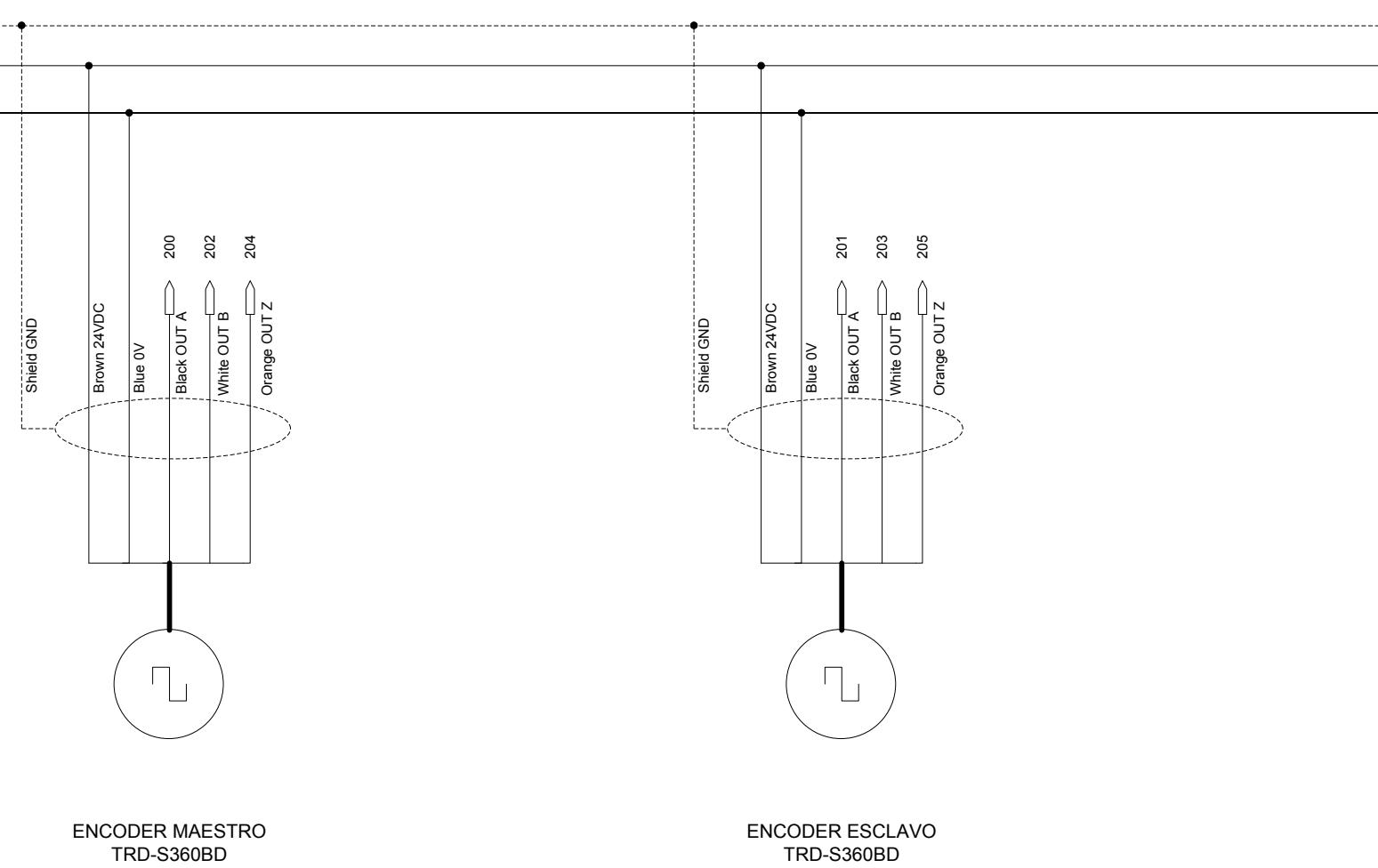
C

B

B

A

A



CONFIGURACIÓN DE ENCODERS.

	Fecha	Nombre	Firmas	Titulo
Dibujado	30/01/2009	Adrian León Jorge Tapia		CONFIGURACIÓN DE ENCODERS.
Comprobado	16/02/2009	Ing. Fausto Tapia Ing. Mario Jimenez		

Fecha: 16/02/2009

Num: 4 de 6

Archivo: Tesis.cad

ANEXO D.

HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Light Duty Incremental Encoders

Features

A light-duty encoder is a cost-effective encoder for small applications and has the following features:

- Small body with 38 mm diameter and 30 mm depth
- Dust proof (IP40 rating)
- 6 mm standard shaft or 8 mm hollow shaft
- Resolution available from 100 pulses per revolution to 2500 pulses per revolution
- Open collector or line driver output
- Up to 200 kHz response frequency
- Two-meter cable, tinned ends



Standard shaft (TRD-S) model



Hollow shaft (TRD-SH) model

Note: Yellow shaded part numbers are non-stock.
Availability may range from four to six weeks.

Light Duty Standard Shaft Incremental Encoders (NPN Open Collector and Line Driver models)						Light Duty Hollow Shaft Incremental Encoders (NPN Open Collector and Line Driver models)					
Part Number	Price	Pulses per Revolution	Input Voltage	Output	Body Diameter	Part Number	Price	Pulses per Revolution	Input Voltage	Output	Body Diameter
TRD-S100-BD	<--->	100				TRD-SH100-BD	<--->	100			
TRD-S200BD	<--->	200				TRD-SH200BD	<--->	200			
TRD-S250BD	<--->	250				TRD-SH250BD	<--->	250			
TRD-S300BD	<--->	300				TRD-SH300BD	<--->	300			
TRD-S360-BD	<--->	360				TRD-SH360-BD	<--->	360			
TRD-S400BD	<--->	400				TRD-SH400BD	<--->	400			
TRD-S500-BD	<--->	500				TRD-SH500-BD	<--->	500			
TRD-S600BD	<--->	600	12-24 VDC	NPN open collector	38mm	TRD-SH600BD	<--->	600	12-24 VDC	NPN open collector	38mm
TRD-S800BD	<--->	800				TRD-SH800BD	<--->	800			
TRD-S1000-BD	<--->	1000				TRD-SH1000-BD	<--->	1000			
TRD-S1024-BD	<--->	1024				TRD-SH1024BD	<--->	1024			
TRD-S1200BD	<--->	1200				TRD-SH1200BD	<--->	1200			
TRD-S2000BD	<--->	2000				TRD-SH2000BD	<--->	2000			
TRD-S2500-BD	<--->	2500				TRD-SH2500-BD	<--->	2500			
TRD-S100-VD	<--->	100				TRD-SH100-VD	<--->	100			
TRD-S200VD	<--->	200				TRD-SH200VD	<--->	200			
TRD-S250VD	<--->	250				TRD-SH250VD	<--->	250			
TRD-S300VD	<--->	300				TRD-SH300VD	<--->	300			
TRD-S360-VD	<--->	360				TRD-SH360-VD	<--->	360			
TRD-S400VD	<--->	400				TRD-SH400VD	<--->	400			
TRD-S500-VD	<--->	500	5VDC	Line driver (differential)	38mm	TRD-SH500-VD	<--->	500	5VDC	Line driver (differential)	38mm
TRD-S600VD	<--->	600				TRD-SH600VD	<--->	600			
TRD-S800VD	<--->	800				TRD-SH800VD	<--->	800			
TRD-S1000-VD	<--->	1000				TRD-SH1000-VD	<--->	1000			
TRD-S1024-VD	<--->	1024				TRD-SH1024VD	<--->	1024			
TRD-S1200VD	<--->	1200				TRD-SH1200VD	<--->	1200			
TRD-S2000VD	<--->	2000				TRD-SH2000VD	<--->	2000			
TRD-S2500-VD	<--->	2500				TRD-SH2500-VD	<--->	2500			

PLC Overview
DL05/06 PLC
DL105 PLC
DL205 PLC
DL305 PLC
DL405 PLC
Field I/O
Software
C-more HMI's
Other HMI
AC Drives
Motors
Steppers/Servos
Motor Controls
Proximity Sensors
Photo Sensors
Limit Switches
Encoders
Current Sensors
Pushbuttons/Lights
Process
Relays/Timers
Comm.
TB's & Wiring
Power
Circuit Protection
Enclosures
Appendix
Part Index

Light Duty Incremental Encoders

Specifications

Electrical Specifications			
Model		TRD-Sxxxx-BD TRD-SHxxxxBD (open collector)	TRD-Sxxxx-VD TRD-SHxxxxVD (line driver)
Power Supply	Operating Voltage	10.8 - 26.4VDC*	+4.75 - 5.25VDC*
	Allowable Ripple	3% max.	-
	Current Consumption	50 mA max.	
Signal Waveform		Two-phase + home position	
Max. Response Frequency		200kHz	
Duty Ratio		50 ± 25%	
Phase Difference Width		25 ± 12.5%	
Signal Width at Home Position		100 ± 50%	
Output	Rise/Fall Time		1μs max. (when cable length is 1m)
	Output Type		NPN open collector output, sinking
	Output Logic		Negative logic (active low) Negative logic (active high)
	Output Current	H	-
	Output Voltage	L	2.5 V min.
	Influx Current		0.4 V max.
	Load Power Voltage		35 VDC max.
Short-Circuit Protection		Between output and power supply	

* To be supplied by Class II source

Mechanical Specifications	
Starting Torque	Max. 0.001 Nm (.00074 ft./lbs)
Max. Allowable Shaft Load	Radial: 20N (4.5 lbs) Axial: 10N (2.25 lbs)
Max. Allowable Speed	6000 rpm (highest speed that can support the mechanical integrity of encoder)
Wire Size	AWG26
Weight	Approx. 150g (5.3 oz) with 2m cable
Environmental Specifications	
Ambient Temperature	10 to 70°C; 14 to 158°F
Storage Temperature	-25 to 85°C; -13 to 185°F
Operating Humidity	35-85% RH
Voltage Withstand	500VAC (50/60Hz) for one minute
Insulation Resistance	50MΩ min.
Vibration Resistance	Durable for one hour along three axes at 10 to 55 Hz with 0.75 amplitude
Shock Resistance	11 ms with 490 m/s ² applied three times along three axes
Protection	IP40: dust proof

Accessories

Couplings

If you selected an encoder with a solid shaft, please select a coupling that fits your encoder. All couplings are in stock, ready to ship.

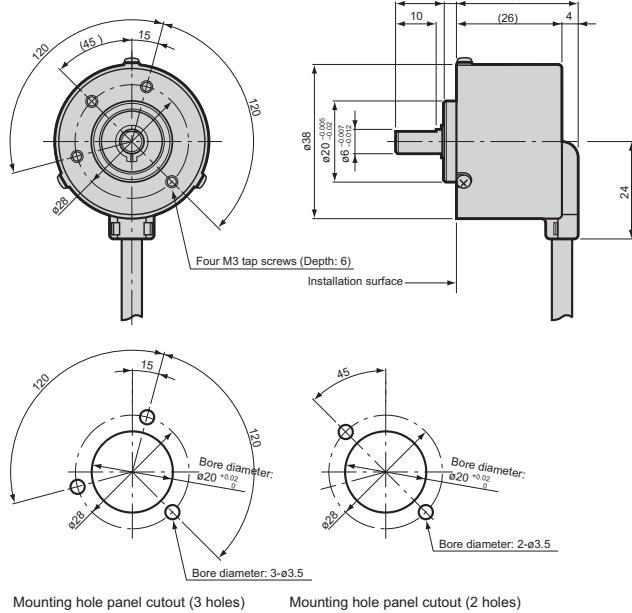
See page 20-16 for more information on couplings.

Mounting brackets are not available for light-duty encoders.

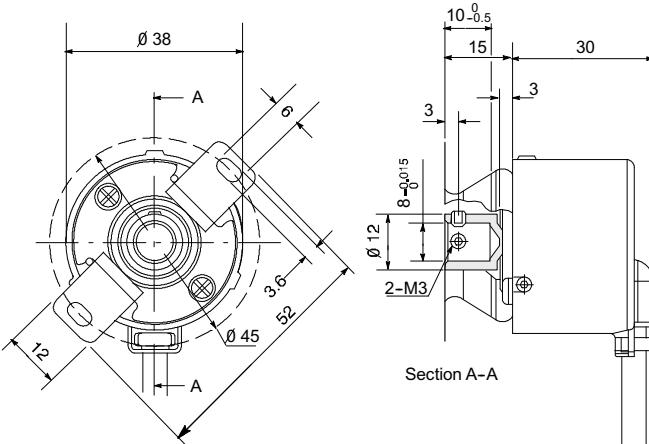
Light Duty Incremental Encoders

Dimensions

Standard shaft models



Hollow shaft models

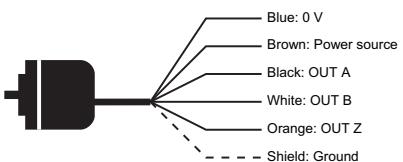


All dimensions in mm
1mm = 0.03937in

Wiring diagrams

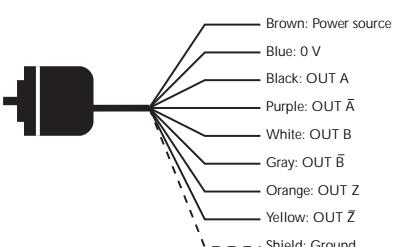
Open collector connections

Cable shield is not connected to the encoder body; enclosure is grounded through the 0V wire



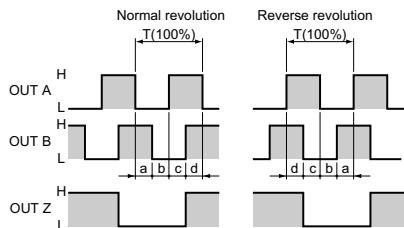
Line driver connections

Cable shield is not connected to the encoder body; enclosure is grounded through the 0V wire

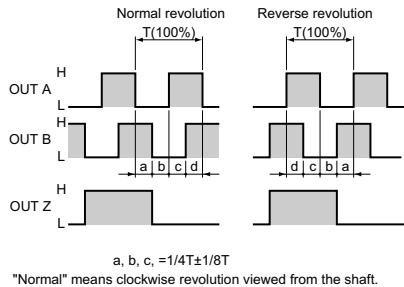


Channel timing charts

Open Collector Models



Line Driver Models



How to read the timing charts

Open Collector Models

Out A and Out B are 90 degrees out of phase. Like any quadrature encoder, four unique logic states are created internally to the encoder. This is based on the rising edge to rising edge (one cycle) on channel A or B that indicates one set of bars on the internal encoder disk has passed by the optical sensor.

OUT Z is the absolute reference added to an incremental encoder and is also known as home position. It signifies a full rotation of the encoder disk.

Line Driver Models

Channel A (OUT A and A-not) and Channel B (OUT B and B-not) are also 90 degrees out of phase on line driver encoders. OUT Z is the same as on open collector models, and is the absolute reference (home position). It signifies one full rotation of the encoder.

ANTES DE COMENZAR	51
Acerca de este documento	52
Recomendaciones preliminares	53
Precauciones	53
Configuración y ampliación de las funciones	54
Energización después de restablecer una falla manual o un comando de paro	54
Funcionamiento en un sistema conectado a tierra por impedancia	55
PUESTA EN MARCHA	56
DIMENSIONES	57
MONTAJE	59
Espacio libre	59
Desmontaje de la cubierta protectora	59
Métodos de montaje	60
Curvas de degradación	61
Velocidades mínimas del flujo de aire	62
PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LA TENSIÓN DEL BUS	63
INSTALACIÓN ELÉCTRICA	63
ALAMBRADO	66
Acceso a las terminales	66
Terminales de potencia	66
Terminales de control	68
Diagrama de alambrado de los ajustes de fábrica	70
Comutador de entrada lógica	71
PROGRAMACIÓN	72
Funciones que muestra la terminal de programación y ajustes	72
Acceso a los menús	74
Parámetro bFr	75
SEt- Menú de ajustes	75
drC- Menú de control del variador	79
I-O- Menú de asignación de E/S	83
SUP- Menú de supervisión	85
DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS	87
Visualización de fallas	87
El variador no arranca ni muestra nada en la pantalla	87

Fallas que no pueden restablecerse automáticamente	87
Fallas que se pueden restablecer con la función de rearranque automático	89
Fallas que serán restablecidas tan pronto y se elimine la falla	91

ANTES DE COMENZAR

Asegúrese de leer y seguir estas instrucciones antes de comenzar cualquier procedimiento con el variador de velocidad.

!PELIGRO

TENSIÓN PELIGROSA

- Asegúrese de leer y entender esta guía de puesta en marcha antes de instalar o hacer funcionar el variador de velocidad Altivar 31. La instalación, ajustes, reparaciones y servicios de mantenimiento deberán ser realizados por personal especializado.
- Si desea obtener más información sobre los variadores de velocidad Altivar 31, consulte el *Manual de instalación*, VVDED303041US, y el *Manual de programación*, VVDED303042US. Ambos manuales han sido incluidos en un el CD-ROM que acompaña al variador de velocidad. Estos manuales también se encuentran disponibles en el sitio web www.us.SquareD.com o con su representante de Schneider Electric.
- El usuario es responsable de cumplir con todos los requisitos de códigos correspondientes con respecto a la puesta a tierra del equipo.
- Varias piezas de este variador de velocidad, inclusive las tarjetas de circuito impresas, funcionan bajo tensión de línea. NO LAS TOQUE. Use sólo herramientas con aislamiento eléctrico.
- NO toque los componentes sin blindaje ni las conexiones de tornillo de las regletas de conexión cuando haya tensión.
- NO haga un puente sobre las terminales PA y PC o sobre los capacitores de ____ (c.d.).
- Instale y cierre todas las cubiertas antes de aplicar corriente eléctrica o de arrancar y detener el variador de velocidad.
- Antes de prestar servicio de mantenimiento al variador de velocidad:
 - Desconecte toda la alimentación.
 - Coloque la etiqueta “NO ENERGIZAR” en el desconectador del variador de velocidad.
 - Bloquee el desconectador en la posición de abierto.
- Desconecte toda la alimentación incluyendo la alimentación de control externa que pudiese estar presente antes de prestar servicio al variador de velocidad. ESPERE 3 MINUTOS hasta que se descarguen los capacitores del bus de ____ (c.d.). Luego, siga el procedimiento de medición de la tensión del bus de ____ (c.d.), en la página 63, para verificar que la tensión de ____ (c.d.) sea menor que 45 V ____ (c.d.). Los LED del variador de velocidad no son indicadores exactos de la falta de tensión en el bus de ____ (c.d.).

Una descarga eléctrica podrá causar la muerte o lesiones serias.

▲ PRECAUCIÓN

EQUIPO DAÑADO

No haga funcionar o instale un variador de velocidad que parezca estar dañado.

El incumplimiento de esta instrucción puede causar lesiones o daño al equipo.

Acerca de este documento

Esta guía de puesta en marcha describe los pasos mínimos necesarios para poner en servicio un variador de velocidad Altivar 31 (ATV31). El CD-ROM incluido con el variador de velocidad contiene la siguiente documentación adicional:

- *Manual de instalación de los variadores de velocidad Altivar 31 ,*
VVDED303041US
- *Manual de programación de los variadores de velocidad Altivar 31 ,*
VVDED303042US

Las operaciones, parámetros y fallas descritas en esta guía asumen la configuración de fábrica en los menús CtL-, FUn-, FLt- y CON-. Es posible que el variador de velocidad se comporte de manera diferente si se realizan modificaciones a los ajustes de fábrica en estos menús.

Consulte el *Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31* para obtener información completa sobre la programación y los menús CtL-, FUn-, FLt- y CON-. Consulte el *Manual de instalación de los variadores de velocidad ATV31* para obtener instrucciones completas sobre la instalación.

NOTA: A través de esta guía, aparecerá un guión después del código de menú para diferenciarlos de los códigos de parámetros. Por ejemplo, SEt- es un menú, pero ACC es un parámetro.

RECOMENDACIONES PRELIMINARES

Precauciones

Antes de energizar y configurar el variador de velocidad, asegúrese de leer este manual y de seguir todas las precauciones.

PRECAUCIÓN

TENSIÓN DE LÍNEA INCOMPATIBLE

Antes de energizar y configurar el variador de velocidad, asegúrese de que la tensión de línea sea compatible con la gama de tensión de alimentación del variador de velocidad. Es posible que se dañe el variador de velocidad si la tensión de línea no es compatible.

El incumplimiento de esta instrucción puede causar daño al equipo.

! PELIGRO

FUNCIONAMIENTO ACCIDENTAL DEL EQUIPO

- Antes de energizar y configurar el variador de velocidad, asegúrese de que las entradas lógicas estén apagadas (estado 0) para evitar un arranque accidental.
- Una entrada asignada al comando de marcha puede causar el arranque inmediato del motor al salir de los menús de configuración.

El incumplimiento de estas instrucciones podrá causar la muerte o lesiones serias.

Configuración y ampliación de las funciones

APELIGRO

FUNCIONAMIENTO ACCIDENTAL DEL EQUIPO

- Asegúrese de que las modificaciones de los ajustes actuales de funcionamiento no presenten ningún riesgo.
- Se recomienda que las modificaciones a los ajustes actuales de funcionamiento se realicen con el variador de velocidad parado.

El incumplimiento de estas instrucciones podrá causar la muerte o lesiones serias.

Esta guía de arranque trata sobre los siguientes menús:

- SEt- Menú de ajustes (página 75)
- drC- Menú de control del variador (página 79)
- I-O- Menú de asignación de E/S (página 83)
- SUP- Menú de supervisión (página 85)

En caso de ser necesario, utilice la terminal de programación y ajustes para modificar las configuraciones y ampliar las funciones del variador. Siempre es posible **regresar a los ajustes de fábrica** configurando el parámetro FCS en “InI” en el menú drC-. Consulte la página 82.

Energización después de restablecer una falla manual o un comando de paro

Con la configuración de fábrica, al energizar el variador de velocidad después de restablecer manualmente una falla o un comando de paro, deberá restablecer los comandos de marcha adelante y marcha atrás para poner en marcha el variador. Si no se han reiniciado estos comandos el variador mostrará el mensaje “nSt” y no arrancará.

Prueba con un motor de baja potencia o sin un motor

Con la configuración de fábrica, la detección de pérdida de fase del motor está activa. Para verificar un variador de velocidad durante una prueba o en un entorno de mantenimiento, sin tener que cambiar a un motor con la misma capacidad nominal que el variador, desactive la función de detección de pérdida de fase del motor y configure en L la relación de tensión / frecuencia (UfT); o sea el par constante (consulte la página 81). Consulte el *Manual de programación de los variadores ATV31* para obtener más información.

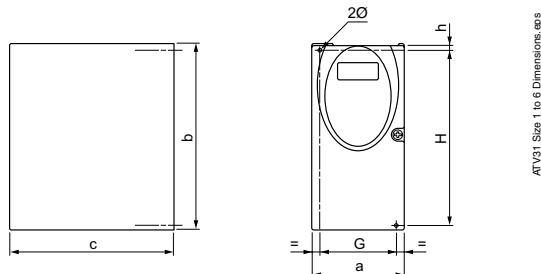
Funcionamiento en un sistema conectado a tierra por impedancia

Si usa el variador en un sistema con un neutro aislado o conectado a tierra por impedancia, utilice un monitor de aislamiento permanente que sea compatible con cargas no lineales.

Los variadores de velocidad ATV31••M2 y N4 incluyen filtros de interferencia a la radio frecuencia (RFI) con sus capacitores conectados a tierra. Estos filtros pueden ser desconectados de tierra si se usa el variador en un sistema conectado a tierra por impedancia para aumentar la vida útil de funcionamiento de los capacitores. Consulte el *Manual de instalación de los variadores de velocidad ATV31* para obtener más información.

PUESTA EN MARCHA

1. Monte el variador (páginas 59–62).
2. Realice las siguientes conexiones al variador de velocidad (páginas 63–70).
 - Conecte los conductores de puesta a tierra.
 - Conecte la alimentación de línea. Asegúrese de que esté dentro de la gama de tensión del variador de velocidad.
 - Conecte el motor. Asegúrese de que su valor nominal corresponda con la tensión del variador.
3. Energice el variador, pero no dé un comando de marcha.
4. Configure los siguientes parámetros en el menú SEt- (páginas 75–78).
 - bFr (frecuencia nominal del motor), si es diferente a 50 Hz., bFr se muestra por la primera vez que se energiza el variador en la terminal de programación y ajustes. Se puede acceder a esta función, en cualquier momento, a través del menú drC- (consulte la página 79).
 - ACC (aceleración) y dEC (desaceleración)
 - LSP (baja velocidad cuando la referencia es cero) y HSP (alta velocidad cuando la referencia está en su valor máximo)
 - lTH (protección térmica del motor)
 - SP2, SP3, SP4 (velocidades preseleccionadas 2, 3 y 4)
5. Si la configuración de fábrica no es adecuada para la aplicación, configure los parámetros y asignaciones de E/S en los menús drC- (página 79) y I-O- (página 83).
6. Desenergice el variador de velocidad, siguiendo el procedimiento de medición de la tensión del bus en la página 63, y luego conecte los cables de control a las entradas lógicas y analógicas.
7. Energice el variador, luego emita un comando de marcha a través de una entrada lógica (consulte la página 70).
8. Ajuste la referencia de velocidad.

DIMENSIONES**Tabla 1: Tamaños de marco 1 a 6**

ATV31***** ^[1]	Tamaño de marco	a mm (pulg)	b mm (pulg)	c ^[2] mm (pulg)	G ^[3] mm (pulg)	h mm (pulg)	H ^[3] mm (pulg)	Ø mm (pulg)	Peso kg (lbs.)
H018M3X, H037M3X	1	72 (2,83)	145 (5,71)	120 (4,72)	60 (2,36)	5 (0,20)	121,5 (4,78)	2 x 5 (0,20)	0,9 (1,99)
H055M3X, H075M3X	2	72 (2,83)	145 (5,71)	130 (5,12)	60 (2,36)	5 (0,20)	121,5 (4,78)	2 x 5 (0,20)	0,9 (1,99)
H018M2, H037M2	3	72 (2,83)	145 (5,71)	130 (5,12)	60 (2,36)	5 (0,20)	121,5 (4,78)	2 x 5 (0,20)	1,05 (2,32)
H055M2, H075M2	4	72 (2,83)	145 (5,71)	140 (5,51)	60 (2,36)	5 (0,20)	121,5 (4,78)	2 x 5 (0,20)	1,05 (2,32)
HU11M3X, HU15M3X	5	105 (4,13)	143 (5,63)	130 (5,12)	93 (3,66)	5 (0,20)	121,5 (4,78)	2 x 5 (0,20)	1,25 (2,76)
HU11M2, HU15M2, HU22M3X, H037N4, H055N4, H075N4, HU11N4,HU15N4, H075S6X, HU15S6X	6	105 (4,13)	143 (5,63)	150 (5,91)	93 (3,66)	5 (0,20)	121,5 (4,78)	2 x 5 (0,20)	1,35 (2,92)

- [1] A través de esta guía, el símbolo “*” en un número de catálogo indica la parte del número que varía según el tamaño o capacidad nominal del variador.
- [2] En los variadores con un potenciómetro y botón de Arranque/Paro, agregue 8 mm (0,31 pulg) para el potenciómetro.
- [3] Los valores de esta medida son ± 1 mm (0,04 pulg).

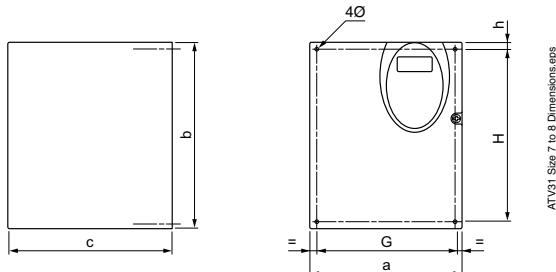


Tabla 2: Tamaños de marco 7 a 9

ATV31***** ^[1]	Tamaño de marco	a mm (pulg)	b mm (pulg)	c ^[2] mm (pulg)	G ^[3] mm (pulg)	h mm (pulg)	H ^[3] mm (pulg)	Ø mm (pulg)	Peso kg (lbs.)
HU22M2, HU30M3X, HU40M3X, HU22N4, HU30N4, HU40N4, HU22S6X, HU40S6X	7	140 (5,51)	184 (7,24)	150 (5,91)	126 (4,96)	6,5 (0,26)	157 (6,18)	4 x 5 (0,20)	2,35 (5,19)
HU55M3X, HU75M3X, HU85N4, HU75N4, HU55S6X, HU75S6X	8	180 (7,09)	232 (9,13)	170 (6,69)	160 (6,30)	5 (0,20)	210 (8,27)	4 x 5 (0,20)	4,70 (10,39)
HD11M3X, HD15M3X, HD11N4, HD15N4, HD11S6X, HD15S6X	9	245 (9,65)	330 (13,0)	190 (7,48)	225 (8,86)	7 (1,93)	295 (11,61)	4 x 6 (0,24)	9,0 (19,89)

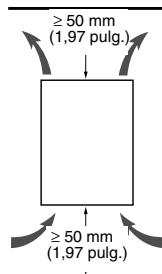
[1] A través de esta guía, el símbolo "*" en un número de catálogo indica la parte del número que varía según el tamaño o capacidad nominal del variador.

[2] En los variadores con un potenciómetro y botón de Arranque/Paro, agregue 8 mm (0,31 pulg) para el potenciómetro.

[3] Los valores de esta medida son ± 1 mm (0,04 pulg).

MONTAJE

Espacio libre



Instale el variador verticalmente, $\pm 10^\circ$.

No coloque el variador cerca de fuentes de calor.

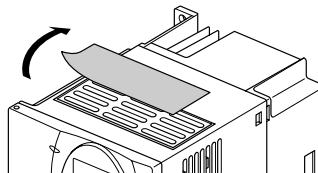
Deje espacio libre suficiente alrededor del variador para garantizar la circulación del aire desde abajo hasta arriba de la unidad.

Deje un espacio libre mínimo de 10 mm (0,4 pulg) en el frente del variador.

ATV31 Clearances.eps

Desmontaje de la cubierta protectora

Cuando la protección IP20 es adecuada, retire la cubierta protectora de la parte superior del variador de velocidad como se muestra en el dibujo a continuación. Consulte las páginas 60 a 18 para determinar el tipo de montaje apropiado para su aplicación antes de retirar la cubierta protectora del variador.



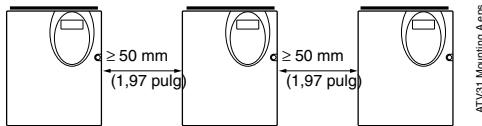
Ejemplo: ATV31HU11M3X

ATV31 Protective Cover.eps

Métodos de montaje

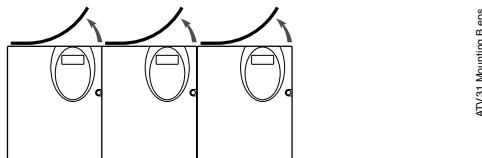
Montaje tipo A

Espacio libre ≥ 50 mm (1,97 pulg) en cada lado, con la cubierta protectora en su lugar.



Montaje tipo B

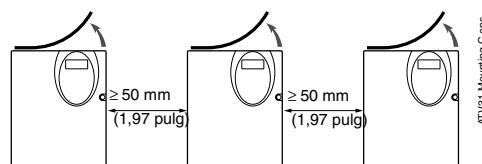
Variadores de velocidad montados uno al lado del otro, con la cubierta protectora desmontada (grado de protección IP20).



ATV31 Mounting B.eps

Montaje tipo C

Espacio libre ≥ 50 mm (1,97 pulg) en cada lado, con la cubierta protectora desmontada (grado de protección IP20).

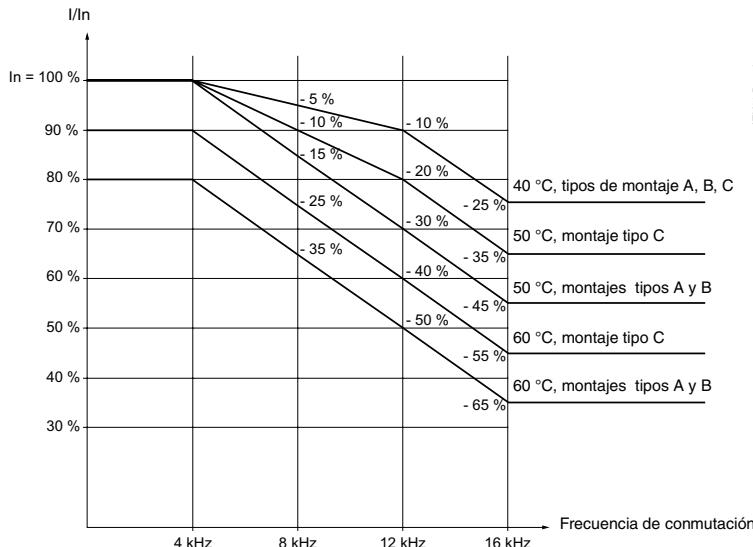


ATV31 Mounting C.eps

Curvas de degradación

La siguiente figura ilustra las curvas de degradación de la corriente (I_n) del variador como una función de la temperatura, de la frecuencia de conmutación y del tipo de montaje. Para las temperaturas intermedias, por ejemplo 55 °C, interpole entre dos curvas.

Los variadores de velocidad ATV31 pueden utilizarse en altitudes de hasta un máximo de 1 000 m (3 300 pies) sin degradación. Degradación del 1% por cada 100 m (330 pies) (adicionales).



Velocidades mínimas del flujo de aire

Si va a instalar el variador en un gabinete, suministre un flujo de aire por lo menos igual al valor que figura en la tabla 3.

Tabla 3: Velocidades mínimas del flujo de aire

ATV31..... ^[1]	Velocidad del flujo de aire	
	m ³ /hora	CFM
H018M2, H037M2, H055M2 H018M3X, H037M3X, H055M3X, H037N4, H055N4, H075N4, HU11N4 H075S6X, HU15S6X	18	10,6
H075M2, HU11M2, HU15M2 H075M3X, HU11M3X, HU15M3X HU15N4, HU22N4 HU22S6X, HU40S6X	33	19,4
HU22M2, HU22M3X, HU30M3X, HU40M3X HU30N4, HU40N4 HU55S6X, HU75S6X	93	54,8
HU55M3X HU55N4, HU75N4, HD11S6X	102	60,1
HU75M3X, HD11M3X, HD11N4, HD15N4, HD15S6X	168	99,0
HD15M3X	216	127,2

[1] A través de esta guía, el símbolo “•” en un número de catálogo indica la parte del número que varía según el tamaño o capacidad nominal del variador.

PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LA TENSIÓN DEL BUS

! PELIGRO

TENSIÓN PELIGROSA

Asegúrese de leer y comprender las precauciones descritas en la página 51 antes de realizar este procedimiento.

El incumplimiento de esta instrucción podrá causar la muerte o lesiones serias.

La tensión del bus puede exceder 1 000 V ___ (c.d.). Utilice equipo de medición apropiado al realizar este procedimiento. Para medir la tensión de los capacitores del bus:

1. Desenergice el variador de velocidad.
2. Espere 3 minutos hasta que se descargue el bus de ___ (c.d.).
3. Mida la tensión del bus de ___ (c.d.) entre las terminales PA (+) y PC (-); asegúrese de que la tensión sea menor que 45 V ___ (c.d.). Consulte el *Manual de instalación de los variadores de velocidad ATV31* para conocer la ubicación de las terminales de potencia. **Es posible que lleve hasta 15 minutos para que se descarguen los capacitores del bus de ___ (c.d.).**
4. Si no están completamente descargados los capacitores del bus, póngase en contacto con su representante local de Schneider Electric. No realice servicios de mantenimiento ni haga funcionar el variador de velocidad.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Asegúrese de que la instalación eléctrica del variador de velocidad cumpla con los requisitos de los códigos nacionales y locales correspondientes.

- Asegúrese de que la tensión y frecuencia de la línea de alimentación entrante y que la tensión, frecuencia y corriente del motor correspondan al valor nominal especificado en la placa de datos del variador.

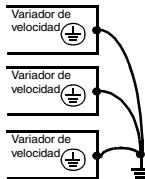
! PELIGRO

TENSIÓN PELIGROSA

Realice la conexión a tierra del equipo utilizando el punto de conexión a tierra provisto, tal como se muestra en la figura. El panel del variador de velocidad deberá estar correctamente conectado a tierra antes de energizarse.

Una descarga eléctrica podrá causar la muerte o lesiones serias.

- Asegúrese de que la resistencia a tierra sea de 1 ohm o menor. Conecte múltiples variadores a tierra como se muestra a la derecha. No instale los conductores de tierra en bucle ni los conecte en serie.
- Proporcione protección contra sobrecorrientes. Para alcanzar la corriente nominal de cortocircuito especificada en la placa de datos del variador de velocidad, instale los fusibles de corriente eléctrica recomendados.



! ADVERTENCIA

PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES INADECUADA

- Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes deberán estar correctamente coordinados.
- El Código nacional eléctrico de EUA (NEC) o NOM-001-SEDE requiere la protección del circuito derivado. Utilice los fusibles recomendados en la placa de datos del variador para alcanzar las corrientes nominales de cortocircuito publicadas.
- No conecte el variador de velocidad a los alimentadores de corriente eléctrica cuya capacidad de cortocircuito exceda la corriente nominal de cortocircuito del variador que figura en la placa de datos.

El incumplimiento de estas instrucciones puede causar la muerte, lesiones serias o daño al equipo.

- No utilice cables impregnados con minerales. Seleccione los cables del motor con una capacitancia baja de fase a fase y fase a tierra.
- Los cables del motor deberán ser de por lo menos 0,5 m (20 pulg) de largo.
- No tienda los cables de control, de la corriente eléctrica ni del motor, en el mismo tubo conduit. No tienda los cables del motor de diferentes variadores de velocidad en el mismo tubo conduit. Separe el tubo conduit metálico que lleva los cables de la alimentación del tubo conduit metálico que lleva los cables de control, por lo menos 8 cm (3 pulg). Separe los tubos conduit no metálicos o las charolas de cables que llevan los cables de alimentación, del tubo conduit metálico que lleva los cables de control, por lo menos 31 cm (12 pulg). Cruce siempre los cables de la alimentación y de control en ángulo recto.

A ADVERTENCIA

CONEXIONES INCORRECTAS DE LOS CABLES

- El variador de velocidad se dañará si se aplica una tensión de línea de entrada a las terminales de salida (U, V, W).
- Revise las conexiones de la alimentación antes de energizar el variador.
- Si va a sustituir otro variador de velocidad, verifique que todas las conexiones de los cables al variador ATV31 cumplan con las instrucciones de alambrado detalladas en este manual.

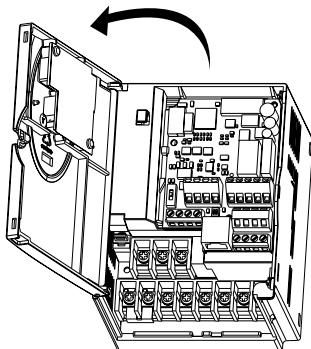
**El incumplimiento de estas instrucciones puede causar la muerte,
lesiones serias o daño al equipo.**

- No sumerja los cables del motor en el agua.
- No utilice apartarrayos ni capacitores para corrección del factor de potencia en la salida del variador de velocidad.
- Instale todos los circuitos inductivos cerca del variador (tales como relés, contactores y válvulas solenoides) con supresores de ruido eléctrico o conéctelos a un circuito separado.

ALAMBRADO

Acceso a las terminales

Para obtener acceso a las terminales, abra la cubierta como se muestra en la figura.



Ejemplo ATV31HU11M2

ATV31_Terminals.eps

ESPAÑOL

Terminales de potencia

Conecte las terminales de potencia antes de conectar las terminales de control.

Tabla 4: Características de las terminales de potencia

ATV31.....[¹]	Capacidad máxima de conexión		Par de apriete en N·m (lbs-pulg)
	AWG	mm ²	
H018M2, H037M2, H055M2, H075M2, H018M3X, H037M3X, H055M3X, H075M3X, HU11M3X, HU15M3X	14	2.5	0,8 (7,08)
HU11M2, HU15M2, HU22M2, HU22M3X, HU30M3X, HU40M3X, H037N4, H055N4, H075N4, HU11N4, HU15N4, HU22N4, HU30N4, HU40N4, H075S6X, HU15S6X, HU22S6X, HU40S6X	10	5	1,2 (10,62)

Tabla 4: Características de las terminales de potencia (continuación)

ATV31*****[1]	Capacidad máxima de conexión		Par de apriete en N·m (lbs-pulg)
	AWG	mm ²	
HU55M3X, HU75M3X, HU55N4, HU75N4, HU55S6X, HU75S6X	6	16	2,2 (19,47)
HD11M3X, HD15M3X, HD11N4, HD15N4, HD11S6X, HD15S6X	3	25	4 (35,40)

[1] A través de esta guía, el símbolo “*” en un número de catálogo indica la parte del número que varía según el tamaño o capacidad nominal del variador.

Tabla 5: Funciones de las terminales de potencia

Terminal	Función	En los variadores de velocidad ATV31
±	Terminal de tierra	Todos los valores nominales
R/L1 S/L2		ATV31***M2 ^[1]
R/L1 S/L2 T/L3	Fuente de alimentación	ATV31***M3X ^[1] ATV31***N4 ^[1] ATV31***S6X ^[1]
PO	Bus de ___ (c.d.) + polaridad	Todos los valores nominales
PA/+	Salida a la resistencia de frenado (+ polaridad)	Todos los valores nominales
PB	Salida a la resistencia de frenado	Todos los valores nominales
PC/-	Bus de ___ (c.d.) - polaridad	Todos los valores nominales
U/T1 V/T2 W/T3	Salidas al motor	Todos los valores nominales

[1] A través de esta guía, el símbolo “*” en un número de catálogo indica la parte del número que varía según el tamaño o capacidad nominal del variador.

NOTA: Nunca retire la conexión común entre PO y PA/+.

Terminales de control

Tabla 6: Características de las terminales de control

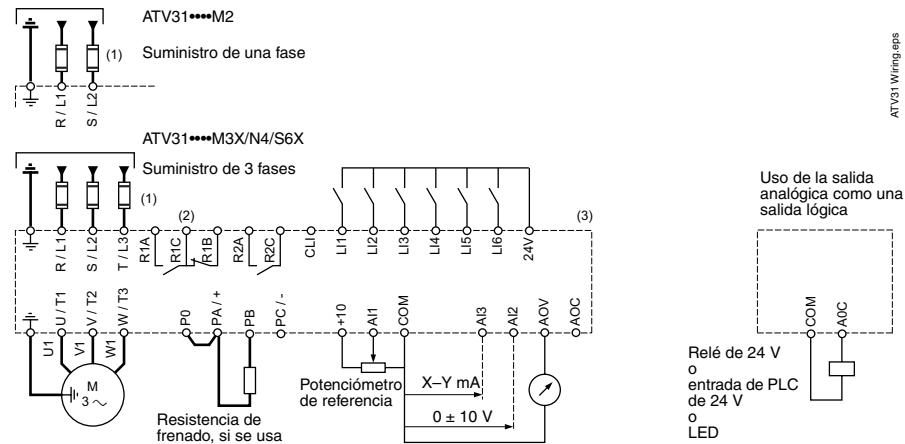
Terminal	Función	Especificaciones eléctricas
R1A R1B R1C	R1A es un contacto N.A. R1B es un contacto N.C. R1C es común. R1 es un relé programable, ajustado de fábrica como un relé de falla. Como relé de falla, R1A está cerrado y R1B está abierto cuando el variador de velocidad se energiza sin una falla.	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad de conmutación mínima: 10 mA para 5 V --- Capacidad máxima de conmutación en una carga resistiva (factor de potencia = 1 y constante de tiempo $L/R = 0 \text{ ms}$): 5 A para 250 V ~ y 30 V --- Capacidad máxima de conmutación en una carga inductiva (factor de potencia = 0,4 y constante de tiempo $L/R = 7 \text{ ms}$): 1,5 A para 250 V ~ y 30 V --- Tiempo de muestreo: 8 ms Vida útil: 100 000 operaciones en la potencia máxima de conmutación de 1 000 000 operaciones en la potencia mínima de conmutación
R2A R2C	Contacto N.A. del relé programable R2	0 V
COM	Común, E/S analógicas	
AI1	Entrada analógica de tensión	Entrada analógica 0 a +10 V (la tensión máx. de seguridad es 30 V) <ul style="list-style-type: none"> Impedancia: 30 kΩ Resolución: 0,01 V, convertidor de 10 bits Precisión: ± 4,3% del valor máx. Linealidad: ± 0,2% del valor máx. Tiempo de muestreo: 8 ms Operación con un cable blindado: 100 m máx.
10 V	Fuente de alimentación para el potenciómetro de punto de referencia: 1 a 10 kΩ	+10 V (+ 8% - 0%), 10 mA máx, protegida contra cortocircuitos y sobrecargas
AI2	Entrada analógica de tensión	Entrada analógica bipolar 0 a ±10 V (la tensión máx. de seguridad es de ±30 V) La polaridad + o - de la tensión en AI2 afecta el sentido del punto de referencia y por lo tanto el sentido de funcionamiento. <ul style="list-style-type: none"> Impedancia: 30 kΩ Resolución: 0,01 V, convertidor de 10 bits con signo + Precisión: ± 4,3% del valor máx. Linealidad: ± 0,2% del valor máx. Tiempo de muestreo: 8 ms Operación con un cable blindado: 100 m máx.

Tabla 6: Características de las terminales de control (continuación)

Terminal	Función	Especificaciones eléctricas
AI3	Entrada analógica de corriente	Entrada analógica X a Y mA; X e Y se pueden programar de 0 a 20 mA <ul style="list-style-type: none"> • Impedancia: 250 Ω • Resolución: 0,02 mA, convertidor de 10 bits • Precisión: ± 4,3% del valor máx. • Linealidad: ± 0,2% del valor máx. • Tiempo de muestreo: 8 ms
COM	Común, E/S analógicas	0 V
AOV	La salida analógica de tensión AOV o la salida analógica de corriente AOC o la salida lógica de tensión en AOC	La salida analógica de 0 a 10 V con una impedancia mín. de carga de 470 Ω o la salida analógica X a Y mA, con X e Y programables de 0 a 20 mA y con una impedancia máx. de carga de 800 Ω: <ul style="list-style-type: none"> • Resolución: 8 bits [1] • Precisión: ± 1% [1] • Linealidad: ± 0,2% [1] • Tiempo de muestreo: 8 ms
AOC	Es posible asignar AOV o AOC, pero no ambas.	o Es posible configurar AOC como una salida lógica de 24 V con una impedancia mín. de carga de 1,2 kΩ.
24 V	Fuente de alimentación de las entradas lógicas	+ 24 V protegida contra cortocircuitos y sobrecargas, 19 V mín., 30 V máx. Corriente máxima disponible es de 100 mA.
LI1 LI2 LI3 LI4 LI5 LI6	Entradas lógicas	Entradas lógicas programables <ul style="list-style-type: none"> • Fuente de alimentación de + 24 V (máx. 30 V) • Impedancia: 3,5 kΩ • Estado 0 si la diferencia de tensión entre LI- y CLI es de < 5 V, estado 1 si la diferencia de tensión entre LI- y CLI es > 11 V • Tiempo de muestreo: 4 ms
CLI	Entrada lógica común	Consulte el <i>Manual de instalación de los variadores de velocidad ATV31</i> para conocer la ubicación del conmutador de entrada lógica.

[1] Características del convertidor digital/análogo.

Diagrama de alambrado de los ajustes de fábrica



NOTA: Las terminales de la fuente de alimentación de línea se muestran en la parte superior y las terminales del motor en la parte inferior. Conecte las terminales de potencia antes de conectar las terminales de control. Instale los supresores de transitorios en todos los circuitos inductivos situados cerca del variador de velocidad o conectados al mismo circuito.

- (1) Consulte la placa de datos del variador para obtener información sobre los fusibles recomendados. Es posible utilizar fusibles de acción rápida o de retardo de tiempo clase J.
- (2) Contactos del relé de falla para indicar a distancia el estado del variador.
- (3) Interna de +24 V. Si se utiliza una fuente externa (de 30 V como máx.), conecte los 0 V de la fuente a la terminal común y no utilice la terminal de +24 V del variador.

Comutador de entrada lógica

ADVERTENCIA

FUNCIONAMIENTO ACCIDENTAL DEL EQUIPO

El comutador de entrada lógica viene ajustado de fábrica para la lógica de la fuente. No cambie su posición sin consultar el *Manual de instalación de los variadores de velocidad ATV31*.

El incumplimiento de esta instrucción puede causar lesiones o daño al equipo.

Este comutador asigna la entrada lógica de la conexión común a 0 V, 24 V o flotante. Consulte el *Manual de instalación de los variadores de velocidad ATV31* para obtener más información.

PROGRAMACIÓN

PELIGRO

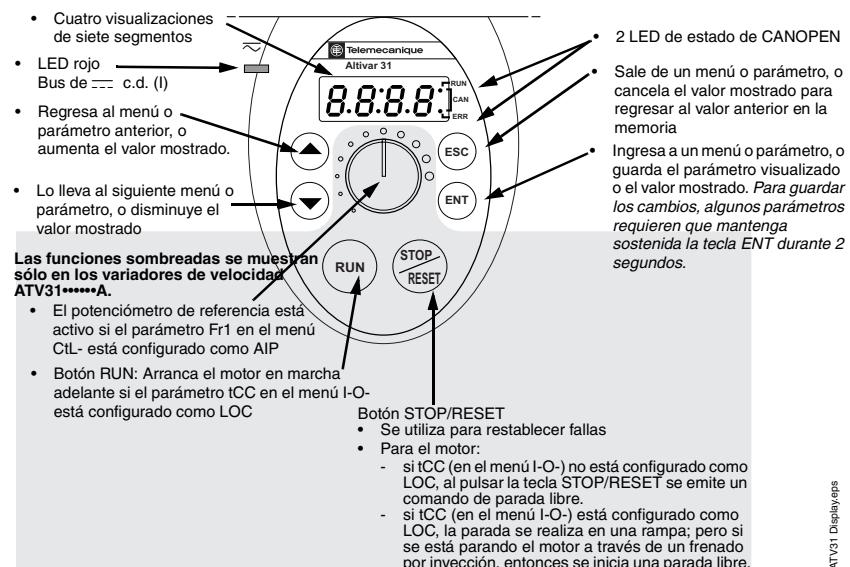
USUARIO NO CALIFICADO

- Solamente el personal calificado deberá instalar, programar y prestar servicio de mantenimiento a este equipo.
- El personal calificado a cargo de la realización de diagnóstico de problemas, quienes energizarán los conductores eléctricos, debe cumplir con la norma 70E del NFPA que trata sobre los requisitos de seguridad eléctrica para el personal en el sitio de trabajo así como la norma 29 CFR Parte 1910, Sub-part S de OSHA que también trata sobre la seguridad eléctrica.

El incumplimiento de estas instrucciones podrá causar la muerte o lesiones serias.

ESPAÑOL

Funciones que muestra la terminal de programación y ajustes



Las funciones sombreadas se muestran sólo en los variadores de velocidad
ATV31*****A.

- El potenciómetro de referencia está activo si el parámetro Fr1 en el menú Ctl- está configurado como AIP
- Botón RUN: Arranca el motor en marcha adelante si el parámetro tCC en el menú I-O- está configurado como LOC
- Botón STOP/RESET
 - Se utiliza para restablecer fallas
 - Para el motor:
 - si ICC (en el menú I-O-) no está configurado como LOC, al pulsar la tecla STOP/RESET se emite un comando de parada libre.
 - si ICC (en el menú I-O-) está configurado como LOC, la parada se realiza en una rampa; pero si se está parando el motor a través de un frenado por inyección, entonces se inicia una parada libre.

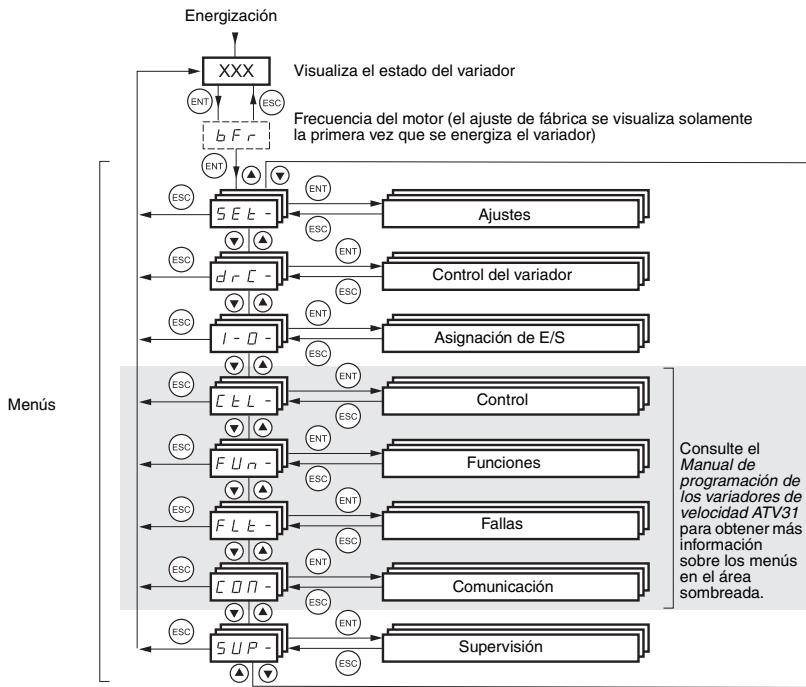
- Para desplazarse por los datos rápidamente, pulse y mantenga oprimida (por más de 2 segundos) la tecla o .
- Al presionar o su selección no se almacena automáticamente.
- Para guardar la selección, pulse la tecla . La visualización parpadea cuando almacena un valor.

Una visualización normal sin fallas ni comandos de marcha muestra:

- el valor de uno de los parámetros de supervisión (consulte la página 85). La visualización por omisión es la frecuencia del motor, por ejemplo 43.0. La visualización parpadea en el modo de limitador de corriente.
- init: secuencia de iniciación
- rdY: el variador está listo
- dcb: frenado por inyección de ___ (c.d.) en curso
- nSt: Parada libre
- FSt: Parada rápida
- tUn: Auto ajuste en curso

Si existe una falla, la visualización parpadea.

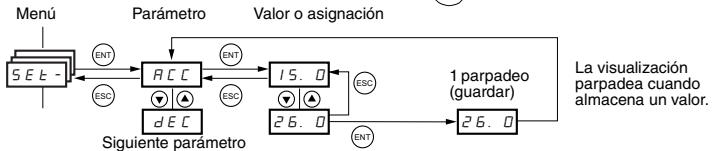
Acceso a los menús



ATV31 Menu Access.eps

A través de esta guía, aparecerá un guión después del código de menú para diferenciarlos de los códigos de parámetros. Por ejemplo, SEt- es un menú, pero ACC es un parámetro.

- Para guardar la selección, pulse la tecla **ENT**.



ATV31 AccParam.eps

Parámetro bFr

Código	Descripción	Gama de ajustes	Ajuste de fábrica
<i>bFr</i>	Frecuencia del motor Este es el primer parámetro que se muestra al energizar el variador o después de restablecer los ajustes de fábrica. Es posible modificar el parámetro bFr a través del menú drC-, en cualquier momento. Este parámetro modifica los valores preseleccionados de los siguientes parámetros: HSP (página 76), Ftd (página 78), FrS (página 79) y tFr (página 81).	50 ó 60 Hz	50 Hz

SEt- Menú de ajustes

! PELIGRO

FUNCIONAMIENTO ACCIDENTAL DEL EQUIPO

- Asegúrese de que las modificaciones de los ajustes actuales de funcionamiento no presenten ningún riesgo.
- Se recomienda que las modificaciones se realicen con el variador de velocidad parado.

El incumplimiento de estas instrucciones podrá causar la muerte o lesiones serias.

PRECAUCIÓN

SOBRECALENTAMIENTO DEL MOTOR

- Este variador de velocidad no proporciona protección térmica directa al motor.
- Utilice un sensor térmico en el motor para protegerlo durante cualquier velocidad o condición de carga.
- Consulte la información del fabricante del motor para conocer la capacidad térmica de éste cuando funciona en la gama de velocidad mayor que la deseada.

El incumplimiento de estas instrucciones puede causar daño al equipo.

SEt- Menú de ajustes

Código	Asignación	Gama de ajustes	Ajuste de fábrica
<i>R_{AC}</i>	Tiempo de la rampa de aceleración del motor para que funcione de 0 Hz a FrS (frecuencia nominal, consulte la página 79).		
<i>d_{EC}</i>	Tiempo de la rampa de desaceleración del motor para que funcione de FrS a 0 Hz. Asegúrese de que d _{EC} no tenga un ajuste muy bajo para la carga.	0,0 a 999,9 s 0,0 a 999,9 s	3 s 3 s
<i>L_{SP}</i>	Velocidad baja (referencia mínima)	0 a HSP	0 Hz
<i>H_{SP}</i>	Velocidad alta (referencia máxima). Asegúrese de que este ajuste sea apropiado para el motor y la aplicación.	LSP a tFr	bFr
<i>I_{TH}</i>	Corriente utilizada para la protección térmica del motor. Ajuste I _{TH} en la corriente nominal indicada en la placa de datos del motor. Para desactivar la protección térmica, consulte el <i>Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31</i> .	0 a 1,15 ln ^[1]	Según el valor nominal del variador
<i>U_Fr</i>	Compensación IR / elevación de tensión Se utiliza para optimizar el par en velocidades bajas. Aumente el valor de U _F r si el par es insuficiente. Para evitar un funcionamiento inestable, asegúrese de que el valor de U _F r no sea muy alto para un motor caliente. <i>NOTA: La modificación de U_Fr (página 81) hará que U_Fr regrese al ajuste de fábrica (20%).</i>	0 a 100%	20%
<i>F_LD</i>	Ganancia de bucle de frecuencia Se usa sólo en las relaciones n y nLd (consulte la página 81). Este parámetro ajusta la rampa de velocidad en base a la inercia de la carga accionada. Si el valor es muy bajo, el tiempo de respuesta es más largo. Si el valor es muy alto, es posible que se produzca un exceso de velocidad o inestabilidad en el funcionamiento.	0 a 100%	20%
<i>S_{ER}</i>	Estabilidad del bucle de frecuencia Se usa sólo en las relaciones n y nLd (consulte la página 81). Si el valor es muy bajo, es posible que se produzca un exceso de velocidad o inestabilidad en el funcionamiento. Si el valor es muy alto, el tiempo de respuesta es más largo.	1 a 100%	20%

[1] In es la corriente nominal del variador de velocidad que se indica en su placa de datos.

SET- Menú de ajustes (continuación)

Código	Asignación	Gama de ajustes	Ajuste de fábrica
5LP	Compensación de deslizamiento Se usa sólo en las relaciones n y nLd (consulte la página 81). Ajusta la compensación de deslizamiento para realizar afinaciones de regulación de la velocidad. Si el ajuste del deslizamiento < deslizamiento real, el motor no gira en la velocidad correcta en estado continuo. Si el ajuste del deslizamiento > deslizamiento real, el motor tiene una compensación excesiva y la velocidad es inestable.	0 a 150%	100
tDL	Tiempo de frenado por inyección de ___ (c.d.) automático.	0,1 a 30 s	0,5 s
5dL	Nivel de la corriente de frenado por inyección de ___ (c.d.) automático.		
	<p style="text-align: center;">ADVERTENCIA</p> <p>SIN PAR DE RETENCIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> • El frenado por inyección de ___ (c.d.) no proporciona par de mantenimiento a una velocidad cero. • El frenado por inyección de ___ (c.d.) no funciona durante una pérdida de alimentación o durante una falla del variador. • Si es necesario, utilice un freno independiente para el par de retención. <p>FRENADO POR INYECCIÓN DE ___ (C.D.) EXCESIVO</p> <ul style="list-style-type: none"> • La aplicación de frenado por inyección de ___ (c.d.) durante un largo período puede causar sobrecalentamiento y daño al motor. • Proteja el motor no lo exponga a períodos prolongados de frenado por inyección de ___ (c.d.). <p>El incumplimiento de estas instrucciones puede causar la muerte, lesiones serias o daño al equipo.</p>	0 a 1,2 ln ^[1]	0,7 ln ^[1]
tDLC2	Tiempo del segundo frenado por inyección de ___ (c.d.) automático. Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información.	0 a 30 s	0 s
5dLC2	Segundo nivel de la corriente de frenado por inyección de ___ (c.d.). Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información.	0 a 1,2 ln ^[1]	0,5 ln ^[1]

[1] In es la corriente nominal del variador de velocidad que se indica en su placa de datos.

SEt- Menú de ajustes (continuación)

Código	Asignación	Gama de ajustes	Ajuste de fábrica
<i>JPF</i>	Frecuencia de salto La frecuencia de salto evita el funcionamiento prolongado en una gama de frecuencia de ± 1 Hz alrededor de <i>JPF</i> . Esta función evita una velocidad crítica que puede conducir a la resonancia. Un valor de 0 es inactivo.	0 a 500 Hz	0 Hz
<i>JF2</i>	Segunda frecuencia de salto Evita el funcionamiento prolongado en una gama de frecuencia de ± 1 Hz alrededor de <i>JP2</i> . Esta función evita una velocidad crítica que puede conducir a la resonancia. Un valor de 0 es inactivo.	0 a 500 Hz	0 Hz
<i>SP2</i>	2ª velocidad preseleccionada	0 a 500 Hz	10 Hz
<i>SP3</i>	3ª velocidad preseleccionada	0 a 500 Hz	15 Hz
<i>SP4</i>	4ª velocidad preseleccionada	0 a 500 Hz	20 Hz
<i>CL1</i>	Limitador de corriente	0,25 a 1,5 ln ^[1]	1,5 ln ^[1]
<i>CL5</i>	Tiempo de funcionamiento en velocidad baja Este parámetro define un período de funcionamiento en LSP (consulte la página 76). Una vez transcurrido el tiempo programado, el motor se para automáticamente. Si la referencia de frecuencia es mayor que LSP y si todavía está activo el comando de marcha, el motor volverá a arrancar. Un valor de 0 es inactivo.	0 a 999,9 s	0 (sin límite)
<i>FEt d</i>	Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información.		
<i>EEt d</i>	Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información.		
<i>CEt d</i>	Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información.		
<i>Sd5</i>	Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información.		
<i>SFr</i>	Frecuencia de comutación Se puede acceder a este parámetro a través del menú drC-. Consulte la página 81.	2,0 a 16 kHz	4 kHz

[1] In es la corriente nominal del variador de velocidad que se indica en su placa de datos.

drC- Menú de control del variador

A excepción de tUn, que puede energizar el motor, los parámetros de control del variador se pueden modificar sólo si se para el variador y no se está ejecutando un comando de marcha. El funcionamiento del variador puede optimizarse:

- ajustando los parámetros de control en los valores especificados en la placa de datos del motor
- realizando un auto ajuste (en un motor asincrónico estándar)

drC- Menú de control del variador

Código	Asignación	Gama de ajustes	Ajuste de fábrica
bFr	Frecuencia del motor Este parámetro modifica los valores preseleccionados de los siguientes parámetros: HSP (página 76), Ftd (página 78), FrS (página 31) y tFr (página 81)	50 ó 60 Hz	50 Hz
Un5	Tensión nominal del motor indicada en la placa de datos	Según el valor nominal del variador	Según el valor nominal del variador
Fn5	Frecuencia nominal del motor indicada en la placa de datos. El ajuste de fábrica es 50 Hz, o 60 Hz si bFr está configurado en 60 Hz.	10 a 500 Hz	50 Hz
ncr	Corriente nominal del motor indicada en la placa de datos	0,25 a 1,5 In ^[1]	Según el valor nominal del variador
n5P	Velocidad nominal del motor indicada en la placa de datos. 0 a 9999 rpm, luego 10.00 a 32.76 krpm. Si la velocidad nominal no figura en la placa de datos, consulte el <i>Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31</i> .	0 a 32760 rpm	Según el valor nominal del variador
c05	Factor de potencia del motor indicado en la placa de datos	0,5 a 1	Según el valor nominal del variador

[1] In es la corriente nominal del variador de velocidad que se indica en su placa de datos.

drC- Menú de control del variador (continuación)

Código	Asignación	Gama de ajustes	Ajuste de fábrica
<i>e Un</i>	<p>auto ajuste</p> <p>Antes de realizar un auto ajuste, asegúrese de que todos los parámetros de control del variador (UnS, FrS, nCr, nSP, COS) hayan sido configurados correctamente.</p> <p><i>n Ø</i>: auto ajuste no realizado</p> <p><i>y E 5</i>: El auto ajuste se realiza lo más pronto posible, luego el parámetro cambia automáticamente a dOnE o, en caso de una falla, a nO. Se muestra una falla tnF.</p> <p><i>d Ø n E</i>: Una vez que termina un auto ajuste, la resistencia del estator medida será utilizada para controlar el motor.</p> <p><i>r Un</i>: Un auto ajuste se realiza cada vez que se emite un comando de marcha.</p> <p><i>P Ø n</i>: Un auto ajuste se realiza cada vez que se energiza el variador.</p> <p><i>L 11 a L 15</i>: Un auto ajuste se realiza cuando la entrada lógica asignada a esta función pasa de 0 a 1.</p> <p><i>Nota: Un auto ajuste se realizará únicamente si no se ha activado el comando de marcha o frenado. Un auto ajuste puede durar entre 1 y 2 segundos. ¡No interrumpa un auto ajuste! Espere a que la visualización cambie a dOnE o nO. Durante un auto ajuste, el motor funciona en su corriente nominal.</i></p>		<i>nO</i>
<i>e Us</i>	<p>Estado del auto ajuste</p> <p><i>e Ab</i>: El valor por omisión de la resistencia del estator se utiliza para controlar el motor.</p> <p><i>P E n d</i>: Se ha solicitado un auto ajuste, pero todavía no se ha realizado.</p> <p><i>P r Ø G</i>: Auto ajuste en curso.</p> <p><i>F R 1L</i>: Ha fallado el auto ajuste.</p> <p><i>d Ø n E</i>: La resistencia del estator medida por la función de auto ajuste será utilizada para controlar el motor.</p>		<i>tAb</i>

[1] In es la corriente nominal del variador de velocidad que se indica en su placa de datos.

drC- Menú de control del variador (continuación)

Código	Asignación	Gama de ajustes	Ajuste de fábrica
<i>UFr</i>	Selección de la relación tensión / frecuencia <i>L</i> : par constante (para motores conectados en paralelo o motores especiales) <i>P</i> : par variable (para aplicaciones de bomba y ventilador) <i>n</i> : control vectorial del flujo sin sensor (para aplicaciones de par constante) <i>n L d</i> : ahorros de energía, (para aplicaciones de par variable que no requieren una gran dinámica. Ésta se comporta de la misma manera que la razón <i>P</i> sin carga y la razón <i>n</i> con carga.) La modificación de <i>UFr</i> hará que <i>UFr</i> regrese al ajuste de fábrica del 20%.		<i>n</i>
<i>nrd</i>	Frecuencia de conmutación aleatoria Esta función modula de forma aleatoria la frecuencia de conmutación para reducir el ruido del motor. <i>YE5</i> : Función activa <i>nD</i> : Función inactiva		YES
<i>SFr</i>	Frecuencia de conmutación Ajuste para reducir el ruido audible del motor. Si la frecuencia de conmutación se ajusta en un valor mayor que 4 kHz, en caso de que se eleve la temperatura excesivamente, el variador automáticamente reducirá la frecuencia de conmutación; también la aumentará cuando la temperatura regresa a su estado normal. Consulte la página 61 para obtener las curvas de degradación. SFr también se puede acceder a través del menú SEt-. Consulte la página 78.	2 a 16 kHz	4.0 kHz
<i>bFr</i>	Frecuencia máxima de salida El ajuste de fábrica es 60 Hz, o 72 Hz si bFr está configurado en 60 Hz.	10 a 500 Hz	60 Hz
<i>SSL</i>	Supresión del filtro del ciclo de velocidad <i>nD</i> : El filtro del ciclo de velocidad está activo (evita que se exceda la referencia). <i>YE5</i> : El filtro del ciclo de velocidad es suprimido (en las aplicaciones de control de posición, éste reduce el tiempo de respuesta pero es posible que se exceda la referencia).		<i>nO</i>

[1] *In* es la corriente nominal del variador de velocidad que se indica en su placa de datos.

drC- Menú de control del variador (continuación)

Código	Asignación	Gama de ajustes	Ajuste de fábrica
<i>S E S</i>	<p>Almacenamiento de las configuraciones de los parámetros</p> <p><i>n Ø</i>: Función inactiva</p> <p><i>S E r /</i>: Guarda la configuración actual (pero no los resultados del auto ajuste) en la memoria EEPROM. SCS automáticamente cambia a nO tan pronto y se guardan las configuraciones. Use esta función para guardar una configuración de reserva además de la configuración actual. El variador de velocidad viene de fábrica con las configuraciones actual y de reserva inicializadas en los ajustes de fábrica.</p>		nO
<i>F C S</i>	<p>Retorno a los ajustes de fábrica / Restauración de la configuración</p> <p><i>n Ø</i>: Función inactiva</p> <p><i>r E C /</i>: Sustituye la configuración actual con la configuración de reserva anteriormente guardada por SCS. rECI está visible sólo si se ha realizado una configuración de reserva. FCS automáticamente cambia a nO tan pronto y se lleva a cabo esta acción.</p> <p><i>I n /</i>: Sustituye la configuración actual con los ajustes de fábrica. FCS automáticamente cambia a nO tan pronto y se lleva a cabo esta acción.</p> <p><i>Nota: Para que puedan tomarse en cuenta rECI e Inl, pulse la tecla ENT durante 2 segundos.</i></p>		nO

[1] In es la corriente nominal del variador de velocidad que se indica en su placa de datos.

I-O- Menú de asignación de E/S

Estos parámetros se pueden modificar sólo si se para el variador y no se está ejecutando un comando de marcha.

I-O- Menú de asignación de E/S

Código	Asignación	Ajuste de fábrica
tCC	<p>Configuración del control del bloque de terminales:</p> <p>2C : control de 2 hilos</p> <p>3C : control de 3 hilos</p> <p>LDC : Control local</p> <p>Control de 2 hilos (contacto sostenido): El estado de la entrada (abierto o cerrado) controla la marcha y el paro.</p> <p>Control de 3 hilos (contacto momentáneo): Se necesita pulsar marcha adelante o marcha atrás para controlar el arranque. Una pulsación de paro es suficiente para controlar el paro. Consulte el <i>Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31</i> para obtener más información.</p> <p>En los variadores de velocidad ATV31*****A, la reconfiguración de tCC en 2C vuelve a asignar las entradas L11 (marcha adelante) y L12 (marcha atrás). Aunque esta acción inactiva el botón RUN del variador, el potenciómetro todavía proporcionará la referencia de velocidad. El potenciómetro puede ser desactivado y la referencia de velocidad ser asignada a la entrada analógica AI1 configurando el parámetro Fr1 en AI1 a través del menú CTL-. Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información.</p> <p><i>Nota: Para cambiar la asignación de tCC, pulse la tecla ENT durante 2 segundos. Esta acción regresa a sus ajustes de fábrica rrS, tCt y todas las funciones que afectan las entradas lógicas.</i></p>	2C ATV31*****A: LOC
tEL	<p>Tipo de control de 2 hilos (este parámetro se puede acceder sólo si tCC está ajustado en 2C)</p> <p>LEL : Si el valor de la entrada de marcha adelante o marcha atrás es alto cuando está energizado el variador, éste arrancará el motor. Si las dos entradas tienen un valor alto durante la energización, el variador girará hacia adelante.</p> <p>trn : La entrada de marcha adelante o marcha atrás debe contener una transición de bajo a alto antes de que el variador arranque el motor. Por lo tanto, si el valor de la entrada de marcha adelante o marcha atrás es alto cuando está energizado el variador, la entrada deberá pasar por un ciclo antes de que el variador arranque el motor.</p> <p>PF0: Igual que LEL, pero la entrada de marcha adelante tiene prioridad sobre la entrada de marcha atrás. Si se activa la marcha adelante mientras el variador está funcionando en marcha atrás, el variador girará hacia adelante.</p>	trn

I-O- Menú de asignación de E/S (continuación)

Código	Asignación	Ajuste de fábrica
r r 5	<p>Marcha atrás a través de una entrada lógica</p> <p>✓ 0: No asignada a una entrada lógica. Todavía es posible emitir un comando de marcha atrás por otros medios, por ejemplo como tensión negativa en AI2 o a través de un comando de conexión en serie.</p> <p>L 1 2: Es posible acceder a la entrada lógica LI2 si tCC está configurada en 2C</p> <p>L 1 3: Entrada lógica LI3</p> <p>L 1 4: Entrada lógica LI4</p> <p>L 1 5: Entrada lógica LI5</p> <p>L 1 6: Entrada lógica LI6</p>	
Cr L 3 Cr H 3 R 0 t d 0 r 1 r 2	Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> .	
5 C 5 F C 5	Idéntico al menú drC-, consulte las páginas 82 y 82.	

SUP- Menú de supervisión

Se puede tener acceso a los parámetros de supervisión ya sea con el variador parado o en marcha. Algunas funciones tienen varios parámetros asociados. Para clarificar la programación y mantener corta las listas de parámetros, estas funciones se han agrupado en los sub-menús. Así como los menús, los sub-menús han sido identificados con un guión después de su código, por ejemplo LIF-.

Si el variador está en marcha, el valor de uno de los parámetros de supervisión se muestra en la pantalla. El ajuste de fábrica es la frecuencia de salida (rFr).

Para visualizar otro parámetro, desplácese al parámetro de supervisión deseado y pulse la tecla ENT. Para conservar su selección como el nuevo valor por omisión, de nuevo pulse y mantenga oprimida la tecla ENT durante 2 segundos. El valor de este parámetro se visualizará durante el funcionamiento del variador, aun después de apagarlo y volverlo a encender. Si la nueva selección no es confirmada pulsando la tecla ENT una segunda vez, el variador regresará al parámetro anterior después de apagarlo y volverlo a encender.

SUP- Menú de supervisión

Código	Descripción	Gama
	Los parámetros sombreados aparecerán solamente si se ha activado la función.	
<i>L Fr</i>	Referencia de frecuencia para el control a través de una terminal integrada o una remota.	0 a 500 Hz
<i>r Pl</i>	Referencia PI interna	0 a 100%
<i>F r H</i>	Referencia de frecuencia (valor absoluto)	0 a 500 Hz
<i>r Fr</i>	Frecuencia de salida aplicada al motor	- 500 Hz a + 500 Hz
<i>S P d</i>	Valor de salida en unidades del cliente Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> .	
<i>L Cr</i>	Corriente del motor (A)	
<i>D Pr</i>	Potencia del motor 100% = potencia nominal del motor	
<i>U L n</i>	Tensión de línea calculada de la tensión medida en el bus de ___ (c.d.) (V~ (c.a.).	

SUP- Menú de supervisión (continuación)

Código	Descripción	Gama
<i>e H r</i>	Estado térmico del motor 100% = estado térmico nominal 118% = umbral OLF (sobrecarga del motor, consulte la página 89)	
<i>e H d</i>	Estado térmico del variador 100% = estado térmico nominal 118% = umbral OHF (sobrecarga del variador, consulte la página 89)	
<i>L F E</i>	Última falla Consulte "Diagnóstico de problemas" en la página 87	
<i>D E r</i>	Par motor 100% = par nominal del motor	
<i>r E H</i>	Tiempo de funcionamiento El tiempo total en que ha estado energizado el motor: 0 a 9999 (horas), luego 10.00 a 65.53 (khoras). Puede restablecerse en cero a través del parámetro <i>rPr</i> en el menú <i>FLT-</i> (consulte el <i>Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31</i> para obtener más información)	0 a 65530 horas
<i>C D d</i>	Código de bloqueo de terminal Consulte el <i>Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31</i> para obtener más información.	
<i>E U S</i>	Estado de auto ajuste (consulte la página 80 para obtener más información sobre los parámetros de auto ajuste) <i>e R b</i> : El valor por omisión de la resistencia del estator se utiliza para controlar el motor. <i>P E n d</i> : Se ha solicitado un auto ajuste, pero todavía no se ha realizado. <i>P r D G</i> : Auto ajuste en curso. <i>F R I L</i> : Ha fallado el auto ajuste. <i>d D n E</i> : La resistencia del estator medida por la función de auto ajuste será utilizada para controlar el motor.	
<i>U d P</i>	Indica la versión de software del variador de velocidad ATV31 Por ejemplo, 1102 = V 1.1IE02	
<i>L IF -</i>	Funciones de las entradas lógicas Consulte el <i>Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31</i> para obtener más información.	
<i>R IF -</i>	Funciones de las entradas analógicas Consulte el <i>Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31</i> para obtener más información.	

DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS

Visualización de fallas

Si se presenta un problema durante la instalación o funcionamiento, asegúrese de que el entorno sea adecuado y que el montaje y las conexiones se hayan realizado correctamente.

La primera falla detectada se guarda y muestra, parpadeando, en la pantalla. El variador de velocidad se bloquea y el contacto del relé de falla (R1A-R1C o R2A-R2C) se abre.

El variador no arranca ni muestra nada en la pantalla

Si el variador no arranca ni tampoco muestra nada en la pantalla, verifique la fuente de alimentación del variador. Consulte el *Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31* para obtener más información.

Fallas que no pueden restablecerse automáticamente

Las fallas que no pueden restablecerse automáticamente figuran en la tabla que comienza en la página 88. Para restablecer estas fallas:

1. Desenergice el variador de velocidad.
2. Espere a que se apague completamente la visualización.
3. Determine la causa de la falla y corríjala.
4. Vuelva a aplicar alimentación.

CrF, SOF, tnF, bLF y OPF también pueden restablecerse remotamente a través de una entrada lógica (parámetro rSF en el menú FLt-, consulte el *Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31*).

Fallas que no pueden restablecerse automáticamente

Falla	Causa probable	Solución
<i>b L F</i> Secuencia del freno	Corriente de apertura del freno no alcanzada	<ul style="list-style-type: none">Revise el variador y las conexiones del motor.Revise los devanados del motor.Compruebe el ajuste de lbr en el menú FUN-. Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información.
<i>L r F</i> Falla de circuito de precarga	Circuito de precarga dañado	<ul style="list-style-type: none">Restablezca el variador.Sustituya el variador de velocidad.
<i>I n F</i> Falla interna	<ul style="list-style-type: none">Falla internaFalla de conexión interna	<ul style="list-style-type: none">Retire las fuentes de interferencia electromagnética.Sustituya el variador de velocidad.
<i>D C F</i> Sobrecorriente	<ul style="list-style-type: none">Ajustes de parámetros incorrectos en los menús SET- y drC-Aceleración demasiado rápidaVariador y/o motor inadecuado para la cargaBloqueo mecánico	<ul style="list-style-type: none">Compruebe los parámetros en los menús SET- y drC-Asegúrese de que el tamaño del motor y variador sea adecuado para la carga.Retire el bloqueo mecánico.
<i>S C F</i> Cortocircuito del motor	<ul style="list-style-type: none">Cortocircuito o conexión a tierra en la salida del variadorCorriente de fuga a tierra considerable en la salida del variador si varios motores están conectados en paralelo	<ul style="list-style-type: none">Revise las conexiones de los cables del variador al motor así como el aislamiento del motor.Reduzca la frecuencia de conmutación.Conecte los filtros de salida en serie con el motor.
<i>S O F</i> Velocidad excesiva	<ul style="list-style-type: none">InestabilidadCarga arrastrante	<ul style="list-style-type: none">Revise los parámetros del motor, ganancia y estabilidad.Agregue una resistencia de frenado.Verifique el tamaño del variador, el motor y la carga.
<i>E n F</i> Falla de auto ajuste	<ul style="list-style-type: none">Motor o potencia del motor no adecuado para el variadorMotor no conectado al variador	<ul style="list-style-type: none">Utilice la razón L o P (consulte UFt en la página 81).Verifique la presencia del motor durante un auto ajuste.Si se está utilizando un contactor de corriente descendente, ciérrelo durante el auto ajuste.

Fallas que se pueden restablecer con la función de rearranque automático

Una vez que se haya eliminado la causa de la falla, las siguientes fallas se pueden restablecer:

- Con la función de rearranque automático (parámetro Atr en el menú FLt-, consulte el *Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31*)
- A través de una entrada lógica (parámetro rSF en el menú FLt-, consulte el *Manual de programación de los variadores de velocidad ATV31*)
- Apagando y volviendo a encender el variador de velocidad.

Fallas que se pueden restablecer con la función de rearranque automático

Falla	Causa probable	Solución
<i>CDF</i> Falla de la conexión en serie CANopen	Pérdida de comunicación entre el variador y el dispositivo de comunicación o terminal de programación remota.	<ul style="list-style-type: none"> • Compruebe el bus de comunicación. • Consulte la documentación específica del producto.
<i>EPF</i> Falla externa	Definida por el usuario	Definida por el usuario
<i>LFF</i> Pérdida de la señal del circuito seguidor de 4-20 mA	Pérdida de la referencia de 4-20 mA en la entrada AI3.	Compruebe la conexión en la entrada AI3.
<i>OBF</i> Sobretensión en desaceleración	<ul style="list-style-type: none"> • Frenado demasiado rápido • Carga arrastrante 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumente el tiempo de desaceleración. • Instale una resistencia de frenado si fuese necesario. • Active la función brA si es compatible con la aplicación. Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información.
<i>OHF</i> Sobrecarga del variador	<ul style="list-style-type: none"> • La temperatura del variador o del medio ambiente está muy alta. • La carga de la corriente continua del motor es muy alta. 	Verifique la carga del motor, la ventilación del variador y las condiciones ambientales. Espere a que se enfrie el variador antes de volver a arrancarlo.
<i>OLF</i> Sobrecarga del motor	<ul style="list-style-type: none"> • El disparo térmico se debe a una sobrecarga prolongada del motor • La capacidad de potencia del motor es muy baja para la aplicación 	Verifique el ajuste ItH (protección térmica del motor, en la página 76), compruebe la carga del motor. Espere a que se enfrie el motor antes de volver a arrancarlo.

Fallas que se pueden restablecer con la función de rearanque automático (continuación)

Falla	Causa probable	Solución
<i>D P F</i> Falla de fase del motor	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de fase en la salida del variador • Contactor de corriente descendente abierto • Motor no conectado • Inestabilidad de la corriente del motor • Variador de tamaño incorrecto (muy grande) para al motor 	<ul style="list-style-type: none"> • Revise las conexiones del variador al motor. • Si se está utilizando un contactor de corriente descendente, ajuste OPL en OAC. Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información sobre el menú FLT. • Pruebe el variador con un motor de baja potencia o sin un motor; ajuste OPL en nO. Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i> para obtener más información sobre el menú FLT. • Compruebe y optimice los ajustes de los parámetros UFr (página 76), UnS (página 79) y nCr (página 79) y realice un auto ajuste (página 80).
<i>D S F</i> Sobretensión durante una operación de estado estable o en aceleración	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión de línea muy alta • Transitorios en la alimentación de línea 	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique la tensión de línea. Compare con los valores nominales especificados en la placa de datos del variador. • Restablezca el variador.
<i>P H F</i> Falla de fase de entrada	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de fase de entrada, fusible quemado • Utilización de un variador trifásico en una red de alimentación monofásica • Desequilibrio de la fase de entrada • Falla de fase transitoria <p><i>Nota: Esta protección funciona sólo con el variador en marcha y bajo carga.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revise las conexiones y los fusibles. • Desactive la falla ajustando IPL en nO. Consulte el <i>Manual de programación de los variadores ATV31</i>. • Verifique que la alimentación de entrada sea la correcta. • Suministre una alimentación trifásica, si es necesario.
<i>S L F</i> Falla de la conexión en serie Modbus	Pérdida de conexión entre el variador y el dispositivo de comunicación o terminal de programación remota.	<ul style="list-style-type: none"> • Compruebe las conexiones de comunicación. • Consulte la documentación específica del producto.

Fallas que serán restablecidas tan pronto y se elimine la falla

Falla	Causa probable	Solución
<i>C F F</i> Falla de configuración	Las configuraciones de los parámetros no son correctas para la aplicación.	Restaure los ajustes de fábrica o cargue la configuración de reserva, en caso de ser válida. Vea el parámetro FCS en el menú drC-, página 82.
<i>C F I</i> Falla de configuración a través de la conexión en serie	Las configuraciones de los parámetros cargadas al variador a través de la conexión en serie, no son correctas para la aplicación.	<ul style="list-style-type: none"> • Compruebe la configuración cargada anteriormente. • Cargue una configuración compatible con la aplicación.
<i>U S F</i> Baja tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Red de alimentación muy baja • Caída de tensión transitoria • Resistencia de precarga dañada 	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique la tensión de línea. • Compruebe el ajuste del parámetro UNS (consulte la página 79). • Sustituya el variador de velocidad.

F0-4AD2DA-2 Voltage 4-Ch. In/2-Ch. Out Combination Analog

In This Chapter. . . .

- Module Specifications
 - Setting the Module Jumpers
 - Connecting and Disconnecting the Field Wiring
 - Wiring Diagram
 - Module Operation
 - Special V-memory Locations
 - Using the Pointer in Your Control Program
 - Scale Conversions
-

Module Specifications

The F0-4AD2DA-2 Analog Combination module offers the following features:

- The analog input and output channels are updated in one scan.
- The removable terminal block makes it possible to remove the module without disconnecting the field wiring.
- Analog inputs can be used as process variables for the four (4) PID loops included in the DL05 CPU.
- On-board active analog filtering and RISC-like microcontroller provide digital signal processing to maintain precise analog measurements in noisy environments.



NOTE: The DL05 CPU's analog feature requires **DirectSOFT32 Version 3.0c** (or later) and firmware version 3.0 (or later). See our website for more information: www.automationdirect.com.



The following tables provide the specifications for the F0-4AD2DA-2 Analog Combination Module. Review these specifications to make sure the module meets your application requirements.

Input Specifications

Number of Channels	4, single ended (one common)
Input Range	0 to 5VDC or 0 to 10VDC (jumper selectable)
Resolution	12 bit (1 in 4096)
Step Response	10.0 mS to 95% of full step change
Crosstalk	-80 dB, 1/2 count maximum *
Active Low-pass Filtering	-3db @ 120Hz (-12 dB per octave)
Input Impedance	Greater than 20KΩ
Absolute Maximum Ratings	±15V
Linearity Error (end to end)	±1 count (0.025% of full scale) maximum *
Input Stability	±1 count *
Gain Error	±6 counts maximum *
Offset Error	±2 counts maximum *
Maximum Inaccuracy	±0.3% @ 25°C (77°F) ±.6% 0 to 60°C (32 to 140°F)
Accuracy vs. Temperature	±50 ppm/°C typical

Output Specifications

Number of Channels	2, single ended (one common)
Output Range	0 to 5VDC or 0 to 10VDC (jumper selectable)
Resolution	12 bit (1 in 4096)
Conversion Settling Time	50µS for full scale change
Crosstalk	-80 dB, 1/2 count maximum *
Peak Output Voltage	±15VDC (power supply limited)
Offset Error	0.9% of range
Gain Error	0.4% of range
Linearity Error (end to end)	±3 count (0.075% of full scale) maximum *
Output Stability	±2 counts *
Load Impedance	2KΩ maximum
Load Capacitance	0.01µF maximum
Accuracy vs. Temperature	±50 ppm/°C typical

* One count in the specification tables is equal to one least significant bit of the analog data value (1 in 4096).

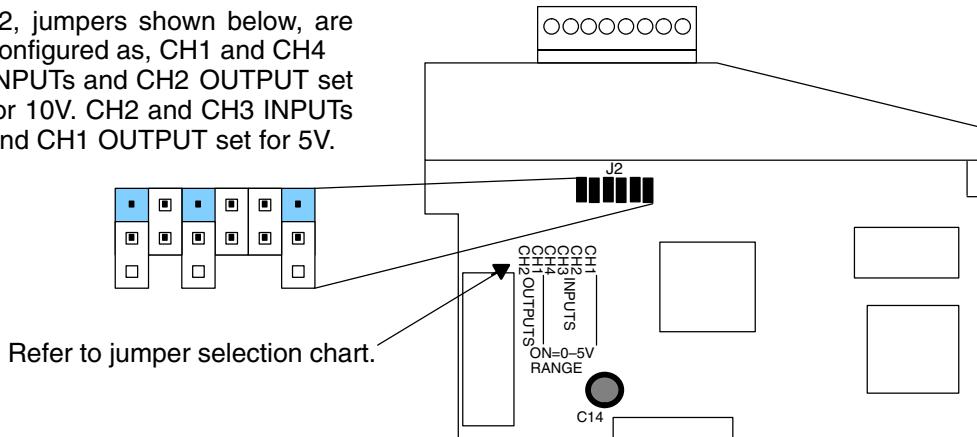
General Specifications

PLC Update Rate	4 input channels per scan 2 output channels per scan
16-bit Data Word	12 binary data bits
Operating Temperature	0 to 60° C (32 to 140° F)
Storage Temperature	-20 to 70° C (-4 to 158° F)
Relative Humidity	5 to 95% (non-condensing)
Environmental Air	No corrosive gases permitted
Vibration	MIL STD 810C 514.2
Shock	MIL STD 810C 516.2
Noise Immunity	NEMA ICS3-304
Power Budget Requirement	100 mA @ 5VDC (supplied by base)
Connector	Phoenix Mecano, Inc., Part No. AK1550/8-3.5 – green
Connector Wire Size	28 – 16 AWG
Connector Screw Torque	0.4 Nm
Connector Screwdriver Size	DN-SS1 (recommended)

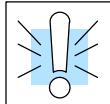
Setting the Module Jumpers

The position of the J2 jumpers determines the input and output signal levels. You can choose between 0–5VDC or 0–10VDC. The module ships with the jumpers installed connecting the pins. In this position, the input and output signal level is 0–5VDC. To select 0–10VDC signals, use the jumper selection chart located on the module. One or more channels can be selected for 0–10 VDC input and output signal level by removing the jumper from the connecting pin of the appropriate channel. This will allow you to have one channel selected for a 0–5 VDC signal and another channel selected for a 0–10 VDC signal.

J2, jumpers shown below, are configured as, CH1 and CH4 INPUTs and CH2 OUTPUT set for 10V. CH2 and CH3 INPUTs and CH1 OUTPUT set for 5V.



WARNING: Before removing the analog module or the terminal block on the face of the module, **disconnect power** to the **PLC** and **all field devices**. Failure to disconnect power can result in damage to the PLC and/or field devices.



Connecting and Disconnecting the Field Wiring

Wiring Guidelines Your company may have guidelines for wiring and cable installation. If so, you should check those before you begin the installation. Here are some general things to consider:

- Use the shortest wiring route whenever possible.
- Use shielded wiring and ground the shield at the transmitter source. *Do not* ground the shield at both the module and the source.
- Do not run the signal wiring next to large motors, high current switches, or transformers. This may cause noise problems.
- Route the wiring through an approved cable housing to minimize the risk of accidental damage. Check local and national codes to choose the correct method for your application.

A separate transmitter power supply may be required, depending on the type of transmitter being used.

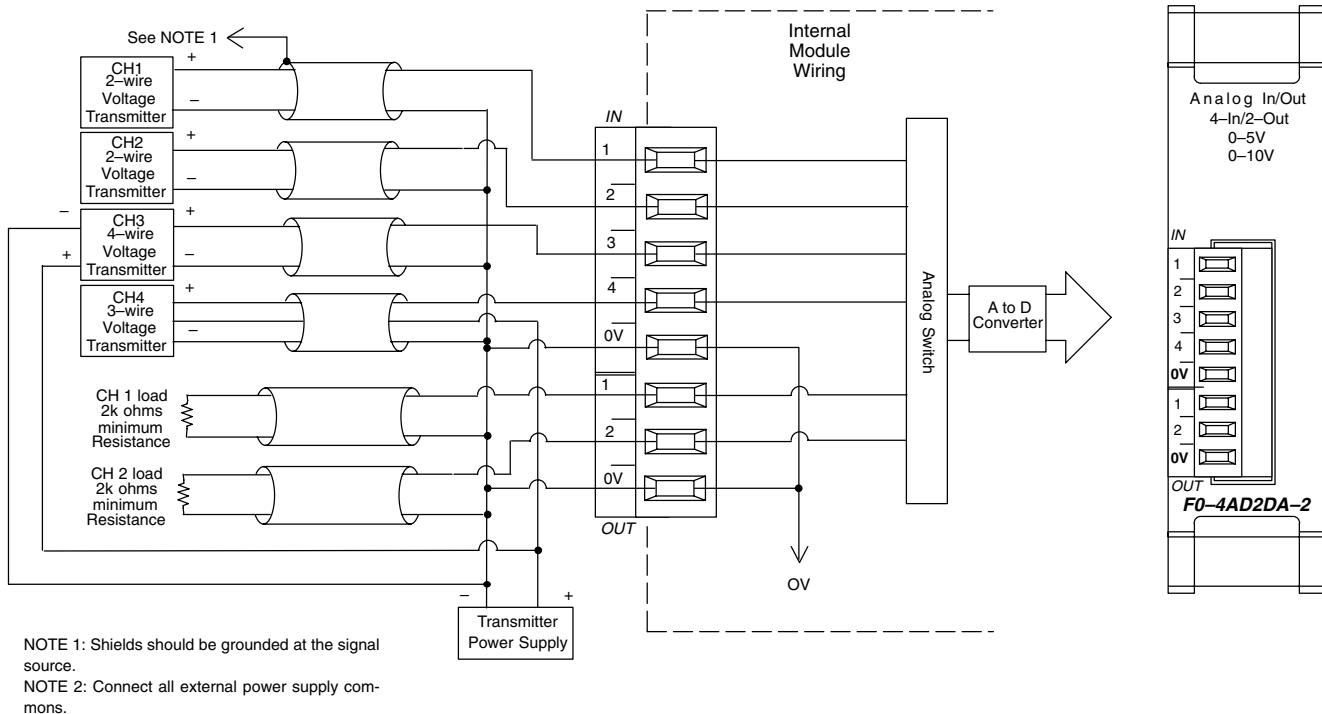
This module has a removable connector to make wiring and module removal easier. To remove the terminal block, disconnect power to the PLC and the field devices. Pull the terminal block firmly until the connector separates from the module.

The analog module can be removed from the PLC by folding out the retaining tabs at the top and bottom of the module. As the retaining tabs pivot upward and outward, the module's connector is lifted out of the DL05 socket. Once the connector is free, you can lift the module out of its slot.

Wiring Diagram

Use the following diagram to connect the field wiring. If necessary, the terminal block can be removed to make removal of the module possible without disturbing field wiring.

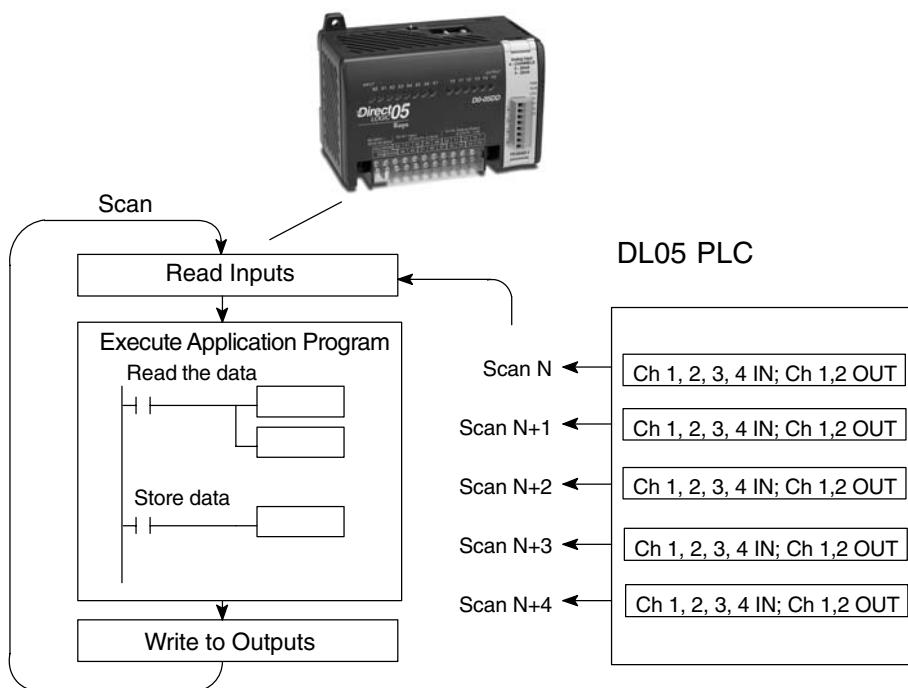
Typical User Wiring



Module Operation

Input/Output Channel Update Sequence with a DL05

The DL05 reads four channels of input data and two channels of output data during each scan. The CPU supports special V-memory locations that are used to manage the data transfer. This is discussed in more detail on the next page, "Special V-memory Locations."



Analog Module Updates

Even though the channel updates to the CPU are synchronous with the CPU scan, the module asynchronously monitors the analog transmitter signals and converts each signal into a 12-bit binary representation. This enables the module to continuously provide accurate measurements without slowing down the discrete control logic in the RLL program.

The module takes approximately 10 milliseconds to sense 95% of the change in the analog signal. For the vast majority of applications, the process changes are much slower than these updates.



NOTE: If you are comparing other manufacturers' update times (step responses) with ours, please be aware that some manufacturers refer to the time it takes to convert the analog signal to a digital value. Our analog to digital conversion takes only a few microseconds. It is the settling time of the filter that is critical in determining the full "update time." Our update time specification includes the filter settling time.

Special V-memory Locations

Data Formatting

The DL05 series has three special V-memory locations assigned to the analog combination module. These V-memory locations allow you to:

- specify the data format (binary or BCD)
- specify the number of input and output channels to scan.
- specify the V-memory locations to store the input data
- specify the V-memory locations to store the output data

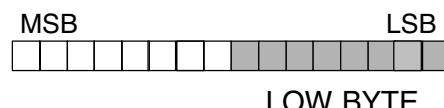
The table below shows the special V-memory locations used by the DL05 PLC for the analog combination module.

Analog Input Module V-memory Locations	
Data Type and Number of I/O Channels	V7700
Input Storage Pointer	V7701
Output Storage Pointer	V7702

Structure of V7700

V-memory location 7700 is used for identifying the number of output channels, the number of input channels and the data type (binary or BCD). The low byte equals the number of output channels and the high byte equals the number of input channels. Enter a 1 through 4 to select the number of input channels and a 1 through 2 to select the number of output channels to be used. A zero (0) entered for channel selection will cause the channel, either input or output, to be inoperative.

Loading a constant of 0402 into V7700 identifies four input and two output analog channels, and sets the I/O data type to BCD.



Loading a constant of 8482 into V7700 identifies four input and two output analog channels, and sets the I/O data type to binary.



Structure of V7701

V7701 is a system parameter that points to a V-memory location used for storing analog input data. The V-memory location loaded in V7701 is an octal number identifying the first V-memory location for the analog input data. This V-memory location is user selectable (refer to the DL05 Memory Map for the data word location). For example, loading O2000 causes the pointer to write Ch 1's data value to V2000, Ch 2's data value to V2001, CH 3's data value to V2002 and Ch 4's data value to V2003.

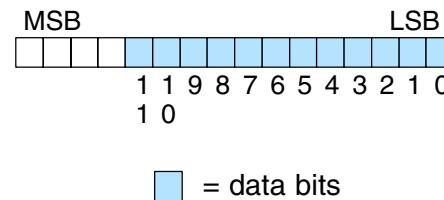
Structure of V7702

V7702 is a system parameter that points to a V-memory location used for storing analog output data. The V-memory location loaded in V7702 is an octal number identifying the first V-memory location for the analog output data. This V-memory location is user selectable (refer to the DL05 Memory Map for the dataword location). For example, loading O2010 causes the pointer to read Ch 1's data value at V2010 and Ch 2's data value at V2011.

You will find an example program that loads appropriate values to V7700, V7701 and V7702 on page 5-10.

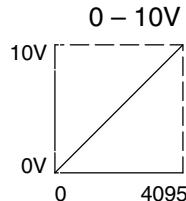
Analog Data Bits The first twelve bits represent the analog data in binary format.

Bit	Value	Bit	Value
0	1	6	64
1	2	7	128
2	4	8	256
3	8	9	512
4	16	10	1024
5	32	11	2048



Module Resolution Since the module has 12-bit resolution, the analog signal is converted from 4096 counts ranging from 0–4095 (2^{12}). For example, with a 0 to 10V range, send a 0 to get a 0V signal, and send 4095 to get a 10V signal. This is equivalent to a binary value of 0000 0000 0000 to 1111 1111 1111, or 000 to FFF hexadecimal.

Each count can also be expressed in terms of the signal level by using the following equation:



$$\text{Resolution} = \frac{H - L}{4095}$$

H = high limit of the signal range

L = low limit of the signal range

The following table shows the smallest change in signal level due to a digital value change of 1 LSB count.

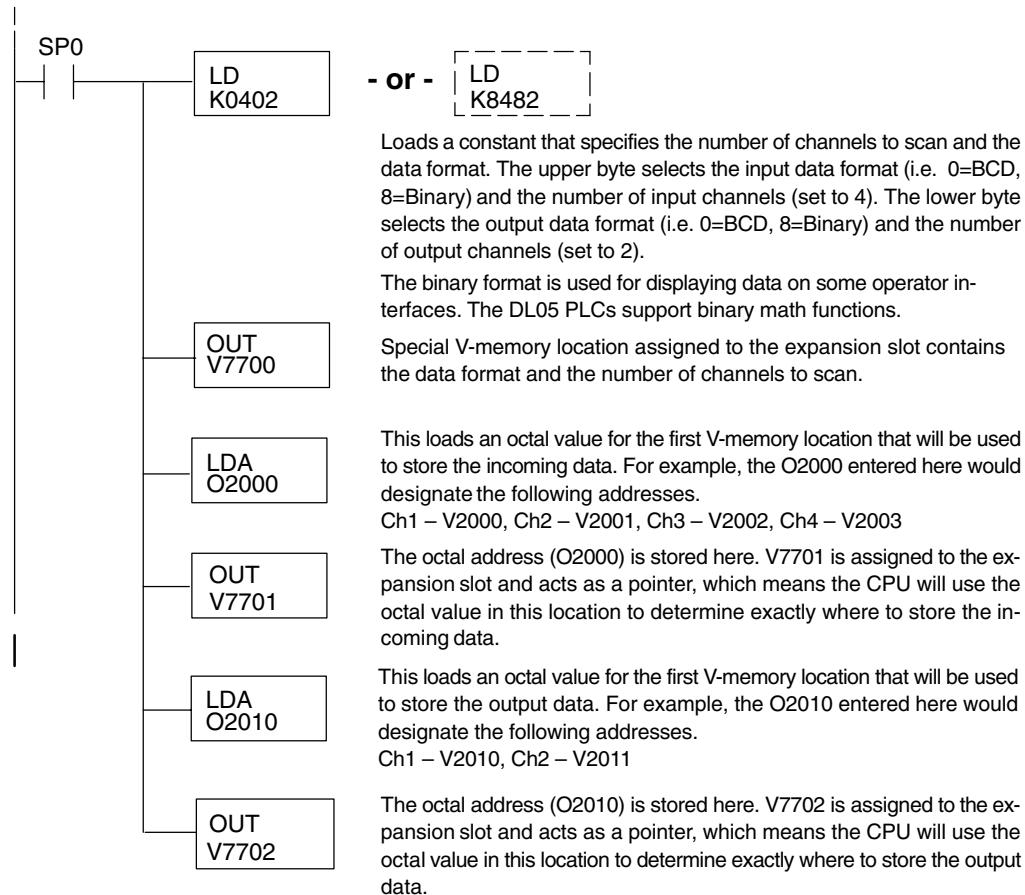
Voltage Range	Signal Span	Divide By	Smallest Output Change
0 to 5V	5 volts	4095	1.22 mV
0 to 10V	10 volts	4095	2.44 mV

Using the Pointer in Your Control Program

Using the program below, the CPU examines the pointer values (the memory locations identified in V7700, V7701 and V7702) on the first scan only.

The example program below shows how to setup these locations. Place this rung anywhere in the ladder program or in the initial stage if you are using stage programming instructions.

This is all that is required to read the analog input data into V-memory locations. Once the data is in V-memory you can perform math on the data, compare the data against preset values, and so forth. V2000 and V2010 is used in the example but you can use any user V-memory location.



Scale Conversions

Scaling the Input Data

Many applications call for measurements in engineering units, which can be more meaningful than raw data. Convert to engineering units using the formula shown to the right.

You may have to make adjustments to the formula depending on the scale you choose for the engineering units.

$$\text{Units} = A \frac{H - L}{4095}$$

H = High limit of the engineering unit range

L = Low limit of the engineering unit range

A = Analog value (0 – 4095)

For example, if you wanted to measure pressure (PSI) from 0.0 to 99.9 then you would have to multiply the analog value by 10 in order to imply a decimal place when you view the value with the programming software or a handheld programmer. Notice how the calculations differ when you use the multiplier.

Analog Value of 2024, slightly less than half scale, should yield 49.4 PSI

Example without multiplier

$$\text{Units} = A \frac{H - L}{4095}$$

$$\text{Units} = 2024 \frac{100 - 0}{4095}$$

$$\text{Units} = 49$$

Handheld Display

V 2001	V 2000
0000	0049

Example with multiplier

$$\text{Units} = 10 A \frac{H - L}{4095}$$

$$\text{Units} = 20240 \frac{100 - 0}{4095}$$

$$\text{Units} = 494$$

Handheld Display

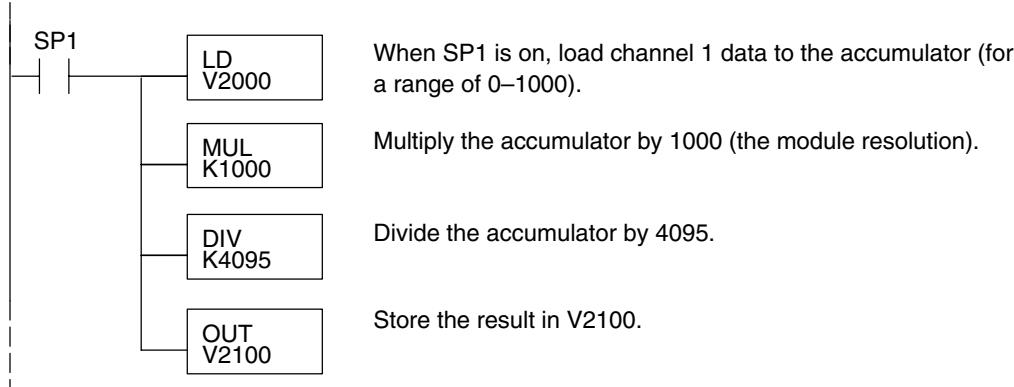
V 2001	V 2000
0000	0494

This value is more accurate

The Conversion Program

The following example shows how you would write the program to perform the engineering unit conversion from input data formats 0–4095. This example assumes the raw input data read at V2000 is in BCD format.

Note: this example uses SP1, which is always on. You could also use an X, C, etc. permissive contact.



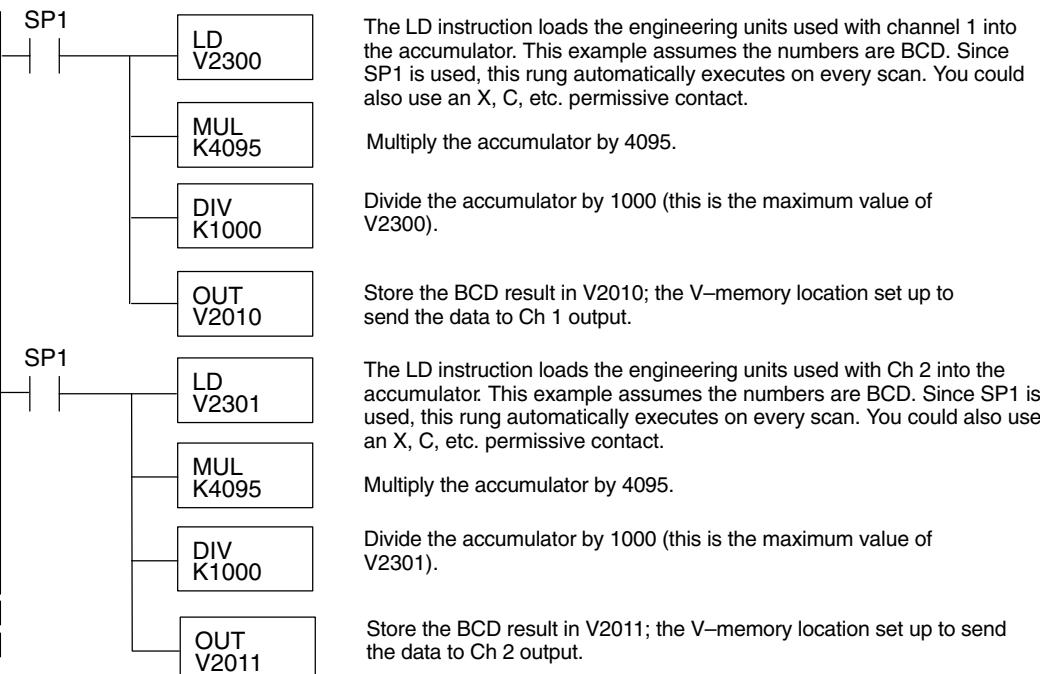
When SP1 is on, load channel 1 data to the accumulator (for a range of 0–1000).

Multiply the accumulator by 1000 (the module resolution).

Divide the accumulator by 4095.

Store the result in V2100.

The following example program shows how you would write the program to perform the engineering unit conversion to output data formats 0–4095. This example assumes you have calculated or loaded the engineering unit values in BCD format and stored them in V2300 and V2301 for channels 1 and 2 respectively. The DL05 offers instructions that allow you to perform math operations using BCD format. It is usually easier to perform any math calculations in BCD and then convert the value to binary before you send the data to the module.



The LD instruction loads the engineering units used with channel 1 into the accumulator. This example assumes the numbers are BCD. Since SP1 is used, this rung automatically executes on every scan. You could also use an X, C, etc. permissive contact.

Multiply the accumulator by 4095.

Divide the accumulator by 1000 (this is the maximum value of V2300).

Store the BCD result in V2010; the V-memory location set up to send the data to Ch 1 output.

The LD instruction loads the engineering units used with Ch 2 into the accumulator. This example assumes the numbers are BCD. Since SP1 is used, this rung automatically executes on every scan. You could also use an X, C, etc. permissive contact.

Multiply the accumulator by 4095.

Divide the accumulator by 1000 (this is the maximum value of V2301).

Store the BCD result in V2011; the V-memory location set up to send the data to Ch 2 output.

Analog and Digital Value Conversions

Sometimes it is useful to convert between the signal levels and the digital values. This is especially helpful during machine startup or troubleshooting. The following table provides formulas to make this conversion easier.

Range	If you know the digital value...	If you know the analog signal level...
0 to 5V	$A = \frac{5D}{4095}$	$D = \frac{4095}{5} (A)$
0 to 10V	$A = \frac{10D}{4095}$	$D = \frac{4095}{10} (A)$

For example, if you are using the 0–10V range and you need a 6V signal level, use this formula to determine the digital value (D) that will be stored in the V-memory location that contains the data.

$$D = \frac{4095}{10} (A)$$

$$D = \frac{4095}{10} (6V)$$

$$D = (409.5) (6)$$

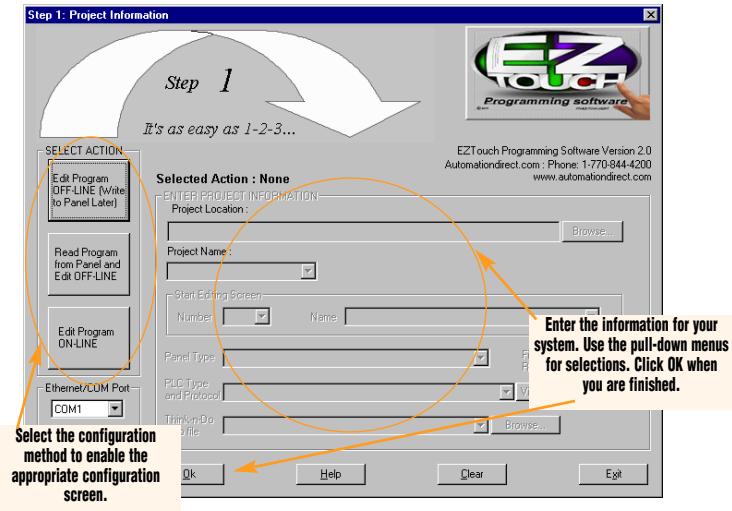
$$D = 2457$$

EZTOUCH PANEL SOFTWARE EXAMPLE

It's as easy as 1 2 3 to write an object to the EZTouch Panel

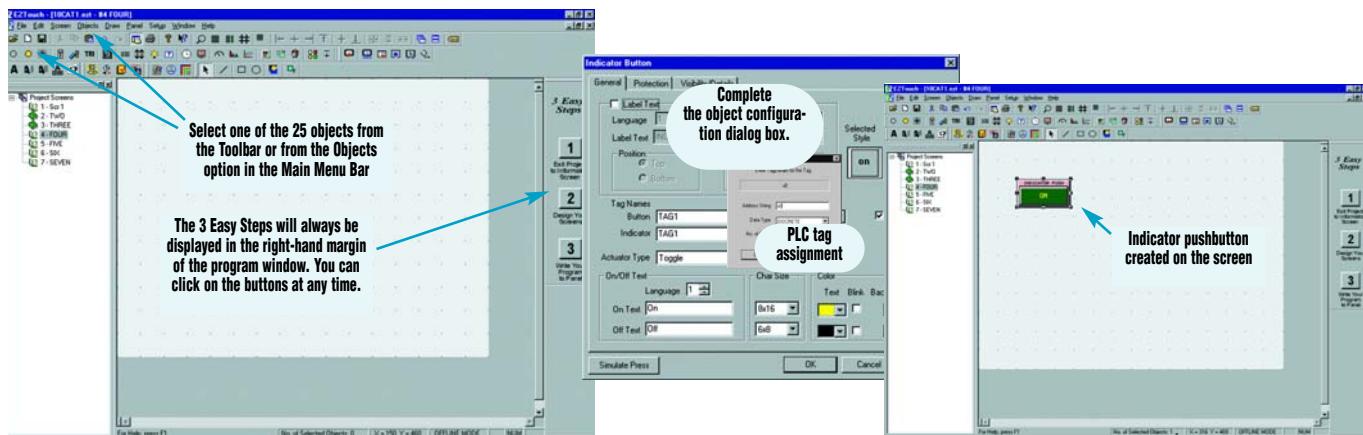
1

Start the EZTouch Programming Software. The initial screen provides several choices for creating and opening projects. First, choose which configuration mode you want to use: Edit Offline, Read from Panel, or Edit Online. Once you choose the configuration mode, you can enter all of your system parameters by typing in the fields or using the pull-down menus.



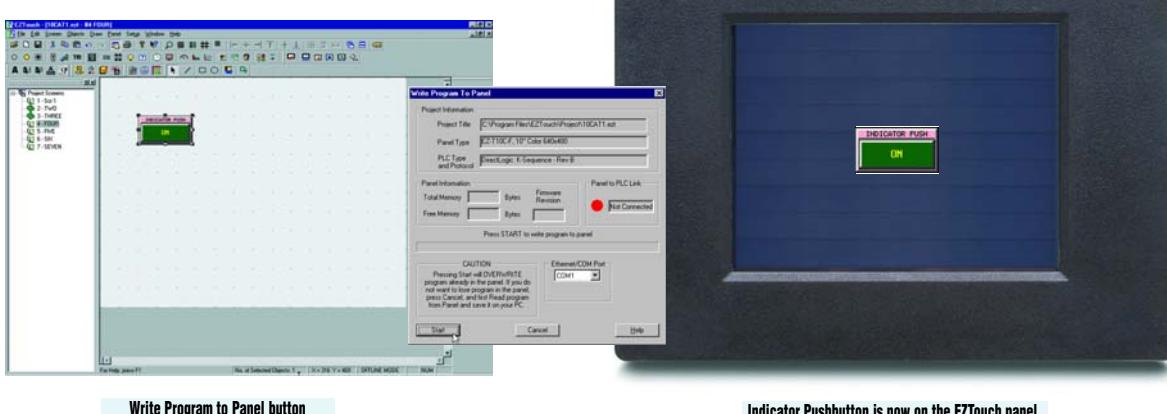
2

Once your new screen is open, you can start building and creating objects using the easy menu or toolbars.



3

Click on the “Write Program to Panel” button, double check the download dialog box, click OK, and you are finished.



Indicator Pushbutton is now on the EZTouch panel.

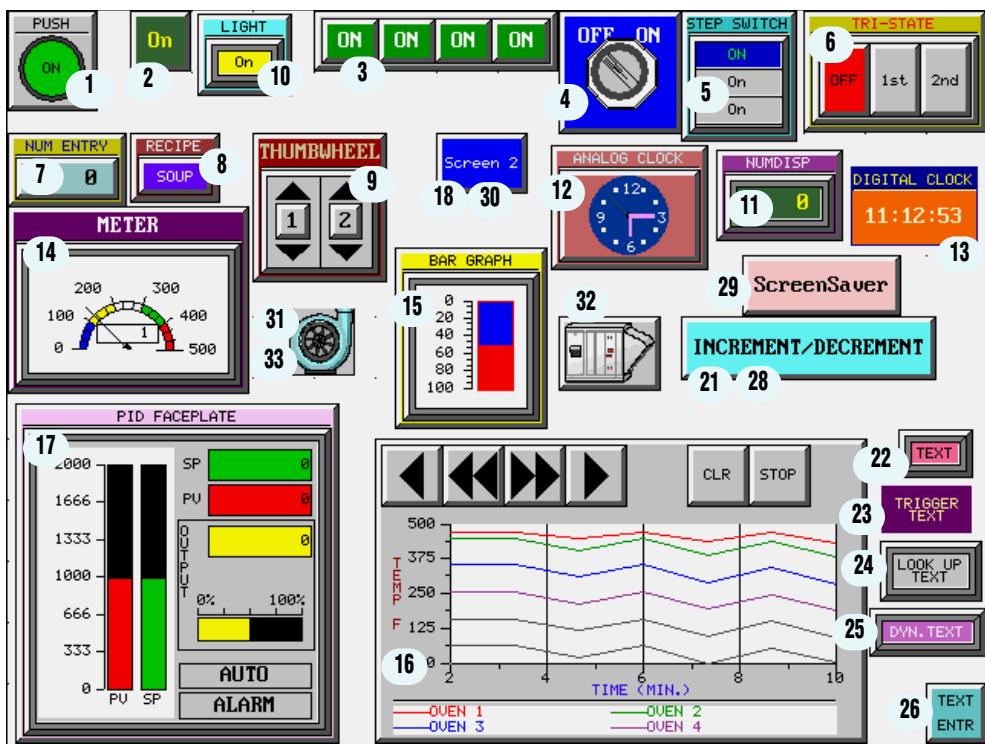
EZTOUCH PANEL OBJECTS

The most practical and best-looking objects available

The image below shows a screen containing many of the 33 available objects. This page and the facing page cover some of the featured objects available in the EZTouch program.

Radio Buttons 3

The Radio Button object allows you to create a series of pushbuttons (2-8) that function much like a pushbutton car radio. When one button is active, the others are off (only one station at a time).



Meters 14

The Meter object gives you multiple choices for meter type and operation. You can custom design the color bars for the alarm zones and select the number of ticks to be displayed. The meters are an excellent graphical representation for an analog gauge.

Line and Bar Graphs 15 16

The line and bar graphs have unbelievable resolution. The charts have the ability to display a legend for your X and Y axis. You can also assign a label to the major "tic" marks on the chart. Add a little color and the graphs look as good as they function.

1	Pushbutton
2	Indicator Button
3	Radio Button
4	Switch
5	Step Switch
6	Tri-State Switch
7	Numeric Entry
8	Recipe
9	Thumbwheel
10	Indicator Light
11	Numeric Display
12	Analog Clock
13	Digital Clock
14	Meter
15	Bar Graph
16	Line Graph
17	PID Faceplate
18	Screen Change
19	Alarm History
20	Multi-state Indicator
21	Increment/Decrement
22	Static Text
23	Trigger Text
24	Lookup Text
25	Dynamic Text
26	Text Entr
27	Adjust Contrast
28	Inc/Dec Hour
29	Activate Screen Save
30	Select Language
31	Dynamic Bitmap
32	Bitmap Button
33	Multi-state Bitmap

PID Faceplate 17

For those PLC systems that support PID capabilities, there is a special faceplate to display the PID parameters. The PID object reads three controlled values of the PID loop and displays them in a bar graph form.

EZTOUCH PANEL OBJECTS

Bitmap Objects (Dynamic, Multi-state, Button, and Static)

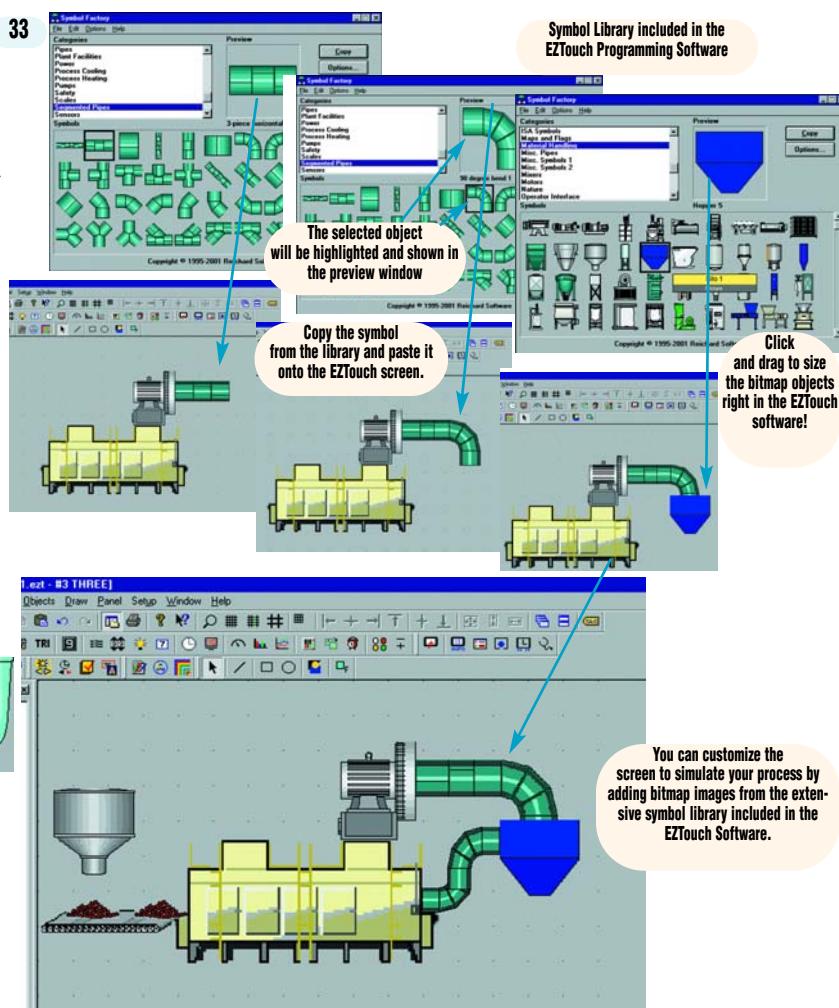
The Dynamic Bitmap and Multi-state Bitmap objects allow you to create simple-to-complex objects. You can use the extensive built-in symbol library to copy and paste hundreds of objects directly to the project screen. They can be arranged and positioned in any manner that you prefer.

The Dynamic Bitmap allows you to create and stack objects on top of each other for a true dynamic representation. The bitmap that is activated by the panel or by the control program will be the one that is active or on top. For example, you could create a green blower and a red blower and stack them on top of each other as shown below. If the process is running and the blower is in operation, the green one would be shown. If it was off, the red one would be shown.

The Multi-state Bitmap object is just like the Dynamic Bitmap — only more powerful, and with up to 16 bitmaps to display, based on bit of word or word address.



The Bitmap Button object is just that: a push-button with On/Off images instead of colors and text; and the Static Bitmap is simply an imported bitmap that can be sized but remains static.

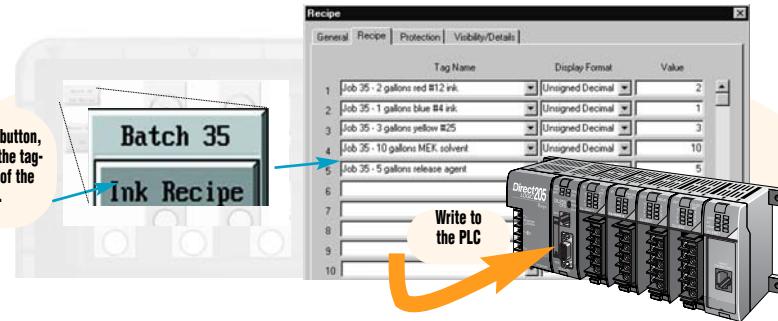


OPER. INT.

Recipe Objects 8

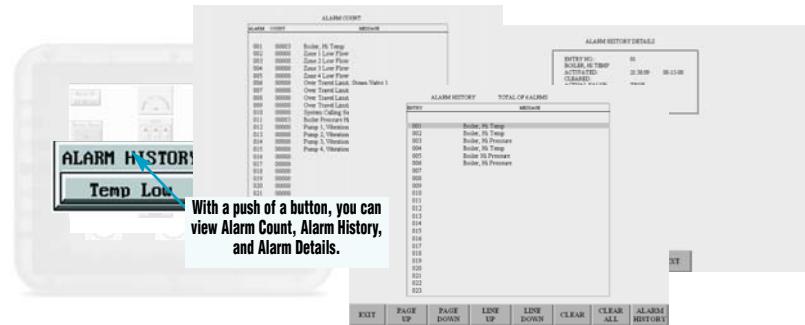
The Recipe object allows you to write preset values (or PLC register values) of up to 20 registers in the EZTouch panel with the click of a button. These values may be transferred from the panel registers to the PLC to change the process.

With one click of a button, you can view all of the tag-names and values of the recipe batch.



Alarm History 19

You can configure an Alarm History button to provide Alarm Count or Alarm History. Alarm Details are accessed through the Alarm History. The Alarm Count will list all alarms and show a total count for each alarm. The Alarm History will show each alarm that has occurred with the most recent at the top. When you highlight and select Alarm Detail you will get the date, time, current value, upper/lower limits, and which limit is tripped.



EZTOUCH CONFIGURATION SOFTWARE

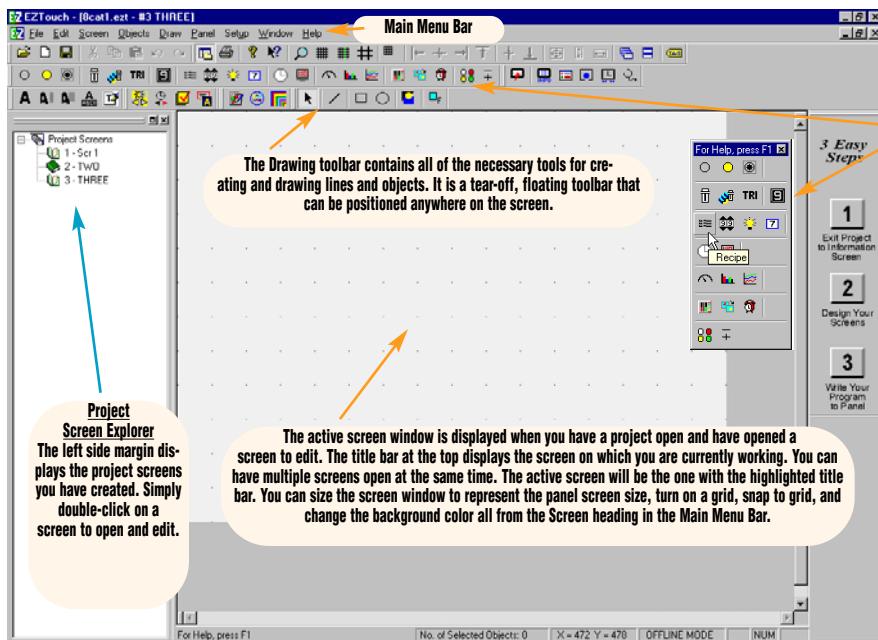
Easy-to-use programming software

The EZTouch Programming Software makes the configuration process simple and easy. The previous two pages described all of the powerful objects available in the program. These two pages illustrate the ease and simplicity of creating and building these objects.

The EZTouch Programming Software has a Main Menu Bar, tear-off toolbars, a Project Screen Explorer, a main window area, and individual screen windows. You can build multiple screens and tile or cascade them in the main window area.

Toolbars

There are nine Toolbars to help simplify your programming process (Standard, Basic Objects, System Objects, Text Objects, Bitmap Objects, Draw, Panel, 3 Easy Steps, and Project Screens). The Toolbars are tear-off, which means that you can move and resize them to better suit your needs. The example here shows the Basic Objects Toolbar moved to the right and resized. It also shows the Fly-over help or ToolTip that is associated with each object icon. You can display the Panel toolbar by selecting it in the Edit pull-down selection. This toolbar provides the icons for the following: write to panel, panel information, display screen, reboot panel, panel time and date, and diagnostics.



Minimum PC requirements:

- Pentium, 133MHz, CD ROM
- 32 MB RAM
- 87 MB free disk space
- WIN95/98/2000/NT4.0/XP/XP Pro
- Color SVGA
- 800x600 minimum
1024x768 recommended

Online programming

The EZTouch panels support full-scale online programming. You will be able to view the project that is in the panel, edit it while it is online, then save it to the panel.

To give you a quick explanation of the benefit of this feature, let's compare it to offline programming. Typically, when you build a project, it is saved both on your PC and the panel. To make changes to the program in the panel, you would have to open the saved file on your PC, make the changes, save the changes, and transfer to the panel. In the EZTouch Programming Software, you can be connected online with a simple click of a button. Once you are connected, the screen that you see on the panel is the screen you see on the PC. Now when you save the changes to the program, they will be made directly to the panel.

Windows architecture

The EZTouch Programming Software is a true 32-bit Windows-type application. There are pull-down menus on every Main Menu Bar heading, some of which provide more menu options or dialog boxes for configuration. Most icons have the fly-over ToolTip that is associated with the 32-bit architecture. When your cursor is on top of an icon, a brief description or hot key is displayed in a small pop-up cloud. This type of information may be helpful in choosing which object or selection that you need to make. Also, like other Windows-type applications, you can tile or cascade multiple screens in the main display window, and minimize and maximize them as well. We think you will be pleased with the ease and simplicity these features provide.

EZTOUCH CONFIGURATION SOFTWARE

Typical object configuration dialog box

A Using the toolbar or pull-down menu, select the object that you want to create.

B Each object has an associated dialog containing all of the necessary parameters for creating the object. Simply fill in the areas to meet your application needs and click OK. The object can now be drawn on the screen.

C Object is drawn on the screen

Most of the objects have a style selection of how the object will appear on the screen.

Display Frame

No Frame

OPER. INT.

Color palette

The color palette has 128 available colors for text, background, indicators, and other object parameters.

PLC addressing

One of the fields to be completed in the object creation window is the PLC tagname. Type in the tagname and the appropriate PLC address string and data type, and the object will be linked to the PLC. It's that easy!

ADD NEW TAG DETAILS

Enter TagDetails for the Tag
IPcType: DirectLogic K-Sequence - Rev B
Address String: C0
Expected IO Type: R/W
Data Type: DISCRETE
No. of Chars: 1

Password protection

Most functional objects have built-in password protection for up to eight different user groups. Simply choose the group or level of protection, and enter the password.

Si usted prefiere que sus mensajes se visualizan en Español, simplemente seleccione el número de el lenguaje que desea y escribalos en su texto para cada función.

On/Off Text
Language: 2
On Text: Valvola 1 prendido
Off Text: Valvola 1 apagado

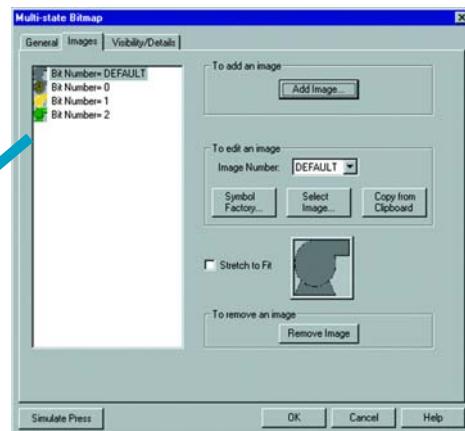
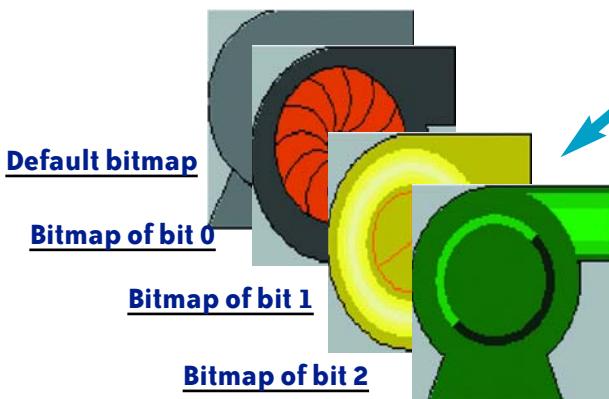
O, se ha qualche operatore che preferisce l'italiano, scriva il test in una forma più comprensibile per loro.

On/Off Text
Language: 3
On Text: Valvola 1 accesa
Off Text: Valvola 2 spenta

EZTOUCH CONFIGURATION SOFTWARE

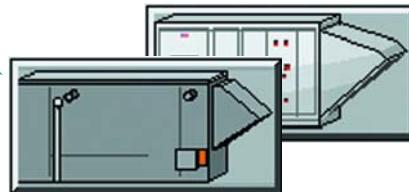
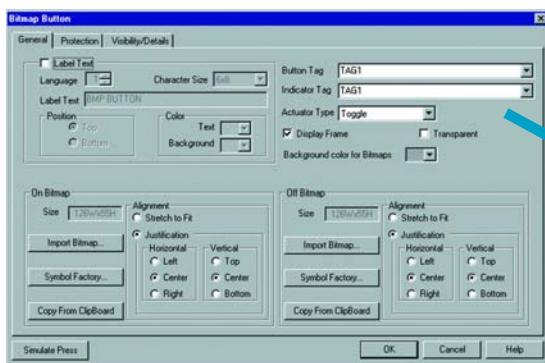
Multi-state Bitmap Object

The Multi-state Bitmap Object is created to display images within a frame on the EZTouch panel screen. Each object has its own programmed images. The object will display one image at a time based on what bit is set, or a value in the tag. The maximum number of images that can be programmed is based on available memory.



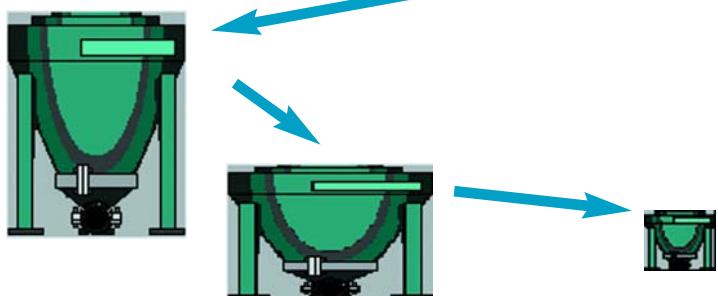
Bitmap Button Object

The Multi-state Bitmap is a touch object that combines functions of a button, a Dynamic Bitmap, and an Indicator Light. It allows you to perform a WRITE operation to one bit and a READ operation from a second discrete location. The state of that READ location determines whether the button is displayed in the ON or OFF mode. You may choose to make the READ and WRITE location the same.



Sizing bitmap objects

EZTouch software allows bitmap objects to be sized with total flexibility, including changing the shape. Simply click on the object to select, and then click and drag one of the side or corner handles to size the bitmap as needed.

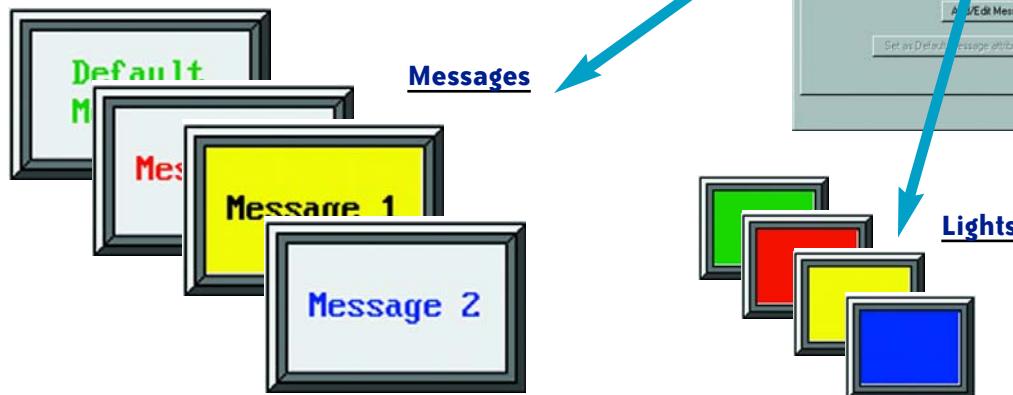


EZTOUCH CONFIGURATION SOFTWARE

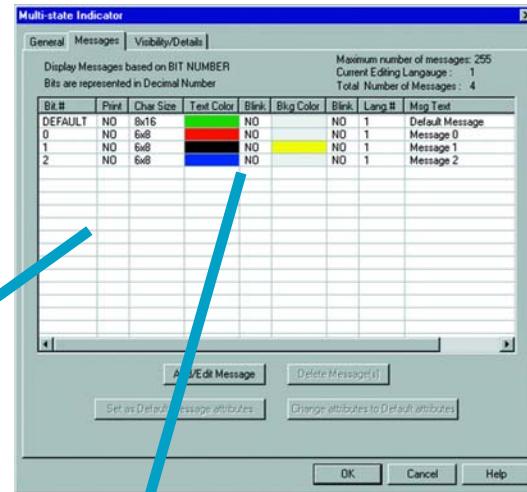
Multi-state Indicator Object

The Multi-state Indicator Object is created to display preprogrammed messages within a frame on the EZTouch panel screen. Each object has preprogrammed messages that are stored in the object itself. In other words, messages are stored in the object, NOT the Message Database. (The Message Database is used by the Lookup Text Object only.) It displays one message at a time based on what bit is set, or a value in the tag. The maximum number of messages that can be programmed is 255. Click on the Messages tab to program messages in the database.

The Multi-state Indicator can also be used without messages as simply a Multi-state Indicator Light, such as the one shown here.

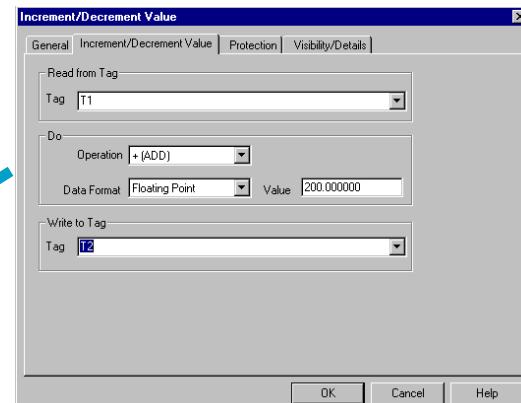
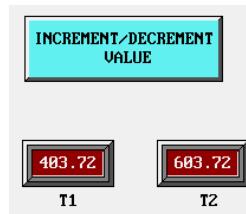


OPER. INT.



Increment/Decrement Value Object

The Increment/Decrement Value Object allows you to configure a button, that when pressed, will Add or Subtract from a value using two tags and a programmed value. You will be able to Read a value in the first tag and then Write to another using the value you have programmed to increment or decrement that register value. Of course, if both tags are the same, the tag itself is changed by that value.

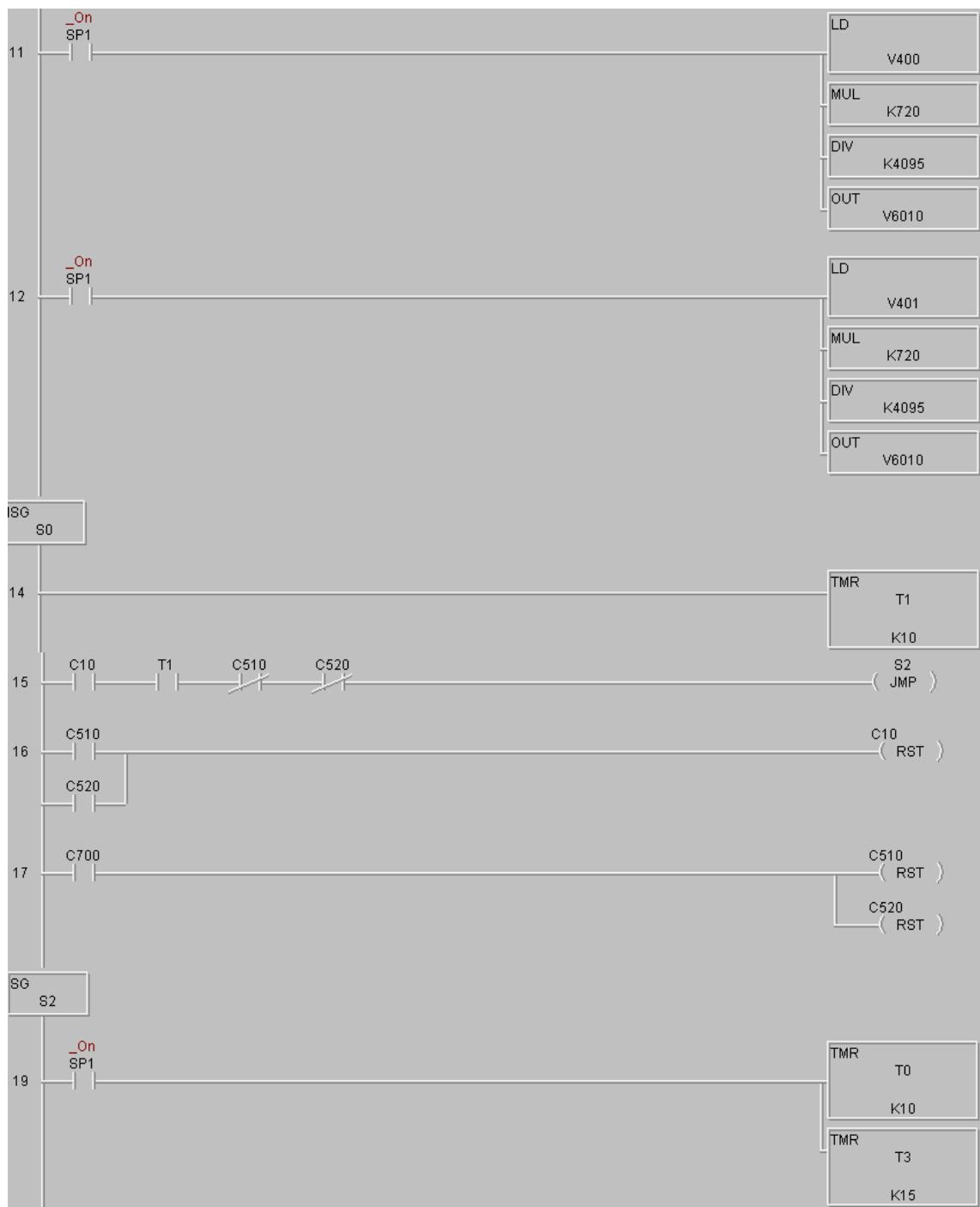


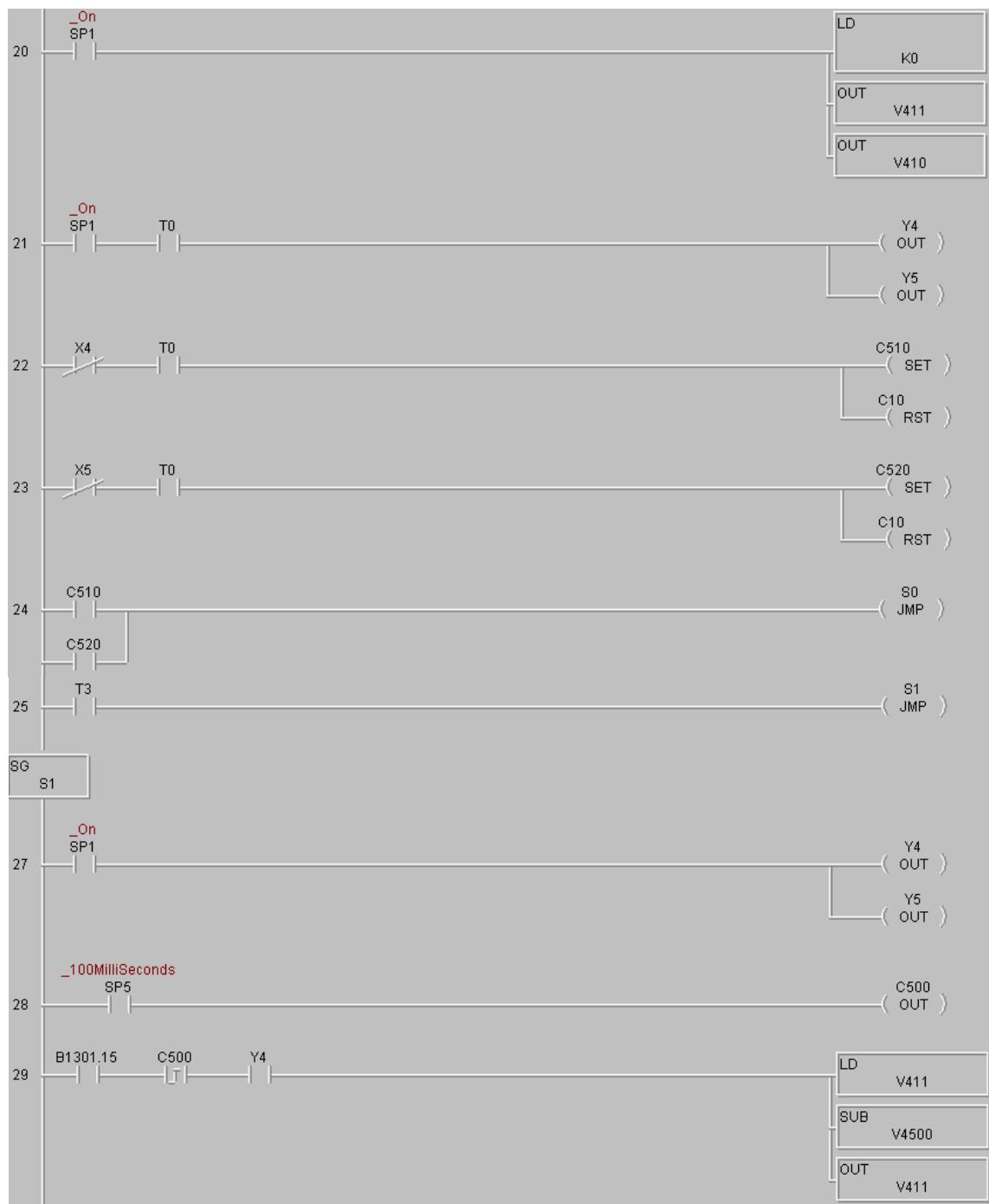
ANEXO E.

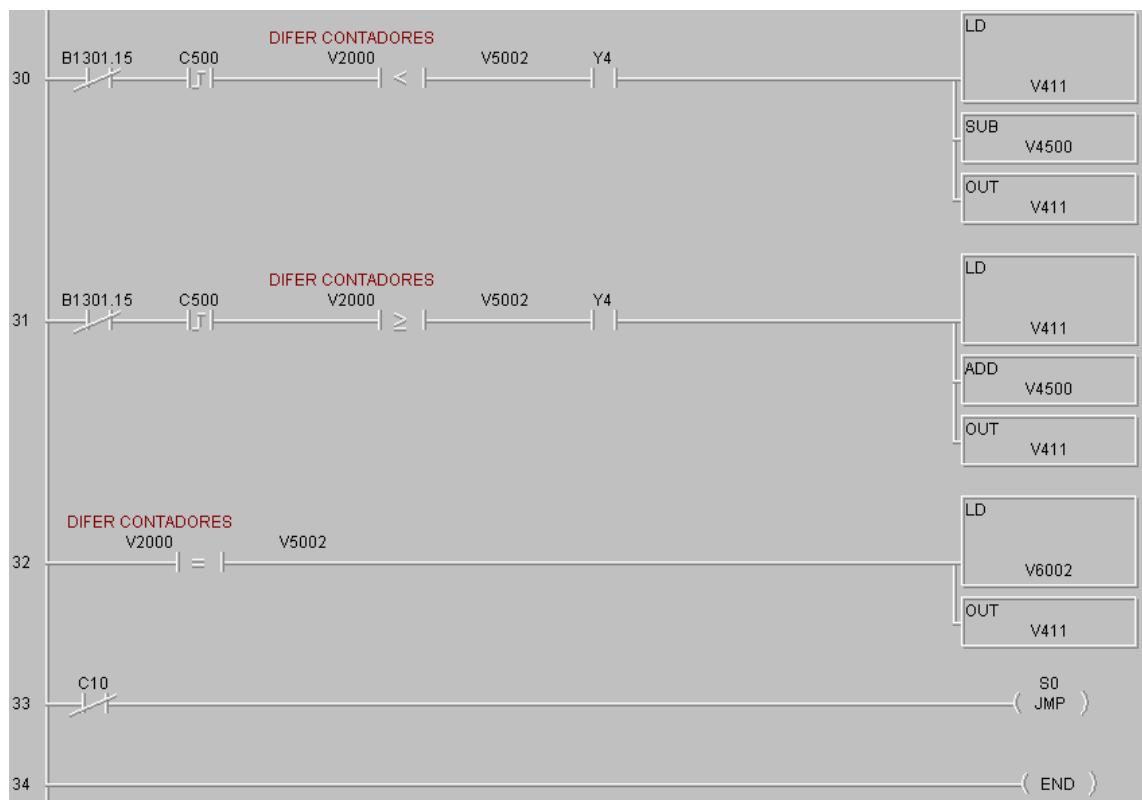
LISTADO DEL PROGRAMA DEL PLC











LATACUNGA, 6 DE OCTUBRE DEL 2009

ELABORADO POR:

JORGE TAPIA VACA.

ADRIAN LEÓN AGUIRRE.

RESPONSABLES DEL PROYECTO

**ING. ARMANDO ALVARES S.
DIRECTOR DE CARRERA**

**DR. EDUARDO VAZQUEZ A.
SECRETARIO ACADEMICO**