

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN TABLERO
ELÉCTRICO PARA EL CONTROL DE UNA
MÁQUINA CORTADORA DE ROCAS DE 30
TONELADAS**

**INFORME DE SUFICIENCIA PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

JUAN FERNANDO CASTRO MORI

PROMOCIÓN 2001-II

LIMA-PERÚ

2006

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO ELÉCTRICO PARA EL CONTROL DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE ROCAS DE 30 TONELADAS

TABLA DE CONTENIDOS

PRÓLOGO.....	01
I. Capítulo 1	
INTRODUCCIÓN.....	04
1.1 MÁQUINA CORTADORA DE ROCAS.....	06
II. Capítulo 2	
ANTECEDENTES.....	10
2.1. DESCRIPCIÓN DE MÁQUINA CORTADORA.....	10
2.1.1. Descripción de los motores.....	12
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	16
2.3. EL PROBLEMA Y SU SOLUCIÓN.....	18
III. Capítulo 3	
FUNDAMENTO TEORICO.....	19
3.1. AUTOMATIZACION INDUSTRIAL.....	19
3.1.1. Antecedentes históricos.....	19
3.1.2. Los fundamentos modernos de la Automatización.....	21

3.1.3. Modelo estructural de un Sistema Automatizado.....	23
3.1.4. Parte de Control	26
3.1.5. Niveles de automatización.....	29
3.2. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC).....	36
3.2.1. Software para PLC.....	41
3.2.2. Componentes de un PLC.....	43
3.2.3. Operación del PLC.....	45
3.3. VARIADORES DE VELOCIDAD ELECTRÓNICOS.....	45
3.3.1. El Motor.....	46
3.3.2. El Convertidor de Frecuencia.....	47
3.3.3. Circuito recomendado.....	49

IV. Capítulo 4

DISEÑO DEL PROYECTO.....	53
4.1. DISEÑO ELÉCTRICO.....	53
4.1.1. Arranque Directo.....	53
4.1.2. Arranque estrella/triángulo.....	55
4.1.3. Cálculos.....	56
4.1.4. Plano eléctrico.....	57
4.2. DISEÑO ELECTRÓNICO.....	63
4.2.1. Selección del Controlador Lógico Programable.....	63
4.2.2. Selección del Variador de Velocidad.....	67

4.2.3. Diagramas de Conexión.....	75
-----------------------------------	----

V. Capítulo 5

EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	79
-----------------------------	----

5.1. PROGRAMA DEL CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC).....	79
---	----

5.2. PROGRAMA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD.....	84
--	----

5.2.1. Breve descripción del variador X-Travert.....	84
--	----

5.2.2. Configuración del variador de velocidad.....	87
---	----

VI. Capítulo 6

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	90
--	----

6.1. COSTOS Y BENEFICIOS.....	90
-------------------------------	----

6.1.1. Comparación de costos de inversión.....	90
--	----

6.1.2. Beneficios de Producción.....	91
--------------------------------------	----

6.2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	93
-----------------------------------	----

6.2.1. El método del Período de Retorno.....	93
--	----

6.2.2. El método del Valor Actualizado Neto.....	94
--	----

6.2.3. El método de la Tasa Interna de Retorno.....	96
---	----

Conclusiones

Bibliografía

Apéndice

PRÓLOGO

La utilización de la Piedra Natural por el hombre en el mundo tiene una larga historia, pero como actividad industrial es muy reciente. Se puede definir la Piedra Natural, como producto industrial, a aquellas rocas que después de un proceso de elaboración son aptas para ser utilizadas como materiales nobles de construcción, elementos de ornamentación, arte funerario y escultórico, objetos artísticos y variados, conservando su composición, textura y características físico-química.

Las Piedras Naturales, de mayor interés comercial y económico, son aquellas que por sus características de vistosidad, físicos-mecánicas y aptitud para el pulido constituyen la materia prima que ha dado lugar al desarrollo de la llamada Industria de la Piedra Natural. Atendiendo a estos criterios se conocen mundialmente los tres grupos denominados genéricamente Granitos, Mármoles y Pizarras, también llamadas Rocas Ornamentales por el valor estético que tiene agregado al de su empleo.

En el Perú, las empresas dedicadas a este rubro se encuentran en desarrollo y en competencia constante, no sólo a nivel nacional sino también a nivel internacional. Por estas razones se hace necesaria la tecnificación y

el desarrollo de la ingeniería para optimizar procesos que den mayor calidad a menores costos.

Lo que se demostrará en el presente trabajo es como la aplicación de los conocimientos en Ingeniería Mecatrónica contribuyen al crecimiento de una empresa nacional para que sea competente a nivel mundial. Pues como es bien conocido en todo el primer mundo, las industrias empiezan a descartar sus máquinas con muy pocas horas de uso, con lo que se hace normal encontrar maquinaria de diversas ramas ofrecidas a industrias como las nuestras. En la mayoría de los casos estas máquinas vienen ya reparadas por el vendedor, el cual normalmente es un intermediario, y en otros casos por la empresa que está cambiando de maquinaria; la maquinaria ofrecida de esta forma es mucho más económica que la vendida por los intermediarios y mucho más barata que una nueva. Es ahí donde entra con protagonismo el empresario peruano decidiéndose por la mejor opción. Si cuenta con el personal idóneo se puede atrever y adquirir máquina de segunda sin reparar pues, como también se demostrará en el proyecto, en nuestro Perú existe personal técnico e Ingenieros competentes, que no se limitaran sólo a cambiar partes, hacer mantenimiento y poner operativa dicha maquinaria, sino también, analizará y podrá entender del por qué el diseñador usó un determinado tipo de material de fabricación para sus diversas partes, los tipos de acabado superficial según componente, el tipo de tecnología, o un determinado tipo de control, y finalmente con esta información correctamente trabajada hacer en el Perú: Ingeniería, es decir

aprendiendo de los demás y agregándole nuestros conocimientos en un futuro cercano podríamos fabricar maquinaria de acuerdo a nuestras reales necesidades y crear, de esta forma, industria nacional competitiva.

En el capítulo 1, se explica detalladamente que es lo que deseamos realizar y los pasos seguidos para lograrlo. En el capítulo 2, se realiza un enfoque detallado del problema en cuestión, se analiza el estado actual de la máquina y que queremos lograr y de que modo lo vamos hacer. En el capítulo 3, se tratará todo lo relacionado a los tópicos de automatización industrial, controladores lógicos programables (PLC's) y los variadores de velocidad electrónicos. En el capítulo 4, se divide en dos partes: la primera trata sobre el diseño de la parte de potencia, y la segunda, es sobre la parte de control; se seleccionan los diversos dispositivos eléctricos y electrónicos que se van a usar. En el capítulo 5, trata sobre los programas del PLC y variador de velocidad que se desarrollaron para llegar al funcionamiento deseado. En el capítulo 6, se demuestra el ahorro que se hace en la inversión y el aumento de producción que se logró gracias a que entró en operación la máquina automatizada.

Finalmente quiero dar todo mi agradecimiento a mi familia, por su comprensión y su apoyo en el camino recorrido para lograr mis objetivos.

CAPÍTULO 1: **INTRODUCCION**

La elaboración de mármoles y granitos comprende la realización de todas las operaciones necesarias para transformar los bloques obtenidos de la cantera, en planchas o en piezas que tengan la forma, medida y acabado que se precisa para su puesta en obra (pavimentos, revestimientos, escaleras para edificaciones, etc.).

El mármol y el granito entran a las plantas productivas como materia prima en forma de bloques, más o menos, paralelepípedos, en promedio de 15 a 30 toneladas, iniciándose su elaboración en función de las características del material a tratar: tamaño del bloque, dureza, color, fragilidad, etc., y de las dimensiones finales que se quiera dar al producto tratado.



Foto1: Bloque de mármol almacenado

La empresa donde se ejecutó el proyecto está dedicada al corte de mármol y especialmente a la elaboración de baldosas de medidas comerciales (p.e: 30 x 30 cm., 45 x 45 cm., 60 x 60 cm., etc.). Para la fabricación de baldosas se realiza el proceso siguiente:

- Extracción de bloques en cantera.
- Traslado de bloques de cantera a Planta.
- Descarga de bloque en almacén, usando grúa de 32 toneladas.
- Corte de bloque en Máquina Cortadora de Rocas.
- Doblado de material previamente cortado, es decir, se duplica la cantidad de material que procesa la cortadora de rocas haciendo un corte longitudinal y dividiendo en 02 el espesor, conservando el mismo ancho y largo, por lo tanto se obtienen planchas de medidas similares a la de la Cortadora de Rocas pero de la mitad de espesor, éstas son conocidas como filañas. Este proceso se realiza con una máquina conocida como Dobladora.
- Las filañas resultantes son calibradas y pre-pulidas. Con la finalidad de que todas las piezas a tratar tengan el mismo espesor (normalmente 9.5 mm), esto se realiza en una máquina conocida como Calibradora / Pulidora.
- Las piezas resultantes pasan por otra Pulidora (para el acabado superficial final), en seguida por una Cortadora Múltiple (para obtener baldosas de medidas requeridas)
- Y finalmente se realiza la selección de material lo que determinará la calidad del producto terminado.



Foto2: Vista lateral de Cortadora

La máquina sobre la cual trata el presente trabajo es de la Cortadora de Rocas, máquina fundamental del proceso productivo y la cual inicia el proceso de elaboración de baldosas con medidas comerciales en planta. Por lo cual es de suma importancia para nuestro trabajo conocer previamente el funcionamiento de las máquinas cortadoras de rocas en general.

1.1. Máquina Cortadora de Rocas.

Las máquinas cortadoras se encuentran a la cabeza de la fabricación en grandes series de productos terminados cuadrados y rectangulares de medida constante o variable, procediendo directamente al corte de los bloques de roca según un ciclo específicamente desarrollado y puesto a punto en el lapso de los 10 últimos años, aunque limitado a las rocas de dureza media y planchas con anchuras que, en general, no superan los 60 cm. También se utilizan cuando el bloque es muy irregular.

Al disponer de discos diamantados de gran diámetro se pueden realizar cortes muy profundos en sucesivas pasadas de 3 a 8 cm. cada una, llamadas "incrementos", empleándose uno o varios discos en paralelo, normalmente de 3 a 12, que pueden cortar en un sentido o en ambos, y obteniéndose tiras divididas cuyo ancho en conjunto puede llegar a ser 30 cm. El número de "incrementos" necesarios para alcanzar una profundidad dada disminuye con la dureza de la roca.

Asimismo, estos equipos suelen estar dotados de un disco horizontal acoplado con el vertical y que permite obtener baldosas cuyos lados paralelos tienen una altura máxima igual a $1/3$ del diámetro del disco vertical. El corte horizontal se efectúa una vez que las tiras están cortadas a la profundidad definitiva. La potencia de la mayoría de estas máquinas es de 112 kW para el motor vertical y de 37 kW para el horizontal, consumiéndose el 50-60% de la potencia instalada.

En ocasiones, cuando se trabaja con mármol se cortan tiras más gruesas, múltiplo del espesor final que han de ser desdobladas posteriormente. El objeto de esta operación es incrementar la capacidad de corte de la cortadora de rocas. El rendimiento medio para una cortadora de rocas de granito es de 5 m²/h y de 7 a 15 m²/h para uno de mármol.

En los modelos más sencillos el cabezal de corte vertical está formado por un frente móvil que se desliza a lo largo de una viga-puente.

Esta a su vez dispone de movimiento vertical. El carro porta bloques o plataforma porta rocas se mueve a medida que el corte avanza en la misma dirección, estando toda la operación controlada con ordenador. Estos modelos se utilizan para el corte de bloques de mármol con una única pesada.

Otro tipo de cortadora de rocas, compuesto por cuatro columnas, dispone el cabezal de corte sobre una viga móvil a lo largo de la cual se desplaza. La viga, a su vez, puede deslizarse horizontalmente en dirección perpendicular al movimiento del cabezal, estando todo el conjunto dotado de un tercer movimiento vertical. El bloque permanece fijo durante todo el proceso de corte.

Por último, existe un nuevo tipo de cortadora de rocas de puente con estructura muy rígida, concebido para cortar bloques de granito utilizando discos de mayor diámetro (1.6m), y con una mayor precisión. El bloque es colocado sobre un carro móvil que lo sitúa bajo el cabezal de corte y se para. A continuación este cabezal desciende verticalmente y realiza el corte transversal en la dirección de mayor rigidez estructural. Una vez completado el corte transversal, el carro sitúa la siguiente parte del bloque a cortar. Finalmente se realiza el corte horizontal de las planchas con la sierra auxiliar. Cuando se utiliza una cortadora de rocas monodisco, el bloque es cortado en toda su altura sin el concurso del disco horizontal auxiliar.

Cada régimen de corte, función de la mayor o menor dureza de la roca, tiene una velocidad de disco óptima. Al aumentar la velocidad del disco, aumenta la velocidad de corte y con ella el par de torsión. Así, para el caso del Granito, un régimen de corte de 150 cm²/min. con una velocidad periférica de 26 m/seg. necesita una potencia media de corte de 2.6 kW y un par de torsión de 0.2 Nm. Para una velocidad periférica de corte de 600 cm²/min. la velocidad de disco óptima es de 38 m/seg., con una potencia media de 7.7 kW y un par de torsión de 0.39 Nm.

Por ello, al tener unos parámetros óptimos de corte para cada tipo de roca, éstos han de estudiarse en cada planta con el fin de abaratar costos de corte al ser uno de los que más pesan del todo el proceso de la elaboración de la roca ornamental.

El consumo de agua para la refrigeración del corte y de la evacuación de desechos varía desde los 35 a 60 lt/min por disco vertical, hasta los 25 lt/min para el disco horizontal. Este forma de cortar rocas ha abierto un nuevo e interesante campo para el mercado de los productos de cantera, ya que, debido a la versatilidad de las cortadoras permite el aprovechamiento de los bloques pequeños o deteriorados que podrían no ser considerados aprovechables desde el punto de vista económico para su corte con telar tradicional, y como consecuencia, serían tratados como escombros.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

2.1 Descripción de Máquina Cortadora.

Como se habrán informado en el capítulo 1, existen en el mercado diversidad de tipos de máquinas cortadoras de rocas; en nuestro caso la máquina que vamos a automatizar es una máquina de origen italiano, construida el año 1985, adquirida inoperativa de Centroamérica y que normalmente puede trabajar como máximo con rocas de hasta 30 toneladas.

Es de suma importancia recalcar que esta máquina llegó a nuestro poder en mal estado eléctrico y mecánico. La parte mecánica no es objetivo de este trabajo pero como es lógico se realizó un mantenimiento a fondo que incluyó entre otras labores cambio de rodamientos, rectificadores de partes, arenado y pintado y en algunos casos reconstrucción debido al gran deterioro de algunas piezas o por falta de estas. En similar situación vino el tablero eléctrico con el adicional que los equipos de control con los cuales contaba eran muy antiguos y todas las partes, incluyendo el tablero, debían de ser cambiadas.

En general la máquina en cuestión en su forma constructiva consta de cuatro columnas, dispone el cabezal de corte sobre una viga móvil a lo largo de la cual se desplaza. La viga móvil, a su vez, puede deslizarse horizontalmente en dirección perpendicular al movimiento del cabezal, estando todo el conjunto dotado de un tercer movimiento vertical. El bloque permanece fijo durante todo el proceso de corte.

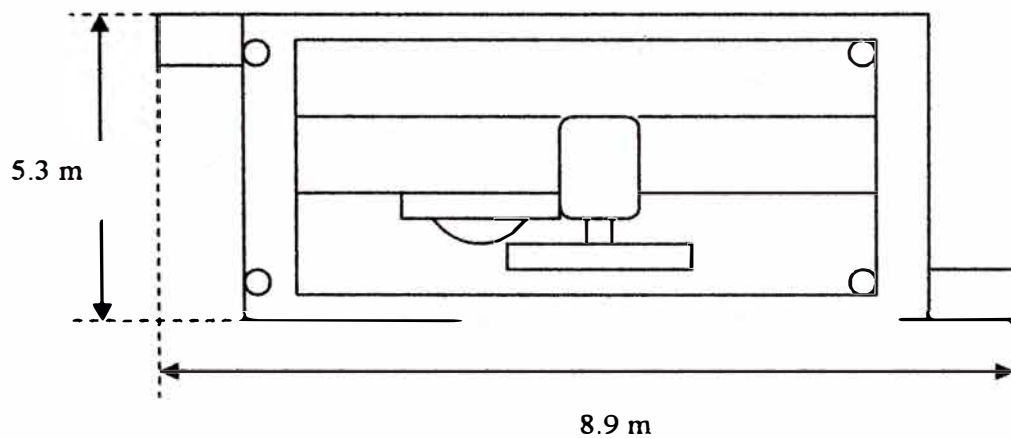


Figura1: Esquema de máquina



Foto 3: Máquina Cortadora

2.1.1. Descripción de los motores.-

Esta máquina cuenta con ocho (08) motores eléctricos trifásicos de jaula de ardilla que tienen las siguientes características técnicas:

Tabla 1

Descripción	Características Eléctricas			
	Pot (kW)	n (RPM)	Tension (V)	Inom(A)
Motor del disco de Corte Vertical	132	1180	220	425
Motor del disco de corte horizontal	22	1750	220	73
Motor de calibración de disco Horizontal	0.37	3450	220	2
Motor de Centralina Hidráulica	0.75	1650	220	2.5
Motor avance/retro del Corte Vertical	3.5	1700	220	11.4
Motor de desplazamiento lateral	0.75	1650	220	2.7
Motor de Sub / Baj	7.5	1750	220	25
Motor de plataforma para carguío de rocas	2.2	1720	220	8.3

2.1.2. Motor del disco de Corte Vertical.-

Mediante una transmisión de poleas este motor mueve el eje sobre el cual se encuentra colocado el disco de Corte Vertical; de la profundidad de corte de éste depende el formato del material que va a entrar en proceso, es decir si las baldosas son de 12", 16" ó 18". El siguiente es un esquema de la disposición de dicho motor:

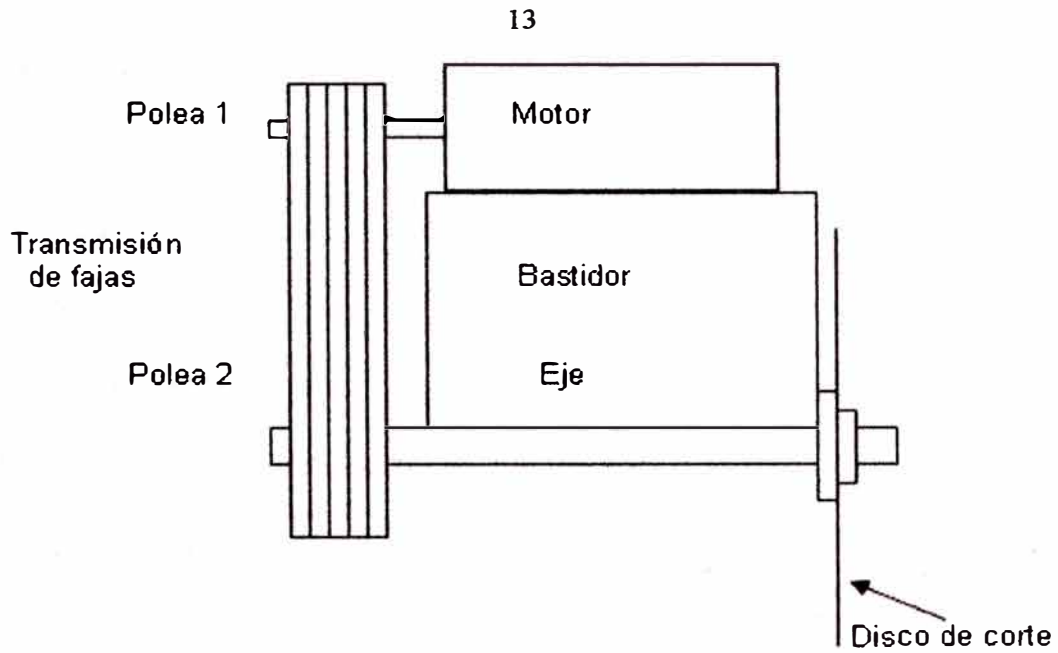


Figura 2: Esquema de disco de corte vertical

2.1.3. Motor del disco de Corte Horizontal.-

Haciendo uso de un acoplamiento directo a este motor se le acopla un eje más robusto y de mayor longitud, con la finalidad de que corte el material en forma horizontal, la profundidad de corte determina el ancho del material a procesar.

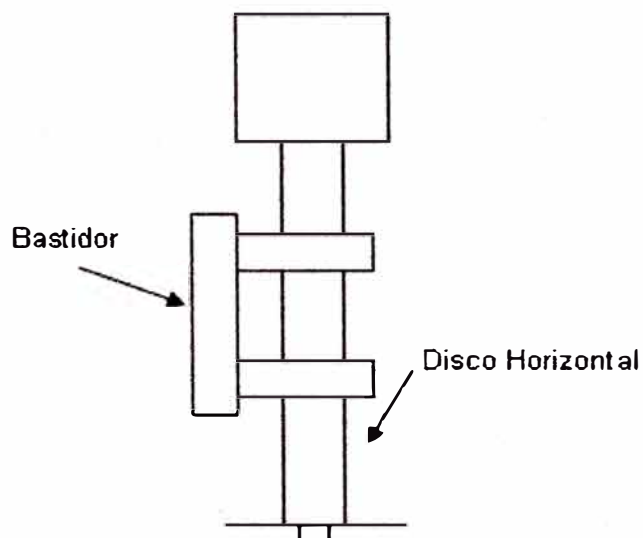


Figura 3: Esquema del disco de corte horizontal

2.1.4. Motor del disco de Regular altura de disco Horizontal.-

Se usa solo cuando se necesita calibrar la máquina; tiene la finalidad de poder alinear el punto más bajo del disco vertical con el disco de corte horizontal. Este motor mueve un reductor que engrana con el eje acoplado al motor del disco de corte horizontal, permitiendo subir o bajar dicho eje, y por lo tanto dicho disco.

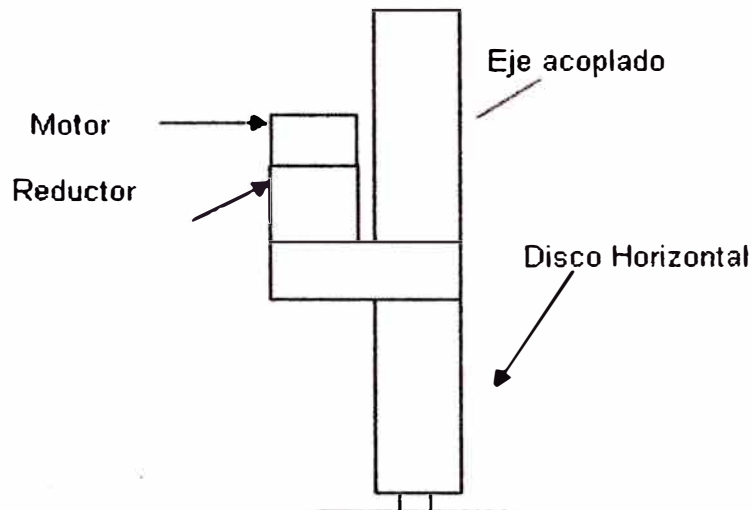


Figura 4: Esquema de disco de calibrado

2.1.5. Motor de Centralina hidráulica.-

Acciona la apertura o cierre del disco de corte horizontal, a través de un pistón hidráulico cuya base es solidaria al bastidor de la máquina y al extremo del pistón al eje del disco de corte horizontal. Mantiene al disco de corte cerrado, cuando la máquina está cortando, y luego abre dicho disco, al momento de retroceder, cuando la máquina no corta.

2.1.6. Motor del disco de avance/ retro del disco de Corte Vertical.-

Permite desplazar el bastidor sobre el cual se encuentran el disco de corte vertical y el disco de corte horizontal; este motor esta gobernado por un variador de velocidad lo cual significa que la velocidad de avance (entiéndase cuando la máquina está cortando) sea regulable por el operador, quien controla que dicha velocidad este de acorde al material a corte y que los amperajes de los motores no sobrepasen los límites especificados; dicho variador también permite retroceder (entiéndase que la máquina no está cortando) a una velocidad programada, sobre la cual no puede intervenir el operador, máxima permisible para dar velocidad a producción.

2.1.7. Motor de izquierda/derecha.-

Permite desplazar toda la armazón de la máquina de forma lateral, tanto a la izquierda como a la derecha. Este motor es controlado por el mismo variador de velocidad que el motor de avance/retroceso; las velocidades son preseteadas de tal forma que en el sentido de corte se selecciona en base a pruebas y a la experiencia, y en el sentido de retorno se trata de dar la máxima velocidad permisible.

2.1.8. Motor de subida/bajada.-

Funcionamiento: Permite subir y bajar el bastidor de toda la máquina, permitiendo cortar el bloque por tramos definidos por la profundidad de corte del disco vertical.

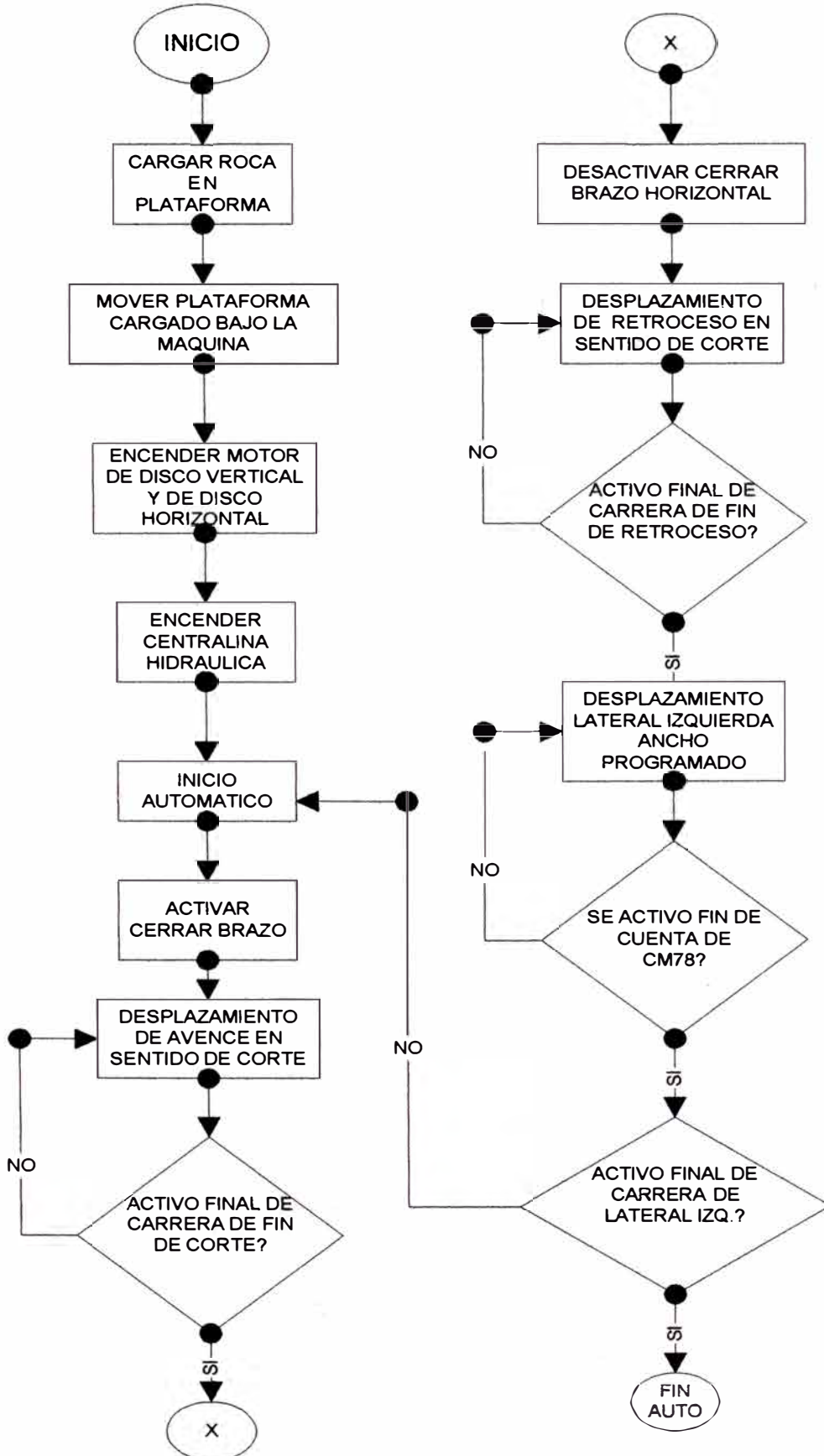
2.1.9. Motor de Plataforma de Carguío de Rocas.-

Funcionamiento: Mueve la plataforma de carguío de tal forma que estaciona el bloque justo debajo de la máquina para este poder ser cortado y procesado. Este motor solo trabaja cuando la máquina esta detenida.

2.2 Descripción del Proceso.

El Proceso de corte se inicia en el momento que se carga una roca, ayudándose de una grúa ferrocarrilera tipo caballete, sobre la plataforma porta rocas, esta plataforma sitúa la roca debajo de la máquina cortadora, luego se activan los motores principales y comienza el corte, los discos recorren longitudinalmente toda la roca hasta terminar de cortar una filaña, luego los discos de corte retornan por el mismo lugar de corte, la máquina se desplaza lateralmente hasta llegar al valor fijado como ancho de corte, y continua el ciclo hasta terminar de cortar el primer nivel de corte, luego los discos se posicionan en el inicio y son bajados a la altura del formato

deseado, así sucesivamente hasta finalizar el corte de toda la roca. El siguiente diagrama de flujo aclarará estos conceptos:



CAPÍTULO 3: FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1. Automatización Industrial.

La empresa en donde se desarrollo el proyecto tiene algunas máquinas ya automatizadas de manera independiente, es decir que aún no existe un sistema SCADA que integra las diversas máquinas de producción. La idea es clara, tenemos que crecer individualmente máquina por máquina, luego de eso estaremos preparados para en futuro próximo realizar un sistema de control distribuido sobre la maquinaria de la planta. Pues como es de conocimiento general la automatización optimiza los procesos de fabricación, aminora los costos, mejora la calidad del producto, mejora los tiempos de entrega y de tal forma la compañía crece y se hace competitiva en el ámbito internacional

3.1.1. Antecedentes históricos.-

El término autómatas se ha venido aplicando desde tiempo muy antiguo a aquella clase de máquinas en las que una fuente de energía

accionaba un mecanismo ingeniosamente combinado, permitiendo imitar los movimientos de los seres animados.

En todos los autómatas celebres del s. XVIII se repite el proceso de imitación, pudiéndose citar, entre ellos: las Cabezas parlantes del abate Mical; el Androide escritor que Frederic de Knauss presentó en Viena, en 1760; los autómatas expuestos en Francia y en Suiza por los hermanos Droz; la Panharmónica construida en 1808 por Leonard Maelzel, de Ratisbona; los relojes de Lyon y Cambrai, y el de Estrasburgo, debido a Schwilgue (1842), así como los numerosos relojes de péndola, animadores de autómatas, originales de artesanos rusos, que todavía hoy pueden admirarse en las vitrinas del Kremlin; de Robert Houdin merecen especial mención: el Escamoteador, el Volatinero, el Pájaro cantor, el Escritor dibujante, el Pastelero, etc.

El desarrollo de la electricidad y de la electrónica permitió la aparición de una nueva generación de autómatas, capaces de imitar realmente algunas funciones intelectuales y no sólo de reproducir determinados comportamientos. Ya en 1912, el jugador de ajedrez eléctrico de Torres Quevedo era capaz de jugar finales de partida (rey contra rey y torre). El jugador de Nim, construido en 1951 en la universidad de Manchester, y citado repetidas veces, constituye otro ejemplo de un autómata muy elemental, dado que existe un algoritmo que permite ganar con seguridad en este juego. Por aquella misma época Strachey construyó en EE.UU. un

jugador de damas capaz de enfrentarse con un buen jugador; para ello la máquina debe analizar las consecuencias de todas las jugadas posibles a partir de una situación dada, y esto con varias jugadas de antelación. Los adelantos de la microelectrónica propiciaron la aparición en el mercado norteamericano, en 1977, de un jugador de ajedrez capaz de desarrollar un juego de nivel muy aceptable por un precio relativamente módico.

Resultaría pues factible en la actualidad construir un autentico jugador de ajedrez androide. La industria utiliza autómatas, denominados robots, capaces de llevar a cabo manipulaciones así, como operaciones de montaje y de ensamblaje.

3.1.2. Los fundamentos modernos de la Automatización.-

La era moderna de la automatización comienza con la aparición, en 1775 de la máquina de vapor de simple efecto inventada por James Watt. La máquina de doble efecto de 1784 estaba provista de dos automatismos: el distribuidor de vapor y el regulador de bolas, que mantenía constante la velocidad del árbol de salida a pesar de las fluctuaciones de la carga.

El funcionamiento de todo sistema automático se asienta en la confrontación de una información de mando, que describe el programa deseado, con una información de estado, confrontación de la que se derivan las órdenes de mando que han de darse a los accionadores que actúan sobre el sistema, modificando así su estado. Esta sucesión de operaciones

se suceden en una estructura de bucle cerrado, donde un centro de operaciones de mando y de control, asegura el buen comportamiento de la instalación.

El concepto de automatización lleva implícita la supresión total o parcial de la intervención humana en la ejecución de diversas tareas, industriales, agrícolas, domésticas, administrativas o científicas. Se aplica la automatización tanto a las tareas más sencillas, tales como la regulación de la temperatura de un horno o el mando secuencial de una máquina herramienta, como a las más complejas, tales como la dirección mediante ordenador de una unidad química o la gestión automatizada de un establecimiento bancario.

La automatización en el contexto histórico más reciente, no solamente esta relacionada con el proceso mismo, sino también con la distribución de los productos fabricados o con la prestación de servicios. Forma parte integrante de la concepción y de la gestión de los grandes complejos industriales, administrativos y comerciales. La automatización constituye, particularmente, uno de los factores de aumento de la productividad y de mejora de la calidad,

Los principales componentes de la automatización son los transductores y los captadores de información, los preaccionadores (relés, contactores, etc.) y accionadores (motores, órganos desplazamiento lineal,

etc.), así como los órganos de tratamiento de la información, en particular los ordenadores y en general los sistemas basados en el microprocesador.

3.1.3. Modelo estructural de un Sistema Automatizado.-

La estructura de un Sistema Automatizado puede clasificarse en dos partes claramente diferenciadas: por un lado lo que denominaremos Parte Operativa, formada por un conjunto de dispositivos, máquinas o subprocesos, diseñados para la realización de determinadas funciones de fabricación; de forma específica pueden tratarse de máquinas herramienta para la realización de operaciones de mecanizado más o menos sofisticadas o bien de subprocesos dedicados a tareas tales como destilación, fundición etc. Por otro lado tenemos la Parte de Control o Mando, que, independientemente de su implementación tecnológica electrónica, neumática, hidráulica etc., es el dispositivo encargado de realizar la coordinación de las distintas operaciones encaminadas a mantener a la Parte Operativa bajo control.

El sometimiento de la Parte Operativa se logra mediante el mantenimiento continuo de un intercambio de información entre la primera y la Parte de Control o mando. Dicho intercambio se establece a través de los captadores binarios, transductores analógicos y digitales y los dispositivos de preaccionamiento. A partir de los dos primeros se recoge información de los valores de las magnitudes físicas a controlar, así como de sus cambios

de estado, enviando dicha información a la Parte de Control para su tratamiento. Tras el tratamiento de la información se envían acciones de mando a través de los preaccionadores. Los preaccionadores son dispositivos que permiten el control de grandes potencias mediante las señales de pequeña potencia que son emitidas por la Parte de Control.

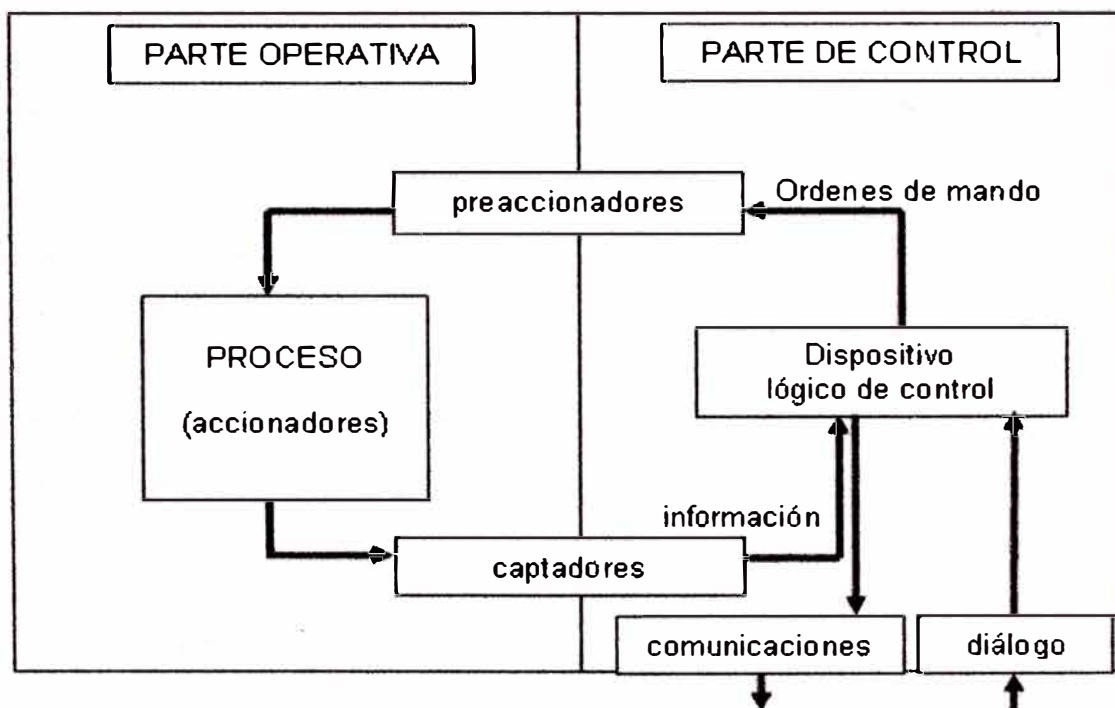


Figura5: Modelo Estructural de un Sistema Automatizado

En suma, la automatización de un proceso industrial, (máquina, conjunto o equipo industrial) consiste en la incorporación al mismo de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento.

En la actualidad los objetivos, de la automatización han sido el procurar reducción de costos de fabricación, una calidad constante en los

medios de producción y liberar al ser humano de las tareas tediosas, peligrosas o insalubres.

Sin embargo, desde los años 60, debido a la alta competitividad empresarial y a la internacionalización creciente de los mercados, estos objetivos han sido ampliamente incrementados.

Como consecuencia de un entorno competitivo, cualquier empresa se ve sometida a la necesidad de acometer grandes y rápidos procesos de cambio en búsqueda de su adecuación a las demandas de mercado, neutralización de los avances de su competencia o simplemente como maniobra de cambio de estrategia al verse acortado el ciclo de vida de alguno de sus productos. Ello obliga a mantener medios de producción adecuados que posean una gran flexibilidad y puedan modificar oportunamente la estrategia de producción.

La aparición de la microelectrónica y el computador ha tenido como consecuencia el que sean posibles mayores niveles de integración entre el sistema productivo y los centros de decisión y política empresarial, permitiendo que la producción pueda ser contemplada como un flujo de material a través del Sistema Productivo que interacciona con todas las áreas de la empresa.

3.1.4. Parte de Control.-

La Parte de Control o Mando es el dispositivo encargado de realizar el control coordinador de las distintas operaciones encaminadas a mantener a la Parte Operativa bajo un determinado funcionamiento preestablecido de antemano en las especificaciones de diseño. Las funciones más comunes de la Parte de Control son:

- Gestión de las entradas/salidas.
- Tratamiento de ecuaciones lógicas.
- Tratamiento de funciones de seguridad.
- Tratamiento secuencial.
- Funciones de regulación.
- Funciones de cálculo para la optimización.
- Gestión de herramientas.
- Control de calidad.
- Gestión de mantenimiento.
- Operaciones de Supervisión: monitorización y diagnóstico de fallos.
- Seguimiento de la producción.

El desarrollo de los controladores, su complejidad y eficacia, ha ido asociado al desarrollo tecnológico experimentado a lo largo de los tiempos. Básicamente se puede establecer la clasificación mostrada en el cuadro

siguiente, partiendo de dos conceptos principales: lógica cableada y lógica programada.

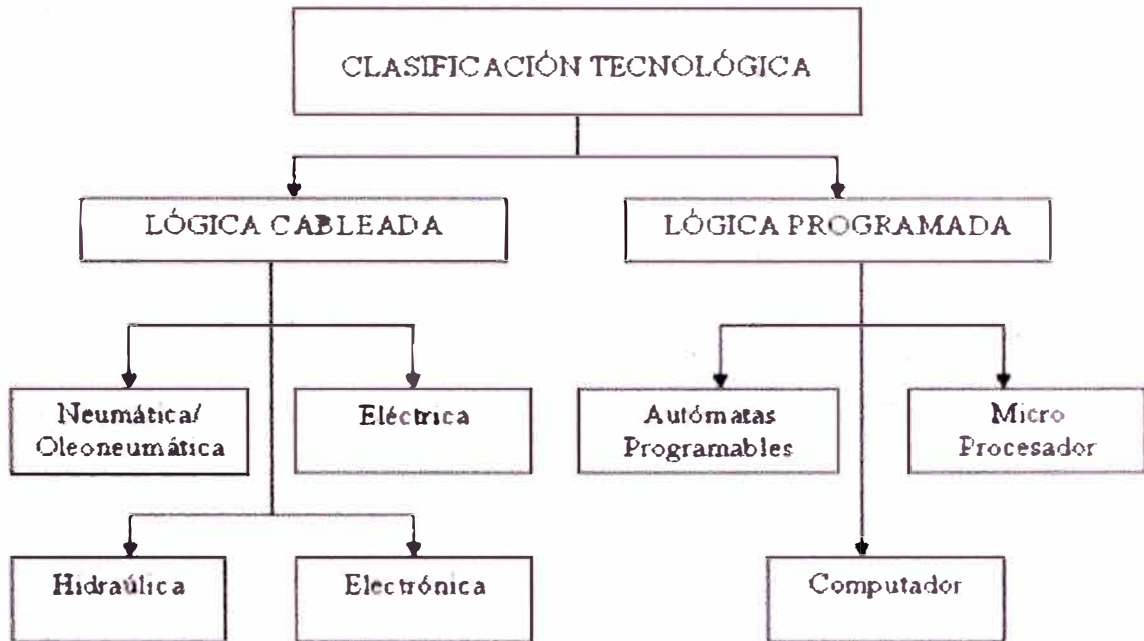


Figura6: Clasificación Tecnológica

A. Lógica cableada.-

Su denominación viene dada por el tipo de elementos que intervienen en su implementación. En el caso de la tecnología eléctrica, las uniones físicas se realizan mediante cables eléctricos, relés electromagnéticos, interruptores, pulsadores etc. En lo que respecta a la tecnología electrónica, las puertas lógicas son los elementos fundamentales mediante los cuales se realizan los controladores.

La tecnología neumática ha sido, y es aún frecuentemente utilizada, en los automatismos industriales, aunque va quedando relegada a los accionamientos de cierta potencia con algoritmos de control relativamente simples y también para aplicaciones de carácter especial (para ambientes explosivos), ya que frente a la lógica programada presenta los siguientes inconvenientes:

- Imposibilidad de realización de funciones complejas de control.
- Gran volumen y peso.
- Escasa flexibilidad frente a modificaciones.
- Reparaciones costosas.

No obstante, muy a menudo, se suelen articular soluciones mediante implementaciones mixtas aprovechando las mejores características de ambas tecnologías, la neumática y la de la lógica programada mediante autómatas programables industriales conectados mediante dispositivos de interfaz.

B. Lógica programada.-

Se trata de una tecnología desarrollada a partir de la aparición del microprocesador, y de los sistemas programables basados en éste, computador, controladores lógicos y autómatas programables. Constantemente, debido a los altos niveles de integración alcanzados

en la microelectrónica, la rentabilidad de esta tecnología crece y frente a la lógica cableada presenta:

- Gran flexibilidad.
- Posibilidad de cálculo científico.
- Implementación de algoritmos complejos de control de procesos.
- Arquitecturas de control distribuido.
- Comunicaciones y gestión.

Como inconvenientes a corto y medio plazo, presenta la necesidad de formación en las empresas de personal adecuado para su programación y asistencia, al tratarse de verdaderas herramientas informáticas, también su relativa vulnerabilidad frente a las agresivas condiciones del medio industrial, si bien, con el transcurso de tiempo, el nivel de fiabilidad y disponibilidad de estos sistemas se ha mejorado notablemente.

3.1.5. Niveles de automatización.-

El grado de automatización de un proceso viene determinado fundamentalmente por factores de tipo económico y tecnológico, por ello podemos encontrar una gama muy amplia y variada, dependiendo de los objetivos a alcanzar.

3.1.5.1. Nivel elemental.-

Se corresponde con el asignado a una máquina sencilla o parte de una máquina, asignándole tareas de vigilancia de tiempos muertos, posicionamiento de piezas y funciones de Seguridad.

En el nivel elemental, se distinguen tres grados de automatización:

- Vigilancia.
- Guía operador.
- Mando.

El modo operación de Vigilancia se realiza en bucle abierto y consiste en la toma por parte del dispositivo automático de medidas a una serie de variables, procesando dicha información y emitiendo partes diarios de servicio y balances.

El modo operación Guía operador consiste en una variante de la anterior de un mayor grado de elaboración, con la inclusión de tareas de asistencia mediante propuestas al operador, según criterios prefijados. Se suele realizar en bucle abierto.

El modo operación de Mando consiste en la toma de información, procesamiento, toma de decisiones y ejecución sobre el proceso de acciones de control. Se corresponde con una estructura clásica de bucle cerrado donde la intervención humana queda excluida salvo para las tareas de supervisión.

3.1.5.2. Nivel intermedio.-

Se corresponde con la explotación de un conjunto de máquinas elementales o bien una máquina compleja. Este ha sido el dominio clásico de la automatización industrial.

3.1.5.3. Tercer nivel.-

Se caracterizan por ser de un proceso completo, e intervienen además del control elemental del proceso, otros aspectos tales como Supervisión, Optimización, Gestión de Mantenimiento Control de Calidad, Seguimiento de la Producción. Para la consecución de estos objetivos, se ha ido evolucionando desde distintas estructuras de automatización y control. Veamos seguidamente algunas de estas estructuras.

A. Control centralizado.-

El sistema está constituido por un computador, un interfaz de proceso y una estación de operador. Esta estructura se ha aplicado tanto a procesos de variable continua como a procesos de carácter secuencial, aun más, esta arquitectura ha permitido realizar aplicaciones industriales con variables de tipo continuo y secuencial de forma combinada.

Las ventajas y desventajas de esta arquitectura se derivan precisamente de sus características estructurales. Por una parte sus ventajas se centran en que su arquitectura facilita el flujo de información y se hace posible que los objetivos de optimización global del proceso puedan ser alcanzados. Por otra parte, sus desventajas se centran en que la fiabilidad de un sistema centralizado depende de la fiabilidad del computador, de forma que si el computador falla, todo el sistema queda sin control.

B. Control multicapa.-

Se puede establecer un cierto compromiso entre las ventajas y desventajas de la arquitectura completamente centralizada, conformando una variedad de control jerarquizado de dos niveles.

El nivel más bajo se constituye mediante controladores locales para el control de lazos específicos o subprocesos del sistema. Éstos se ocupan de atender a las tareas de control con restricciones temporales de carácter crítico. El nivel superior está constituido por un computador central que supervisa y establece órdenes de consigna a los controladores locales. Además, atiende a las tareas de optimización de largo alcance, de procesamiento de información global y monitorización del sistema. En caso de que el computador central falle, el control de las variables del proceso queda garantizado.

C. Control jerárquico.-

Esta estructura aparece como consecuencia del desarrollo del concepto de control multicapa y de la ampliación de las tareas de control a los conceptos de planificación y gestión empresarial y la correspondiente asignación a niveles superiores en la jerarquía de control.

D. Control distribuido.-

A diferencia de la estructura de control jerárquico, donde diferentes tareas están asignadas a diferentes niveles, en el control distribuido se asumen otras consideraciones que son:

- Existencia de varias unidades de control y fabricación que llevan a cabo las mismas tareas.
- En caso que ocurra una avería o una sobrecarga de trabajo, será posible transferir todo o parte de las tareas a otras unidades.

Esta estructura introduce ventajas e inconvenientes. Por una parte la idea de poder hacer by-pass a las unidades con problemas permite evitar los bloqueos innecesarios del sistema, pero por otra parte exige que las diferentes islas de producción puedan tener una asignación dinámica de las tareas y por lo tanto se les va a exigir gran capacidad de acceso a la comunicación y de tratamiento de la información. Además, es necesaria la existencia de algoritmos inteligentes de detección de fallos y diagnosis.

En suma, la naturaleza distribuida contribuye a incrementar la fiabilidad del sistema, al igual que su mantenimiento, ya que los cambios locales del proceso o de sus instalaciones solamente provocan efectos locales al sistema de control. Por otra parte, el proceso centralizado de datos permite una optimización y supervisión global.

Los interfaces hombre-máquina basados en computador, crean el entorno apropiado para la comunicación inteligente entre el sistema de control y los operadores humanos.

No obstante, esta estructura, pese a sus ventajas, no está exenta de algunos inconvenientes. Estos son: una disminución de la velocidad de comunicación debido a los retardos, posibles desbordamientos en el procesamiento de datos en cada nivel y falta de flujo de información directa entre controladores.

3.1.5.4. Cuarto nivel.-

Se corresponde con el concepto de Fabricación Integrada por Computador, CIM (Computer Integrated Manufacturing), donde se contempla la inclusión de forma integrada a la Producción, conceptos tales como la Gestión Empresarial, Planificación, Programación etc.

A este respecto la implantación de una estrategia productiva totalmente integrada no es una tarea sencilla ni puede ser abordada a corto plazo. La planificación de una estrategia CIM, está siendo el objetivo de multitud de artículos, conferencias y tema de numerosas investigaciones.

Un axioma básico de amplia aceptación es el siguiente:

El CIM ha de planificarse "top down" (Ve arriba a abajo), pero debe implantarse "bottom-up" ("de abajo hacia arriba").

Esta estrategia se concreta en una metodología elaborada al respecto que recibe el nombre de Metodología CIM de Booz Allen & Hamilton. Esta metodología aplica una estrategia progresiva de automatización, avanzando según una serie de etapas:

- Células: Racionalizar la planta.
- Islas de automatización: Aplicar automatización y sistemas de control a las células.
- Integración de islas en FMS (Flexible Manufacturing System).
- Integración de planta: Coordinación de FMS, implantación de AMH (Automated Materials Handling).
- Unión del CAD/CAM y la planta.
- Integración de los MPCs. (Manufacturing Planning & Control Systems).

3.2. Controladores Lógicos Programables (PLC's).

PLC es un acrónimo cuyo significado es Controlador Lógico Programable. Surge a finales de los 60s, por la necesidad de los grandes fabricantes de autos a contar con sistemas de control de manufactura para reemplazar los antiguos paneles de relés electromecánicos; es más, el PLC evolucionó desde una especificación de la General Motors por un producto

todavía no diseñado en ese entonces. Existe en realidad una gran gama de equipos llamados PLCs en el mercado: desde los llamados micro PLC, con capacidad de manejo de menos de 50 puntos, todos discretos, y sin ningún tipo de redundancia; hasta PLCs con capacidad de 500 o más puntos analógicos y discretos, de ejecutar lazos (PID) proporcional integral derivativo, monitoreo de variables analógicas, matemáticas relativamente complejas, y alguna redundancia.

El Controlador Lógico Programable (PLC) es un dispositivo electrónico con una memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones específicas, consta de un procesador de 4 elementos principales:

- A. Unidad central de procesamiento (CPU)
- B. Memoria
- C. Suministro de energía
- D. Interfase de entrada (I)
- E. Interfase de salida (O)

Un controlador lógico programable es una computadora cuyo hardware y software ha sido diseñado, fabricado y adaptado para la optimización del control de procesos industriales.

El PLC como toda computadora esta basado en una Unidad Central de Procesamiento, ver figura 7. Este aparato utiliza un modulo de memoria

programable para el almacenamiento interno de instrucciones empleadas para implementar funciones específicas tales como operaciones lógicas, aritméticas, temporizaciones, secuencias, conteo y control de procesos a través de módulos de entrada y salida tipo digital o analógico.

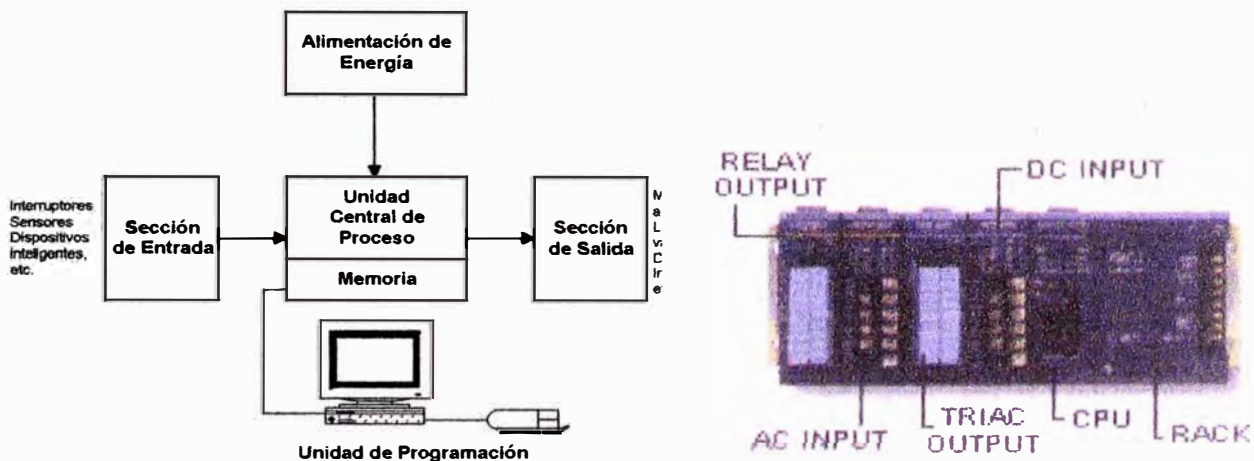


Figura 7: Partes básicas de un Controlador Lógico Programable (cortesía TOSHIBA)

Algunas características típicas son:

- Permite controlar procesos en el campo (Planta).
- Contiene funciones pre-programadas como parte de su lenguaje (lista de instrucciones, escalera o "ladder", lenguaje literal o bloques de función).
- Permite el acceso a la memoria de entradas y salidas (I/O)
- Permite la verificación y diagnóstico de errores
- Puede ser supervisado
- Empaquetado apropiado para ambientes industriales

- Utilizable en una amplia variedad de necesidades de control

A. Unidad Central de Proceso (CPU).-

Es el componente principal de un PLC y contiene uno o más microprocesadores para el control del mismo. El CPU maneja también la comunicación e interacción con otros componentes del sistema.

B. Memoria.-

La memoria de un PLC es básicamente de dos tipos: memoria para operación del sistema y memoria de usuario.

La memoria para operación del sistema esta basada en una memoria de solo lectura, no volátil (ROM o Read Only Memory). En donde ha sido almacenada la operación del sistema por el fabricante del PLC. Esta controla funciones como el software del sistema para programar el PLC, por el usuario.

La memoria de usuario de un PLC esta dividida en dos bloques con funciones específicas. Algunas secciones son usadas para almacenar estados de entradas y salidas, generalmente constituyen las denominadas tablas de imágenes de I/O. El estado de una entrada es almacenado como "1" ó "0" en un bit específico dentro de una dirección de memoria.

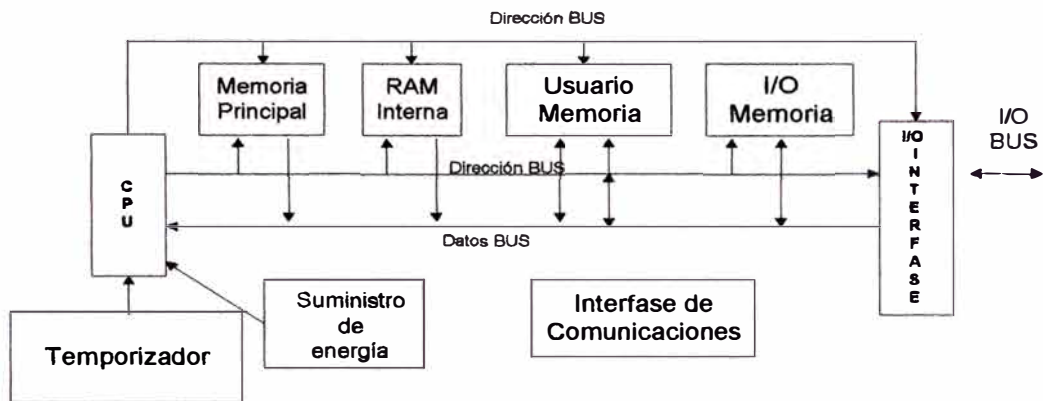


Figura 8.- Comunicación interna de un PLC

C. Sistema de Alimentación de Energía.-

El PLC usa una fuente de alimentación la cual suministra energía. Existen PLC's con una alimentación de red de 115 VAC ó 230 VAC. La fuente de alimentación recibe la tensión y la distribuye a los componentes del PLC.

D. Sección de Entrada.-

La sección de entrada de un PLC realiza dos tareas vitales: tomar las señales y proteger al CPU. El modulo de entrada convierte, las señales analógicas a digitales en niveles lógicos requeridos por el CPU.

E. Sección de Salida.-

La sección de salida del PLC provee de conexión a los actuadores y

eventos. Los módulos de salida pueden ser acondicionados para manejar voltajes DC o AC, permitiendo el uso de señales de salida analógicas o digitales. Son comerciales los módulos con 8, 16 y 32 salidas.

En la actualidad las arquitecturas de los PLC's viene aumentando su capacidad de procesamiento así como su velocidad y disminuyendo su tamaño, permitiéndoles manejar etapas enteras de grandes procesos. Estos adelantos en sus configuraciones nos permiten tener PLC's adecuados para distintas aplicaciones.

3.2.1. Software para PLC.-

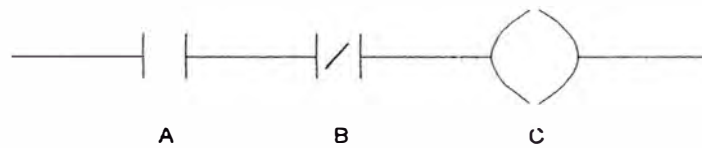
El estándar internacional IEC-1131 define 5 lenguajes para PLC, estos son:

- La lista de instrucciones
- El lenguaje escalera (ladder) o de contactos
- El lenguaje literal
- Los bloques de función y
- El diagrama gráfico secuencial (sequential chart diagram).

Tradicionalmente, las mayorías de fabricantes han utilizado la lista de instrucciones y el lenguaje escalera como los lenguajes preferidos.

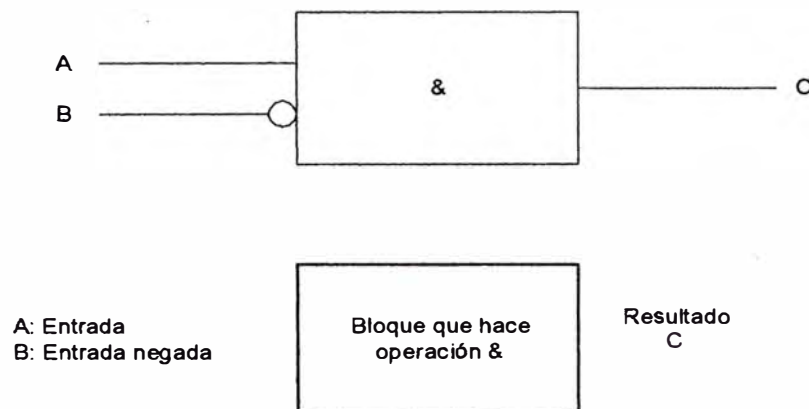
El lenguaje escalera o de contactos (ladder) consiste en mallas,

análogas a los diagramas unifilares utilizados por los ingenieros electricistas; constituyen pequeños bloques de instrucciones combinando contactos (switches representando entrada) se establece lógicas de control para comandar las bobinas (salidas). Por ejemplo, la siguiente expresión:

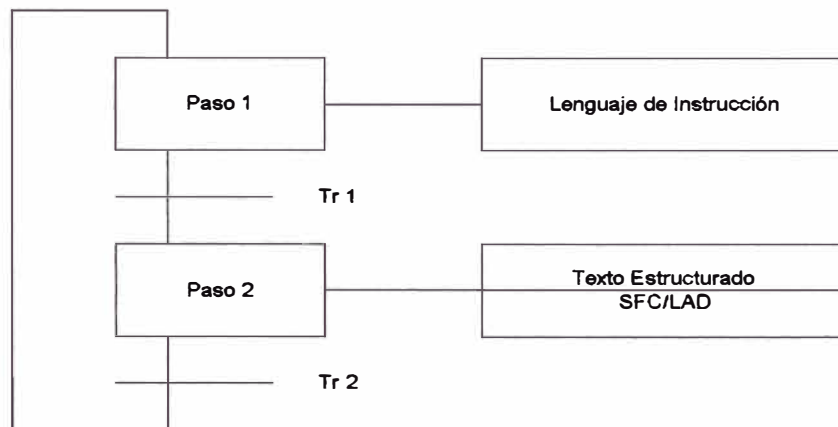


Significa: Si A está abierto y B está cerrado ENTONCES se activa la salida C.

El lenguaje gráfico de diagramas de bloques de función se presenta a continuación:



El lenguaje (GRAFCET) de diagrama Gráfico Secuencial (Sequential Chart Diagram SFC) se representa de la siguiente manera:



Este diagrama quiere indicar en los pasos las "n" operaciones en cualquier lenguaje antes descrito o inclusive él mismo se mantiene en el paso 1 hasta llegar a la condición de transición Tr1. Generalmente, en el ejemplo se verifican todas las operaciones o secuencias se realicen en el paso 1; si se cumple esta condición se sigue al paso 2.

3.2.2. Componentes de un PLC.-

- A. **INPUT RELÉS (contactos).**- Físicamente existen y reciben señales de interruptores switches, sensores, etc. Típicamente no son relés, son en algunas ocasiones transistores.

- B. **INTERNAL UTILITY RELES (contactos).**- No reciben señales del exterior ni existen físicamente. Son relés simulados donde el PLC no necesita los relés externos; son programados mediante software como bobinas de apertura y cierre de contactos,

- C. **CONTADORES.**- No existen físicamente. Son simulados y pueden ser programados para contar pulsos (ventanas de tiempo, retardos, etc). Típicamente estos contadores pueden ser crecientes o decrecientes y tienen un límite de conteo el cual es programado; en algunos casos existen contadores de alta velocidad basados en un hardware externo.
- D. **TIMERS.**- Tampoco existen físicamente, vienen en muchas variedades e incrementos de paso. Los más comunes son los de retardo de encendido (on – delay), otros incluyen retardo de apagado (off – delay); ambos tipos son de gran uso actualmente.
- E. **OUTPUT RELAYS (bobinas).**- Se conectan al exterior, existen físicamente y envían señales encendido-apagado (on/off) a relés, interruptores, contactos, transistores, triacs, optocouplas; en fin, depende del diseño y salida escogida.
- F. **DATA STORAGE.**- Son registros asignados para almacenar, procesar y manipular datos temporalmente. Ellos pueden ser usados también para almacenar datos cuando la fuente del PLC es removida; es un sistema muy conveniente y necesario.

3.2.3. Operación del PLC.-

Un PLC trabaja continuamente siguiendo un programa, en este ciclo se observan 3 importantes pasos:

Paso 1: Comprobación del estado de las entradas.- el PLC lee cada entrada y determina su estado (on/off) y las almacena en la memoria para ser usados en el siguiente paso.

Paso 2: Ejecución del programa.- Luego el PLC ejecuta el programa, instrucción por introducción. Pudiendo cambiar el estado de las salidas de acuerdo a las entradas. El resultado se guarda en la memoria para el siguiente paso.

Paso 3: Actualización de los estados de salida.- Finalmente el PLC actualiza los estados de las salidas, esto se basa en las entradas leídas durante el primer paso y los resultados de la ejecución del programa durante del segundo paso. De esta manera tenemos una vista rápida de cómo trabaja un PLC. Repitiendo el ciclo continuamente.

3.3. VARIADORES DE VELOCIDAD ELECTRONICOS.

Los variadores de velocidad son dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores sincrónicos trifásicos,

convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables. Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

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

3.3.1. El motor.-

Los variadores de velocidad están preparados para trabajar con motores trifásicos asincrónicos de rotor jaula. La tensión de alimentación del motor no podrá ser mayor que la tensión de red.

A tensión y frecuencia de placa del motor se comporta de acuerdo al gráfico siguiente:

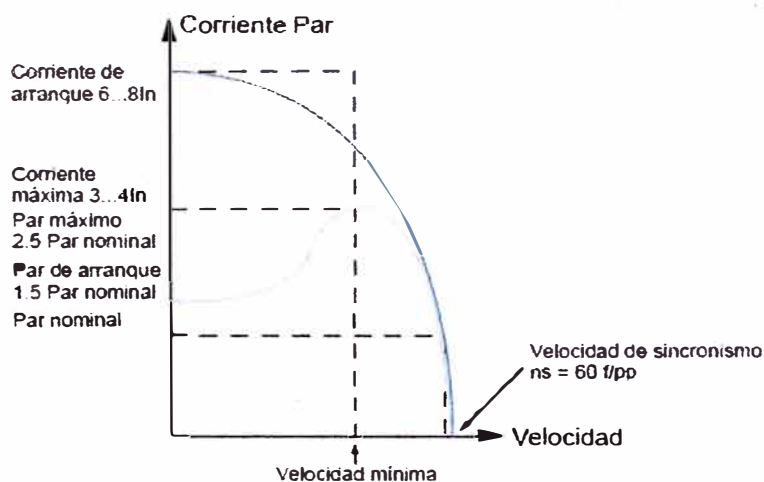


Figura 9: Corriente y Par Nominal vs. Velocidad

El dimensionamiento del motor debe ser tal que la cupla resistente de la carga no supere la cupla nominal del motor, y que la diferencia entre una y otra provea la cupla acelerante y desacelerante suficiente para cumplir los tiempos de arranque y parada.

3.3.2. El convertidor de frecuencia.-

Se denominan así a los variadores de velocidad que rectifican la tensión alterna de red (monofásica o trifásica), y por medio de seis transistores trabajando en modulación de ancho de pulso generan una corriente trifásica de frecuencia y tensión variable. Un transistor más, llamado de frenado, permite direccionar la energía que devuelve el motor (durante el frenado regenerativo) hacia una resistencia exterior. A continuación se muestra un diagrama electrónico típico:

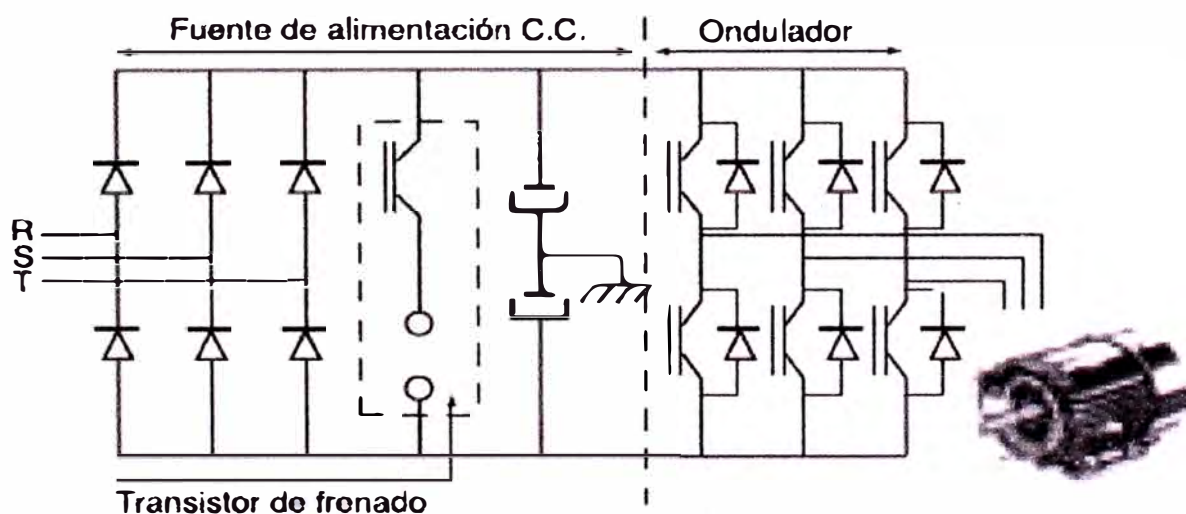


Figura 10: Diagrama electrónico típico

La estrategia de disparo de los transistores del ondulator es realizada por un microprocesador que, para lograr el máximo desempeño del motor dentro de todo el rango de velocidad, utiliza un algoritmo de control vectorial de flujo. Este algoritmo por medio del conocimiento de los parámetros del motor y las variables de funcionamiento (tensión, corriente, frecuencia, etc.), realiza un control preciso del flujo magnético en el motor manteniéndolo constante independientemente de la frecuencia de trabajo. Al ser el flujo constante, el par provisto por el motor también lo será.

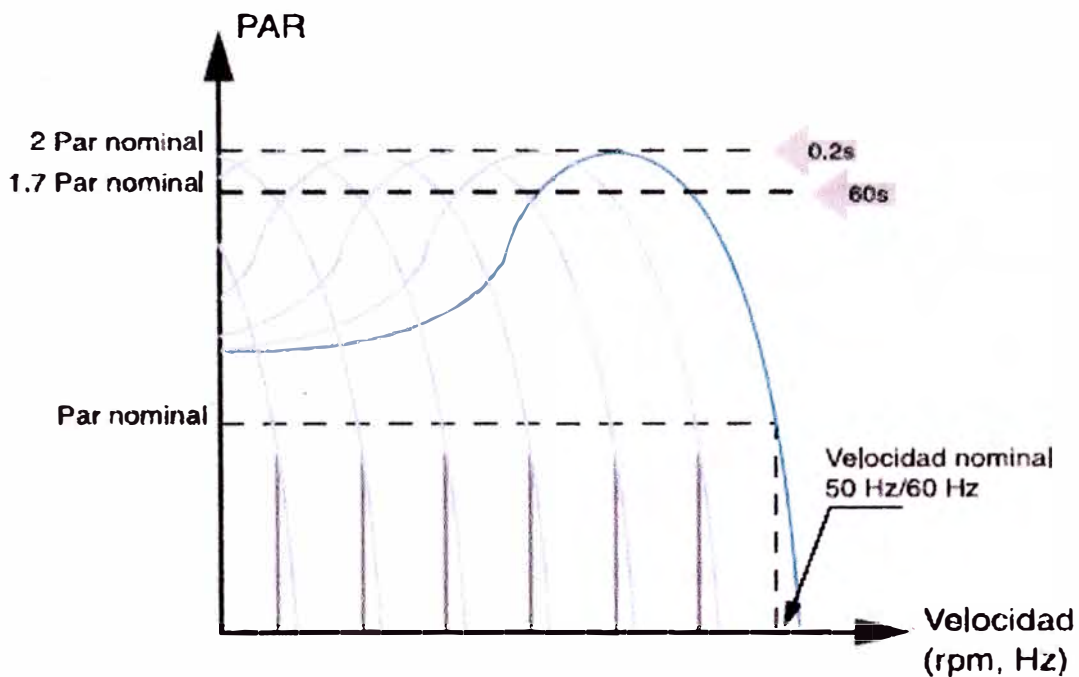


Figura 11: Par Nominal vs. Velocidad

En el gráfico se observa que desde 1Hz hasta los 50 Hz el par nominal del motor está disponible para uso permanente, el 170% del par nominal está disponible durante 60 segundos y el 200% del par nominal está disponible durante 0,2 seg.

3.3.3. Circuito recomendado.-

El circuito para utilizar un variador debe constar con algunos de los siguientes elementos:

A. Interruptor automático: Su elección está determinada por las consideraciones de corriente. La corriente de línea corresponde a la corriente absorbida por el variador a la potencia nominal de utilización, en una red impedante que limite la corriente de cortocircuito a:

- 22kA para una tensión de alimentación de 400v-50Hz.
- 65kA para una tensión de alimentación de 460v-60Hz.

B. Contactor de línea: Este elemento garantiza un seccionamiento automático del circuito en caso de una emergencia o en paradas por fallas. Su uso junto con el interruptor automático garantiza la coordinación tipo 2 de la salida y facilita las tareas de puesta en marcha, explotación y mantenimiento. La selección es en función de la potencia nominal y de la corriente nominal del motor en servicio S1 y categoría de empleo AC1.

Consideraciones de la aplicación: Protección del motor por sobretensión y/o sobrecarga, contactor de aislamiento, bypass, rearmado automático, control automático de la velocidad.

Aplicaciones especiales: Compatibilidad electromagnética, ruido audible del motor, bombeo, ventiladores y sopladores, izaje, motores en paralelo, etc.

C. Inductancia de línea: Estas inductancias permiten garantizar una mejor protección contra las sobretensiones de red, y reducir el índice de armónicos de corriente que produce el variador, mejorando a la vez la distorsión de la tensión en el punto de conexión. Esta reducción de armónicos determina una disminución del valor rms de corriente tomado de la fuente de alimentación, y una reducción del valor rms de corriente tomado por los componentes de la etapa de entrada del inversor (rectificador, contactor de precarga, capacitores). La utilización de inductancias de línea está especialmente recomendada en los siguientes casos:

- Red muy perturbada por otros receptores (parásitos, sobretensiones)
- Red de alimentación con desequilibrio de tensión entre fases $>1,8\%$ de la tensión nominal.
- Variador alimentado por una línea muy poco impedante (cerca de transformadores de potencia superior a 10 veces el calibre del

variador). La inductancia de línea mínima corresponde a una corriente de cortocircuito I_{cc} de 22000 A

- Instalación de un número elevado de convertidores de frecuencia en la misma línea.
- Reducción de la sobrecarga de los condensadores de mejora del $\cos \Pi$, si la instalación incluye una batería de compensación de factor de potencia. La selección es de acuerdo a la corriente nominal del variador y su frecuencia de conmutación. Existen inductancias estándar para cada tipo de variador.

D. Filtro de radio perturbaciones: Estos filtros permiten limitar la propagación de los parásitos que generan los variadores por conducción, y que podrían perturbar a determinados receptores situados en las proximidades del aparato (radio, televisión, sistemas de audio, etc.).

Estos filtros sólo pueden utilizarse en redes de tipo TN (Puesta al neutro) y TT (neutro a tierra).

Existen filtros estándar para cada tipo de variador. Algunos variadores los traen incorporados de origen.

E. Resistencia de frenado: Su función es disipar la energía de frenado, permitiendo el uso del variador en los cuadrantes 2 y 4 del diagrama par-velocidad. De este modo se logra el máximo aprovechamiento del par del

motor, durante el momento de frenado y se conoce como frenado dinámico. Normalmente es un opcional ya que sólo es necesaria en aplicaciones donde se necesitan altos pares de frenado.

La instalación de esta resistencia es muy sencilla: se debe ubicar fuera del gabinete para permitir su correcta disipación, y el variador posee una bornera donde se conecta directamente. De acuerdo al factor de marcha del motor se determina la potencia que deberá disipar la resistencia. Existen tablas para realizar esta selección. El valor óhmico de la resistencia es característico del variador y no debe ser modificado.

G. Cableado:

- En los cables de control, utilizar cable trenzado y blindado para los circuitos de consigna.
- Debe haber una separación física entre los circuitos de potencia y los circuitos de señales de bajo nivel.
- La tierra debe ser de buena calidad y con conexiones de baja impedancia.
- Cables con la menor longitud posible.
- El variador debe estar lo más cerca posible del motor.
- Cuidar que los cables de potencia estén lejos de cables de antenas de televisión, radio, televisión.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL PROYECTO

4.1. Diseño Eléctrico.

En todo proceso de automatización industrial interviene un tipo de energía en particular o varios según sea la aplicación, en nuestro caso, al ser los motores eléctricos, los actuadores de la máquina, haremos uso de la energía eléctrica. Por tal razón es de vital importancia calcular y seleccionar los dispositivos que usaremos para el correcto funcionamiento de nuestros actuadores.

Según el tipo de motor se tiene diversos tipos de control de arranque. Por ser nuestro caso motores de corriente alterna de jaula de ardilla el arranque se realiza de dos formas: arranque directo y arranque estrella/triángulo.

4.1.1. Arranque Directo.-

Es el procedimiento más sencillo, consiste en aplicar la tensión total de línea a los bornes (U, V, W) del motor, por medio de un interruptor o

contactor, en un solo tiempo. La corriente que absorbe el motor con este tipo de arranque suele tomar valores de 5 a 7 I_n , por lo que se emplea para motores de pequeña y mediana potencia. Para la selección de componentes se utilizan los siguientes criterios:

Características nominales del motor:

- I_n : Corriente nominal del motor.
- V_n : Tensión nominal del motor.
- P_n : Potencia nominal del motor.
- $\cos \varnothing$: Factor de potencia del motor.
- η : Eficiencia del motor.

Características de los componentes:

- F1F: Fusible de acción retardada a los 10 segundos se recomienda entre 200% a 300% del I_n .
- K1M: Contactor principal, se selecciona de acuerdo al I_n del motor y a la función que va a cumplir.
- F2F: Relé térmico, se selecciona de acuerdo a su I_n y a sus rangos siguientes $0.8 I_n < I_n < 1.2 I_n$ y se regula a la corriente de trabajo del motor.

4.1.2. Arranque Estrella/Triangulo.-

Como se ha visto que el arranque directo absorbe una corriente muy alta al conectarlo a la red, razón por la cual no puede emplearse para motores mayores de 4 ó 5 HP. En estos casos, especialmente tratándose de motores asíncronos trifásico con rotor en cortocircuito, es muy común la utilización del sistema de arranque estrella - triángulo, ya que la corriente inicial de arranque estará solamente entre 1.3 y 2.6 I_n . El sistema consiste en energizar el motor conectándolo inicialmente en estrella, mientras se pone en movimiento, y una vez haya alcanzado aproximadamente entre el 70 % a 80 % de su velocidad de régimen (en algunos segundos), se conecta en triángulo. Para la selección de componentes se utilizan los siguientes criterios:

Características nominales del motor:

- I_n : Corriente nominal del motor.
- V_n : Tensión nominal del motor.
- P_n : Potencia nominal del motor.
- $\cos \varnothing$: Factor de potencia del motor.
- η : Eficiencia del motor.

Características de los componentes:

- F1F: Fusible de acción retardada. Se recomienda a la I_n .
- K1M: Contactor principal. Se selecciona de acuerdo a la $\frac{I_n}{\sqrt{3}}$ del motor y a la categoría AC3.
- K2M: Contactor principal (triángulo) se selecciona de acuerdo a la $\frac{I_n}{\sqrt{3}}$ del motor y la categoría AC3.
- K3M: Contactor principal (triángulo) se selecciona de acuerdo a la $\frac{I_n}{3}$ del motor y a la categoría AC3.
- F2F: Relé térmico, se selecciona según a la $\frac{I_n}{\sqrt{3}}$ del motor.

Siendo sus rangos siguientes y se regula a la corriente de trabajo:

$$0.8 \frac{I_n}{\sqrt{3}} < \frac{I_n}{\sqrt{3}} < 1.2 \frac{I_n}{\sqrt{3}}$$

4.1.3. Cálculos.-

Considerando la información técnica de los motores dados en la sección 2.1.1, y la forma de seleccionar los dispositivos eléctricos de potencia según fórmulas dadas en el apartado anterior donde se consideran los tipos de arranque, se obtuvieron los datos para el cuadro siguiente.

Tabla 2

Características Eléctricas				Valores Calculados				
Pot (kW)	n (RPM)	Tension (V)	Inom(A)	KM1	KM2	KM3	F1F	F2F
132	1180	220	425	245,6	141,6	245,6	425	245,6
22	1750	220	73	73			219	73
0.37	3450	220	2	2			6	2
0.75	1650	220	2,5	2,5			7,5	2,5
3.5	1700	220	11,4	11,4			34,2	11
0.75	1650	220	2,7	2,7			8,1	4
7.5	1750	220	25	25			75	25
2.2	1720	220	8,3	8,3			24,9	8,3

Con los valores obtenidos por cálculo se puede buscar en el mercado, cuales son los dispositivos Standard, para hacer la compra respectiva. El cuadro siguiente fue realizado en base este concepto y se trabajó teniendo como punto de partida los dispositivos eléctricos de marca Schneider Electric.

Tabla 3

VALOR NOMINAL			CODIGO COMERCIAL			VALOR NOMINAL	CODIGO COMERCIAL	
KM1	KM2	KM3	KM1	KM2	KM3	F1F	F1F	F2F
265	185	265	LC1 F265	LC1 F185	LC1 F265	500	200 a 330	LR9-5375
80			LC1 D80			200	63 a 80	LRD-3363
9			LC1 D09			6	1.6 a 2,5	LRD-07
9			LC1 D09			6	2,5 a 4	LRD-08
12			LC1 D12			32	9 a 13	LRD-16
9			LC1 D09			6	3,5 a 4	LRD-08
32			LC1 D32			80	23 a 32	LRD-3353
9			LC1 D09			25	9 a 13	LRD-16

4.1.4. Plano Eléctrico.-

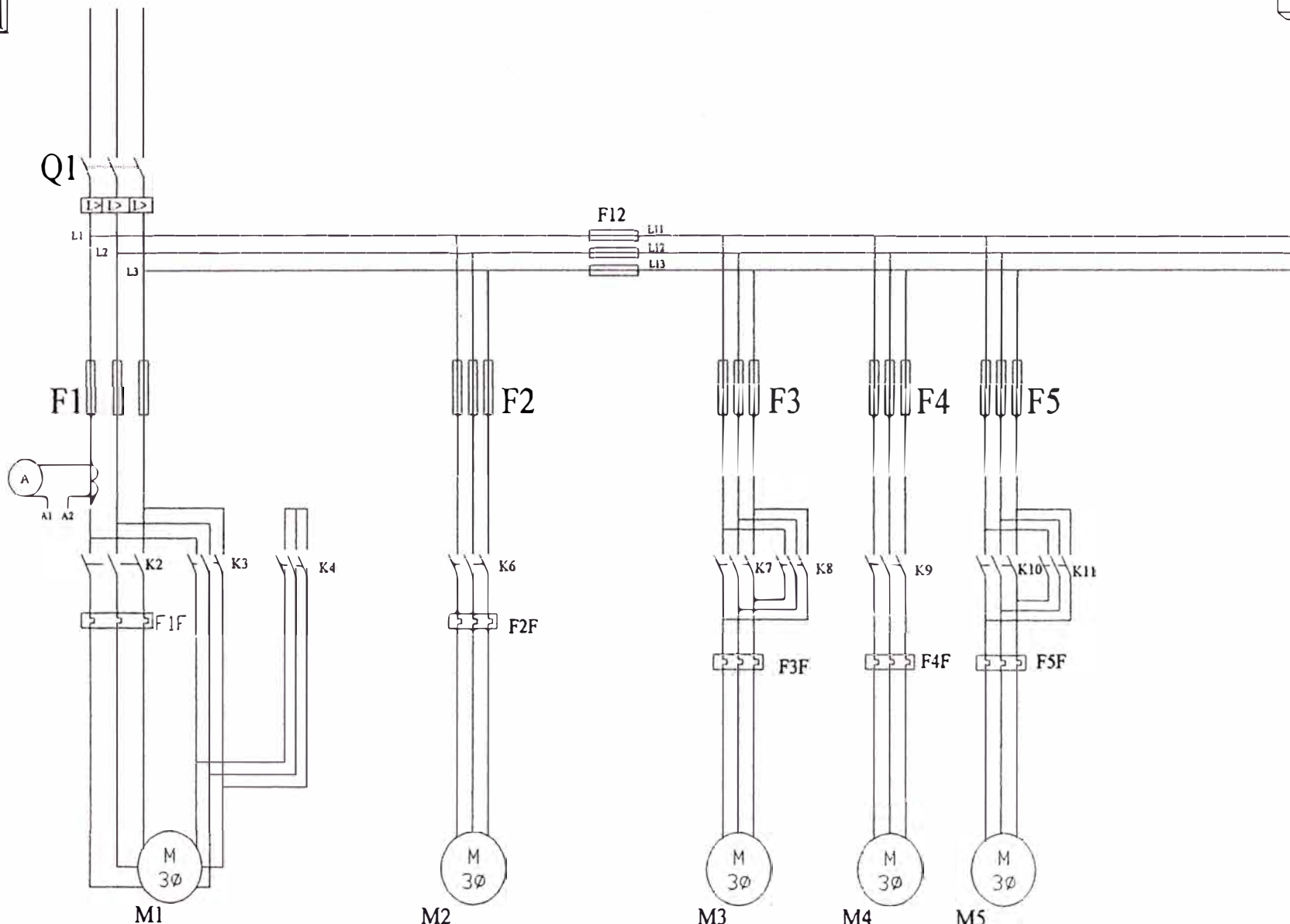
Para realizar el conexionado del tablero que se está automatizando se desarrolló el siguiente plano eléctrico:

inicio

3 ~ 220V - 60Hz

PLANO ELECTRICO DE MAQUINA CORTADORA

2



inicio

M1
Corte Vertical
132kw ; 245 Amp

M2
Corte Vertical
22kw ; 73 Amp

M3
Plataforma
2.2kw;8.3Amp

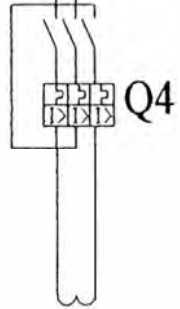
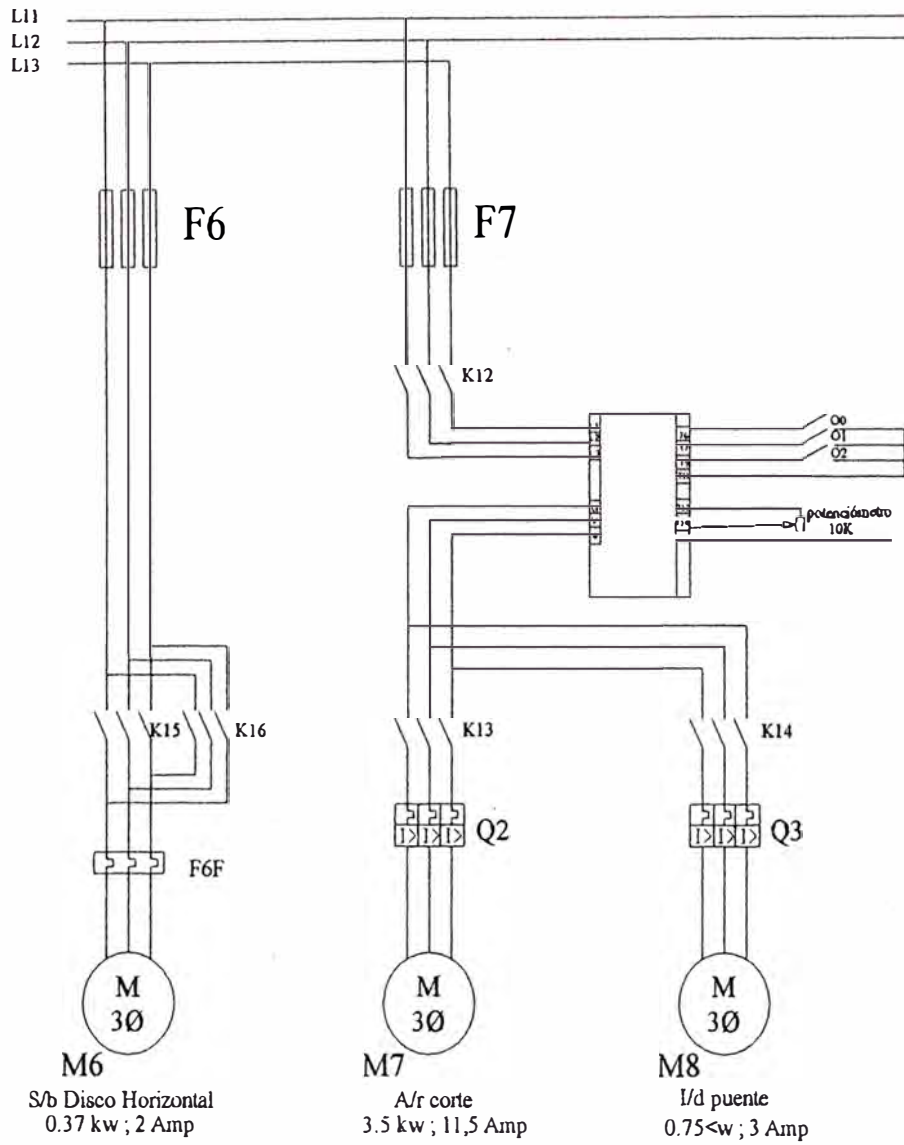
M4
Bomba H.
0.75kw;2.5Amp

M5
sub/baj puente
7.5kw;25Amp

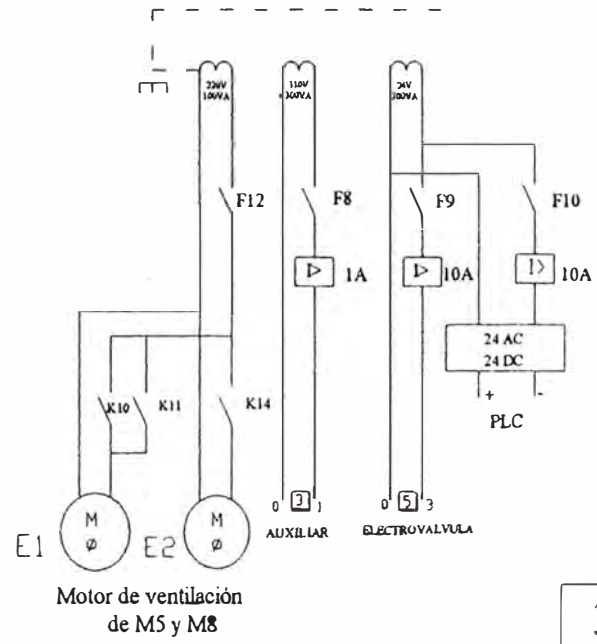
2

1

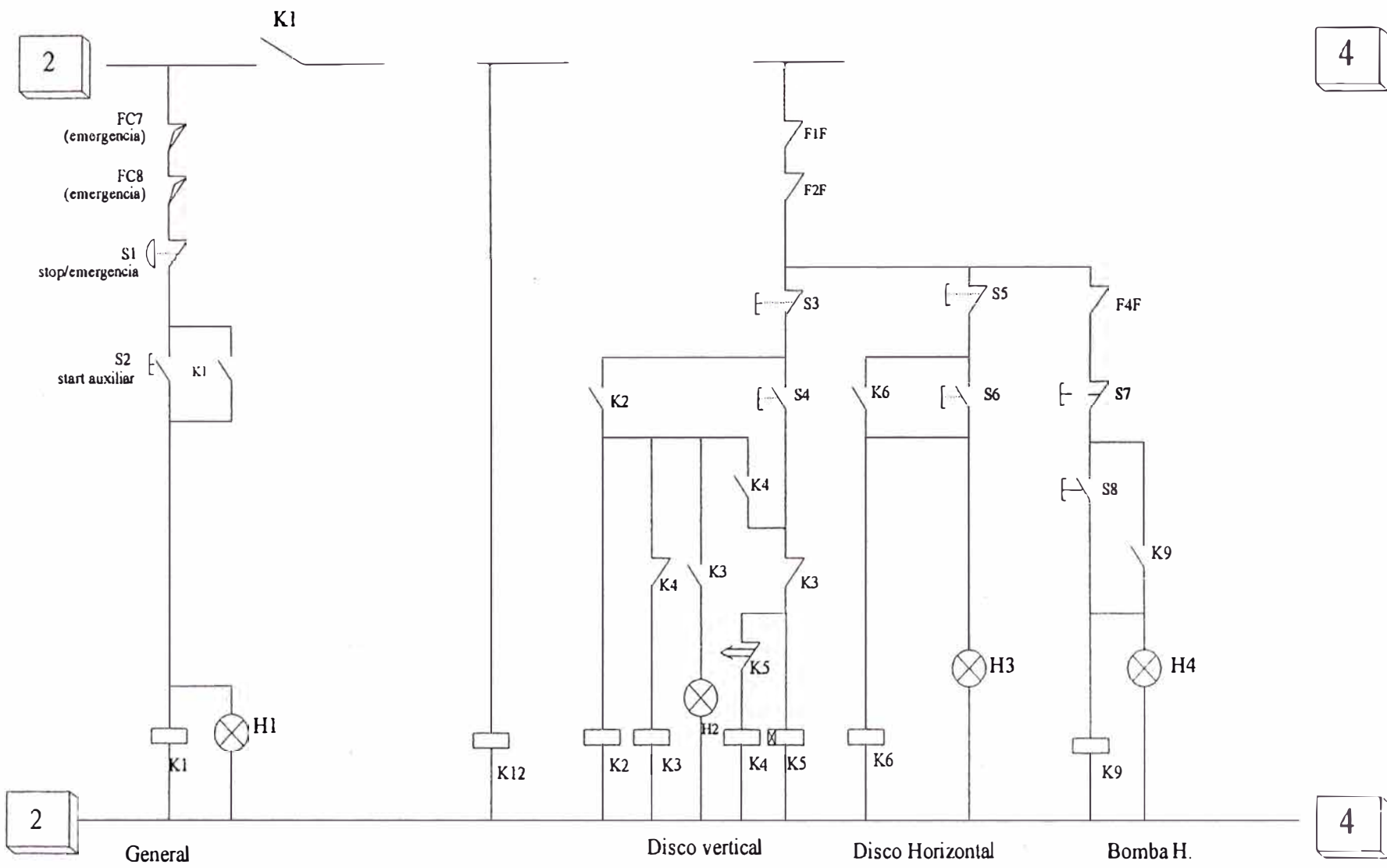
3



1



3



2

4

2

4

General

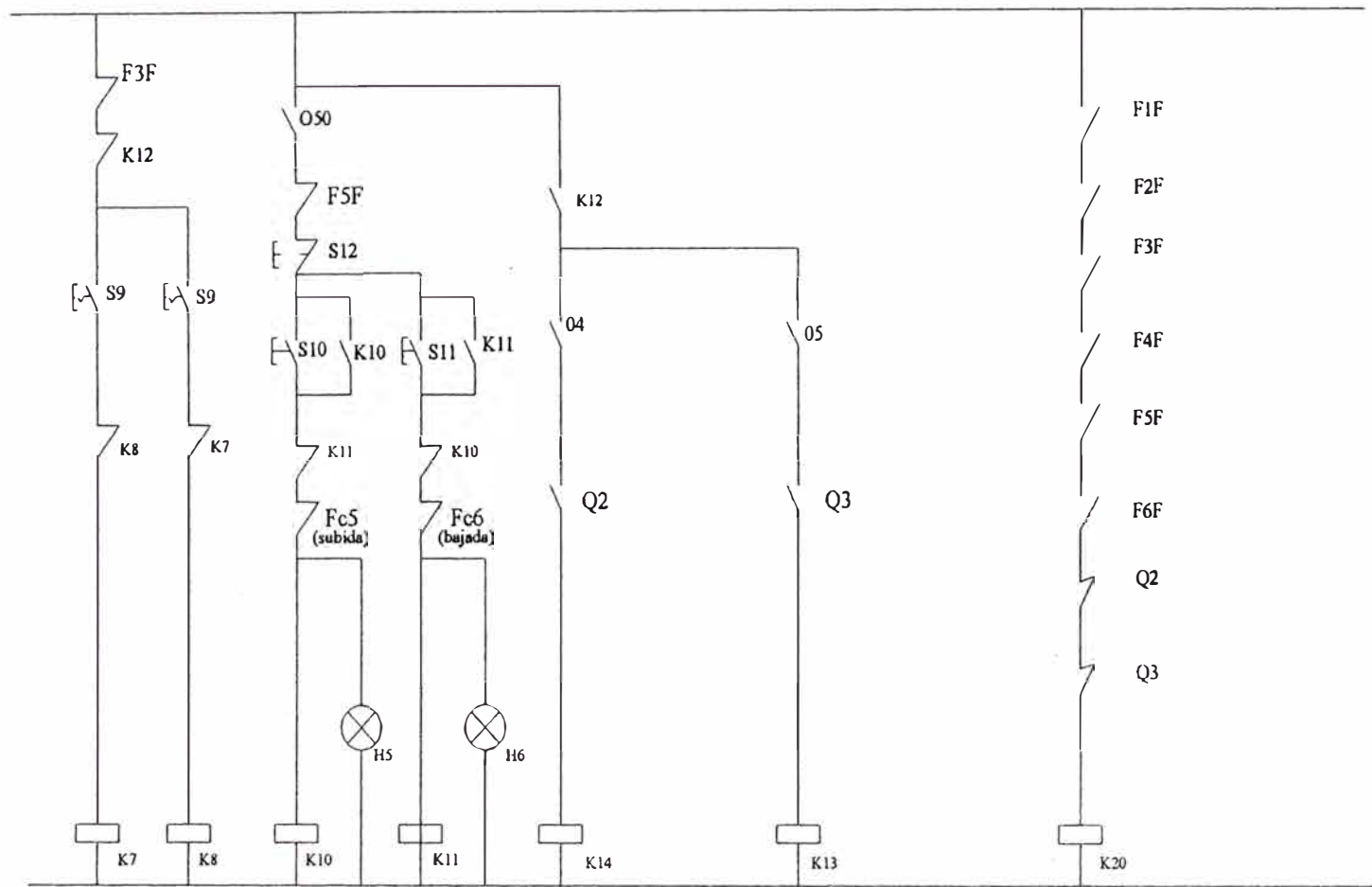
Disco vertical

Disco Horizontal

Bomba H.

3

5



3

5

Plataforma

Subida

Bajada

Puente

Izq/der

Corte/retro

4.2. Diseño Parte de Control.

Es necesario, pues, seleccionar los equipos electrónicos para nuestro sistema automatizado. Los equipos a utilizar son el Controlador Lógico Programable, el Variador de Velocidad Electrónico. En este punto Gerencia, nos puso una condición adicional, exigió usar los equipos comprados de una empresa afín, lo que significó buscar entre sus productos los equipos que cumplieran nuestras exigencias mínimas de funcionamiento. Es la razón por la que se trabajó con equipos no muy conocidos en el medio.

4.2.1 Selección del Controlador Lógico Programable.-

Para definir el equipo más conveniente para su uso en un sistema automático, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Número y tipo de entradas
- Tensión de alimentación
- Número y tipo de salidas
- Lenguaje de Programación
- Compacto o modular

A. Características Técnicas Requeridas:

- Entradas Digitales: 17
- Salida tipo relé: 08

- Tensión de alimentación: 24 Vdc
- Compacto expandible

B. Equipo Seleccionado:

- Marca: Unitronics
- Modelo: M90
- Compacto expandible 08 módulos adicionales como máximo.

Adicionalmente tiene las siguientes características técnicas:

Fuente de Alimentación	
Tensión de Entrada	24VCC
Rango Permitido	20.4 a 28.8VCC
Entradas y Salidas	
<i>Entradas Digitales</i>	
Operador simbólico	I
Tipo de Entrada	pnp (fuente)
Aislación Galvánica	Ninguna
Tensión Nominal de Entrada	24VCC
Tensión de Entrada	< 5VCC para '0' Lógico >15VCC para '1' Lógico
Corriente de Entrada	3mA a 24VCC
Impedancia de Entrada	8.4kΩ
Tiempo de Respuesta:	(menos las últimas dos entradas)
'0' a '1'	5 ms
'1' a '0'	10 ms
Longitud del cable de entrada	Hasta 100 metros, sin malla
<i>Contador de Alta Velocidad / Shaft-Encoder (Todos los Modelos)</i>	
La última entrada digital puede ser utilizada tanto como entrada digital o como contador.	

La ante última entrada digital puede ser utilizada como entrada o como un reseteo del contador.

Las últimas dos entradas digitales pueden ser utilizadas para un shaft encoder.

Resolución	16-bit
Frecuencia de Entrada	De las últimas dos entradas digitales: 5kHz máx.
Ancho de pulso mínimo.	De las últimas dos entradas digitales: 80 μ s

Entradas Analógicas

Método de Conversión	Aproximación Sucesiva
Impedancia de Entrada	>100k Ω en tensión 250 Ω en corriente
Aislación Galvánica	Ninguna
Resolución (excepto 4-20mA)	10-bit (1024 unidades)
Resolución a 4-20mA	204 a 1024 (820 unidades)
Tiempo de Conversión	Sincronizado al tiempo de scan
Máxima tensión permitida	$\pm 15V$
Error a plena escala	± 2 LSB
Error de Linealidad	± 2 LSB

Salidas Digitales

Operador simbólico	O
Modelos de Relé de Salida	
Tipo de Salida	SPST-NO relé; 230VAC / 24VDC
Tipo de relé	Takamisawa JY-24H-K o NAIS (Matsushita) JQ1AP-24V u otros
Aislación	Por relé
Corriente de Salida	5A máx. (carga resistiva) 1A máx. (carga inductiva)
Frecuencia Máxima	10Hz
Protección de contactos	Precaución Externa Necesaria
PNP (fuente) modelos de salidas	
Tipo de Salida	P-MOSFET (drenaje abierto); 24VCC
Aislación	Ninguna

Corriente de Salida	0.5A max. Corriente total: 3A max.
Frecuencia Máxima	1kHz (carga resistiva) 0.5Hz (carga inductiva)
Protección contra corto circuito	Sí
<i>Salida Analógica</i>	
Rango de Salida	0-10V
Impedancia de Carga	1k Ω mínimo
Aislación Galvánica	Ninguna
Resolución	10 bit (1024 unidades)
Tiempo de Conversión	Sincronizado al tiempo de scan
Error Total	$\pm 3\%$
Batería de Back-up	
7 años típicamente por medio de batería para el reloj de tiempo real (RTC), MB 0-15 y MI 0-15	
Display	
Tipo	STN, LCD display
Iluminación	LED amarillo - verde y backlight
Tamaño del Display	1 línea, 16 caracteres de longitud
Tamaño de los Caracteres	5 x 7 matriz, 3.07 x 5.73 mm
Teclado	
Cantidad de Teclas	15
Tipo de tecla	Membrana Sellada
Programa	
Tamaño de la programación del PLC (salvo el M90-19-B1A)	2048 palabras
M90-19-B1A	1024 palabras
Bits (Bobinas)	256
Operador simbólico	MB
Registros	256
Operador simbólico	MI
Temporizadores	64
Operador simbólico	T
Tiempo de ejecución	12 μ sec. por operación de bit

Pantallas HMI	80 configurables por el usuario
VARIABLES HMI	50 variables para condicionalmente modifique valores de textos, números, fechas, tiempos y temporizadores. El usuario puede crear hasta 120 pantallas de 2K.

Puerto de Comunicación

RS232

Aislación	No
Limite de Tensión	±20V

BusCAN

Nodos	Hasta 64
Rango de Baudios	10 Kbit/s – 1Mbit/s
Longitud de Cable	25m – 1000m

Expansión de E/S (salvo el M90-19-B1A)

Puerto de Expansión	Hasta 64 E/S adicionales (E/S digitales y analógicas, RTD y más)
----------------------------	--

Dimensiones

Tamaño	96 mm x 96 mm x 64 mm (3.8" x 3.8" x 2.5")
---------------	---

Montaje

Montaje sobre Riel DIN	Riel Din de 35mm
Montaje sobre panel	Perforación de 92mm x 92mm de acuerdo con la norma DIN 43700

Ambiente

Montaje en Riel DIN	IP20
Montaje en Panel	IP65
Temperatura de Operación	0°C a 50°C
Temperatura de Almacenamiento	-20°C a 60°C

4.2.2. Selección de un variador de velocidad.-

Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de carga: Par constante, par variable, potencia constante, cargas por impulsos.
- Tipo de motor: De inducción rotor jaula de ardilla o bobinado, corriente y potencia nominal, factor de servicio, rango de voltaje.
- Rangos de funcionamiento: Velocidades máximas y mínimas. Verificar necesidad de ventilación forzada del motor.
- Par en el arranque: Verificar que no supere los permitidos por el variador. Si supera el 170% del par nominal es conveniente sobredimensionar al variador.
- Frenado regenerativo: Cargas de gran inercia, ciclos rápidos y movimientos verticales requieren de resistencia de frenado exterior.
- Condiciones ambientales: Temperatura ambiente, humedad, altura, tipo de gabinete y ventilación.
- Aplicación mono o multimotor: Prever protección térmica individual para cada motor. La suma de las potencias de todos los motores será la nominal del variador.
- Consideraciones de la red: Microinterrupciones, fluctuaciones de tensión, armónicas, factor de potencia, corriente de línea disponible, transformadores de aislación.

A. Características Técnicas Requeridas:

- Tensión de alimentación: 220 v
- Frecuencia de Red: 60 Hz
- Potencia máxima: 3.7 KW ó 5.0 HP
- Rango de Operación: 30 a 120 Hz
- Multivelocidad: 04
- Entrada analógica: 01 de 0-10 v

B. Equipo Seleccionado:

- Marca: PDL
- Modelo: XTRAVERT X716
- Potencia máxima: 5 KW ó 7.5 HP

Adicionalmente tiene las siguientes características técnicas:

Entrada:

- Tolerancia de entrada de alimentación Nominal Actual 230 V
3~ 200 V a 250 V +/- 0%
- Frecuencia de entrada 48 a 62 Hz
- Factor de potencia 0.99

Salida:

- Capacidad de sobrecarga de corriente 150 % por 30 segundos

- Eficiencia (a plena carga, a 50 Hz) > 97 %
- Demora al encendido < 1 segundo
- Rango permitido de alimentación de motores 10 a 500 Vac
- Rango permitido de frecuencia motores 10 a 175 Hz
- Tensión de salida < V entrada
- Rango de frecuencia 0 a +/- 120 Hz
- Resolución de frecuencia 0.01 Hz

Especificaciones Ambientales:

- Temperatura de operación 0-50 °C
- Temperatura de almacenamiento -40 °C a +80 °C
- Humedad relativa ambiente <90%, No Condensada
- Altitud 1000m.
- Degradación por altura (>1000m) -1% por 100m; 3000m. máx.

Protecciones:

- Pérdida de alimentación Falta de fase
- Limitación de corriente de salida Corto circuito en la carga
- Detección de falta de tierra Limite de Regeneración
- Baja tensión del Bus de CC Sobretemperatura del motor
- Alta tensión del Bus de CC Falla en la placa de control

Protección del motor:

- Prevención de rotor bloqueado
- Protección contra rotor bloqueado
- Modo de chaveta cortada
- Alarma combinada de sobrecarga.

Opciones de control total:

- Botones de Start y Stop/ Reset Botón Stop/Reset
- Botón Reset Ninguno (Control remoto)

Opciones de control de frecuencia:

- Teclado Local JOG 1 , JOG 2 (velocidad de aprox. 1 ó 2)
- Entrada Analógica 1: Configurable como 0-10Vcc o $\pm 10Vcc$
- Entrada Analógica 2: 4-20 mA
- Máximo de entrada analógica 1 o entrada analógica 2
- Suma de entrada analógica 1 y entrada analógica 2
- Interruptores de control (7 Preselecciones) Salida de control de proceso PID
- Interruptores de control (3 Preselecciones) Potenciómetro motorizado

- RS 232 / RS 485 (opcional) Control de Grúa

Entradas digitales de Control:

- 1 Entrada dedicada a señal de falla externa
- 4 Entradas Multifunción configurables como:
 - Marcha Parada
 - Marcha/Parada Parada/Reset
 - JOG (para aproximación, también conocido como punteo)
Incrementar/Decrementar Velocidad
 - Parada/Reset alternativo Inversión de dirección
 - Control de Grúa por botones duales Acelerac./Desacelerac.
alternativa

Salidas de relés configurables:

- 2 Relés: 230Vca / 30 Vcc / 2 A (no inductivos), uno inversor y el otro normalmente abierto.
- Selección de salidas:
 - Salida de falla Xtravert encendido
 - Xtravert en marcha Xtravert encendido o en marcha
 - Xtravert Sobrecargado Motor sobrecargado
 - Punto de sensado de frecuencia

- Punto de sensado de corriente
- Dirección a frecuencia seleccionada
- Alarma de sobrecarga combinada Sensado de realimentación
- Dirección del flujo de potencia Controladas por RS 232/ 485 (opcional)

Salida analógica configurable como 0 - 10 VCC, +/- 10 VCC, o 4 - 20 mA:

Selección de salidas:

- Frecuencia de salida $\pm 50 / \pm 60 / \pm 100 / \pm 120$ Hz Corriente de salida 0 -150 %
- Frecuencia de referencia $\pm 50 / \pm 60 / \pm 100 / \pm 120$ Hz ± 10 V RS 232/485 (opcional)
- Tensión de salida de 0-500 Vca Potencia del motor 0-150 %
- Componente de torque de corriente 0 - 150 % ± 100 % Error de Control de Proceso

Panel de control:

- Display alfanumérico de 32 caracteres (puede colocarse hasta 3 m de distancia) con protección IP 54.

- Se exhiben en forma permanente corriente , frecuencia y estado del Xtravert
- Capacidad de Multilenguaje.
- Se exhiben en forma directa los estados o niveles de las señales de entrada o salida de control.
- Sistema de ingreso con 3 teclas con botones independientes de marcha y parada.
- Posibilidad de control local / remoto.
- Led de indicación de estado para Encendido, Falla ó Marcha.

Características de control:

- Amplio rango de variación de velocidad hasta 120 Hz 7 multivelocidades preajustables.
- Entradas de velocidad controladas por contactos 2 saltos de frecuencias
- Programable para soportar prácticamente cualquier motor
- Modelo térmico del motor programable Sistema de optimización Dynaflux
- Calentamiento de motor anti-condensación Modo de arranque con libre movimiento (Giro)
- Detención de cargas con libre movimiento (Giro) Frenado con inyección de CC.

- Control de procesos PID Interruptores de control configurables
- Reacción ante pérdida de alimentación programable
Rearranque automático
- Modo shearpin (chaveta cortada) Limite suave de corriente
- Posee gran inmunidad a arcos eléctricos Bloqueo de giro inverso
- Opcionales de comunicación serie
- Muy bajo ruido de motor por modulación en modo whisperwave ó a frecuencia fija (normal).
- Offset, ganancia e inversión programable de las señales de referencia analógicas.
- Dos rampas de aceleración o desaceleración seleccionables más rampa de parada alternativa
- Amplio rango de rampas de aceleración y desaceleración 0.02 a 500 Hz/seg.

4.2.3 Diagramas de Conexión.-

4.2.3.1 Controlador Lógico Programable.-

La siguiente tabla contiene el listado de entradas y salidas que han sido conectadas al PLC:

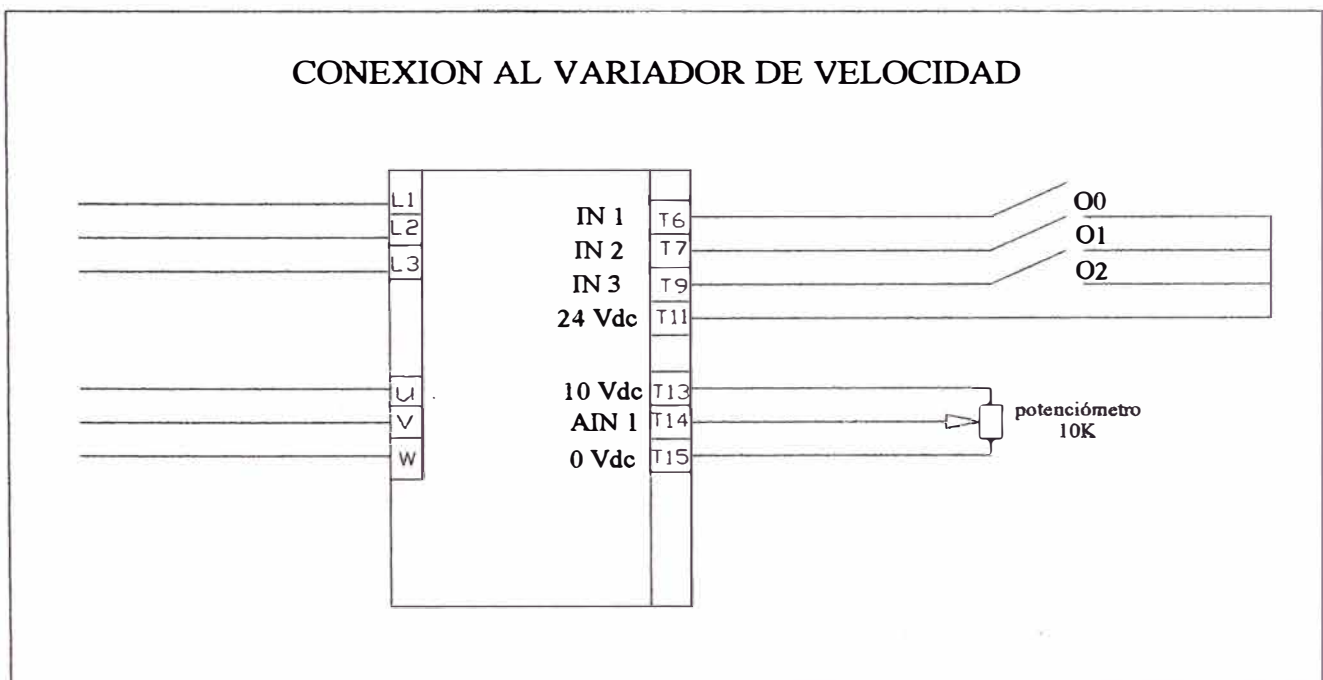
Tabla 4

ENTRADAS			
Dirección	Símbolos en Programa	Descripción	Simb.
I0	IN Fin de Carrera "Fin de Corte"	Final de Carrera NA	Fc1
I1	IN Fin de Carrera "Fin de Retro"	Final de Carrera NA	Fc2
I2	IN Fin de Carrera "Fin de Izquierda"	Final de Carrera NA	Fc3
I3	IN Fin de Carrera "Fin de Derecha"	Final de Carrera NA	Fc4
I4	Start Automático	Pulsador NA	S20
I5	Stop Automático	Pulsador NC	S21
I6	Start Corte	Pulsador NA	S22
I7	Start Retro	Pulsador NA	S23
I8	Stop Corte/Retro	Pulsador NC	S24
I9	Start Izquierda	Pulsador NA	S25
I32	Start Derecha	Pulsador NA	S26
I33	Stop Izquierda/Derecha	Pulsador NC	S27
I34	Térmicos	Contactos Auxiliares NC	K20
I35	Contador A	Contador para Movimiento Lateral	CA
I36	Contador B	Contador para Movimiento Vertical	CB
I37	Interruptor Auto	Interruptor, contacto NC	S14
SALIDAS			
Dirección	Símbolos en Programa	Descripción	Simb.
O0	T6 Variador de Velocidad	Salida Digital de Variador de Velocidad	O0
O1	T7 Variador de Velocidad	Salida Digital de Variador de Velocidad	O1
O2	T9 Variador de Velocidad	Salida Digital de Variador de Velocidad	O2
O4	Izquierda/Derecha	Motor de desplazamiento Lateral	O4
O5	Corte/Retro	Motor de avance/retroceso	O5
O49	Entrada Brazo	Bobina de Electroválvula	O49
O50	Subida y Bajada Vertical	Motor de movimiento vertical	O50

Teniendo como base la tabla anterior se tiene el siguiente diagrama de conexionado:

4.2.3.2. Variador de Velocidad.-

La condición es que con un variador controlemos la velocidad de 02 motores en ambos sentido de giro, es decir controlar 04 velocidades. Una de éstas velocidad debe ser controlada por el operador a distancia, lo que significa que se instalará un potenciómetro y se tendrá una entrada analógica; las otras 03 velocidades deben ser prefijadas en la configuración del equipo. Con éstas condiciones el diagrama de conexión es el que sigue:

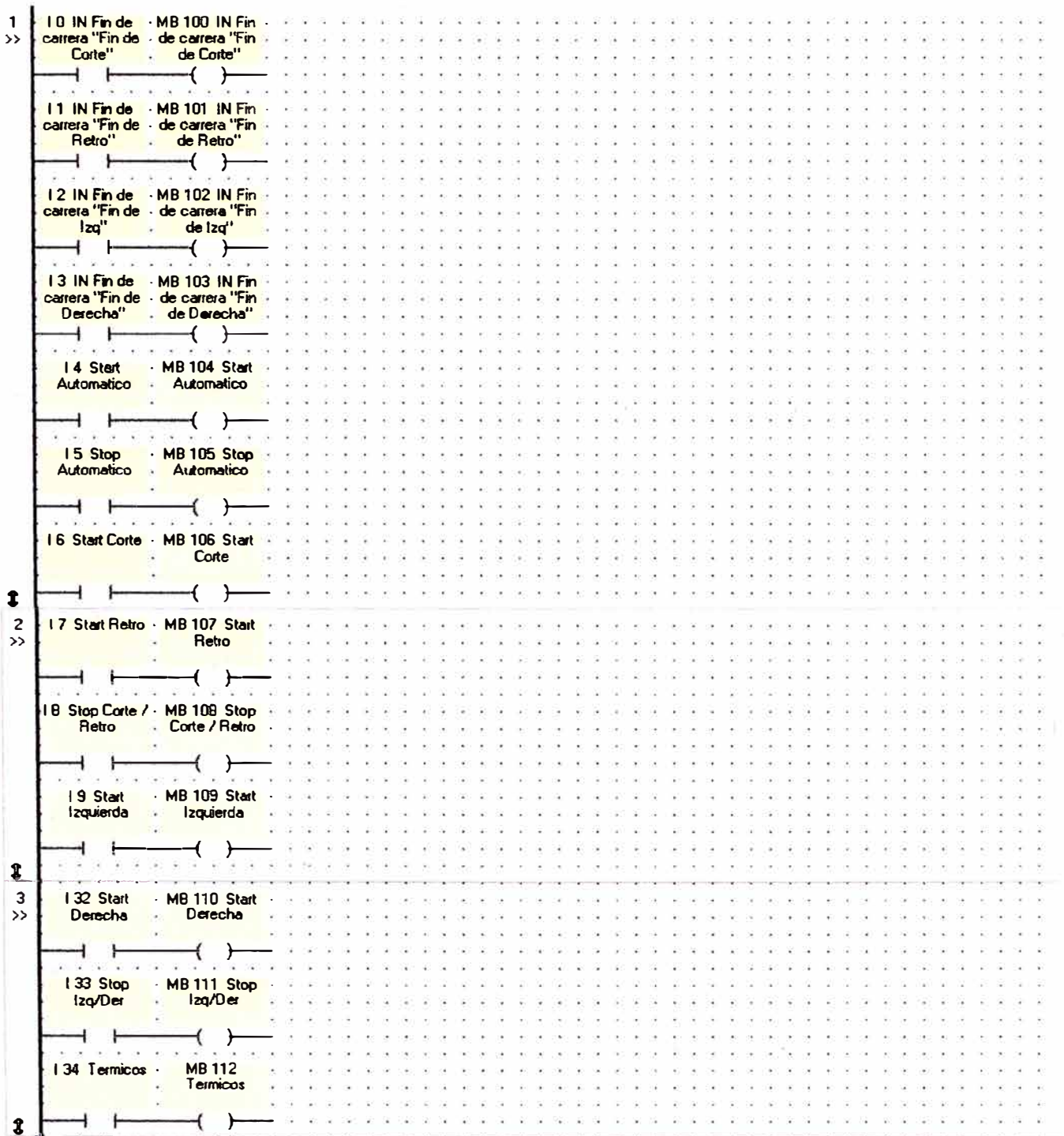


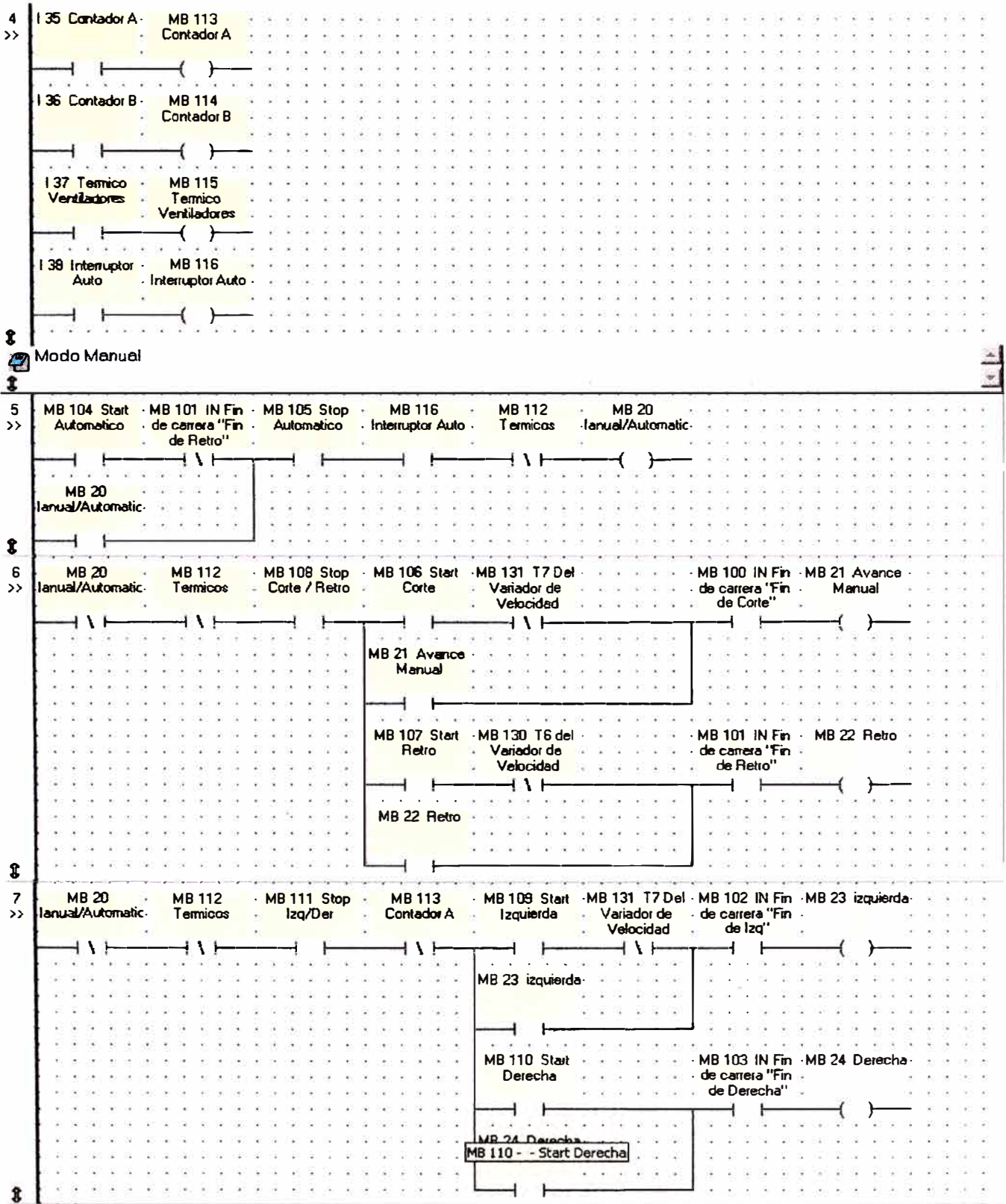
CAPÍTULO 5: EJECUCIÓN DEL PROYECTO

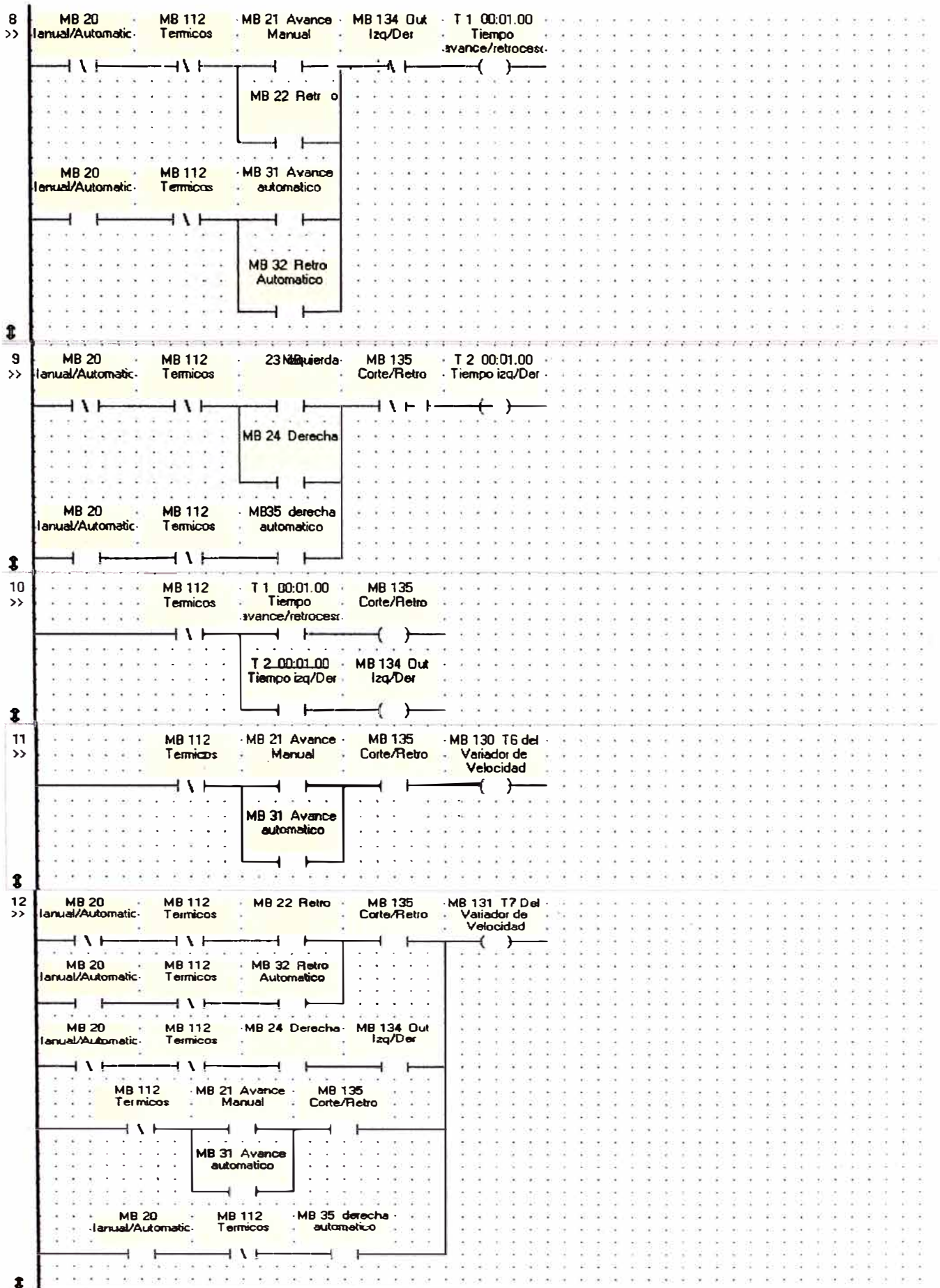
El proceso de ejecución consta de varias partes que incluyen: la supervisión del montaje del equipo eléctrico/electrónico ejecutado por el técnico electricista, la programación del variador de velocidad electrónico, y la programación del PLC escogido. Por ser el montaje eléctrico/electrónico realizado en base a plano eléctrico desarrollado en el capítulo anterior, no nos ocuparemos de esto. Es importante, pues, en la ejecución de la automatización de la maquinaria desarrollar la programación de los 02 equipos más importantes del presente trabajo: El variador de velocidad electrónico y el PLC.

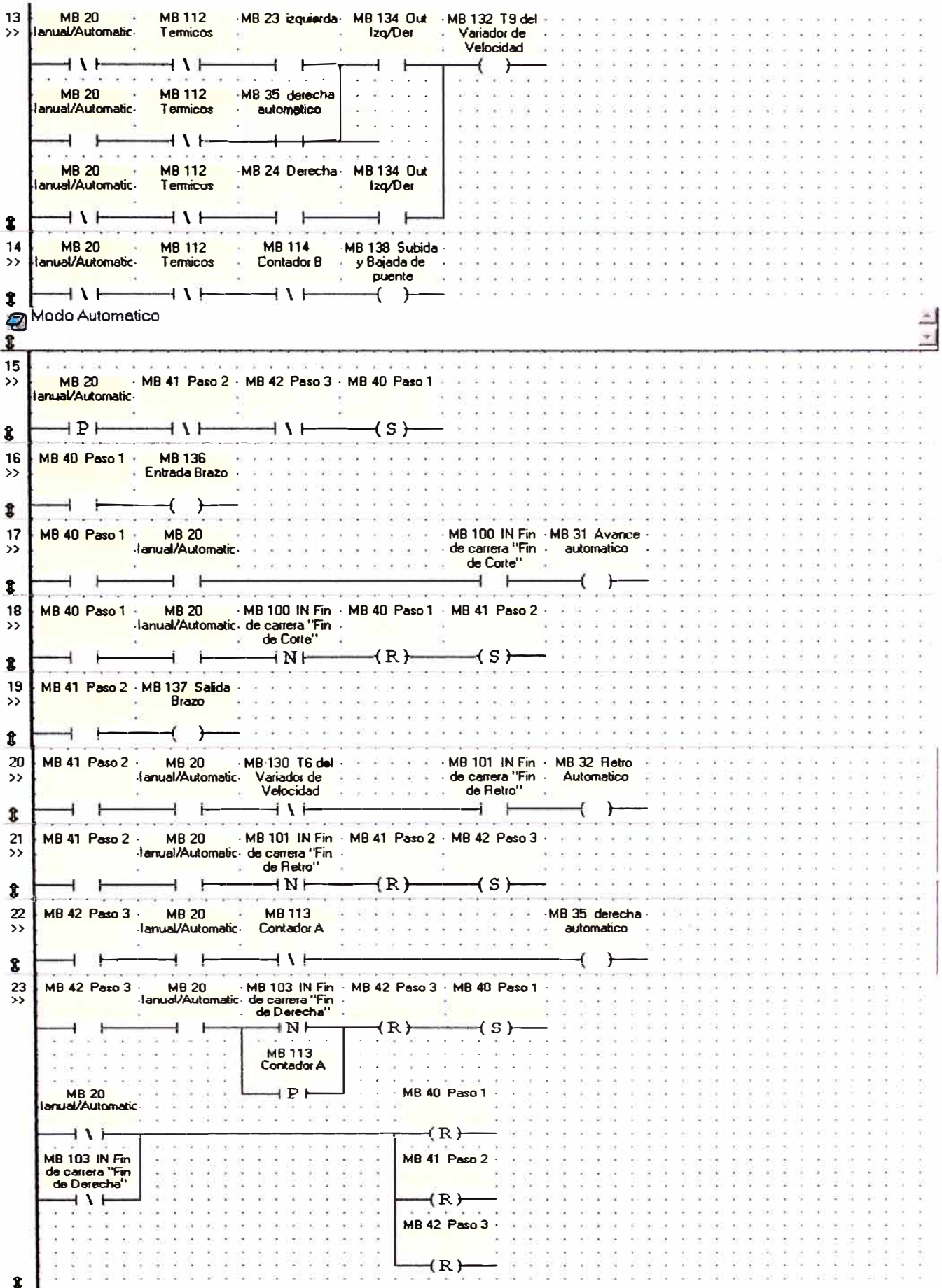
5.1. Programa del Controlador Lógico Programable.

El Programa se desarrolló en lenguaje de escalera o ladder, se consideró para esto la secuencia del proceso dado en la sección 2.4. Por lo tanto el programa ladder del proceso de corte de rocas es como sigue:









Salidas digitales

24	MB 130 T6 del Variador de Velocidad	O 0 T6 del Variador de Velocidad	()
>>			
	MB 131 T7 Del Variador de Velocidad	O 1 T7 Del Variador de Velocidad	()
	MB 132 T9 del Variador de Velocidad	O 2 T9 del Variador de Velocidad	()
	MB 133 Termicos {detiene Ciclo}	O 3 Termicos {detiene Ciclo}	()
	MB 134 Out Izq/Der	O 4 Out Izq/Der	()
	MB 135 Corte/Retro	O 5 Corte/Retro	()
	MB 136 Entrada Brazo	O 48 Entrada Brazo	()
§			
25	MB 137 Salida Brazo	O 49 Salida Brazo	()
>>			
	MB 138 Subida y Bajada de puente	O 50 Subida y Bajada de puente	()
§			

5.2. Programa del Variador de Velocidad Electrónico.

5.2.1 Breve descripción del variador X-Travert.-

La flexibilidad de proceso del Xtravert solo se pone de manifiesto cuando se utilizan sus prestaciones programables. Esto implica la habilidad de configurar el Xtravert en cinco áreas específicas:

- Formato y fuente de la entrada de control de frecuencia.
- Formato y fuente de la salida analógica.
- Control de proceso, realimentación.
- Salidas de relé.
- Entradas digitales.

Esta configurabilidad hace que el Xtravert pueda ser a menudo utilizado como un sistema de control de procesos autónomo. Para setear las pantallas del Xtravert, típicamente se utiliza el siguiente procedimiento:

1. Ingrese la información del motor en el grupo de pantallas N.
2. Ingrese los límites de operación utilizando el grupo de pantallas L. Ingrese las frecuencias mínima y máxima (pantallas L1 y L2). El límite de corriente en la pantalla 3 se ajusta típicamente al 120 % de la corriente nominal del motor (pantalla N1). Utilice la pantalla L4 para ajustar el tiempo máximo del límite de corriente (no se requiere su uso normalmente), seleccione la pantalla L5 para inhibir la inversión de marcha (típicamente utilizado en bombas).
3. Seleccione las fuentes de control mediante el grupo de pantallas I. Si no se requiere control local, inhabilite los botones de start/stop de la unidad de display mediante la pantalla I1. Seleccione la fuente de referencia de velocidad mediante la pantalla I2. Si se va a utilizar la entrada analógica 1

(ENA1), entonces seleccione el formato (0 a 10 V ó 0 +/-10 V) para el terminal T14. Ajuste el rango de frecuencia de la entrada analógica usando las pantallas I5 a I8. Luego de seleccionado el modo de entrada deseado en la pantalla I9, asegúrese de que el terminal T10 esté abierto para permitir arranques inadvertidos.

4. El monitoreo externo del Xtravert se realiza mediante el uso de la salida analógica 1, (SA1) en el terminal T18 y los dos relés (REL1 y REL2) en los terminales T1 a T15. Estos se ajustan mediante el uso del grupo de pantallas O. Comience por ajustar la salida analógica 1 (SA1) a la fuente requerida usando la pantalla O1. Seleccione el formato de la salida analógica (0 a 10 V, ± 10 V ó 4 a 20 mA) en el terminal T18 usando la pantalla O2. Seleccione el tipo de salida usando las pantallas O3 y O4. Si utiliza comparadores como fuente para los relés entonces deberá setearlos mediante el grupo de pantallas C.

5. Las velocidades de crecimiento de las rampas de aceleración y desaceleración se setean mediante el grupo de pantallas R y los modos de Start/Stop se setean mediante el uso del grupo de pantallas S.

6. Se podrá lograr un aumento de la performance aplicando un refuerzo de tensión si el motor tiene problemas para arrancar bajo carga. Se puede setear frenado de CC usando las pantallas S4 y S5 para detener el motor cerca de la velocidad cero. Para motores que tengan problemas de condensación se puede utilizar el Calentamiento de C.C. seleccionándolo en

la pantalla S6, esto suministrará una pequeña corriente continua que conservará caliente al motor. Los esquemas de control mas complejos (por ejemplo un control de presión usando el controlador de procesos PID interno) requerirán una lectura profunda de este manual para que el instalador comprenda del amplio espectro de facilidades y flexibilidad que posee el Xtravert.

5.2.2. Configuración del Variador de Velocidad.-

La forma en que se ha configurado y los parámetros de fábrica se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 5

XTRAVERT N° :	724144
MODELO :	X716
UBICACIÓN :	CORTADORA DE ROCAS

MOTOR			
KW :	3,5	V :	220
A :	11,4	N° POLOS :	4
RPM :	1750	HP :	5

AJUSTES	(= de fábrica)	CORTADORA
A1 FREQ PT	(= +50.0Hz)	60
C1 F ACT	(= 12.0Hz)	12
C2 F DACT	(= 10.0Hz)	10
C3 SENSR I	(= 15.3A)	12.0
H1 DIR COM	(= 10)	10
H2 T LIM COM	(= OFF)	OFF
I1 LOCAL	(= STR/STP)	STR/STP
I2 REF Ve	(= NULL)	NULL
I3 AREF V	(= AIN1)	AIN1
I4 EA1	(= 0-10V)	0-10V
I5 A1 BA	(= +0.0Hz)	0
I6 A1 AL	(= +120.0Hz)	120
I7 A2 BA	(= +0.0Hz)	0

I8 A2 AL	(= +120.0Hz)	10
I9 MODO ENTR	(= 09)	09
L1 F MIN	(= 0.0Hz)	0
L2 F MAX	(= 120.0Hz)	120
L3 I LIMIT	(= 14A)	14
L4 T LTI	(= 25	25
L5 INV INHIBID	(= N)	N
L6 SALT1	(= 0.0Hz)	0
L7 SALT2	(= 0.0Hz)	0
L8 A SALT	(= 0.0Hz)	0
L9 F MIN MARCH	(= N)	N
M1 MREF1	(= +0.0Hz)	0
M2 MREF2	(= +0.0Hz)	0
M3 MREF3	(= +0.0Hz)	0
M4 MREF4	(= +0.0Hz)	0
M5 MREF5	(= +60.0Hz)	-100
M6 MREF6	(= +75.0Hz)	-75
M7 MREF7	(= +45.0Hz)	-45
N1 C MOTOR	(= 11.5A)	11,4
N2 V MOTOR	(= 220V)	220
N3 F MOTOR	(= 60Hz)	60
N5 RPM MOTOR	(= 1700Hz)	1750
N6 REFRI MO	(= 40%)	0,4
O1 FUENTE SA1	(= 03)	3
O2 SA1	(=0-10V)	0-10V
O3 SAL RELE1	(= 02)	2
O4 SAL RELE2	(= 05)	5
P1 FT PR	(= NULL)	NULL
P2 FT RLM	(= NONE)	NONE
P3 PID Kp	(= 1.0)	1
P4 PID Ti	(= INF)	INF
P5 PID Td	(= 0.0s)	0,0S
P6 ERROR	(= +0.0s)	0
P7 REL PI	(= 10Hz)	10
R1 ACL	(= 100.0Hz/s)	150
R2 DCL	(= 100.0Hz/s)	400
R3 AACL	(= 10.0Hz/s)	30
R4 ADCL	(= 10.0Hz/s)	350
R5 F CAMB	(= 0.0Hz)	0
R6 PRO A	(= 10.0Hz/s)	10
R7 CTE T	(= 0.20s)	0
S1 MODO ARR	(= RAMP)	RAMP
S2 MODO PRO	(= SPIN)	SPIN
S3 V ARRAN	(= 1.5%)	0,015
S4 NIVEL CC	(= 0%)	0

S5 TIEM CC	(= 0.0s)	1,5
S6 CALENT CC	(= OFF)	OFF
S7 DISP V BAJO	(= N)	N
X1 FLUJ MIN	(= 100%)	1
X2 V ARR AUT	(= S)	SPIN
X3 F DESLZ	(= 0.0%)	0
X4 LTI DESLZ	(= 4.0%)	0,04
X5 VL DESLZ	(= 4.0%)	0,04
X6 AMORTIG	(= 0.8%)	0,008
X7 F CONMUT	(= WW)	WW
X8 REGEN	(= V-CLAMP)	V-CLAMP
Y1	ENGLISH	ENGLISH
Y2 INICIALIZAR	(= N)	N
Z2 REVISION S/W	2,7	2,7
Z2 REVISION H/W	2,2	2,2
Z3 AIN1	(= 0.5V)	0,8
Z4 AIN2	(= +0mA)	0
Z5 A01	(= 1.0V)	1,8
Z6 ENT MF:OOOO X	OXXO X	00X0X
Z7 RELE 1=XO 2=O	XO X	X0 X
LOCAL S	30	60
T=0% R=+59.9Hz	11% 6Hz	11% 6HZ

CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

En todo proyecto es de vital importancia tener un estimado de rentabilidad, para evaluar si la propuesta de mejora es beneficiosa para los inversionistas. Como se explicó en el capítulo II, el tema del proyecto pasaba por que es una máquina usada adquirida a menor precio, pero que requería una inversión inicial en el sistema de control automático. Adicionalmente la empresa condicionó que este proyecto se realizara con los equipos electrónicos de una empresa afín, de tal forma que se tuvo que usar equipos no muy conocidos en el mercado nacional, de valor medio, qué, y se hizo hincapié en esto, cumplan las mínimas condiciones para el trabajo a desarrollar.

6.1. Costos y Beneficios.

6.1.1. Comparación de costos de inversión.-

Como primer parámetro para realizar una acertada evaluación verifiquemos en el cuadro siguiente la comparación entre el costo de una máquina nueva y el de la una máquina reparada totalmente, como nuestro

caso, para saber el nivel de ahorro inicial al que hemos llegado:

Tabla 6

ITEM	DESCRIPCION	COSTO (U\$\$)
01	Máquina nueva automatizada con PLC incluyendo impuestos aduaneros	150000.00
02	Costo de Máquina usada : Adquisición incluyendo impuestos aduaneros U\$\$ 40000.00 Costo de reparación mecánica y montaje U\$\$ 15000.00 Costo de automatización U\$\$ 10000.00 Total costo máquina usada	65000.00
03	Potencial de ahorro en compra de máquina	85000.00

Como se observa en la tabla anterior son U\$\$ 85000.00 (57% el valor de una máquina nueva) los que la compañía está ahorrando en la adquisición de una máquina en desuso, que luego de ser correctamente reparada e instalada va a trabajar de igual forma que una nueva. Definitivamente un dato a considerar y entender el porque de tomar esta decisión.

6.1.2. Beneficios en Producción.

La producción en el momento que entró en operación se puede observar en el cuadro siguiente:

Tabla 7

Costos y Beneficios con 01 Máquina						
Item	Año	Producción (m2)	Costo (US\$)	Gastos de mantto. (US\$)	Utilidad (US\$)	Neto anual (US\$)
1	2001	130500	261.000	3.000	52.200	49.200
2	2002	135000	270.000	3.000	54.000	51.000
3	2003	137250	274.500	3.000	54.900	51.900
					Total 03 años	152.100

La producción estimada luego de entrar en operación la máquina durante los tres primeros años se puede ver en el cuadro siguiente:

Tabla 8

Costos y Beneficios Estimados con 02 Máquinas						
Item	Año	Producción (m2)	Costo (US\$)	Gastos de inversión y mantto. (US\$)	Utilidad (US\$)	Neto anual (US\$)
1	2004	198000	396.000	68.000	79.200	11.200
2	2005	270900	541.800	3.000	108.360	105.360
3	2006	276750	553.500	3.000	110.700	107.700
					Total 03 años	224.260

Finalmente para comprender todos los beneficios, tanto en producción como en ganancias el cuadro siguiente permitirá aclarar estos hechos:

Tabla 9

Comparación entre Producción (m2) y Neto (U\$\$) de 03 primeros años						
	Producción (m2)			Neto anual (U\$\$)		
Item	01 máquina	02 máquinas	Porcentaje (%)	01 máquina	02 máquinas	Porcentaje (%)
1	130500	198000	51,72%	49.200	11200	-77,24%
2	135000	270900	100,67%	51.000	105360	106,59%
3	137250	276750	101,64%	51.900	107700	107,51%
Totales	402750	745650	85,14%	152.100	224260	47,44%

6.2. Criterios de Evaluación.

Existen muchos criterios dados por varios autores para evaluar una inversión. En nuestro caso se usarán: El método del Período de Retorno (PR), El método del Valor Actualizado Neto (VAN), y El método de la Tasa Interna de Retorno (TIR). Todos los cálculos de las secciones siguientes son hechos en base a 10 años de labor.

6.2.1. El Método del Período de Retorno (PR).-

En el proyecto el P.R. se calcula:

$$PR = \frac{CI}{FFA}$$

Donde:

CI.- Flujo o inversión inicial

FFA.- Flujo de fondos anual

Se trata de calcular el número de años que son necesarios para calcular para recuperar la cantidad de dinero invertida en el proyecto. Para ello se suman algebraicamente los flujos de fondos positivos de los diferentes periodos hasta llegar a aquel en que iguale la cantidad monetaria invertida.

En nuestro caso el desarrollo del proyecto nos cuesta \$65.000,00 y se tiene estimado que el flujo de fondos promedio anual será de \$55.000,00.

Considerando estos datos tenemos:

$$PR = 1.25 \text{ años}$$

Por lo tanto la inversión se estaría reembolsando a los 1.25 años de operación.

6.2.2. El Método del Valor Actualizado Neto (VAN).-

Se calcula:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(i+1)^j} - C_0$$

Donde:

C_0 = Flujo o inversión inicial

C_j = Flujo de fondos positivos netos correspondiente al año j

i = Tasa de actualización

n = Número de años

Llamado también Valor Presente Neto (VPN), es la suma algebraica de los valores actualizados de los costos y beneficios generados por el proyecto durante su horizonte de evaluación.

La Tasa de Actualización, llamada también Tasa de Descuento es un parámetro cuyo valor numérico debe ser tal que, al utilizarlo para actualizar los flujos del proyecto, el VAN resulte positivo o negativo, dependiendo de dicho valor el proyecto conviene o no al inversionista. Para fines de cálculo asumiremos un valor de $i = 10\%$ anual. Con lo cual obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 10

Cálculo del VAN Año por Año y el total luego de 10 años						
Año	Producción (m2)	Costo (US\$)	Gastos de Inversión y mantto. (US\$)	Producción Adicional (US\$)	Neto anual (U\$)	Valor Actual Anual VAN (U\$)
2004	67500	135.000	65.000	27.000	-38.000	-34.545
2005	135900	271.800	3.000	54.360	51.360	46.691
2006	139500	279.000	3.000	55.800	52.800	48.000
2007	139050	278.100	3.000	55.620	52.620	47.836
2008	137700	275.400	3.000	55.080	52.080	47.345
2009	140400	280.800	3.000	56.160	53.160	48.327
2010	141750	283.500	3.000	56.700	53.700	48.818
2011	126000	252.000	3.000	50.400	47.400	43.091
2012	134550	269.100	3.000	53.820	50.820	46.200
2013	125550	251.100	3.000	50.220	47.220	42.927
Totales					423.160	384.691

Por lo tanto el VAN = 384.691 U\$\$

6.2.3. El Método de la Tasa Interna de Retorno (TIR).-

Se calcula:

$$0 = \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(i+1)^j} - C_0$$

Donde:

C_0 = Flujo o inversión inicial

C_j = Flujo de fondos positivos netos correspondiente al año j

i = Tasa de actualización

n = Número de años

Llamada también Tasa Interna de Recuperación, se define como aquella tasa de descuento para cual la VAN resulta igual a cero. El criterio de selección de cualquier proyecto es que si su TIR sobrepasa su tasa de interés (i) entonces el proyecto es más que aceptable.

La TIR refleja la rentabilidad total del proyecto por unidad de ingresos, es decir, equivale a la tasa de interés compuesto que se tendría que obtener del capital invertido en el proyecto, para percibir un flujo de beneficios netos financieramente equivalentes al generado por el proyecto.

Por lo tanto usando la fórmula y con los datos de la tabla anterior el TIR luego de 10 años es:

$$\text{TIR} = 137 \% \text{ anual}$$

De tal forma está demostrado que el proyecto de mejora y puesta en funcionamiento de la máquina cortadora de rocas de 30 toneladas es algo muy rentable para los intereses de la compañía.

CONCLUSIONES

1. El dotar a la Máquina Cortadora de un Tablero Eléctrico para su Control permitió tener una máquina de un costo elevado por un precio mucho menor, lo que derivó inicialmente en un gran ahorro en la inversión inicial.

2. Se logró que la Máquina Cortadora opere en forma óptima, demostrando a Gerencia que es muy rentable, si se cuenta con personal preparado, adquirir maquinaria usada y realizarle una reparación completa, ya que cuando dicha máquina entre en operación el rendimiento será similar o muy cercano al de una nueva.

3. El desarrollo de este trabajo permitió aprender, a todas las personas involucradas en el mantenimiento, el funcionamiento eléctrico y mecánico de la Máquina, lo que en el futuro significará que los trabajos por reparación de fallas serán realizados de manera más rápida y segura.

4. Se logró el objetivo de incrementar la producción, de tal forma lograr que la compañía crezca y se haga más competitiva en el ámbito mundial.

BIBLIOGRAFIA

López Jimeno, Carlos
1996

Manual de Rocas Ornamentales
España, Editorial Entorna Gráfico

Cultural
2000

Manual de Mecánica Industrial
España, Cultural

Creus Solé, Antonio
1998

Instrumentación Industrial
México, Alfa omega Grupo Editor

Tecsup
2002

Controladores Lógicos Programables
Lima, Programa de Capacitación Continua

Carvajal D'Angelo
1996

Compendio de Proyectos de Inversión
Perú, Editorial San Marcos

Schneider Electric Perú
2003

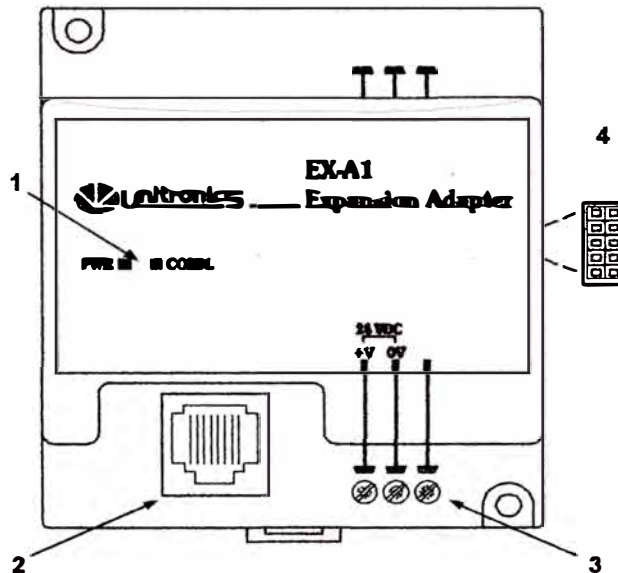
Manual y Catálogo del Electricista
Perú, Schneider Electric

EX-A1 I/O Expansion Module Adapter

The EX-A1 interfaces between a variety of I/O expansion modules and specific Unitronics' OPLCs.

A single adapter can be connected to up to 8 expansion modules.

The EX-A1 may either be snap-mounted on a DIN rail, or screw-mounted onto a mounting plate.



Component identification

Component identification	
1	Status indicators
2	OPLC to EX-A1 connection port
3	Power supply connection points
4	EX-A1 to expansion module connection port

User safety and equipment protection guidelines

This document is intended to aid trained and competent personnel in the installation of this equipment as defined by the European directives for machinery, low voltage and EMC. Only a technician or engineer trained in the local and national electrical standards should perform tasks associated with the electrical wiring of this device.

- Under no circumstances will Unitronics be liable or responsible for any consequential damage that may arise as a result of installation or use of this equipment, and is not responsible for problems resulting from improper or irresponsible use of this device.
- All examples and diagrams shown in the manual are intended to aid understanding. They do not guarantee operation.
- Unitronics accepts no responsibility for actual use of this product based on these examples.
- Only qualified service personnel should open this device or carry out repairs.
- Please dispose of this product in accordance with local and national standards and regulations.



- Check the user program before running it.
- Do not attempt to use this device with voltage exceeding permissible levels.
- Install an external circuit breaker and take all appropriate safety measures against short-circuiting in external wiring.



- Failure to comply with appropriate safety guidelines can result in severe personal injury or property damage. Always exercise proper caution when working with electrical equipment.

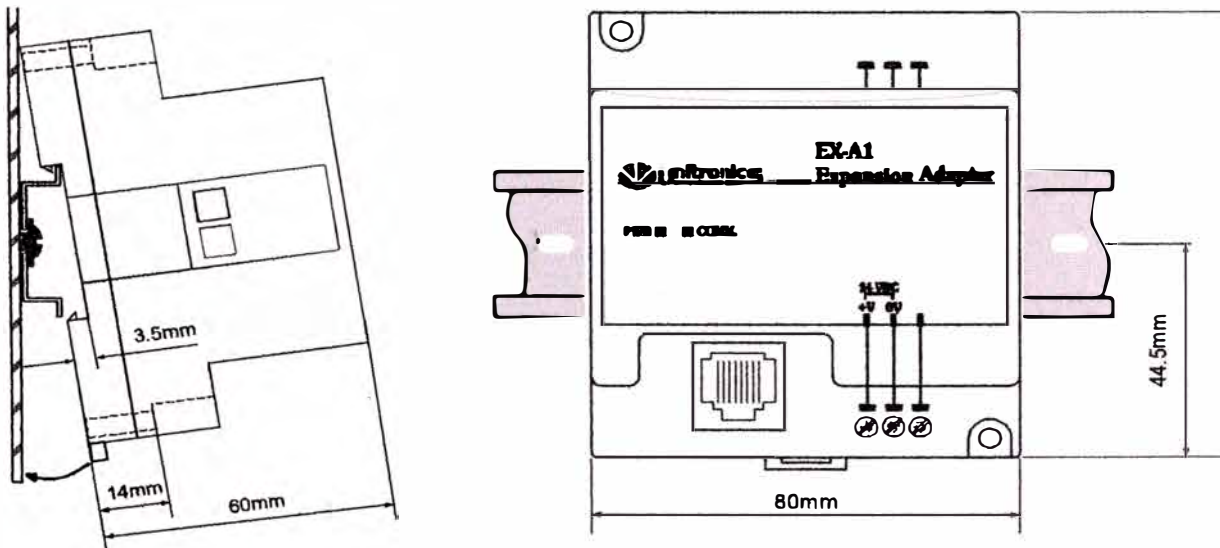
Mounting the EX-A1

Mounting Considerations

- Do not install in areas with: excessive or conductive dust, corrosive or flammable gas, moisture or rain, excessive heat, regular impact shocks or excessive vibration.
- Provide proper ventilation by leaving a minimum space of 10mm between the top and bottom edges of the device and the enclosure walls.
- Do not place in water or let water leak onto the unit.
- Do not allow debris to fall inside the unit during installation.

DIN-rail mounting

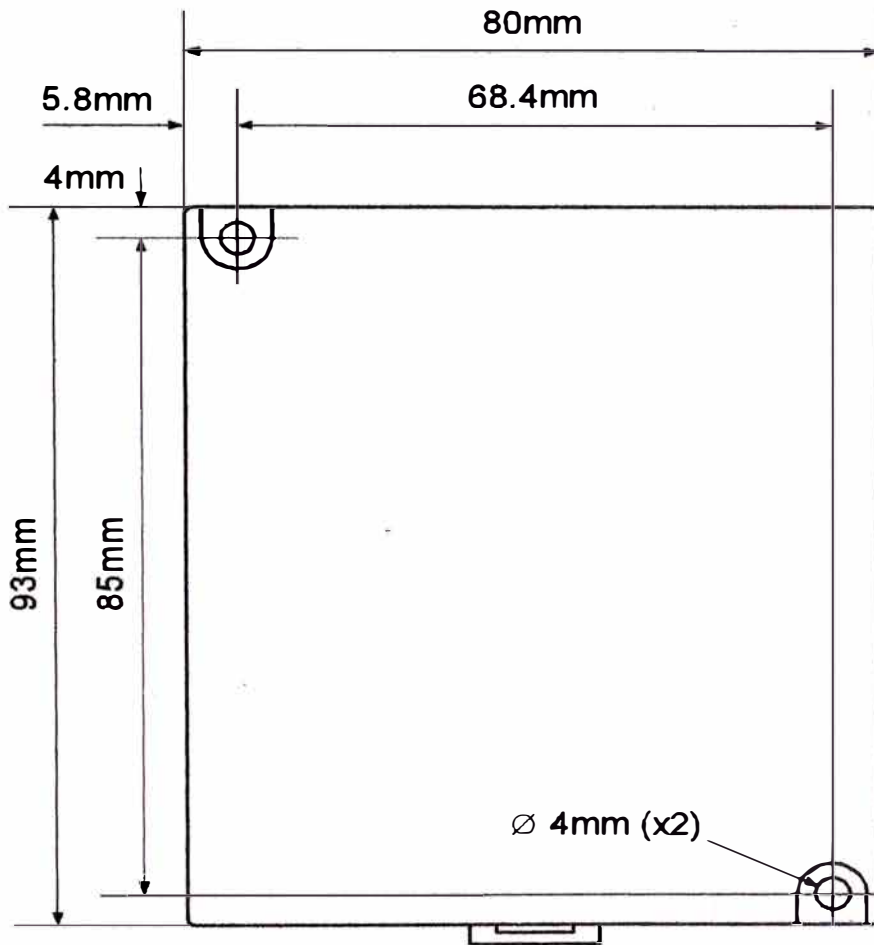
Snap the EX-A1 onto the DIN rail as shown below; the EX-A1 will be squarely situated on the DIN rail.



Screw-Mounting

The figure on the next page is drawn to scale. It may be used as a guide for screw-mounting the EX-A1.

Mounting screw type: either M3 or NC6-32.

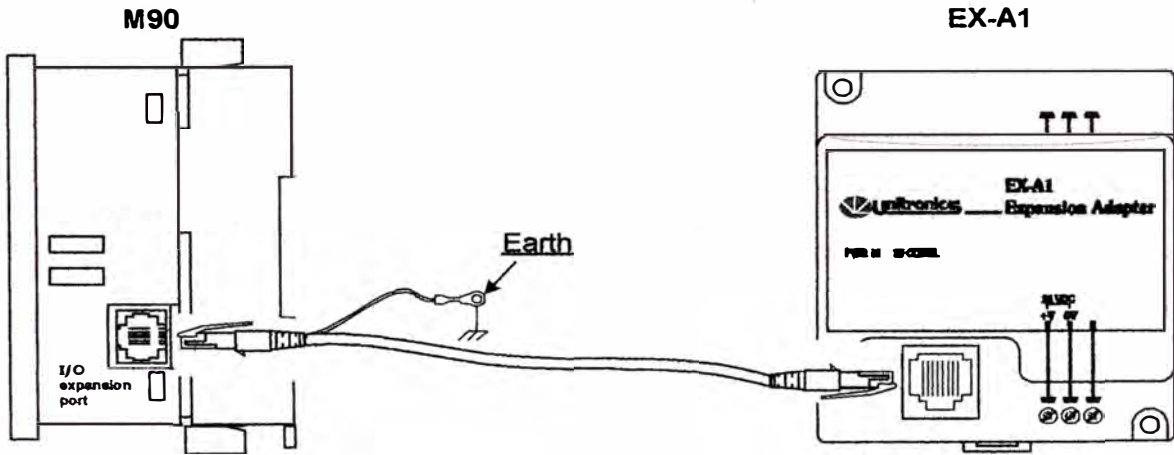


Connecting the OPLC to the EX-A1

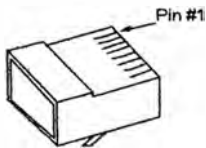
An OPLC, such as the M90 micro-OPLC, is connected to the EX-A1 adapter as shown below, via a category 5 shielded twisted pair cable (CAT 5, STP), terminated by RJ45 connectors. The cable provided with the EX-A1 is one meter long; cables of other lengths are available by separate order.

Note that the cable must be earthed on the M90 side, via the yellow-green wire.

To avoid damaging the system, do not connect or disconnect the device when the power is on.

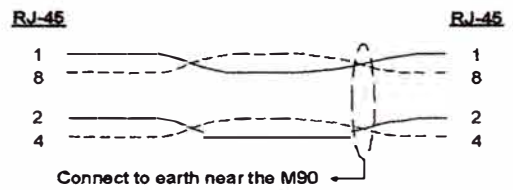


Shielded RJ45 connector pin-out



RJ-45 pin #	signal
1	D -
8	D +
2	CK-
4	CK+
3	0V
6	0V

Cable description



Connecting the EX-A1 to an I/O expansion module

1 Push the module-to-module connector into the port located on the right side of the EXA1.

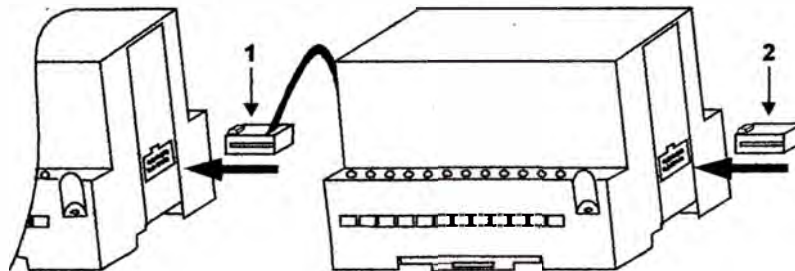
Note that there is a protective cap provided to cover the port of the **final** I/O module in the system.



- To avoid damaging the system, do not connect or disconnect the device when the power is on.

Component identification

1	Module-to-module connector
2	Protective cap



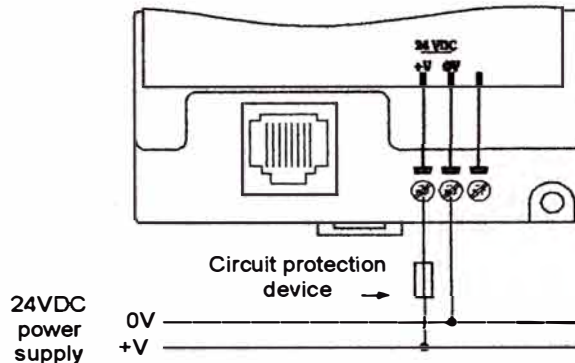
Wiring

Wire Size

Use 26-12 AWG wire (0.13 mm²–3.31 mm²) to wire the power supply.

Wiring Considerations

- Wiring DC supplies: Connect the "positive" cable to the "+V" terminal, and the "negative" to the "0V" terminal.
- A non-isolated power supply can be used provided that a 0V signal is connected to the chassis.
- Note that both the OPLC and the EX-A1 must be connected to the same power supply.
- Do not use tin, solder or any other substance on the stripped wire that might cause the wire strand to break.
- We recommend that you use crimp terminals for wiring.
- Install at maximum distance from high-voltage cables and power equipment.



Wiring the power supply

- 1 Strip the wire to a length of 7±0.5mm (0.250–0.300 inches).
- 2 Unscrew the terminal to its widest position before inserting a wire.
- 3 Insert the wire completely into the terminal to ensure that a proper connection can be made.
- 4 Tighten enough to keep the wire from pulling free.

To avoid damaging the wire, do not exceed a maximum torque of 0.5 N·m (5 kgf·m).



- Do not touch live wires.
- Do not connect the 'Neutral' or 'Line' signal of the 110/220VAC to the device's 0V pin.
- In the event of voltage fluctuations or non-conformity to voltage power supply specifications, connect the device to a regulated power supply.
- Double-check all the wiring before turning on the power supply.

EX-A1 Technical Specifications

I/O module capacity	Up to 8 I/O modules can be connected to a single adapter.
Power supply	24 VDC (see Note 1)
Permissible range	20.4 to 28.8VDC
Max. current consumption	350mA @ 24VDC
Typical power consumption	4W @ 24VDC
Current supply for I/O modules	1A max. from 5V (see Note 2)
Galvanic isolation	None
Status indicators	LEDs
PWR	Green indicator, lit when power is supplied.
COMM.	Green indicator, lit when communication is established.
Environmental	IP20
Operating temperature	0° to 50° C
Storage temperature	-20° to 60° C
Dimensions (WxHxD)	80mm x 93mm x 60mm
Weight	125g (4.3oz.)
Mounting	Either onto a 35mm DIN-rail or screw- mounted.

- Notes: 1 Note that both the OPLC and the EX-A1 must be connected to the same power supply. The EX-A1 and the OPLC must be turned on and off simultaneously.
- 2 Example: 2 I/O-DI8-TO8 units consume a maximum of 140mA of the 5VDC supplied by the EX-A1.

Accessories

EX1-CA050	0.5 meter communication cable
EX1-CA100*	1 meter communication cable
EX1-CA200	2 meter communication cable
EX1-CA400	4 meter communication cable
IO-CAP	Protective cap, used to cover the connection port of the final I/O module in the system

*EX1-CA100 is provided with the EX-A1 adapter; other cables are available by separate order.

Addressing I/Os on M90 Expansion Modules

Inputs and outputs located on I/O expansion modules that are connected into an M90 OPLC are assigned addresses that comprise a letter and a number. The letter indicates whether the I/O is an input (I) or an output (O). The number indicates the I/O's location in the system. This number relates to both the position of the expansion module in the system, and to the position of the I/O on that module.

Expansion modules are numbered from 0-7 as shown in the figure below.



The formula below is used to assign addresses for I/O modules used in conjunction with the M90 OPLC.

X is the number representing a specific module's location (0-7). Y is the number of the input or output on that specific module (0-15).

The number that represents the I/O's location is equal to:

$$32 + x \cdot 16 + y$$

Examples

- Input #3, located on expansion module #2 in the system, will be addressed as I 67,
 $67 = 32 + 2 \cdot 16 + 3$
- Output #4, located on expansion module #3 in the system, will be addressed as O 84,
 $84 = 32 + 3 \cdot 16 + 4$.

EX90-DI8-RO8 is a stand-alone I/O module. Even if it is the only module in the configuration, the EX90-DI8-RO8 is always assigned the number 7.

Its I/Os are addressed accordingly.

Example

- Input #5, located on an EX90-DI8-RO8 connected to an M90 OPLC will be addressed as I 149, $149 = 32 + 7 \cdot 16 + 5$

8 Convenient I/O Expansion Modules

	Digital I/O (transistor)			Digital I/O (relay)			Analog I/O	PT 100
	IO-D18-T08 [*]	IO-D116 [*]	IO-T016 [*]	IO-D18-R04 [*]	IO-R08 [*]	EX90-D18-R08 [*]	IO-A14-A02 [*]	IO-PT4 [*]
Digital inputs (24 VDC)	8 pnp/npn (source/sink)	16 pnp/npn (source/sink)	—	8 pnp/npn (source/sink)	—	8 pnp/npn (source/sink)	—	—
Analog inputs	—	—	—	—	—	—	4 inputs 0-10V, 0-20mA 4-20mA	4 PT100 -50°C-460°C
Analog input resolution	—	—	—	—	—	—	12 bit	12 bit
Digital outputs	8 pnp (source)	—	16 pnp (source)	4 relay outputs	8 relay outputs	8 relay outputs	—	—
Analog outputs	—	—	—	—	—	—	2 outputs +/-10V, 0-20mA, 4-20mA	—
Analog output resolution	—	—	—	—	—	—	12 bit + sign	—
High speed counter/ Frequency measurement	one	one	—	one	—	one	—	—

^{*}Used in conjunction with EX-A1 = Expansion adapter

To order the expansion module that best fits your system, contact your local distributor.
For a list of Unitronics distributors, check our website: <http://www.unitronic.com/contact.htm>