

# UNIVERSIDAD LASALLISTA BENAVENTE



---

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN**  
Con estudios incorporados a la  
Universidad Nacional Autónoma de México  
CLAVE: 8793-16

“CAPTACIÓN DE AGUA FLUVIAL, PARA  
APROVECHARLA EN LA INDUSTRIA”

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO EN COMPUTACIÓN**

PRESENTA:

**Esteban Santoyo Roque**

ASESOR: Ing. Carlos Alfonso Hernández Villanueva

CELAYA, GTO.

FEBRERO 2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **Dedicatoria**

Esté proyecto es el resultado del esfuerzo y constancia personal pero esto hubiera sido muy difícil sin el apoyo incondicional de mis padres y la ayuda indirecta de mis hermanos todos ellos mi familia, que gracias a todos ellos, hoy puedo presumir que estoy en la recta final de un ciclo escolar que duro mas de quince años, se dice fácil pero fue un camino largo y con contrastes pero siempre mantuve la convicción de terminar una carrera que diera dicha y orgullo a mis padres, espero haya sido así. Hoy termina una etapa como estudiante y empieza una etapa donde uno ha de independizarse de la querida progenie, sin que esto sea motivo de olvidarla o de no sentirse comprometido con la misma.

A mis padres les dedico todo esto que gracias a ellos me siento comprometido con mi patria, mi profesión y con ellos al mismo tiempo, siempre serán el motor de mis acciones a pesar de las diferencias existentes.

Gracias Mamá, Gracias Papá por haberme dado siempre la oportunidad de enmendar mis errores y tener una profesión, ahora me toca aplicar lo que me enseñaron y demostrar que soy útil a la patria.

A mis profesores que nos enseñaron sin envidia alguna sus conocimientos y soportaron desavenencias pero aun así mantuvieron el compromiso de formarnos como profesionistas y que son parte también de dicha conclusión que gracias a ellos hoy puedo desarrollarme profesionalmente aplicando sus conocimientos heredados al igual que sus experiencias.

# Índice

## Introducción

### Capítulo I

<b>Antecedentes históricos</b>	5
1.1 Mexicanos.	6
1.2 Mayas.	7
1.3 Romanos.	9

### Capítulo II

<b>Dispositivos eléctricos-electrónicos-mecánicos</b>	11
2.1 ¿Qué es un PLC?	12
2.1.1 Señales Analógicas y digitales.	14
2.1.2 Capacidades E/S en los PLC modulares.	16
2.2 ¿Qué es un Inversor de Frecuencia?	17
2.2.1 Conceptos básicos.	18
2.3 Control de motores.	25
2.3.1 Motor de imán permanente.	26
2.3.2 PMSM con imanes montados en la superficie del rotor.	28
2.3.3 Servo tube.	29

## Capítulo III

<b>Aplicación de variadores frecuencia y utilización de encoders.</b>	<b>36</b>
3.1 Ventajas del posicionamiento dentro del variador vectorial	37
3.2 Frenado.	39
3.3 Reactancias.	41
3.4 EMC (compatibilidad electromagnética).	42
3.5 IPOS plus SEW-EURODRIVE.	43
3.5.1 Descripción del sistema: generales.	44
3.5.2 Descripción del sistema: características.	44
3.5.3 Detección del trayecto y posicionamiento: evaluación del encoder.	45
3.6 principios de funcionamiento del encoder.	45
3.6.1 Encoder incremental.	46
3.6.2 Encoder sinusoidal.	48
3.6.3 Encoder absoluto.	50
3.7 Tarjeta interfase opcional para el encoder absoluto DIP11A para inversores SEW-EURODRIVE.	53

3.7.1 Características de la tarjeta DIP11A. 54

3.7.2 Hardware. 54

## **Capítulo IV**

**Implementación en un PI** 56

4.1 Costo de la inversión, inicio y fin del proyecto. 58

4.2 Beneficios en comparación con el proyecto propuesto  
y el o los ya existentes. 61

4.3 Implementación de los elementos que componen el proyecto. 65

4.3.1 Principios de movimiento. 66

4.3.2 Funcionamiento mecánico. 75

4.3.3 Comunicación PROFIBUS, PLC-Inversores. 77

## **Conclusiones**

## **Bibliografía**

## **Introducción**

La idea de mejorar el aprovechamiento de el agua sin alterar demasiado el medio ambiente es un tema importante a considerar en estos días debido que cada día es mas complicado abastecer a comunidades completas del vital líquido, esto a consecuencia del crecimiento de las poblaciones y ciudades a un ritmo acelerado esto ocasiona que se haga más difícil la implementación de sistemas eficientes en materia de infraestructura.

El tema de la captación del agua es un tema antiquísimo que a los antepasados consideraron para su porvenir ya que el tema de el aprovechamiento del agua obsesionó a muchas culturas desarrollando ingeniosos sistemas de captación y distribución que hoy se consideran maravillas de la ingeniería, hoy se tienen sistemas sofisticados e ingeniosos igualmente, pero con el defecto de que afectan al medio ambiente considerablemente, ya que la sobre explotación de los mantos acuíferos, ríos, lagos, etc. afectan no solo a la flora y fauna sino también a los mexicanos y como consecuencia de estos deterioros es de una escasa calidad de vida que acarrea problemas sociales que se ven reflejados ideológicamente y políticamente en la vida del país.

El proyecto que propongo es un sistema simple de captación de agua, que además estará compuesto por un subsistema que ayudará a que el vital líquido no se contamine.

El sistema de captación de agua es similar a un aljibe, dicho aljibe será de dimensiones similares a las de una avenida de un parque industrial ya que se

pretende implementar en un parque o zona industrializada. El aljibe estará ubicado en la avenida porque se piensa sea multifuncional, por lo que se sustituirá la carpeta asfáltica por una lámina de acero similar al de los alcantarillados para permitir la captación del agua. El agua estará constantemente recibiendo desechos del exterior, entonces se propone implementar un sistema que proteja al agua de los desechos sólidos sin olvidar que el agua debe pasar por un proceso químico de purificación que en este caso no se profundizará, por lo que sólo se expondrá un subsistema que captará y desechará los contaminantes sólidos.

Este sistema será automatizado con la supervisión de personal capacitado ya que aunque es automatizado siempre es importante que se verifique su funcionamiento y se atiendan imprevistos con prestancia. Para este sistema se contemplará el uso de PLC, variadores de frecuencia y servomotores de CA (corriente alterna), además de el elemento que fungirá como retenedor que en dicho caso será un transportador con orificios, con dos propósitos: para permitir el flujo del agua y a la vez retener los desechos sólidos pero también es importante considerar el desempeño del mismo para esto la banda transportadora tendrá un diseño similar al que se usa en la industria particionada y unida por grapas. El transportador estará ubicado a 5m. de la superficie, su funcionamiento estará manipulado por servomotores que estos a su vez serán controlados por los variadores de frecuencia y a su vez estarán regidos por la lógica de un PLC (Control Lógico Programable) que contendrá la programación adecuada para la toma de decisiones, el PLC controlará el arranque y paro de los inversores de frecuencia como maestro-esclavo entre otras funciones por medio de la comunicación PROFIBUS, protocolo de

comunicación estándar para PLC SIEMENS (SIMATIC S7) y los inversores SEW-EURODRIVE. Pero no sólo es el proceso de transportación sino también comprende el proceso del desalojo de los desechos, y se implementará un contenedor con capacidad para almacenar  $2,150\text{m}^3$  que posteriormente se vaciarán utilizando motores lineales para este proceso se implementará un servotube actuador que funcionará para hacer las respectivas elevaciones y descensos. Es un dispositivo más sencillo y económico que realiza una función similar a la de un motor de imán permanente aunque con ventajas en costo ya que implementar un servomotor en aplicaciones de elevación es costoso y un diseño complejo debido a las variantes mismas de la aplicación. Ahora en la superficie debe haber un receptor de los desechos, en este caso será otro contenedor para posteriormente ser enviados a basureros por medios ya conocidos.

El proceso de transportación, almacenamiento y evacuación de los desechos será un proceso automatizado involucrado entre sí, es decir el transportador se moverá a partir de la instrucción que reciba el inversor<sup>1</sup> del PLC, esto es un sensor de peso a flexión que estará por debajo de la transportadora para detectar un peso de 600Kg. causada por los desechos este activará el PLC mediante una señal digital que interpretará y hará que los variadores comiencen su ejecución, mediante la comunicación maestro-esclavo, el contenedor de basura hará lo propio igualmente pero con un sensor de proximidad, cuando los desechos corten la línea infrarroja entre emisor y receptor enviará una señal digital que recibirá el PLC y se accionará el inversor del contenedor. Ahora considerando algunos inconvenientes del proceso es

---

<sup>1</sup> No se menciona en el proceso al servomotor ya que es inherente a la ejecución del inversor de frecuencia, es decir el inversor arrancara y el servomotor hará lo propio.

decir cuando se accioné el sensor del transportador y a su vez el del contenedor, no será posible tener ambas en funcionamiento, por lo que mediante la programación del PLC, éste tomará la decisión de darle prioridad al contenedor, cuando este termine, el transportador continuará con el proceso.

La distribución será sólo un complemento ya que se utilizarán los mismos procesos existentes, en este caso la instalación hidráulica del aljibe estará conectada a las instalaciones ya existentes del parque industrial, para que este se encargue de su distribución. Para el desalojo de la cisterna será un sistema similar pero más simple, es decir, sólo con un sensor de proximidad hará que la compuerta se abra y permita que el agua llegue a su destino pero también considerando que mecánicamente la estructura de un aljibe no puede vaciarse completamente debido a que colapsaría por no existir fuerzas que contrarresten la fuerza ejercida por la tierra así que se colocará un sensor que también medirá el nivel del agua en el aljibe para controlar el nivel inferior y de la misma forma se controlará la compuerta.

Aunque el proyecto está planteado para un parque industrial no se descarta la idea de implementarlo en una ciudad con sobrepoblación.

# **Capítulo I**

**Antecedentes históricos.**

## **Antecedentes históricos**

Hablando de México y sus antecedentes en los avances hidráulicos, un tema relacionado con el proyecto propuesto que es el de la captación de agua, y una distribución más eficiente así como también beneficios económicos, en dicha materia México tiene una gran tradición.

La civilización del Anáhuac nace en el sexto milenio antes de la era cristiana. Como curiosidad podemos decir que el agua era canalizada desde manantiales tipo “geiser” por afloramiento de aguas termales procedentes del subsuelo ¿fuentes hidrotermales? No es que el líquido elemento estuviera caliente, a pesar de llevar el nombre de “Hierve el Agua”, sino que se trataba de agua carbónica y carbonatada. Con el transcurrir del tiempo, la precipitación del carbonato cálcico (travertinos) a lo largo del sinuoso recorrido de los canales o “tecoatles, generó problemas que aquellos agricultores pudieron a llegar a resolver con un astuto manejo de los canales y mediante enmiendas al suelo.

### **1.1 Mexicas**

A pesar de que el lago de Texcoco era salado, la ciudad estaba rodeada de agua dulce gracias a los diques construidos por los aztecas y que permitían concentrar ahí el agua que desembocaba de los ríos que alimentaban al lago. La ciudad contaba con dos acueductos que tenían dos canales, que Bernal describe como "del ancho de un buey". Esto permitía mantener un canal en operación en tanto se le daba mantenimiento al otro. Esta agua era principalmente usada para lavado y aseo, los mexicas acostumbraban a tomar

dos baños al día, y se reporta que Moctezuma tomaba cuatro. Usaban la raíz de Coplaxócotl (saponaria americana) como jabón, y la raíz de Metl para el lavado de la ropa. La simetría de la ciudad era mantenida por medio de un funcionario llamado calmimilócatl, que debía supervisar cualquier construcción y evitar que se invadieran las calles y canales, que eran previamente contruidos.<sup>1</sup>

## **1.2 Mayas**

### **MANEJO DEL AGUA EN CHICHEN ITZA**

El sitio arqueológico de Chichen Itza se asienta sobre un terreno ligeramente ondulado y en gran parte kárstico, con fáciles accesos a fuentes de agua que se encuentran a una profundidad promedio de 22 a 25 m. La vegetación que lo rodea está conformada por un monte de mediana altura que pierde muchas hojas durante los meses de febrero a mayo. Los elementos fundamentales para el emplazamiento de la antigua ciudad fueron, sin lugar a dudas, los manantiales naturales de agua y los terrenos aptos para la agricultura que rodean la zona. Esto se reflejó fielmente en la distribución arquitectónica de la urbe: del centro partían calzadas hacia grupos formales y habitacionales muy elaborados y decorados que seguían el patrón arquitectónico del centro, y a su vez, muchos de ellos situados en torno a algún cenote o alguna rejoya. Así mismo, los constructores aprovecharon al máximo las partes bajas y crearon, al hacer elevaciones artificiales, planos inclinados para recolectar agua a través

---

<sup>1</sup> Panorama del agua en el valle de México/2003.[http://www.panorama del agua en el valle de México.pdf](http://www.panorama-del-agua-en-el-valle-de-mexico.pdf).

de diversos sistemas hidráulicos que permitieran el flujo de las aguas hacia depósitos acondicionados para resguardarla o, simplemente, para ver las plazas libres de inundaciones durante la época de lluvias. El abandono en el tiempo de Chichen Itza y el derrumbe de sus edificios en las plataformas sobre las que fueron construidos, no habían permitido tener una idea clara del aprovechamiento de las aguas implantado por los Mayas en este lugar, solamente se tenía referencia al uso que hicieron los pobladores del agua de los cenotes. Con las recientes excavaciones en que han salido a luz las obras civiles relacionadas con la conducción y el manejo del agua, es que se tiene la certeza de que fue un asunto relevante y especial en el desarrollo de Chichen Itza. Instrumentos de poder y del poder, los sistemas de captación de agua fueron aprovechados para favorecer lógicamente el asentamiento en los puntos cercanos a los accesos del agua subterránea. El crecimiento de la ciudad y la demanda de una población en aumento seguro influyeron en la búsqueda de nuevos recursos de agua potable y técnicas audaces para conseguirla, a través de mano de obra especializada y de alta calidad. Entre estas obras se tiene como ejemplo las canalizaciones a zonas adaptadas para la retención de agua y la construcción de chultunes, con lo que se aseguraba el suministro a la población. Si Chichen creció y dominó una gran parte del norte de Yucatán, es probable que se debiera en gran medida también al control ejercido sobre sus aguas. Sólo una organización política poderosa puede lograr obras civiles preponderantes para dar servicio y atender con satisfacción a una ciudad.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>Rocio Osorio/ Subsuelo explotado en México/ [http://www.81rocio\\_osorio\\_schmidt.pdf](http://www.81rocio_osorio_schmidt.pdf)

### 1.3 Romanos

Acueductos romanos. Un acueducto arranca en un sistema de captación de agua. El agua pasa de forma controlada a la conducción desde un depósito de cabecera (*caput aquae*).

La construcción de un acueducto exige el estudio minucioso del terreno que permitirá escoger el trazado más económico para permitir una pendiente suave y sostenida sin alargar demasiado el recorrido de la obra. Se usan canales (*riui*) abiertos siempre que es posible y únicamente en ocasiones contadas se recurre a la conducción bajo presión.

El canal se acomoda al terreno por distintos procedimientos. Siempre que es posible, transcurre sobre el suelo apoyado en un muro (*substructio*) en el que se practican alcantarillas para facilitar el tránsito normal de las aguas de superficie. Si el terreno se eleva, el canal queda soterrado (*rius subterraneus*) y forma una galería subterránea (*specus*) excavada directamente en la roca o construida dentro de una zanja. Cuando se ha de vencer una fuerte depresión, se recurre a la construcción de complicados sistemas de arquerías (*arcuationes*) que sostienen el canal y lo mantienen al nivel adecuado.

En todo caso, siempre que el agua se destina al consumo humano, el canal está cubierto por bóvedas, falsas bóvedas, placas de piedra o tégulas.

Si se interpone en el trazado de la conducción un monte que no es posible rodear, se recurre a la construcción de un túnel que lo perfora. Solamente se usa este procedimiento si es inevitable. Los túneles plantean grandes

problemas técnicos. Normalmente se comienzan por ambos extremos, lo que exige una gran precisión en las labores para que los dos ramales se encuentren en el punto previsto. La estrechez de las zonas de corte exige que en cada tajo trabajen solo uno o dos hombres, por lo que la obra progresa con gran lentitud.

Las conducciones subterráneas por canal suelen estar comunicadas con la superficie por medio de pozos (putei) dispuestos a intervalos regulares. Por ellos se puede acceder al acueducto para su limpieza y mantenimiento. En el caso de los túneles servían también para extraer escombros e introducir materiales durante la construcción y para asegurar el correcto trazado y profundidad de la excavación.

Los canales, salvo que estuvieran directamente excavados en roca impermeable, se revestían con un mortero impermeable compuesto de cal y pequeños fragmentos de cerámica triturada (opus signinum). Los ángulos interiores se protegían con un cordón convexo del mismo material. Acueducto de Segovia

# **Capítulo II**

**Dispositivos eléctricos-electrónicos-  
mecánicos.**

## **Dispositivos eléctricos-electrónicos-mecánicos**

### **2.1 ¿Qué es un PLC?**

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

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

Diferentes técnicas son utilizadas para un alto volumen o una simple tarea de automatización, Por ejemplo, una lavadora de uso doméstico puede ser

controlada por un temporizador CAM electromecánico costando algunos cuantos dólares en cantidades de producción.

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

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

Los PLC pueden incluir lógica para implementar bucles analógicos, “proporcional, integral y derivadas” o un controlador PID. Un bucle PID podría ser usado para controlar la temperatura de procesos de fabricación, por ejemplo. Históricamente, los PLC's fueron configurados generalmente con solo unos pocos bucles de control analógico y en donde los procesos requieren cientos o miles de bucles, un Sistema de Control Distribuido (DCS) se encarga.

Sin embargo, los PLC se han vuelto más poderosos, y las diferencias entre las aplicaciones entre DCS y PLC han quedado menos claras.

### **2.1.1 Señales Analógicas y digitales**

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

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

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

Ejemplo:

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

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

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

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

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

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

### **2.1.2 Capacidades E/S en los PLC modulares**

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

Los PLC con forma de rack tienen módulos con procesadores y con módulos de E/S separados y opcionales, que pueden llegar a ocupar varios racks. A menudo hay miles de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. A veces, se usa un puerto serie especial de E/S que se usa para que algunos racks puedan estar colocados a larga distancia del procesador, reduciendo el coste de cables en grandes empresas. Alguno de los PLC actuales puede comunicarse mediante un amplio tipo de comunicaciones incluidas RS-485<sup>3</sup>, coaxial, e incluso Ethernet para el control de las entradas salidas con redes a velocidades de 100 Mbps.

---

<sup>3</sup> **RS-485** o también conocido como **EIA-485**, que lleva el nombre del comité que lo convirtió en estándar en 1983. Es un protocolo de comunicaciones en bus de la capa física del Modelo OSI.

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

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

## **2.2 ¿Qué es un Inversor de Frecuencia?**

Los inversores cd-ca se emplean en fuentes de energía ininterrumpida y controles de velocidad para motores de ca. Esto se aplica en el control de la magnitud y la frecuencia de la señal de salida. En la mayor parte del tiempo, el flujo de potencia se da desde el lado de cd hacia el lado de ca, requiriendo una operación en modo inversor, lo cual más comúnmente es conocido como inversor controlado.

Los inversores controlados son de dos tipos: los VSI o inversores fuente de voltaje y los CSI o inversores fuente de corriente. En nuestro caso, el primer tipo será motivo de atención debido a su mayor aplicación dentro de la ingeniería industrial. Existen tres categorías en las que se dividen los VSI, ellas son:

a) Los inversores PWM o de ancho de pulso modulado. Este tipo es capaz de controlar la magnitud y frecuencia de la señal de salida mediante la modulación del ancho del pulso de los interruptores del inversor. Para ello existen varios esquemas que se encargan de producir voltajes de ca con forma de onda seno y bajo contenido de armónicos.

b) Los inversores de onda cuadrada. Este tipo controla la frecuencia de la señal de salida y la magnitud de salida es controlada por otro dispositivo en la entrada cd del inversor. Sin embargo, la forma de onda lograda a través del mismo es una onda cuadrada.

c) Los inversores monofásicos con inversión de voltaje. Este tipo combina las características de las dos primeras agrupaciones de inversores mencionados. No es aplicable a dispositivos trifásicos

### **2.2.2 Conceptos básicos**

Los inversores controlados son en realidad convertidores de cuatro cuadrantes, es decir, el flujo de potencia instantánea ( $P_o = V_o I_o$ ) durante dos intervalos no continuos de cuatro posibles viaja del lado de cd al lado de ca correspondiéndole un modo de operación de inversor. Sin embargo, durante los dos intervalos restantes no continuos, la potencia instantánea fluye del lado de ca al lado de cd, lo cual corresponde a un modo de operación de rectificador. Las variables empleadas para detectar dicho comportamiento son las correspondientes a la salida del inversor  $V_o$  e  $I_o$ ,

## Convertidores CC/CA - Onduladores o Inversores

Los onduladores o inversores son convertidores estáticos de energía que convierten la corriente continua CC en corriente alterna CA, con la posibilidad de alimentar una carga en alterna, regulando la tensión, la frecuencia o bien ambas. Más exactamente, los inversores transfieren potencia desde una fuente de continua a una carga de alterna. Las aplicaciones típicas de los inversores de potencia pueden ser:

- Accionamientos de motores de CA de velocidad ajustable.
- Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)
- Dispositivos de corriente alterna que funcionan a partir de una batería.
- Hornos de inducción., etc

Tipos de onduladores o inversores

Suelen distinguirse tres configuraciones o topologías de inversores: con transformador de toma media ("push-pull"), con batería de toma media (medio puente) y configuración en puente completo. Corresponden a las tres formas más razonables de realizar la función de inversión de tensión o corriente suministrada por la fuente de CC con los medios disponibles hoy día en electrónica de potencia. Cada una de ellas tiene sus ventajas e inconvenientes, independientemente de los semiconductores empleados en su realización y de su circuitería auxiliar de excitación y bloqueo. Junto a cada una de las configuraciones se muestra la forma Convertidores CC/CA – Onduladores de onda de salida correspondiente a cada una de ellas. En el caso de la

configuración pushpull se debe tener en cuenta la relación de espiras entre cada uno de los primarios (teniendo en cuenta que está en toma media) y el secundario.

### **El inversor monofásico en puente completo**

El inversor en puente completo está formado por 4 interruptores de potencia totalmente controlados, típicamente transistores MOSFETs o IGBTs.

Este dispositivo posee las características de las señales de puerta de los transistores de efecto campo con la capacidad de alta corriente y voltaje de baja saturación del transistor bipolar, combinando una puerta aislada FET para la entrada de control y un transistor bipolar como interruptor en un solo dispositivo. El circuito de excitación del IGBT es como el del MOSFET, mientras que las características de conducción son como las del BJT.

### **El inversor con modulación por onda cuadrada**

La técnica de modulación o el esquema de conmutación más sencillo del inversor en puente completo es el que genera una tensión de salida en forma de onda cuadrada. En éste caso los interruptores conectan la carga a + VCC cuando S1 y S2 están cerrados (estando S3 y S4 abiertos) y a - VCC cuando S3 y S4 están cerrados (estando S1 y S2 abiertos). La conmutación periódica de la tensión de la carga entre + VCC y - VCC genera en la carga una tensión con forma de onda cuadrada. Aunque esta salida alterna no es senoidal pura, puede ser una onda de alterna adecuada para algunas aplicaciones.

La forma de onda de la corriente en la carga depende de los componentes de la carga. En una carga resistiva, la forma de onda de la corriente se corresponde con la forma de la tensión de salida. Una carga inductiva tendrá una corriente más senoidal que la tensión, a causa de las propiedades de filtrado de las inductancias. Una carga inductiva requiere ciertas consideraciones a la hora de diseñar los interruptores del inversor, ya que las corrientes de los interruptores deben ser bidireccionales. Para ello, se suelen poner diodos en antiparalelo con cada uno de los interruptores. En el caso del ondulator en puente se utilizarían cuatro diodos en antiparalelo con cada uno de los interruptores. Para el caso del medio puente y del pushpull se utilizarían 2 diodos, uno para cada interruptor. La forma de onda de la tensión de salida  $v_C$  para un inversor en puente de onda completa con modulación por onda cuadrada. Éste tipo de modulación no permite el control de la amplitud ni del valor eficaz de la tensión de salida, la cual podría variarse solamente si la tensión de entrada  $V_{CC}$  fuese ajustable. Como se puede observar, presenta todos los armónicos impares, con una disminución de amplitud proporcional a la frecuencia de los mismos.

### **Control por modulación de anchura de pulsos PWM**

Si se quiere mejorar aún más el contenido de armónicos en la salida de un inversor, es necesario utilizar lo que se conoce como modulación de anchura de pulsos PWM ("Pulse Width Modulation", modulación por ancho de pulso). La idea básica es comparar una tensión de referencia senoidal de baja frecuencia (que sea imagen de la tensión de salida buscada) con una señal triangular

simétrica de alta frecuencia cuya frecuencia determine la frecuencia de conmutación. La frecuencia de la onda triangular (llamada portadora) debe ser, como mínimo 20 veces superior a la máxima frecuencia de la onda de referencia, para que se obtenga una reproducción aceptable de la forma de onda sobre una carga, después de efectuado el filtraje. La señal resultante de dicha comparación nos generará la lógica para abrir y cerrar los semiconductores de potencia.

A partir de la señal PWM se generan los pulsos de apertura y cierre de los interruptores. Por ejemplo, si la señal PWM tiene un valor alto, se cierran los interruptores S1 y S2. En caso contrario se cierran los interruptores S3 y S4. Por tanto, la tensión de salida, que es aplicada a la carga, está formada por una sucesión de ondas rectangulares de amplitud igual a la tensión de alimentación en continua y duración variable. El contenido de armónicos de la tensión de salida se desplaza hacia las frecuencias elevadas y es más fácil de filtrar.

Con el propósito de obtener una señal de voltaje a la salida del inversor con la frecuencia deseada, se compara una señal de control senoidal a la frecuencia deseada con una señal de onda triangular. La frecuencia de la onda triangular corresponde a la frecuencia de interrupción del inversor y por lo general se mantiene constante. La frecuencia de la señal de control es conocida como la frecuencia modulante, mientras que la frecuencia de interrupción es conocida como frecuencia de acarreo. La señal de control se utiliza para modular la razón de servicio del interruptor. De lo anterior, se desprende que en la señal

de salida es inevitable la presencia de armónicos y por tanto existen ciertas desviaciones de la señal de onda seno según nuestro interés.

$V_{control}$ : amplitud pico de la señal de control

$V_{tri}$ : amplitud pico de la señal triangular.

$F_s$ : frecuencia de conmutación en los interruptores

$F_1$ : frecuencia modulante.

Los voltajes de salida que se obtienen dependen de la comparación de las señales y de la condición de los interruptores como se muestra a continuación:

Cuando  $v_{control} > v_{tri}$  y S1 está encendido, entonces  $v_o = V_{dc}/2$

Cuando  $v_{control} < v_{tri}$  y S2 está encendido, entonces  $v_o = -V_{dc}/2$

Para este inversor PWM no es posible obtener condiciones de encendido simultáneo en los interruptores S1 y S2 y su voltaje siempre oscilará entre  $V_{dc}/2$  y  $-V_{dc}/2$ . El espectro de sus armónicas presenta las siguientes características:

a) El valor pico a la frecuencia fundamental es un múltiplo de  $V_{dc}/2$ , donde el factor de multiplicación es la razón de modulación de las amplitudes. Sin embargo, esto solo es cierto para  $m_a < 1.0$

b) Las armónicas se identifican como anchos de banda muy cerca y alrededor de la frecuencia de acarreo como los múltiplos de ésta, siempre y cuando se respete la condición  $m_a < 1.0$

Donde el orden de la armónica se obtiene por:  $h = j * m_f \pm k$

h: orden la armónica deseada

j: tiempo al que ocurre la armónica

m<sub>f</sub>: razón de modulación de la frecuencia

k: k-ésimo ancho de banda a izquierda y derecha. Es posible determinar la frecuencia armónica utilizando la fórmula a continuación:  $f_h = (j * m_f \pm k) * f_1$

f<sub>1</sub>: la frecuencia de la componente fundamental de la señal de voltaje.

c) La razón de modulación de la frecuencia debe tener un valor entero impar, puesto que las armónicas impares están presentes en la señal de salida y las armónicas pares desaparecen.

Las frecuencias de interrupción no pueden ser tan altas porque tienen el inconveniente de incrementar proporcionalmente las pérdidas por interrupción dentro del inversor. Esto se evita seleccionando frecuencias de interrupción por debajo de 6kHz o por arriba de 20kHz al rango audible. En las aplicaciones de 50 o 60Hz, donde se requieren frecuencia de salida en el inversor de 200Hz, se seleccionan razones de modulación menores que 9 para frecuencias de

interrupción menores de 2kHz, mientras que valores mayores de 100 son típicos a frecuencias de interrupción por arriba de 20KHz.

Las relaciones entre la señal triangular y la señal de control dependen del valor correspondiente de  $m_f$ . Si dicho valor es muy pequeño ( $m_f < 21$ ), se requiere la sincronización de las señales adoptando un entero impar para  $m_f$  y pendientes de polaridad opuesta al coincidir en el cruce por el cero para ambas señales. Por otro lado, si el valor es grande ( $m_f > 21$ ), entonces debemos evitar emplear PWM asíncronos porque los subarmónicos de secuencia cero provocan grandes corrientes, a pesar de que su magnitud es pequeña.

### **2.3 Control de motores.**

Uno de los grandes campos de aplicación de la Electrónica de Potencia se encuentra en la regulación de velocidad de máquinas eléctricas, típicamente motores. Usualmente, al sistema electrónico que alimenta un motor se suele denominar accionamiento, y éste incluye no sólo la parte de potencia sino también los circuitos de protección y control que gobiernan los convertidores de potencia. En función del tipo de motor, se suelen clasificar en accionamientos de alterna y accionamiento de continua. Dependiendo de la aplicación, se puede controlar la velocidad, la posición, o el par de un motor eléctrico. Desde el punto de vista energético, el empleo de accionamientos para motores mejora substancialmente el rendimiento del sistema que se está controlando. Existen infinidad de aplicaciones en las que actualmente se emplean accionamientos, desde sistemas de aire acondicionado, bombas, grúas, etc. hasta máquinas de

control numérico, donde se requiere un control preciso de la velocidad y posición de los motores utilizados. Convertidores CC/CA - Onduladores

Accionamiento de corriente alterna de forma análoga a los accionamientos de corriente continua, los accionamientos de corriente alterna, permiten regular distintas magnitudes en un motor de CA, ya sea velocidad, posición, par, etc. Dependiendo de la aplicación, se utilizan distintos convertidores de potencia. En aquellas en las que la precisión no es crítica, se utilizan convertidores CA/CA, del tipo directo, normalmente basados en tristores (reguladores de CA y ciclo convertidores). A pesar de su sencillez, estos convertidores generan un gran número de armónicos. Para aplicaciones donde se requiere mayor precisión o mejor calidad de energía, se utilizan convertidores del tipo indirecto. La estructura más empleada es la de un rectificador en cascada con un inversor PWM.

### **2.3.1 Motor de imán permanente**

Los motores de imanes permanentes son motores eléctricos cuyo funcionamiento se basa en imanes permanentes (motores de IP). Existen diversos tipos, siendo los más conocidos:

- Motores de corriente continua de IP
- Motores de corriente alterna de IP
- Motores paso a paso de IP

Uno de los de mayor aplicación es el motor sincrónico de imán permanente (en inglés Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM).

## **Motor Sincrónico de Imán Permanente**

Las máquinas de imán permanente son extensivamente usadas en servomotores, accionamientos eléctricos para posicionamiento, robótico, máquinas herramienta, ascensores, etc. Se han llegado a construir máquinas de una potencia por encima de 1 MW por ejemplo para el accionamiento de submarinos. También es posible su aplicación en generación y bombeo a partir de energía solar o energía eólica.

La construcción de los rotores de los servomotores sincrónicos de imán permanente pueden adoptar una forma cilíndrica con un bajo diámetro y gran longitud (cilinder rotor) llamados de flujo radial, o pueden tener un rotor en forma de disco más liviano rotor de disco (disk rotor), también llamadas máquinas de flujo axial, resultando así en ambos casos un bajo momento de inercia y una constante de tiempo mecánica baja. Por otra parte, para aplicaciones industriales con arranque de línea o mediante arrancadores de voltaje reducido, los motores poseen un damper que protege los imanes de la des-magnetización durante los transitorios asociados en el arranque, y además amortigua las oscilaciones pendulares.

En aplicaciones en que el motor es operado electrónicamente desde un inverter, no es necesario el devanado amortiguador para el arranque pues este lo realiza el control electrónico, y además el devanado amortiguador (damper) produce pérdidas de energía adicionales debido a las forma de onda no senoidales.

Se analizará el caso de estator trifásico, el cual es similar a uno de una máquina sincrónica trifásica clásica, debiendo destacarse dos tipos de PMSM según el tipo de rotor:

- Imanes montados en la superficie del rotor (Surface-mounted magnets)
- Imanes insertos en el rotor (Buried Magnets)

### **2.3.2 PMSM con imanes montados en la superficie del rotor**

En el caso que los imanes van montados (pegados o zunchados) en la superficie del rotor, estos por el espacio que ocupan obligan a tener un entrehierro relativamente grande, además los imanes cerámicos tienen efectos de saliencia despreciables. En estos casos no existe devanado amortiguador. El gran entrehierro hace que el flujo de la reacción de armadura (RA) tenga efectos atenuados sobre el rotor, es decir la inductancia sincrónica  $L_d$  es pequeña pues tiene una componente de reacción de armadura  $L_{ad}$  pequeña y por consiguiente los efectos de la RA son muy atenuados. Por otra parte se deduce que el gran entrehierro resulta en una constante de tiempo eléctrica del estator  $T = L/R$  pequeña.

### **PMSM con imanes insertos en el rotor**

Si los imanes están insertos en el rotor, quedan físicamente contenidos y protegidos, pero el espacio de hierro del rotor eliminado para insertar los imanes hace que no puede considerarse que en este caso se tenga un entrehierro uniforme, se tiene un efecto de saliencia, y aparece una componente de reluctancia del par.

El criterio de diseño en el caso de servomotores deben encuadrar los siguientes requerimientos:

- Velocidad de operación y par controlado a todas las velocidades
- Alta relación [Potencia / peso] y [Par / inercia]
- Par electromagnético suave: sin pares pulsantes debido a las armónicas, ni efectos de posicionamiento preferencial (cogging) debido a las ranuras
- Alta densidad de flujo en el entrehierro
- Diseño compacto con alto rendimiento y factor de potencia

### **2.3.3 ServoTube**

De entre todos los movimientos que podemos encontrar en las máquinas de cualquier industria, un alto porcentaje consiste en desplazamientos rectilíneos. Los accionamientos lineales tradicionales más habituales se pueden dividir en dos grandes grupos: los basados en dinámica de fluidos y los basados en tecnología electromecánica.

Accionamientos basados en dinámica de fluidos: los cilindros neumáticos o hidráulicos están muy extendidos en la industria debido a su bajo coste cuando se comparan con otras tecnologías para accionar fuerzas de la misma magnitud. No obstante, las posibilidades de posicionado de estos accionamientos se limitan habitualmente a los extremos de la carrera. Para detener el movimiento en posiciones intermedias determinadas se debe recurrir a técnicas que en general comprometen seriamente la velocidad del accionamiento, y en cualquier caso su redundancia es muy pobre. Los intentos

para solventar este problema normalmente acaban encareciendo mucho el conjunto del accionamiento, con lo que suele perder su ventaja de coste. No es sólo su posición lo que es difícil de controlar, sino también su velocidad. Aunque los reguladores manuales ayudan a prefijar una velocidad, ésta será, además de poco estable en el tiempo, necesariamente constante durante toda la carrera del cilindro. Si se desea, por ejemplo, compatibilizar una alta velocidad con paradas suaves al final del recorrido (como por ejemplo para abrir y cerrar compuertas), se deberán instalar dispositivos como amortiguadores, que además de encarecer la instalación requerirán de mantenimiento frecuente.

De todos modos, el principal inconveniente de esta tecnología son sus requerimientos a nivel de instalación. La máquina tiene dependencia absoluta de un suministro externo de fluido (red o compresor individual) y de sus fluctuaciones. Además su diseño requiere de múltiples componentes cuya instalación no siempre es fácil y rápida (filtros, manómetros, reguladores, electro válvulas, tubos, silenciadores, rúcores, etcétera) y que incrementan las probabilidades de paro por avería.

Finalmente, estos accionamientos se suelen considerar “sucios”. La presencia de aceite en la red de fluido (incluso en la red neumática) puede ser inaceptable si hay algún riesgo de que acabe contaminando el producto, especialmente en sectores como alimentación o farmacéutico. Asimismo, este tipo de instalaciones genera también una alta polución acústica y es por tanto

impensable en la mayoría de aplicaciones para entornos como el residencial, el comercial o el hospitalario.

#### Accionamientos electromecánicos clásicos

Las soluciones basadas en motor eléctrico permiten un control de todas las magnitudes importantes del movimiento (posición, velocidad, aceleración, fuerza) con tanta precisión como permita la tecnología escogida para el motor y su etapa de potencia o drive (AC, DC, brushless o paso a paso). El movimiento rotativo del motor es convertido a lineal por una transmisión mecánica, que simplificando se puede clasificar en algunos de los siguientes tipos: husillo (baja velocidad, alta precisión, mucha fuerza); correa (alta velocidad, precisión moderada, poca fuerza); y piñón cremallera (alta velocidad, precisión moderada, fuerza moderada).

#### **Tecnología direct drive: motores lineales**

Los accionamientos electromecánicos clásicos presentan las ventajas asociadas a la gran controlabilidad del motor eléctrico, pero lamentablemente la mecánica instalada a continuación del eje del motor suele causar la pérdida parcial de algunas de sus prestaciones.

Las unidades rápidas (correa, piñón-cremallera) habitualmente perjudican a la precisión y a la redundancia, y ofrecen unas fuerzas máximas limitadas. El husillo a bolas presenta un comportamiento mucho mejor en este sentido, pero la velocidad lineal resultante es muy inferior. Y cualquiera de estas unidades, sumada a la habitual presencia de un reductor, introduce unos inevitables juegos mecánicos que además aumentan con el tiempo. Finalmente, incluso

siendo mucho mejores que los basados en fluidos, los accionamientos electromecánicos aún presentan niveles moderados de tiempo de instalación, necesidad de lubricación y rumorosidad acústica. Todos estos inconvenientes prácticamente desaparecen con la tecnología direct drive. Este concepto se basa en la producción del movimiento deseado ya desde el mismo diseño del accionamiento, en vez de conseguirlo a base de conversiones mecánicas posteriores. Su aplicación a los accionamientos lineales dio luz a los llamados motores lineales, de entre los cuales los más extendidos son los del tipo síncrono. Simplificando, un motor lineal síncrono consta de un forcer, o módulo donde se alojan los bobinados, y una guía imantada, compuesta de una sucesión de polos norte-sur. Los bobinados son excitados mediante un drive similar - y en muchos casos idéntico - a los usados para controlar motores brushless rotativos. La interacción electromagnética entre los bobinados del forcer y la guía es la responsable de generar el movimiento lineal, de forma análoga a como la interacción entre estator bobinado y rotor imantado provoca el giro en un motor brushless. Las ventajas de esta tecnología son ampliamente conocidas: excelentes prestaciones dinámicas (velocidades y aceleraciones espectaculares), ya que gracias a su simplicidad se reducen las masas y rozamientos innecesarios; precisiones y repetibilidades del orden de magnitud de la micra, al no haber juegos mecánicos intermedios; y un funcionamiento muy silencioso. La medida de la posición lineal se empezó realizando mediante reglas ópticas, si bien debido a su elevado precio y a su fragilidad ante polvo, líquidos, rayaduras, etcétera. han comenzado últimamente a ser reemplazadas por encoders lineales magnéticos del tipo Siko Magline, más económicos e

inmunes a la mayoría de agentes ambientales. Los motores lineales más habituales hasta ahora han sido:

Planos (flat-bed). La guía imantada forma un prisma rectangular plano sobre el cual se desliza linealmente un forcer también plano. Esta topología es muy simple y está muy extendida, pero presenta un gran inconveniente: la atracción entre el cuerpo de bobinas y la guía imantada genera un vector de fuerza entre 7 y 15 veces superior a la propia fuerza lineal útil, pero perpendicular a ella, ofreciendo por tanto una importante resistencia al movimiento y una importante pérdida de eficiencia. El ratio prestaciones/peso de este accionamiento es pobre. Este problema ha sido parcialmente paliado por algunos fabricantes con la variante llamada slotless, basada en reducir la fuerza magnética del forcer, pero en contrapartida también se rebaja drásticamente la fuerza máxima lineal disponible. El motor lineal plano R10 de Trilogy es una de los modelos clásicos.



**Fig. 2.1 Servotube. Motor lineal, que se implementara en el proyecto (contenedor de basura).**

## **Implantación actual de los motores lineales en la industria**

A pesar de su superioridad técnica indiscutible, en general los motores lineales no han conseguido hasta ahora sustituir a la mayoría de accionamientos lineales electromecánicos convencionales, salvo en sectores muy específicos. Los motivos han sido siempre básicamente económicos:

Costes de adquisición. Su simplicidad constructiva no es en general tan alta como para compensar los costes de los imanes permanentes y de la realimentación de posición mediante encoders lineales, especialmente los ópticos (muy caros).

Costes de instalación, que suele ser delicada al requerir de alineamientos muy precisos. Todo esto los ha relegado típicamente a aplicaciones donde se requieren necesariamente sus altas prestaciones dinámicas o su precisión (microelectrónica, microbiología, máquina herramienta de alta velocidad, etcétera)

Copley Controls, multinacional americana del sector de motion control, fabrica desde hace algunos años una serie de motores lineales basados en una tecnología patentada, comenzada a desarrollar en la década de los 80 en el Reino Unido. El motor lineal tubular sigue siendo un motor lineal. Sin embargo su diseño constructivo aborda los problemas clásicos de este tipo de accionamiento desde el planteamiento de una simplicidad aún mayor. En este caso, el rotor rodea totalmente a una guía imantada tubular, o barra. Esta geometría asegura, gracias a su simetría cilíndrica, un vector de fuerzas entre

torcer y barra que presenta una resultante radial nula, con lo que se elimina el problema tradicional de los motores lineales planos, pero sin requerir el doble de imanes como en el caso de los U-channel. Además el campo magnético también se reparte uniformemente, lo que ayuda a una eficiencia óptima. No es ésta la única ventaja de este diseño. La ventilación del forcer está intrínsecamente asegurada, al estar rodeado al 100% por aire libre. De hecho se trata en cierto modo de un diseño inverso al del Uchannel, en el cual el forcer se hallaba totalmente confinado entre dos paredes de imanes. Además, al quedar el campo magnético de la barra totalmente rodeado por el forcer, la distancia entre ambos deja de ser crítica, pudiendo estar separados por varias décimas de milímetro, mientras que los motores lineales planos o los U-channel sólo admiten separaciones muy inferiores, siendo por tanto menos tolerantes a errores de alineamiento durante el montaje.

# **Capítulo III**

**Aplicación de variadores de  
frecuencia y utilización de  
encoders.**

## **Aplicación de variadores frecuencia y utilización de encoders**

### **3.1 Ventajas del posicionamiento dentro del variador vectorial**

Conforme se consolidaba el empleo de los variadores de velocidad durante los últimos años, han surgido nuevos requisitos. La mayoría de ellos hacen referencia al rendimiento dinámico: par a velocidad cero, respuesta rápida para mejorar el impacto de la carga y control exacto de la velocidad. Hasta ahora, los sistemas variadores de c.c. solían incluir estas características. Los componentes generadores de corrientes de flujo y par se controlaban de modo mecánico en la posición exacta según el tipo de motor mediante la combinación de conmutadores y juegos de cepillos. Este sistema garantizaba que los variadores de c.c. generasen pares controlados a cualquier velocidad. Sin embargo, existían algunos inconvenientes como, por ejemplo, el desgaste mecánico de los cepillos (que precisan un mantenimiento periódico), el nivel de potencia global y los mayores costes que genera el motor. Lo que necesitaban estos sistemas era la simple construcción de un motor de c.a. equipado con rendimiento dinámico gracias a la inclusión de un variador de c.c.

La respuesta es el control vectorial en los variadores vectoriales, el módulo variador controla las corrientes que generan flujo y par a fin de optimizar el empleo de la corriente que genera el par motor. Gracias a la tecnología mejorada de los circuitos de control, la reacción a la carga también se ha visto mejorada, al igual que el mantenimiento de la velocidad.

Estos avances se han logrado de dos modos en los variadores de c.a. modernos. El primero de ellos es el control vectorial totalmente cerrado. Este sistema utiliza un encoder que informa sobre la posición y la velocidad del eje del motor y del variador, información útil para efectuar los cálculos matemáticos de los componentes que generan las corrientes de flujo y de par controlado. En algunos sistemas, sin embargo, esto podía representar un coste adicional y una mayor complejidad, motivo por el cual se han desarrollado una serie de variadores vectoriales de lazo abierto o sin sensor que no utilizan encoder como señal de retroalimentación. Este sistema se ajusta automáticamente mediante el motor y el variador. En este proceso, el variador obtiene información específica sobre el motor a través de pruebas estáticas y dinámicas y traza un mapa del motor o un "observador" que sirve para reconstruir el sistema de control en lazo cerrado. El sistema de control en lazo cerrado ofrece el mejor rendimiento de la velocidad y del par. De todas maneras, la mayoría de las aplicaciones utilizan los sistemas característicos sin sensor, lo cual elimina la necesidad de realizar un mantenimiento habitual en los sistemas de c.c. o de tener que disponer de la información del encoder en el caso de los sistemas de control en lazo cerrado.

#### Ventajas que ofrece un variador vectorial marca SEW-EURODRIVE

- Descongestión del bus de campo y del control central
- Reducción del tiempo de ciclo de programa en el PLC
- Ahorro de un control de posicionamiento externo
- Ahorro de espacio en el tablero eléctrico

- Reducción del cableado
- Disposición más clara
- Reducción del costo

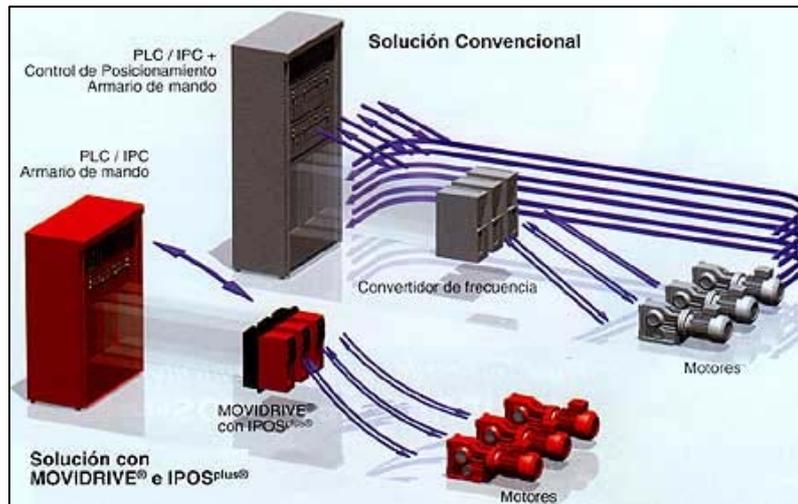


Fig. 3.1 Esquema de conexiones Panel-Variadores-Moterreductores

### 3.2 Frenado

El término frenado describe el efecto de la energía generada en el motor que se retroalimenta en el variador que lo controla. La realimentación de energía puede darse en situaciones como, por ejemplo, la deceleración, o parada total, de la carga en términos de velocidad o la reducción de la carga cuando ésta se controla verticalmente. Para controlar el movimiento vertical, es decir, la elevación, se necesita un variador que pueda soportar la regeneración necesaria. Es decir, debe utilizarse un transistor de frenado (por lo general incorporado en los variadores con menos de 15 KW) y una resistencia de frenado adecuados. Los variadores suelen tener dos modalidades de funcionamiento: moción y regeneración. El término moción hace referencia al

tiempo durante el cual el variador controla la carga. Regeneración indica el período en el que la carga intenta hacerse con el control. La energía se genera porque, si se analiza el tipo de motor, éste es prácticamente idéntico al del generador, y si el rotor gira con la fuerza actual, se dan todas las condiciones necesarias para lo que se denomina regeneración. Es precisamente esta energía regenerativa la que los diseñadores de equipos y procesos deben tener en cuenta. Existen dos métodos habituales para tratar la energía regenerativa:

- Frenado dinámico: el medio más frecuente para controlar la regeneración. En principio, se utiliza una resistencia para absorber la energía y disiparla en forma de calor. En el interior del circuito de conexión de c.c. del variador, un transistor (estándar o acoplado posteriormente) controla el voltaje del circuito de c.c. y, en un determinado punto, efectúa una conmutación rápida, con lo que la resistencia (acoplada externamente debido al calor) forma parte o se excluye del circuito, disipando de este modo el exceso de energía. La principal ventaja de este sistema es que se necesitan muy pocos componentes adicionales, la tecnología es sencilla y funciona.
- Frenado regenerativo: se utiliza un rectificador controlado en paralelo con el existente para permitir que la energía regenerativa se reutilice en el sistema principal. El control del sistema reside en el propio variador. Debido al mayor coste de este diseño, suele aplicarse únicamente en variadores diseñados en exclusiva para funcionar en áreas de aplicación propensas a la regeneración. Si no se adoptan las medidas correctivas indicadas, la energía que regenera el motor podría causar un aumento

del voltaje en la conexión a c.c., lo que provocaría golpes en la carga o sobrecarga en el variador o daños importantes en los componentes internos del mismo.<sup>4</sup>

### 3.3 Reactancias

Las reactancias desempeñan muchas y diversas funciones en la instalación de los variadores. Éstas son algunas de las más usuales:

- En la entrada de la red eléctrica del variador: en la entrada de la red eléctrica monofásica o trifásica del variador se acopla una reactancia de c.a. para contrarrestar posibles efectos de las bornas de conexión como picos parásitos de tensión, caídas de tensión y pérdidas de alimentación momentánea (por voltaje bajo). Las reactancias también permiten mejorar la potencia eléctrica del sistema incluso cuando éste funciona con velocidades y cargas distintas.
- Entre el variador y el motor: la
- capacitancia que se produce entre los conductores y las pantallas puede provocar fugas de corriente, así como interrupciones o bloqueos del variador en fallos de la conexión a tierra o en casos de sobre corriente. La reactancia altera el circuito equivalente, con lo que se reducen al mínimo las posibilidades de interrupción o bloqueo provocadas por las fugas de corriente.
- En el circuito de c.c. del variador: en el circuito de c.c. intermedio se acopla una reactancia de c.c. que reduce de modo considerable los

---

<sup>4</sup> Curso de capacitación de SEW-EURODRIVE

niveles de distorsión armónica que se generan al utilizar variadores debido a la carga rápida por pulsos no lineal del circuito de c.c. de los variadores. Como consecuencia, se generan corrientes armónicas que se superponen a las básicas, distorsionando de este modo la onda sinusoidal teórica. Esta reacción puede dar lugar a ciertos problemas como el calentamiento de los cables y transformadores, ruidos como las interrupciones y la reducción de la vida útil de los componentes. La mayoría de los variadores por encima de los 15 kW disponen de reactancia de c.c.<sup>5</sup>

### **3.4 EMC (Compatibilidad electromagnética)**

Los variadores ofrecen múltiples ventajas a los usuarios con relación al control y a la energía (un mejor control y reducción de la energía empleada). Debido a su construcción y modo de funcionamiento, sin embargo, pueden crear algunos problemas de interferencias electromagnéticas en los sistemas. Las interferencias son el resultado de la conmutación veloz de los dispositivos IGBT de alta corriente del variador, que genera una señal PWM en el variador. Este tipo de problemas también se conocen como interferencias de radiofrecuencia o RFI. Las interferencias pueden eliminarse si se siguen los procedimientos adecuados. Las RFI pueden ser de dos tipos: de inmunidad y de emisión. Existen normativas europeas que garantizan que los productos y los equipos se adapten a los estándares aplicables. Según la trayectoria de la interferencia

---

<sup>5</sup> Curso de capacitación de SEW-EURODRIVE

deben adoptarse unas medidas u otras para solucionar de modo sencillo y eficaz el problema, como se indica a continuación:

Interferencias en bornas de conexión a red eléctrica

Debe introducirse un filtro especial para RFI en la entrada de la red eléctrica. Debe estar lo más cerca posible de la red a fin de atenuar las interferencias de la borna, así como cualquier otra interferencia que pueda radiar el cable de entrada de la red.

Interferencias radiadas del cable del motor:

- El cable que une el variador con el motor debe ser apantallado y debe tener una toma a tierra en ambos extremos.
- Los cables de control deberían separarse de los cables de alimentación.
- Los cables de control deberían estar apantallados.

La toma a tierra desempeña un papel importante en las interferencias. Todos los puntos de conexión a tierra deben ser de metal y deben utilizarse tiras de sujeción siempre que sean posibles. La longitud del cable, por su parte, debe ser lo más corta posible.

### **3.5 IPOSplus® SEW-EURODRIVE**

IPOSplus® Control de posicionamiento y de secuencia integrado control de secuencia libremente programable para aplicaciones de accionamientos y acceso a todos los parámetros del inversor como:

- Procesamiento de E/S y de variables
- Posicionamiento al encoder de motor, externo o absoluto
- Dos lenguajes de programación:
  - Assembler.
  - Lenguaje de alto nivel.
- Comunicación sencilla de eje a eje.

### **3.5.1 Descripción del sistema: Generales**

Control de posicionamiento y secuencia IPOSplus® se puede encontrar en cada MOVIDRIVE y puede ejecutar funciones de control y tareas de posicionamiento en conjunto o de forma independiente que facilita la ejecución del programa del usuario sin depender de la retroalimentación del encoder y del modo de regulación seleccionado también ofrece una realimentación del encoder un posicionamiento de alto rendimiento.

La programación y el acceso a las variables se efectúa con el software MOVITOOLS® en 'assembler' o 'compiler' con el teclado DBG11A también se tiene acceso a las variables.

### **3.5.2 Descripción del sistema: Características**

El programa del usuario continúa funcionando sin interrupción en caso de falla pueden funcionar dos programas de usuario paralelos e independientes de cada uno (TASK1 y TASK2). Los programas del usuario pueden tener en total hasta 800 líneas de programa y acceso a las opciones instaladas (Tarjeta DIO,

Interfases de bus de campo, Tarjeta de sincronización), como también los procesos de las señales de entrada y de salidas digitales y análogas.

Posicionamiento con velocidad de desplazamiento y rampa elegibles hay ocho tipos de viaje de referencia:

- Tipos de rampas: lineal, senos o cuadrática
- Procesamiento de encoder absoluto
- Posicionamiento de tabla con hasta 128 posiciones
- Funciones de estado y de monitoreo: falla de seguimiento, señalización de posición, limitswitch de software y de hardware

### **3.5.3 Detección del trayecto y posicionamiento: evaluación del encoder**

MOVIDRIVE® ofrece tres posibilidades de posicionamiento:

- Encoder externo
- Encoder del motor (encoder incremental / resolver)
- Encoder absoluto

Los valores de posiciones se encuentran en las variables H509, H510 y H511, para el posicionamiento con las instrucciones (Go...) siempre es necesario un encoder del motor (regulación de velocidad).

### **3.6 Principios de funcionamiento del encoder**

El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser

utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal, si se asocian a cremalleras o a husillos. Las señales eléctricas de rotación pueden ser elaboradas mediante controles numéricos (CNC), contadores lógicos programables (PLC), sistemas de control etc. Las aplicaciones principales de estos transductores están en las máquinas herramienta o de elaboración de materiales, en los robots, en los sistemas de motores, en los aparatos de medición y control. El sistema de lectura se basa en la rotación de un disco graduado con un reticulado radial formado por líneas opacas, alternadas con espacios transparentes. Este conjunto está iluminado de modo perpendicular por una fuente de rayos infrarrojos. El disco proyecta de este modo su imagen sobre la superficie de varios receptores oportunamente enmascarados por otro reticulado que tiene el mismo paso del anterior llamado colimador. Los receptores tienen la tarea de detectar las variaciones de luz que se producen con el desplazamiento del disco convirtiéndolas en las correspondientes variaciones eléctricas.

### **3.6.1 Encoder incremental**

El encoder incremental proporciona normalmente dos formas de ondas cuadradas y desfasadas entre sí en  $90^\circ$  eléctricos, los cuales por lo general son "canal A" y "canal B". Con la lectura de un solo canal se dispone de la información correspondiente a la velocidad de rotación, mientras que si se capta también la señal "B" es posible discriminar el sentido de rotación en base a la secuencia de datos que producen ambas señales. Está disponible además otra señal llamado canal Z o Cero, que proporciona la posición absoluta de

cero del eje del encoder. Esta señal se presenta bajo la forma de impulso cuadrado con fase y amplitud centrada en el canal A.

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

La unidad de medida para definir la precisión de un encoder es el grado eléctrico, éste determina la división de un impulso generado por el encoder: en efecto, los 3600 eléctricos corresponden a la rotación mecánica del eje, necesaria para hacer que se realice un ciclo o impulso completo de la señal de salida. Para saber a cuántos grados mecánicos corresponden 360 grados eléctricos es suficiente aplicar la fórmula siguiente.

$$3600 \text{ eléctricos} = \frac{360^{\circ} \text{ mecánicos}}{\text{N}^{\circ} \text{ impulsos/giro}}$$

El error de división en un encoder, está dado por el máximo desplazamiento expresado en grados eléctricos, de dos frentes de onda consecutivos. Este error existe en cualquier encoder y se debe a los factores antes citados.

Existen, además de los encoder incrementales tradicionales con las señales A, B Y Z, que se han descrito hasta este momento, otros encoder que forman parte de la misma familia, pero que integran otras señales eléctricas disponibles a la salida. Es el caso de los encoder incrementales con señales de

conmutación integrados, los cuales por lo general se utilizan como retroacción a bordo del motor. Estas señales suplementarias realizan la función de simulación de las fases de hall que generalmente se encuentran en los motores con conmutación tipo brushless y por lo general se realizan con sensores magnéticos. Estas señales sirven al convertidor que gobernará el motor para generar con fase correcta las tensiones o corrientes para hacerlo funcionar. Estos impulsos de conmutación se pueden repetir varias veces dentro de un giro mecánico del encoder porque dependen directamente de los polos de motor que está conectado, tendremos por lo tanto fases de conmutación para motores con 4,6 o más polos.

### **3.6.2 Encoder sinusoidal**

También este encoder pertenece a la familia de los incrementales con una diferencia substancial, las señales disponibles de salida no son de tipo digital, sino analógico con forma sinusoidal. Ha sido creado principalmente para satisfacer las exigencias en el campo de los motores como sensor de retroacción a bordo del motor. En efecto, este encoder se emplea cuando se desean aumentar las prestaciones dinámicas con respecto a los demás sistemas tradicionales. Para contar con buenas prestaciones de control del motor por parte del convertidor, la retroacción desde el encoder debe estar en condiciones de proporcionar un alto número de impulsos especialmente cuando la rotación se efectúa a baja velocidad. El empleo de encoder incrementales tradicionales con altos impulsos comienza a tener problemas desde muchos puntos de vista, no última la dificultad de transmitir y tratar la señal digital

cuando el motor funciona a velocidades elevadas (6000 r.p.m.). En efecto, en este caso el ancho de banda necesaria al servomotor para tratar la señal, por ejemplo de un encoder de 10.000 impulsos por rev. debería superar tranquilamente el umbral de la frecuencia. En cambio el uso las señales analógicas permiten limitar drásticamente los citados inconvenientes y simular eficazmente un encoder con altos impulsos. Esto puede realizarse gracias al método de interpolación de señales analógicas de seno y coseno para el cálculo del ángulo de rotación. Se pueden obtener fácilmente multiplicaciones elevadas de las sinusoides básicas, obteniendo por ejemplo desde un encoder con 1024 sen/rev. más de 100.000 imp/rev. Simultáneamente la amplitud de la banda necesaria para recibir la señal, es suficiente que sea un poco superior a los 100 KHz. Las señales que haya la salida del encoder se componen de dos sinusoides desfasadas entre sí en 90° eléctricos que llamaremos seno y coseno (2048 sin/rev MAX) y de una señal de cero, también analógica centrada entre dos canales. Están integradas además otras dos señales sinusoidales con período de 3600 mecánicos (1 sin/rev) que cumplen la función de señales de conmutación. El dibujo que sigue a continuación, aclara la configuración típica del desfase correspondiente. Las salidas con resolución de 1 imp/rev, son muy útiles porque desde éstas es posible obtener la posición angular absoluta del mismo modo que un resolver. La señal de cero también es analógica y presenta una forma que puede ser asimilada a una parte de senoide. Ésta puede ser fácilmente escuadrada para proporcionar un impulso de referencia con ángulo de apertura variable. Los datos fundamentales definen la precisión de este encoder, se refieren a la linealidad de una sola

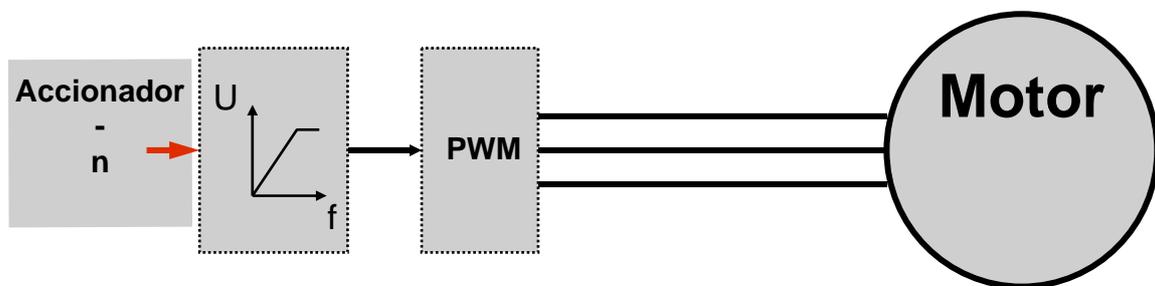
sinusoide de las 2048 máximas disponibles y de la desviación máxima de un ángulo cualquiera de rotación con respecto a la posición mecánica real. La linealidad de uno de los ciclos de las sinusoides incrementales, en relación con el ciclo respectivo está incluida aproximadamente en el 10%.

### **3.6.3 Encoder absoluto**

Respecto a los encoders incrementales, los encoders absolutos muestran importantes diferencias desde el punto de vista funcional. Mientras en los encoders incrementales la posición está determinada por el cómputo del número de impulsos con respecto a la marca de cero, en los encoders absolutos la posición queda determinada mediante la lectura del código de salida, el cual es único para cada una de las posiciones dentro de la vuelta. Por consiguiente los encoders absolutos no pierden la posición real cuando se corta la alimentación (incluso en el caso de desplazamientos), hasta un nuevo encendido (gracias a una codificación directa en el disco), la posición está actualizada y disponible sin tener que efectuar, como en el caso de los encoder incrementales la búsqueda del punto de cero.

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

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



**Fig. 3.2** Esquema de un proceso sin retroalimentación (variador conectado a un motor sin encoder).

La fig. 3.2 muestra un motor sin retroalimentación hacia el variador por lo tanto no hay información de la velocidad sobre el posicionamiento del motor por lo que hay un comportamiento deficiente.

Tramo de regulación

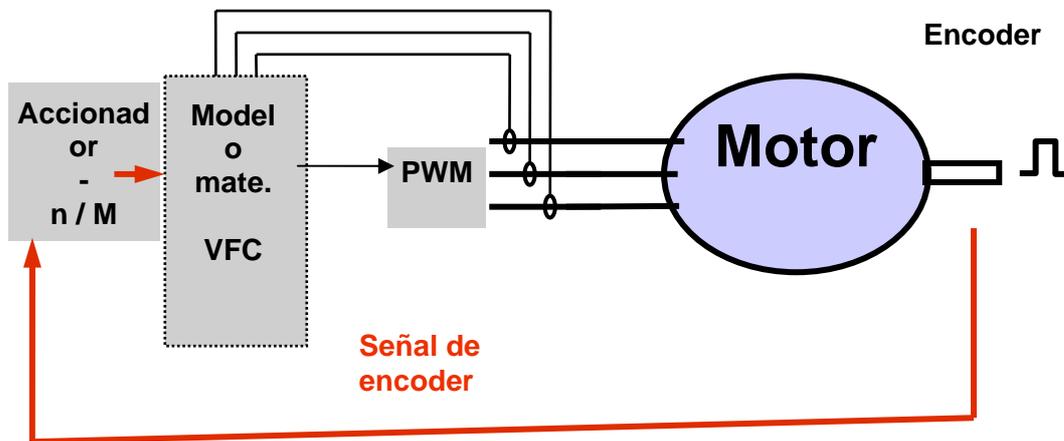
La velocidad del motor se calcula en un modelo matemático a partir de las siguientes variables:

- Retraso del tiempo
- Características de la regulación deficientes con velocidades bajas

Utilizando un motor con retroalimentación obtenemos ventajas como:

- La velocidad del motor se detecta directo en el motor
- Sin retraso del tiempo
- Regulación exacta y rápida al valor de consigna
- Mejor respuesta gradual

En la figura 3.3 se muestra un sistema donde ya hay una retroalimentación. Utilizando un ecoder TTL.



**Fig.3.3** Esquema de un sistema con retroalimentación utilizando encoder TTL.

Filtro óptico y disco incremental tienen la misma graduación, fotocélulas que transforman el cambio de luz a señales eléctricas de forma TTL, HTL, sen-cos.

### **3.7 Tarjeta Interfase opcional para el encoder absoluto DIP11A para inversores SEW-EURODRIVE.**

#### **Descripción del sistema**

La interfase del encoder absoluto DIP11A y ampliación del sistema MOVIDRIVE con una interfase tipo SSI para encoders absolutos, no es necesario un viaje de referencia con el arranque de la máquina o después de una parada de emergencia. Posicionamiento al encoder absoluto, al encoder externo o al encoder incremental / resolver del motor, substitución de las levas de posiciones en el trayecto, utilización de los motores asíncronos y servomotores, conexión del encoder absoluto tanto en la flecha del motor como en el trayecto y ajuste sencillo del encoder absoluto a través del Movitools.

#### Tipo de encoder absoluto

- Codificador rotatorio
- Instrumento de medición de la distancia (Laser)
- Sistema de medición de desplazamiento (lineal)

La aplicación de posicionamiento absoluto siempre requiere un encoder absoluto y la interfase del encoder absoluto DIP11A.

Conexión en arrastre de forma = sin deslizamiento entre la flecha del motor y la carga p. ej. a través de una correa dentada:

El encoder absoluto se puede montar tanto en la línea con en el motor. La conexión en arrastre de fuerza es equivalente con el deslizamiento entre la flecha del motor y la carga p. ej. a través de una rueda de fricción.

### **3.7.1 Características de la tarjeta DIP11A**

Leer datos de un encoder absoluto con interfase de tipo SSI para el procesamiento posterior en IPOSplus (Control de posicionamiento y de secuencia).

Entradas y salidas binarias adicionales. Se conecta en el slot de opción 1 ó 2, con una combinación posible con las opciones DIO, DFx, DRS.

### **3.7.2 Hardware**

El hardware contiene una tarjeta con 8 entradas binarias DI10 - DI17, una entrada de 24 V, 5 ms, protegidas con opto acopladores, para su funcionamiento programable también 8 Salidas binarias DO10 - DO17, y una salida de 24 V, 5 ms, de funcionamiento programable una interfase SSI con cable blindado y torcido por pares y entrada de datos D Y /D así como T y /T.

# **Capítulo IV**

## **Implementación en un PI (Parque Industrial)**

## **Implementación en un PI**

Según las necesidades contemporáneas para el abastecimiento del vital líquido como es el agua requiere de sistemas más y con un gran número, por eso he decidido desarrollar un proyecto que se puede implementar en un parque Industrial y posteriormente en una Ciudad. Todo esto con el fin de mejorar la calidad de vida en nuestro país para ello es importante crear sistemas que no sólo satisfagan las necesidades básicas de una comunidad sino de ayudar también al medio ambiente, debido su deterioro. Considerando esta aportación al medio ambiente provocaremos una mejor calidad de vida y evitaremos daños colaterales a futuro como el que causa la explotación a los mantos acuíferos al ecosistema desde los años 1970 se había estimado, que el abuso de la extracción de los mantos acuíferos así como el de los ríos y lagos en particular afecta al medio ambiente y a nosotros como mexicanos.

El proyecto también tiene como objetivo economizar la distribución del vital líquido, actualmente su distribución cada vez es mas compleja esto debido a que la población nacional aumenta en porcentajes altos ocasionando gastos fuertes para implementar sistemas de abastecimiento a las comunidades nuevas. Ahora el proyecto como tal esta diseñado para un parque industrial, esto con la razón de que los gobiernos se ven obligados a invertir costosos proyectos para abastecer a las zonas industrializadas que demandan grandes cantidades de agua por ejemplo en el Valle de México, los desarrollos industriales se concentra principalmente en la zona de Vallejo, Naucalpan, Tlanepantla, Atizapán de Zaragoza, Tultitlan, entre otros. Su crecimiento ha

propiciado un aumento en la extracción de agua, ya que su desarrollo va asociado al crecimiento urbano. También cobra importancia este uso excesivo por la cantidad y diversidad de contaminantes que descargan algunas industrias.

Las industrias del Valle de México emplean del orden de  $177 \text{ hm}^3/\text{año}$  ( $5.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ), de los cuales el 70% proviene de aguas subterráneas, el 13% de fuentes superficiales y el 17% restante lo utiliza con aguas de reúso. El volumen que genera la industria anualmente de aguas residuales es de  $113.672 \text{ m}^3$ , además genera 45 500 toneladas de DBO5 y se remueven en los sistemas de tratamiento más de 10 mil toneladas de DBO5. Los giros industriales que demandan mayores volúmenes de agua son: la industria papelera, cervecera, embotelladora, cementera y alimenticia. Por otra parte, los aportes de carga contaminante están concentrados en un número limitado de actividades, entre las que destacan las industrias del papel, química y la alimenticia.

Dicho proyecto está compuesto por un sistema de captación, tratamiento y distribución del agua fluvial. La idea principal del proyecto es la captación del agua pero considerando que no sólo es la captación y la distribución, sino variables o factores que alteran la idea general como la contaminación del agua debido a que estará expuesta al aire libre.

Anteriormente se expuso la idea general pero ahora damos paso a detallar el proyecto, un subsistema que soporte la idea general que expongo.

El subsistema consiste en retener la basura para evitar que el agua se contamine.

Para evitar la contaminación del agua, se propone un proceso mecánico-eléctrico-electrónico, sin olvidar que debe existir un proceso químico pero que no se profundizará aunque no queda aislado de este fin. Este subsistema mecánico-eléctrico-electrónico, que propongo es utilizado en la industria de la transformación.

Para comenzar exponer nuestro proceso hay que dividir y ejemplificar como se va a trabajar y cuales son los elementos que lo componen que anteriormente se mencionaron en los capítulos 2 y 3.

Detalles a considerar:

- Costo de la inversión, inicio y fin del proyecto.
- Beneficios en comparación con el proyecto propuesto y el o los ya existentes.
- Implementación de los elementos que componen el proyecto.

#### **4.1 Costo de la inversión, inicio y fin del proyecto.**

El cálculo del costo de una inversión es importante considerar evidentemente ya que una mala estimación podría llevar a la ruina el proyecto, para esto se estimarán los elementos que se consideran básicos en la inversión inicial del

proyecto y los elementos básicos del sistema que darán vida al mismo.

Elementos a considerar:

- Costo de la excavación.
- Costo de la placa que sustituirá la carpeta asfáltica en la superficie.
- Costo de la banda transportadora y el contenedor.
- Costos de los equipos mecánicos y electrónicos.
- Costo de la construcción del aljibe.

**Costo de excavación.** Según la cotización realizada el costo para la excavación por metro cúbico es de \$30.00 m<sup>3</sup> el costo sería de \$525,000.00 considerando las medidas a excavar 70m x 10m x 25m (17500m<sup>3</sup>) usando martillo hidráulico.

**Costo de la placa que sustituirá la carpeta asfáltica en la superficie.** La placa a utilizar será de metal con aleaciones resistentes a la corrosión ocasionada por los cambios de temperatura como también a la resistencia del tránsito vehicular pesado (250 TN). La placa tendrá ranuras rectangulares de 5cm X 1m y un espesor de 5 pulg. similar al alcantarillado. La cotización se realizó en una maquiladora y el costo es de \$80,000.00 con las medidas especificadas. La colocación de la placa correrá por parte de la constructora con un costo de \$15,000.00.

**Costo de la banda y el contenedor.** Este material en realidad es una especie de banda transportadora similar a la que se usa en la industria, y un tanto parecido al que se usan en las tortillerías, es decir como un banda

transportadora con orificios pequeños para retener la basura y a la vez permitir el flujo de agua, esta transportadora o retenedor de basura tendrá un desplazamiento controlado según sean las condiciones que se expondrá mas adelante. Igualmente se hizo una cotización para obtener un costo de \$45,000.00 con las dimensiones de 45m x 5m. y el precio del contenedor es de \$50,000.00 con las dimensiones de 12.5m x 22.5m x 8m (2,250m<sup>3</sup>). El costo de la colocación por los dos elementos es de \$50,000.00.

**Costos de los equipos mecánicos y electrónicos.** El costo de estos equipos serian adquiridos a precio de usuario con un descuento del 27.7 % aproximadamente en inversores y servo reductores de la marca SEW-EURODRIVE:

Inversores de frecuencia y PLC:

- PLC SIMATIC S7: \$3,000.00 cantidad una.
- Inversor de frecuencia marca SEW EURODRIVE:
  - \$25,830.00 por la cantidad de 3 unidades MDX61B0150-4-5A3-00.
  - Por un inversor MDX61B0075-4-5A3-00 de menor potencia \$3,200.00.
  - Unidad regenerativa de energía de la red, costo \$4,500.00
  - Panel de conexiones incluyendo la instalación \$15,000.00
- Equipos mecánicos:
  - Servo: \$10,593.00 por la cantidad de 3 CM90M.
  - Motor convencional jaula de ardilla: \$2,000.00 DT80N4.

- Motor lineal servotube: \$4,000.00 cantidad 2.

**Costo de la construcción del aljibe.** El precio por m<sup>3</sup> para la construcción del aljibe es de \$45.00, por lo tanto el costo del aljibe incluyendo las instalaciones es de \$787,500.00.

Todos estos costos son una aproximación ya que son variables por las mismas condicionantes del mercado además de que los costos están redondeados, las estimaciones fueron realizadas por constructoras, maquiladoras y en la empresa dedicada al desarrollo de inversores y motor reductores, el resto es una estimación hecha en negocios dedicados a proveer productos a la industria.

Haciendo una suma total de los costos para la iniciación del proyecto nos arroja la cantidad de \$1, 620,593.00 pesos es una cantidad elevada como cualquier proyecto de ingeniería, pero obtendría beneficios económicos, tanto en la distribución, operación y mantenimiento debido a que estos gastos son bajos en comparación con su inversión además no se dañaría nuestro subsuelo y se aprovecharía mejor el agua fluvial.

#### **4.2 Beneficios en comparación con el proyecto propuesto y el o los ya existentes.**

No se pueden soslayar proyectos ya existentes que tienen cierta efectividad y cierta deficiencia en comparación con el propuesto, estas comparaciones van desde el costo de su inversión y mantenimiento. Los sistemas de distribución ya existentes deben acoplarse al sistema propuesto para esto es importante

aclarar que no se entrará en materia con dichos procesos es decir es ayudar a mejorar su desempeño, que van de la mano con el problema de la captación.

El uso de plantas tratadoras de agua acarrea grandes problemas a nuestro subsuelo al abusar de la extracción de los mantos acuíferos.

La sobre explotación promedio de los 29 mantos acuíferos de Durango por ejemplo es cercana al 50 por ciento en relación con la capacidad de producción del vital líquido que registran los puntos de extracción hidráulica del estado, según un reporte de la Comisión Nacional del Agua (CNA).

Por su parte, el Plan Estatal de Desarrollo 2005-2010 del Gobierno de Durango admite que la economía del estado se ha desarrollado fundamentalmente en torno a sus recursos naturales como son el agua, suelo y vegetación.

La recarga de la media anual estimada en los 29 acuíferos de producción que hay en Durango es de  $667.6\text{hm}^3$  frente a la extracción media anual de  $955.1\text{hm}^3$ , lo cual genera una sobreexplotación media anual de  $287.5\text{hm}^3$ , dice el diagnóstico de la CNA. Esto significa que hay una sobreexplotación cercana al 50 por ciento del nivel de producción en los acuíferos de Durango.

De ahí que los registros de precipitación pluvial entre la zona Sierra y el Semidesierto del estado de Durango son contrastantes, dice también un informe de la Delegación de la SEMARNAT<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Las mayores lluvias que se registran en el estado de Durango se presentan en la zona de la Sierra Madre Occidental, siendo la máxima de mil 400 milímetros anuales; mientras en la zona semidesértica del Bolsón de Mapimí se tienen precipitaciones de apenas 200 milímetros anuales.

Así, la precipitación media anual estatal es de 610 milímetros, de los cuales el 90 por ciento se presenta en los meses de junio a octubre, según el reporte que elaboró la Comisión Nacional del Agua para el PED<sup>7</sup> 2005-2010.

En México, según un diagnóstico regional hecho por la SEMARNAT, la distribución de los recursos hidráulicos y las actividades que a partir de ellos se realizan no guardan una relación directa entre sí.

Lo anterior debido a que las zonas del país donde se ha concentrado el crecimiento demográfico y económico donde se localiza una parte sustancial de la infraestructura productiva y social, son aquellas donde hay una menor disponibilidad de agua, dice el escrito.

Las regiones donde habita el 77 por ciento de la población total y se genera el 84 por ciento del Producto Interno Bruto sólo reciben el 28 por ciento del total de escurrimientos. La contaminación de la mayoría de los cuerpos de agua superficiales (provocada por la descarga de aguas residuales sin tratamiento) ocasiona grados variables de degradación y limita el uso directo del agua.

---

<sup>7</sup> Pressure Equipment Directive(Directorio del equipo de la presión)

En la entidad, como en el resto del país, a pesar de los avances en el tratamiento de las aguas residuales, solamente el diez por ciento de las aguas superficiales es de buena calidad, en tanto que la calidad es media en el 65 por ciento, y mala en el 25 por ciento restante.

La importancia del agua subterránea queda de manifiesto al considerar que el 70 por ciento del volumen que se suministra a la población, el 33 por ciento del que se destina a la agricultura y el 62 por ciento del que utiliza la industria tienen ese origen.

La SERMARNAT recomienda prestar atención especial al uso de los acuíferos del país, ya que de los 600 identificados para el año 2000, cien estaban siendo sobreexplotados, y en el caso de Durango aporta al menos cinco zonas de extracción con el mismo problema.

Por otra parte, Durango cuenta con 90 plantas municipales de tratamiento de agua con capacidad de tratado de tres mil 450 litros por segundo, mientras que hay apenas 18 de tipo industrial con capacidad de 452 litros por segundo, según datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) al año 2003.

El mismo Instituto afirma en sus encuestas del 2004 que el 93.2 por ciento de la población duranguense tiene servicio de agua potable en Durango.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/139570.son-sobreexplotados-el-50x-de-mantos-acuifero.html>

### **4.3 Implementación de los elementos que componen el proyecto.**

Se podría decir que este es el punto más importante; la implementación de los elementos mecánicos y electrónicos.

Actualmente para la industria el tiempo es oro y la eficiencia está estrictamente relacionada con el tiempo y así mismo con la calidad por eso cada vez hay más competencia en el desarrollo de sistemas que aporten a satisfacer las necesidades requeridas (automatización).

A consecuencia de esta demanda de eficiencia se genera competencia en el desarrollo de sistemas que satisfagan las necesidades y que a su vez genera ganancias tanto a quienes lo desarrollan como para quienes consumen de estos desarrollos.

Un ejemplo de demanda de eficiencia es la industria alimenticia que debe generar grandes cantidades de consumibles para abastecer a todo un país o a una región extensa para esto necesita implementar sistemas automatizados que satisfagan sus políticas de calidad y eficiencia.

Las bandas transportadoras son comunes en la industria que son implementados en varias áreas, estas contienen el producto inicial, intermedio y final.

Para que nuestro sistema funcione correctamente se calculan aspectos que intervienen en la funcionalidad de los elementos, para ello existen fórmulas establecidas que ayudan al cálculo y selección de los equipos adecuados para

su buen desempeño en esta clase de trabajos, ya que una selección arbitraria causaría deficiencias en el sistema y a la vez remedios costosos.

#### 4.3.1 Principios de movimiento.

Tabla 4.1 Tabla de equivalencias

Movimiento lineal	Movimiento rotacional
Distancia $s$ [m]	Distancia angular $K$ [rad] o $[\circ]$ $360^\circ=6.28\text{rad}$ .
Velocidad $v$ [m/s]	Velocidad angular $\sim [rad/s]$ or $[1/s]$
Aceleración $a$ [m/s <sup>2</sup> ]	Aceleración angular $\beta$ [rad/s <sup>2</sup> ] o $[1/s^2]$
Fuerza $F$ [N]	Torque $M$ [Nm]
Peso $m$ [Kg.]	Momento de inercia $J$ [km <sup>2</sup> ]
	Radio [m], diámetro [m]

## Aplicaciones del movimiento lineal

**Tabla4.2 Fórmulas aplicables al movimiento lineal**

	$v = \text{const.}$	$a = \text{const.}$
Distancia	$s = v \cdot t$	$s = v^2 / 2 \cdot a$
Velocidad	$v = s/t$	$v = a \cdot t$
Aceleración	$a = 0$	$a = v^2 / 2 \cdot s$
Tiempo	$t = s / v$	$t = 2 \cdot s / v$

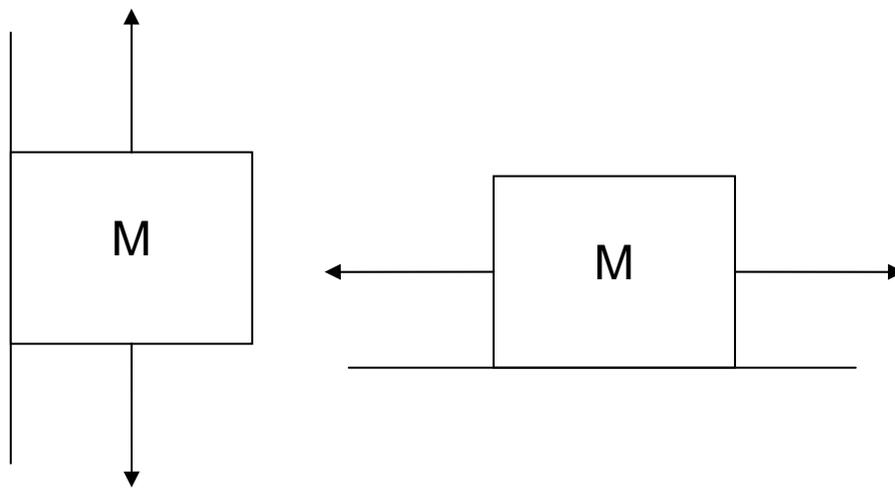
## Momentos de inercia

Todos los momentos de inercia en la aceleración deben ser referenciados con respecto a la flecha del motor y añadidos al cálculo de arranque y al comportamiento de frenado del inversor.

**Tabla4.3 Tabla de equivalencias de momentos de inercia**

Momento de inercia externo	$J_x = J_L / i_L^2$
	$J_L$ =momento de inercia de carga $J_x$ = momento de inercia externo reducido por la flecha del motor $i_L$ =unidad de relación del reductor
Rotación	$J_x[\text{Kgm}^2] = J_L[\text{kgm}^2] \cdot [n / n_M]^2$
	$n$ =velocidad después de la relación total de reducción. $n_M$ = velocidad del motor
Movimiento lineal	$J_x[\text{Kgm}^2] = 91.2 \cdot m[\text{Kg}] \cdot (v[\text{m/s}] / n_M[\text{min}^{-1}])^2$

Estática o energía dinámica. El total de potencia de cada aplicación es dividido entre la estática y la energía dinámica. La estática de potencia es la velocidad constante, principalmente las fuerzas de fricción y fuerzas gravitacionales. La energía dinámica es la potencia requerida para la aceleración y desaceleración. Ambas componentes son implementadas en diferentes aplicaciones.



**Fig. 4.1 Diagrama del movimiento vertical y horizontal.**

**Tabla4.4**

Fuerza	Movimiento vertical	Movimiento horizontal
Fuerza gravitacional	Largo	Cero
Fuerza de aceleración	Mismo tamaño	Mismo tamaño

## Resistencia de fuerzas

Las fuerzas de fricción son contrarrestadas por las fuerzas de movimiento.

**Tabla 4.5 Fórmulas aplicables en el cálculo de estática y fricción del deslizamiento.**

<b>Estática y fricción de deslizamiento</b>	<b>Modelo matemático</b>
Estática resistencia de fuerzas	$F_R = \mu \cdot F_N$ <p><math>F_R</math> = Fuerza de fricción [N]  <math>\mu</math> = factor de fricción  <math>F_N</math> = peso perpendicular de la superficie [N]</p>
Peso	$F_N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$ <p><math>m</math> = Masa [kg]  <math>g</math> = aceleración gravitacional [<math>m/s^2</math>]  <math>\alpha</math> = Ángulo [°]</p>
Resistencia de movimiento	$F_F = m \cdot g \cdot \left( \frac{2}{D} \cdot \left( \mu_L \cdot \frac{d}{2} + f \right) + c \right)$ <p><math>F_F</math> = Resistencia del movimiento [N]  <math>D</math> = Diámetro de la rueda [mm]  <math>\mu_L</math> = Factor de fricción  <math>d</math> = Diámetro del cojinete [mm]  <math>f</math> = Diámetro del rodillo del material [mm]  <math>c</math> = Rueda y fricción de la montura.</p>

A partir de estas fórmulas se hace la estimación de nuestros equipos mecánicos-electrónicos que se utilizarán.

Datos básicos:

Velocidad  $v = 4.16\text{m/s}$

Aceleración  $a = 0.5\text{m/s}^2$

Diámetro del rodillo exterior  $D_2 = 89\text{mm}$

Diámetro del rodillo interior  $D_1 = 40\text{mm}$

Peso de la carga (peso de los desechos)  $m = 500\text{Kg}$ .

Para el cálculo de la resistencia de movimiento se sustituyen los datos en la fórmula:

$$F_F = m \cdot g \cdot \left( \frac{2}{D} \cdot \left( \mu_L \cdot \frac{d}{2} + f \right) + c \right)$$

Los valores de  $f$  y  $c$  son estimados mediante una tabla que especifica el material de los tensores entre el rodillo y el transportador en este caso como es metal con metal  $f = 0.5\text{mm}$  y  $c = 0$ .

El diámetro del árbol del cojinete de rodillos es de  $20\text{mm}$ .

$F_F = 60.515\text{ N}$

Factor de eficiencia

Según la tabla, la eficacia de cadenas es  $i_i = 0.9$  por contacto completo. En

nuestro caso, el arreglo de cadena consiste en siete contactos de cadena.

La eficacia total de la cadena se calcula con  $x = \text{número de los contactos} = 7$  a ser:

$$n_2 = n_1^x = 0.9 \cdot 7 = 0.48$$

La energía estática requerida del motor para una eficacia del reductor es de  $i_G = 0.95$  por lo tanto

$$P_s = F_F \cdot v / n_G \cdot n_2$$

$$P_s = 0.55 \text{ Kw}$$

Momento externo de inercia y torque del motor

En este caso el momento de inercia externa se puede dividir en el momento de inercia de la placa (desechos) y el momento de inercia de los rodillos. El momento de inercia de las cadenas puede ser ignorado bajo estas condiciones.

Momento de inercia del plato (desechos)

$$J_x = 91.2 \cdot m \cdot (v / n_m)^2 = 0.198 \text{ kgm}^2$$

Volumen del rodillo

$$V = (\pi/4 \cdot D_2^2 \cdot l) - (\pi/4 \cdot D_1^2 \cdot l) = 29.771 \text{ dm}^3$$

Peso del rodillo

$$m = V \cdot \rho = 0.5513 \text{ Kg.}$$

Momento de inercia del rodillo

$$J=1/2 \cdot m \cdot (r_2^2 + r_1^2)= 6.5 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

Para tener un punto de referencia común para el momento de la inercia del motor y del momento de inercia externo se debe reducir por el cociente de reducción.

Momento de inercia externo

$$J_X=J \cdot (n_a/n_M)^2$$

La velocidad de la salida se calcula mediante la velocidad de las placas (desechos) y del diámetro del rodillo.

$$n_a=(v \cdot 1000 \cdot 60)/(\pi \cdot D_2) = 892.69 \text{ RPM}$$

El momento de inercia de un rodillo con referencia a la flecha del motor es:

Momento de inercia externo reducido

$$J_X= 0.07 \text{Kgm}^2 \cdot (892.69 \text{ min}^{-1}/ 2000 \text{ min}^{-1}) = 0.44 \text{ kgm}^2$$

Momento de inercia total:

$$J_{XT}= J_{XP} + J_{XR}=1.62 \text{ kgm}^2$$

Esfuerzo requerido de torsión para la aceleración de la carga de la unidad del motor.

$$M_{DL}= (J_X \cdot n_M) / n) / (9.55 \cdot t_A) = 744 \text{Nm.}$$

$t_A=1$  seg.

Dinámica de energía

$$P_{DL} = (M_{DL} \cdot n_M) / 9550 = 155.81 \text{Kw}$$

Energía total requerida

$$P_T = P_S + P_{DL} = 156.36 \text{Kw}$$

Factor de servicio 1.0

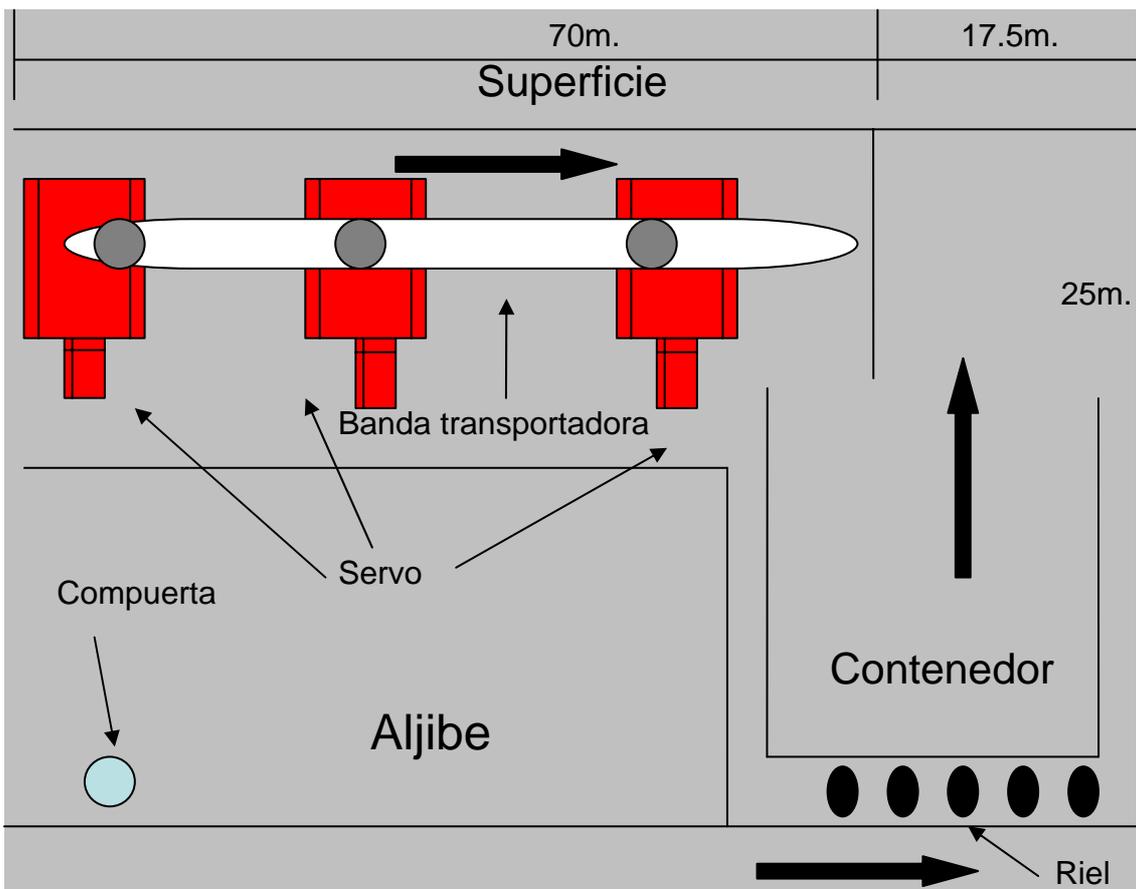


Fig. 4.2 Muestra la distribución y el diseño de forma esquemática.

El aljibe tendrá capacidad para almacenar 6,000m<sup>3</sup> de agua fluvial.

Gracias a este cálculo se obtiene las unidades convenientes que se usarán:

- Equipos electrónicos: anteriormente se menciona el tipo de unidad a utilizar pero para saber que unidades se requieren antes se tiene que hacer esta clase de operaciones los equipos electrónicos requieren de cierta potencia para hacer trabajar el servomotor que requerimos entonces obtenemos que necesitamos:
  - MDX61B0150-4-5A3-00 cantidad 3.

Sin considerar el PLC y la unidad regenerativa de energía entre otros.

Nota. La unidad regenerativa de energía ayuda a disminuir las conexiones eléctricas además de ahorrar el consumo eléctrico ya que tiene la capacidad de distribuir corriente eléctrica a 4 inversores mediante un bus de corriente directa UZ+ y UZ- favoreciendo esto disminuir los costos tanto de consumo como de instalación.

- Equipos mecánicos: el tipo de unidad que se requiere es de un servomotor reductor:
  - CM90m cantidad 3.

Tenemos ya considerados los equipos electrónicos-mecánicos que se implementaran en la banda transportadora ahora toca mencionar los elementos que se implementaran en el contenedor.

El contenedor a diferencia del transportador utilizara motores lineales para su desplazamiento vertical, ya que para esta aplicación es conveniente usar motores lineales porque el implementar motores convencionales o servos haría más complejo el sistema además de costoso. Para el desplazamiento horizontal se utilizará un motor reductor sencillo.

#### **4.3.2 Funcionamiento mecánico**

Mencionado ya los equipos requeridos bajo estas condiciones toca mencionar el proceso automatizado para posteriormente mencionar el proceso realizado entre el PLC-Inversores-Servo.

La banda transportadora tendrá un sensor de peso a flexión a 600Kg cuando la banda supere este peso el PLC activará los inversores mediante la programación de este, la banda se parara mediante un sensor de luz cuando el receptor capte la luz del emisor este cambiara el estado del PLC para posteriormente parar los inversores-servo reductores, de la misma forma se montara en el contenedor un sensor de peso a flexión pero con capacidad a 2Tn, cuando sobrepase este peso de igual forma el PLC activara primero al motor reductor para trasladar el contenedor horizontal mediante rieles, la fig. 4.2 muestra el desplazamiento horizontal – vertical ya que posteriormente mediante un encoder externo conectado a la flecha del motor ayudara al PLC a controlar sus paros y arranques, cuando este llegue al giro determinado que el encoder detectara entonces se parara y accionara dos servotubos para el desplazamiento vertical que de igual manera se controlan sus paros y arranques el servotubo 1 se parara antes y el servotubo 2 continuara para

inclinarse el contenedor y vaciarlo ahora para regresar los motores a su posición se requiere de igual forma de un sensor de luz cuando el receptor reciba la luz del emisor este haga regresar el contenedor a su posición original.

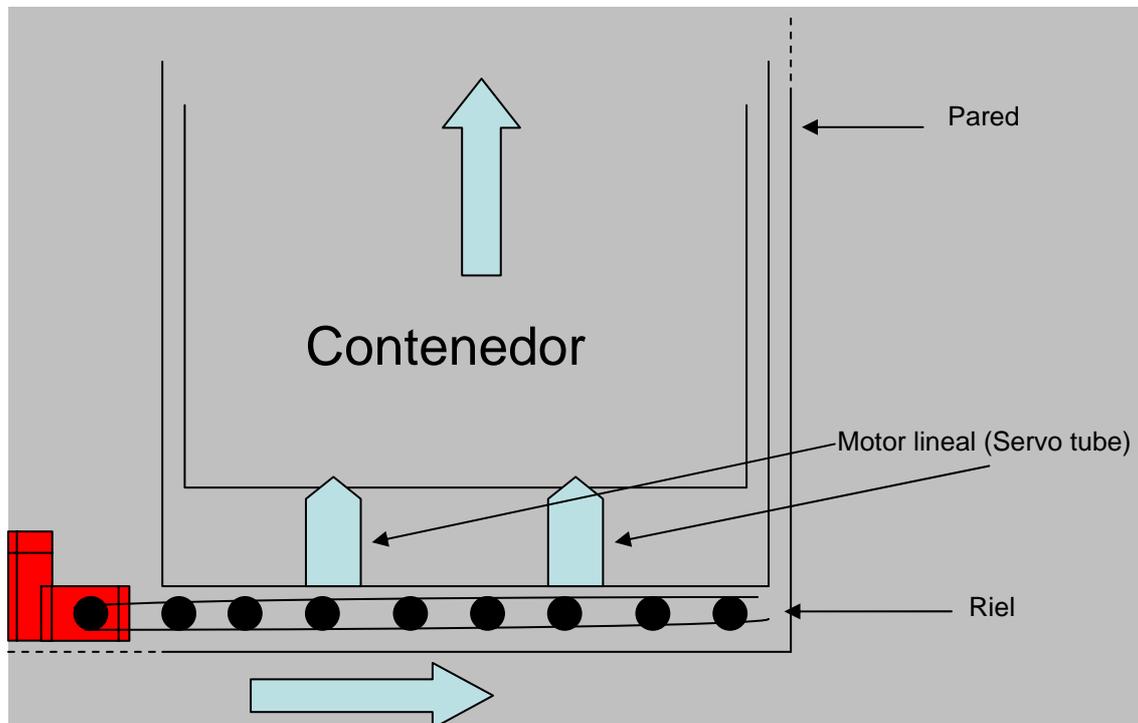


Fig. 4.3 Muestra la distribución y el diseño de forma esquemática el contenedor.

Cuando se requiera de que ambos ejecuten su proceso mediante la programación del PLC este dará prioridad al contenedor y cuando este culmine el transportador continuara, es decir si la banda transportadora esta trabajando y en ese momento el contenedor solicita al PLC ejecutar su proceso entonces la banda transportadora se parara y el contenedor comenzara su vaciado, y al contrario si el contenedor ya esta trabajando la banda tendrá que esperar a que el contenedor se vacié. Mediante el lenguaje SIMATIC S7 se programara el PLC del mismo nombre marca SIEMENS.

### **4.3.3 Comunicación PROFIBUS, PLC –Inversores.**

El protocolo de comunicación que se usará para la comunicación entre el PLC los variadores MOVIDRIVE es PROFIBUS mediante un canal de parámetros MOVILINK.

Profibus (Process Field Bus) es un bus de campo industrial utilizado en ámbito de automatización industrial. Se trata de una red abierta, estándar e independiente de cualquier fabricante y cuenta con varios perfiles.

Fue desarrollada en el año 1987 por las empresas alemanas Bosch, Klöckner Möller y Siemens. En 1989 la adoptó la norma alemana DIN19245 y fue confirmada como norma europea en 1996 como EN50170. En el año 2002 se actualizaron incluyendo la versión para Ethernet llamada Profinet.

Este tipo de red trabaja con nodos maestros y nodos esclavos. Los nodos maestros se llaman también activos y los esclavos pasivos.

Además junto con las especificaciones de otros buses de campo se recoge en las normas internacionales IEC61158 e IEC61784.

Características:

- Velocidades de transmisión: 9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500, 1500, 3000, 6000 y 12000 Kbps.
- Número máximo de estaciones: 127 (32 sin utilizar repetidores).
- Distancias máximas alcanzables (cable de 0.22mm de diámetro).

Hasta 93.75 KBaudios: 1200metros 187.5 KBaudios: 600metros 500 KBaudios: 200metros.

- Estaciones pueden ser activas (maestros) o pasivas (esclavos).
- Conexiones de tipo bidireccionales, multicast o broadcast.

### **MOVILINK y bus de sistema**

La interfase en serie MOVILINK para las interfaces RS-485 de los variadores vectoriales MOVIDRIVE, a través de la interfase RS-485 se puede controlar el variador vectorial y ajustar sus parámetros.

Considerando la baja velocidad de transmisión y la gran cantidad de tiempo y el enorme esfuerzo requeridos para aplicar los diferentes sistemas de automatización, SEW recomienda usar los siguiente sistemas de bus de campo como método profesional para conectar los variadores vectoriales SEW a los sistemas recontrol de las maquinas.

- PROFIBUS-DP
- INTERBUS
- CAN
- CANopen
- DeviceNet

El protocolo MOVILINK para interfases en serie de la nueva gama de variadores SEW MOVIDRIVE, permite establecer una conexión de bus en serie entre maestro-esclavo y varios variadores SEW. Por ejemplo, los maestros pueden ser controladores lógicos programables, ordenadores o incluso variadores vectoriales SEW con funciones PLC (IPOS<sup>plus</sup>). En general, los variadores vectoriales SEW actúan como esclavos en el bus de sistema.

### Características principales del protocolo MOVILINK:

- Compatibilidad con la estructura maestro/esclavo mediante RS-485 con una nueva estación maestra (maestro único) y hasta un máximo de 31 esclavas (variadores de frecuencia).
- Compatibilidad con la conexión punto a punto mediante RS-232.
- Ejecución sencilla del protocolo, con una estructura de mensajes sencilla y fiable, con mensajes de longitud fija y un identificador de arranque único.
- Interfase de datos para la unidad básica según el perfil de MOVILINK. Esto significa que los datos de usuario enviados al accionamiento se transmiten al variador vectorial de la misma forma que lo harían otras interfaces de comunicación.

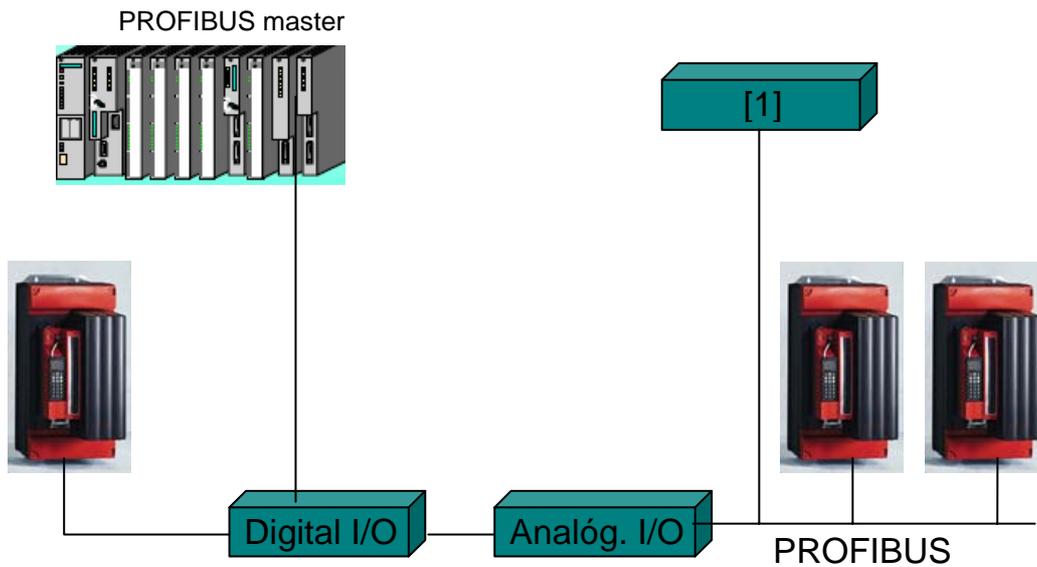
A través de la interfase PROFIBUS, el MOVIDRIVE MDX61B ofrece un acceso digital a todos los parámetros y funciones de accionamiento. El control del variador vectorial se realiza mediante los datos de procesos rápidos y cíclicos. Por medio del canal de datos de proceso tiene la posibilidad no sólo de especificar los valores de consigna, ej. Consigna de velocidad, tiempos de rampas de aceleración/desaceleración. Sin embargo, mediante este canal puede también al mismo tiempo consultar valores reales del variador vectorial, ej. Velocidad real, corriente, estado de la unidad código de fallo o señales de referencia.

## **Intercambio de datos cíclico y acíclico mediante el PROFIBUS DP**

Mientras que generalmente el intercambio de datos de proceso se lleva a cabo de forma cíclica, los parámetros de accionamiento se pueden leer y escribir de forma acíclica mediante funciones como READ (lectura) y WRITE (escritura) o mediante el canal de parámetros MOVILINK. Este intercambio de datos de parámetros permite efectuar aplicaciones en las que todos los parámetros de accionamiento importantes se encuentren almacenados en una unidad de automatización superior, de manera que no se debe realizar ningún ajuste manual de los parámetros de l variador vectorial.

## **Configuración de la tarjeta opcional PROFIBUS**

Generalmente, la tarjeta opcional PROFIBUS está concebida de forma que todos los ajustes específicos de bus de campo, como la dirección de estación y los parámetros de bus por defecto, se realizan por interrupciones de hardware. Gracias a este ajuste manual se puede integrar y conectar en muy poco tiempo el variador vectorial en el entrono PROFIBUS.



**Fig. 4.4 PROFIBUS con MOVIDRIVE**

### **Configuración de la interfase PROFIBUS DP**

Para poder definir el tipo y la cantidad de datos de entrada y salida utilizados para la transmisión, el maestro DO debe transmitir al convertidor una configuración DP determinada. Para ello existe la posibilidad de controlar los accionamientos mediante datos de proceso, así como de leer y escribir todos los parámetros de la interfase de bus de campo a través del canal de parámetros.

La interfase de bus de campo posibilita diferentes configuraciones DP para le intercambio de datos entre le maestro DP y la interfase de bus de campo.

La transmisión de los datos de proceso se lleva a cabo en un bloque de datos consistente para todos los convertidores conectados a la interfase de bus de

campo. Por lo tanto en STEP 7 es necesaria una activación de las funciones SFC14 y SFC15 por cada convertidor.

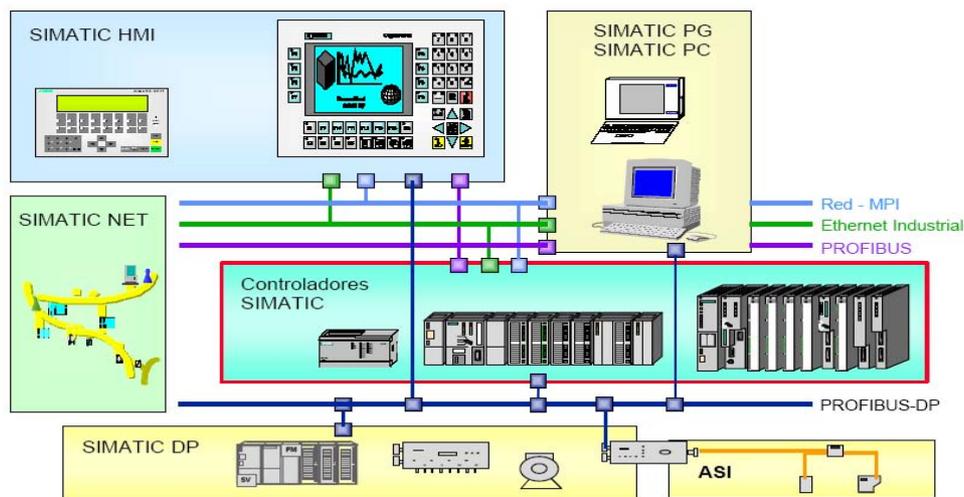
Siempre se debe asignar 0x00 al módulo 0.

Mediante la configuración "Universal Module" tiene la posibilidad de planificar la interfase de bus de campo con valores diferentes a los valores estándar establecidos en el archivo GSD. Esto es útil, por ejemplo, cuando se desea utilizar en la interfase de bus de campo varios convertidores con palabras de datos de procesos diferentes.

Por ello debe tener en consideración las siguientes condiciones:

- Módulo 1 definir el canal de parámetro del convertidor, si aquí se registra un 0, el canal de parámetros se apagará. Si aquí se registra el valor 0xC0 0x87 0x87. el canal de parámetros con longitud de 8 bytes se activará.
- Los siguientes módulos determinan la anchura de los datos de proceso del interfase de bus de campo en e PROFIBUS. La suma de las anchuras de los datos de proceso de todos los módulos siguientes debe de ser de 1a24 palabras. Los módulos deben indicarse por razones de seguridad con consistencia de datos.
- Está permitido sólo el formato de identificación especial.

Generalmente, en la planificación del proyecto de un maestro C1 puede activarse el modo de funcionamiento DP-V1. Todos los esclavos DP que han habilitado las funciones DP-V1 en su archivo GD y que son compatibles con DP-V1 se ejecutan consecuentemente en el modo DP-V1. Los esclavos DP estándar siguen funcionando a través del PROFIBUS-DP, de modo que se garantiza el funcionamiento mixto de DP-V1 y módulos aptos para DP. Según la instancia de la funcionalidad del maestro es también posible ejecutar en el modo de funcionamiento "DP" una unidad apta para DP-V1 que haya sido planificada con el archivo GSD DP-V1.



**Fig.4.5 PLC SIMATIC S7**

## **Posicionamiento ampliado vía bus**

El módulo de aplicación “Posicionamiento ampliado vía bus” es particularmente apropiado para aplicaciones en las cuales es necesario un desplazamiento a muchas posiciones diferentes con distintas velocidades y rampas de aceleración. En caso de posicionamiento a un encoder externo, que se precisa cuando hay una conexión no directa entre eje de motor y la carga, puede utilizar opcionalmente un encoder incremental o un encoder de valor absoluto.

El posicionamiento ampliado vía bus es especialmente apropiado para las siguientes ramas de la industria y aplicaciones:

### Técnica de transporte

- Transportadores
- Elevadores
- Vehículos sobre carriles

### Logística

- Sistemas de almacenamiento
- Carros de desplazamiento transversal

El módulo de posicionamiento ampliado vía bus se distingue por las siguientes ventajas:

- Interfaz de uso sencillo

- Sólo es necesario introducir los parámetros necesarios mediante bus (transmisiones, velocidades, diámetro).
- Introducir de parámetros guiada en lugar de una programación complicada.
- El usuario no precisa de ninguna experiencia en programación.

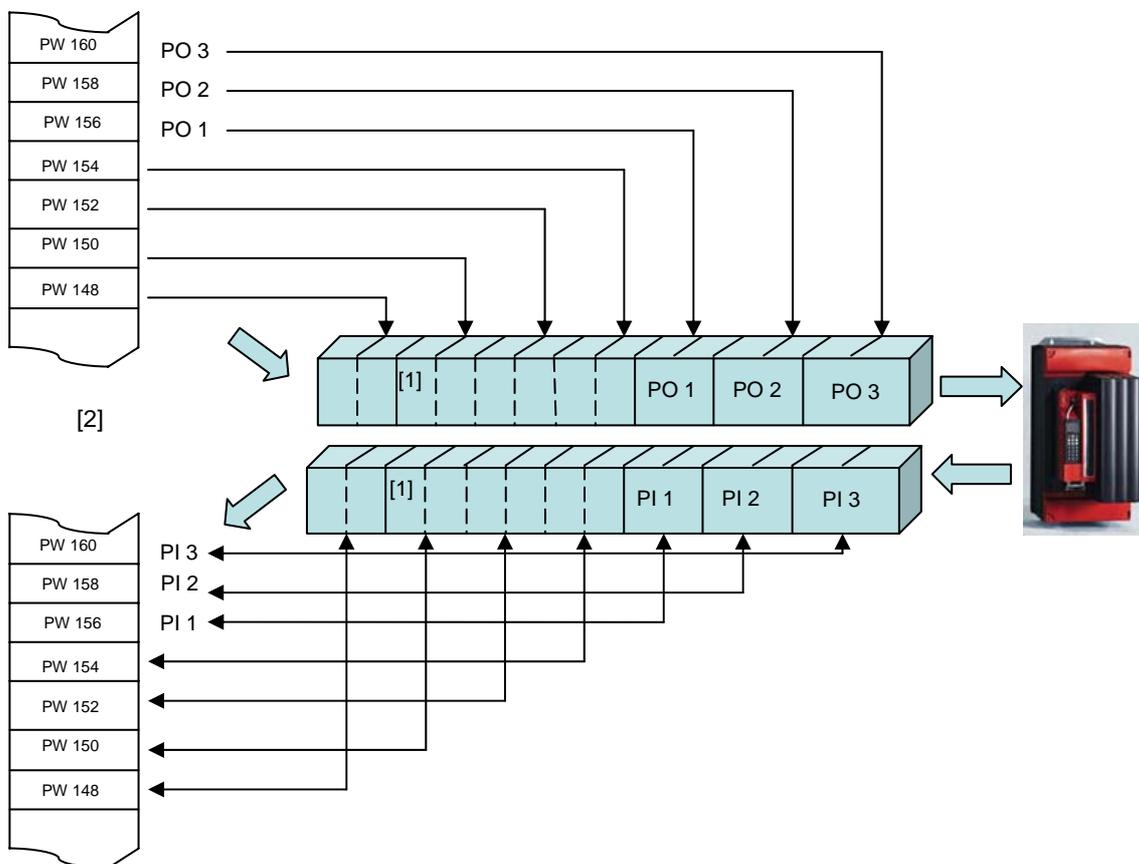
### **Descripción del funcionamiento**

La aplicación ofrece las siguientes características:

- Se puede especificar vía bus de campo cualquier número de posicionamiento de destino.
- Especificación de la velocidad mediante bus de campo (en tipo de rampa Lineal y Limitación de Tirón puede realizarse modificaciones durante la marcha).
- Realimentación cíclica de velocidad actual, posición actual en la unidad de usuario, corriente activa y utilización de la unidad mediante datos de salida del proceso.
- La fuente de posición real (encoder de motor, encoder externo o encoder de valor absoluto) puede elegirse libremente.
- Conexión sencilla al control superior (PLC)

## Comportamiento funcional PROFIBUS DP

El control del variador vectorial se efectúa mediante el canal de datos de procesos, que tiene longitud de hasta 10 palabras I/O. Al utilizar por ejemplo, un controlador lógico programable, estas palabras de datos de proceso se mapean como maestro DP en la zona periférica o de I/O del control, pudiendo así ser direccionadas.



**FIG. 4.5 Datos PROFIBUS en el rango de direcciones PLC**

[1] Canal de parámetros MOVILINK de 8 bytes.

[2] Rango de dirección PLC.

PI\_\_ PI10 Datos de entrada de proceso

PO\_\_PO10 Datos de salida de proceso

### Control para SIMATIC S7 con MOVIDRIVE MDX61B

El control del variador vectorial mediante SIMATIC S7 se lleva a cabo dependiendo de la configuración de datos de proceso selecciona, directamente por medio de ordenes de carga o transmisión, o bien mediante las funciones de sistema especiales SFC 14 DPRD\_DAT y SFC15 DPWR\_DAT.

En el caso de S7 se han de transmitir generalmente longitudes de datos con 3bytes o más de 4 bytes mediante las funciones de sistema SFC14 y SFC15.

Por consiguiente se aplica la siguiente tabla:

**Tabla 4.6 Funciones para la comunicación PLC-Inversor mediante PROFIBUS.**

<b>Configuración de los datos de proceso</b>	<b>Acceso a STEP 7 mediante</b>
1PD	Órdenes de carga/transmisión
2PD	Órdenes de carga/transmisión
3PD	Funciones de sistema SFC14/15 (longitud 6 bytes)
6PD	Funciones de sistema SFC14/15 (longitud 12 bytes)
10PD	Funciones de sistema SFC14/15 (longitud 20 bytes)
Param + 1PD	Canal de parámetros: funciones de sistema SFC 14/15 (longitud 8 bytes) Datos de proceso: Ordenes de carga/transmi.
Param + 2PD	Canal de parámetros: funciones de sistema SFC 14/15 (longitud 8 bytes) Datos de proceso: Ordenes de carga/transmi.
Param + 3PD	Canal de parámetros: funciones de sistema SFC 14/15 (longitud 8 bytes) Datos de proceso: Funciones de sistema SFC14/15 (longitud 6 bytes)
Param + 6PD	Canal de parámetros: funciones de sistema SFC 14/15 (longitud 8 bytes) Datos de proceso: Funciones de sistema SFC14/15 (longitud 12 bytes)
Param + 10PD	Canal de parámetros: funciones de sistema SFC 14/15 (longitud 8 bytes) Datos de proceso: Funciones de sistema SFC14/15 (longitud 20 bytes)

## **Tiempo de desbordamiento de PROFIBUS DP (MOVIDRIVE MDX61B)**

Si la transmisión de datos mediante PROFIBUS DP falla o se interrumpe, en MOVIDRIVE se activa el tiempo de vigilancia de respuesta (si esta planificado en el maestro DP). El LED BUS FAULT se ilumina o parpadea señalizando que no se reciba datos útiles nuevos. Al mismo tiempo, MOVIDRIVE lleva a cabo la reacción de fallo seleccionada con P831 *Reacción al tiempo de desbordamiento del bus de campo*.

P819 *Tiempo de desbordamiento del bus de campo* muestra el tiempo de vigilancia de respuesta indicado por el maestro DP en la puesta en marcha PROFIBUS DP. La modificación de este tiempo de desbordamiento sólo puede realizarse a través del maestro DP.

## **Profibus con Simatic7**

SIMATIC ofrece distintas redes de comunicación:

- Industrial Ethernet
- PROFIBUS/MPI
- Interfase As-i

Existen cuatro niveles de automatización:

**Nivel de control central:** En este nivel se procesan tareas de generales que conciernen a toda la empresa (funciones de gestión). Entre ellas figuran la memorización de valores del proceso y funciones de procesamiento para optimizar y como analizador, así como su presentación en forma de listado. Los

datos necesarios se recolectan y procesan para toda la empresa, con independencia en el lugar de emplazamiento. Desde el nivel de control central puede accederse igualmente a otros niveles.

La cantidad de estaciones puede ser superior a 1.000.

**Nivel de célula.** En el nivel de célula se procesan autónomamente todas las tareas de automatización y optimización. En este nivel están interconectados los autómatas, PCs y los equipos para el funcionamiento y la observación.

**Nivel de campo.** El nivel de campo es el nexo entre las instalaciones y los autómatas programables. Los dispositivos de campo miden, señalizan y retransmiten a las instalaciones las órdenes recibidas del nivel célula. En general se transmiten pequeñas cantidades de datos. En este caso es típica una comunicación jerarquizada, es decir varios dispositivos de campo se comunican con un maestro.

**Nivel de actuadores-sensores.** En este nivel, un maestro se comunica con los actuadores y sensores conectados a una subred. Son característicos aquí el tiempo de respuesta es rápido y un número reducido de bits de datos.

### **Comandos SYNC Y FREEZE**

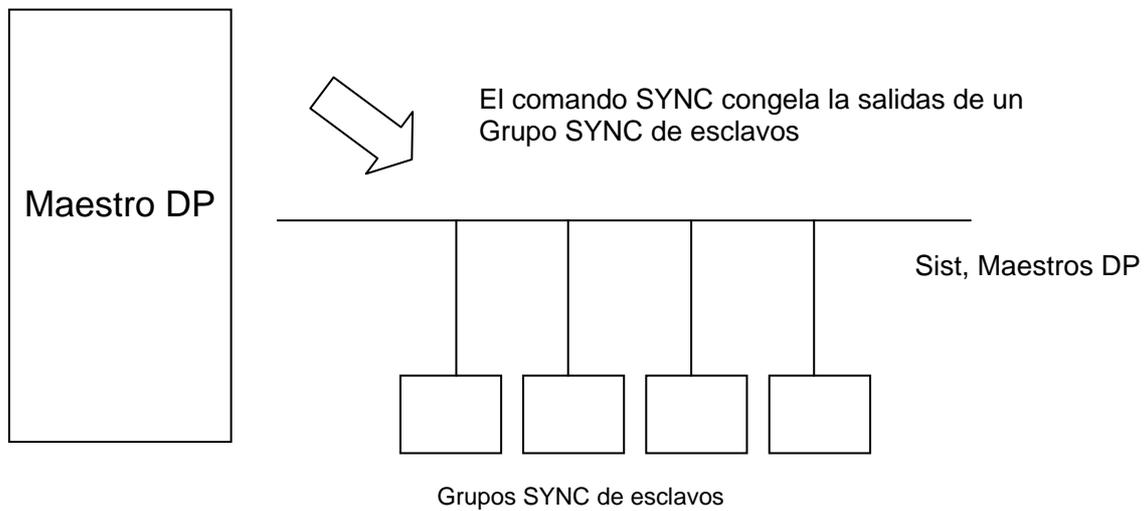
SYNC. Normalmente, el maestro DP transfiere datos de salida cíclicamente (dentro del ciclo del bus PROFIBUS DP) a las salidas de los esclavos DP.

Cuando se quiera que determinados datos de salida (que puedan estar repartidos entre varios esclavos) sean emitidos al proceso exactamente en el

mismo instante, se debe enviar el comando de control SYNC al correspondiente maestro DP aplicando la función SFC11 "DPSYC\_FR".

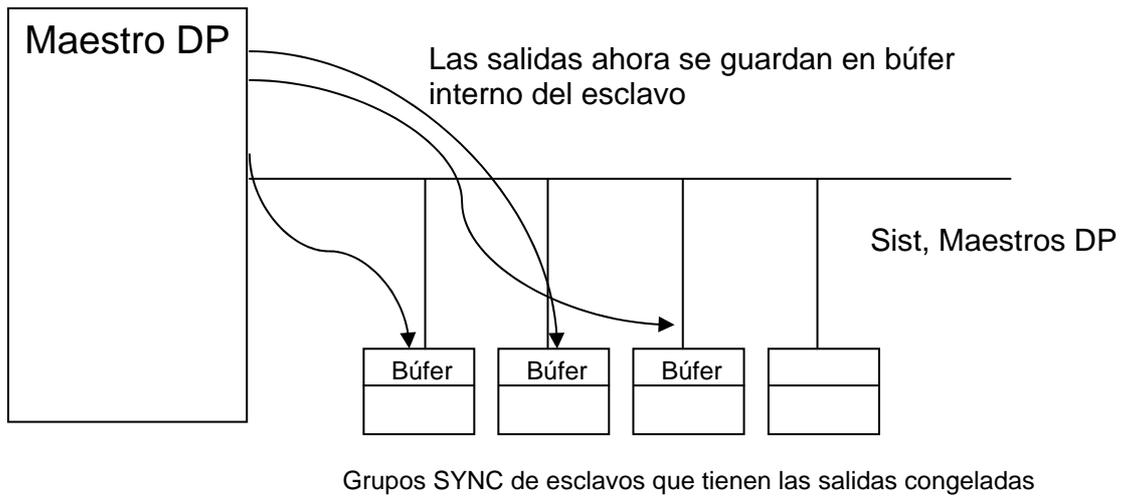
Funcionamiento de SYNC:

Con el comando de control SYNC los esclavos DP de los grupos especificados cambian al modo SYNC, esto es el maestro DP transfiere los datos de salida actuales y hace que los esclavos DP afectados congelen las salidas.



**FIG. 4.6 Diagrama maestro-esclavo del sistema Maestro DP**

En los sucesivos telegramas de respuesta, los esclavos DP guardan los datos de salida en un búfer interno, de tal modo que los valores de salidas no cambian.



**FIG. 4.7 Diagrama maestro-esclavo del sistema Maestro DP con búfer**

Los esclavos DP de los grupos seleccionados depositan los datos de salida de su búfer interno en las salidas del proceso cada vez que se da el comando SYNC.

## **Conclusiones**

Un proyecto que aporte a la sociedad y al medio ambiente es un tema que incumbe a todos los habitantes específicamente de todos los profesionistas ya que recurrir a la idea de permanecer con los esquemas actuales de vida se estará constantemente recurriendo a errores y faltas en todos los aspectos de nuestra vida. El medio ambiente hoy en día se toma a la ligera pero es un tema a considerar ya que cada vez es más su deterioro y nos afecta aunque intentemos soslayar los daños que estamos causando por la imprudencia de nuestros actos hacia la naturaleza, el implementar proyectos que aporten no solo el ámbito civil si no también en materia de medio ambiente siempre será reconocido y tendrá consecuencias positivas que a futuro mejorará nuestra calidad de vida.

La sobre explotación de los mantos acuíferos, ríos, lagos y lagunas alteran nuestro subsuelo y al mismo tiempo a los seres vivos que dependen de ella. Un proyecto con éste fin puede aportar beneficios en todos los aspectos del desarrollo de nuestro país ya que evitaríamos abusar de nuestras reservas naturales acuíferas y se obtendrían beneficios económicos a largo plazo porque el gasto de operación es mínimo y de mantenimiento contrario a los actuales que además de dañar el medio ambiente requieren de sistemas complejos para obtener el agua. Actualmente se aprovecha muy poco el agua fluvial en la temporada de lluvias se podría almacenar en aljibes de grandes magnitudes para suministrar el agua durante un largo periodo cuando el temporal de lluvias haya pasado en vez de que el agua fluvial se desperdicie y se contamine en las cloacas sea captado y almacenado para ser distribuido en

una zona determinada, esto disminuiría costos de distribución acortando las distancias y por consecuencia disminuirán las instalaciones hidráulicas, además se disminuiría el calentamiento producido por el asfalto que aportaría a disminuir el calentamiento global. Detalles como estos aparentemente no tienen importancia pero si se suman obtenemos beneficios altos como calidad de vida y ahorro de infraestructura.

## Bibliografía

- ❖ SEW EURODRIVE. Edición 11/2001, “Comunicación en serie MOVIDRIVE”, p.128.
- ❖ SEW EURODRIVE, Edition 10/2001, “Project planning of drives”, p.183.
- ❖ SEW EURODRIVE, Edición 07/2006, “Interfase de bus de campo DFP21B PROFIBUS DP-V1, p. 160.
- ❖ Enrique Ras, “Teoría de Circuitos Fundamentos”, 4<sup>ta</sup> Edición Alfa omega, p.245.
- ❖ Erwin Kreyszing, “Matemáticas Avanzadas para Ingeniería Vol.1”, Editorial Limusa, p 460.

## Otras fuentes

<http://www.sew-eurodrive.com>

[https://pcs.khe.siemens.com/efiles/pcs7/pdf/78/prdbrief/kb\\_profibus\\_es.pdf](https://pcs.khe.siemens.com/efiles/pcs7/pdf/78/prdbrief/kb_profibus_es.pdf)

<http://es.wikipedia.org>

[http://tecnosim.weebly.com/uploads/8/2/5/0/82505/catlogo\\_2\\_cfw09.pdf](http://tecnosim.weebly.com/uploads/8/2/5/0/82505/catlogo_2_cfw09.pdf)

<http://www.farmscale.com/Esp/Products/Sensori.html#CAS>