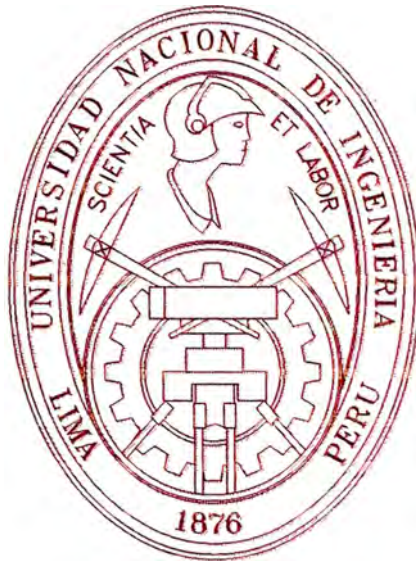


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“MODIFICACION DEL SISTEMA DE VARIACION DE  
VELOCIDAD DE UN DECANTADOR CENTRIFUGO DE  
40,000 l/h DE CAPACIDAD**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECATRONICO**

**JOSE LUIS BECERRA FELIPE**

PROMOCION 2000-II

LIMA-PERU

2005

# INDICE

Prólogo	01
<b>CAPITULO I</b>	<b>02</b>
Introducción	
<b>CAPITULO II</b>	<b>03</b>
Fundamento Teórico	
2.1 Modulación por Ancho de Pulso (PWM)	03
2.1.1 Esquema básico	04
2.2 Tecnología de Control Vectorial	11
2.2.1 Principales Tecnologías de Control Vectorial	12
2.2.1.1 Volts/Hertz	12
2.2.1.2 Sensorless Vector	14
2.2.1.3 Flux Vector	16
2.2.1.4 Field Oriented Control	17
2.3 Determinación de los Parámetros de Circuito equivalente de un motor AC Trifásico	18
2.3.1 Prueba de Vacío	19
2.3.2 Prueba DC para determinar la Resistencia del Estator	21
2.3.3 Prueba de Rotor bloqueado	23

### **CAPITULO III**

Descripción y Especificaciones Técnicas del Equipo	30
3.1 Especificaciones Técnicas del Equipo	30
3.2 Principio de Funcionamiento	

### **CAPITULO IV**

Análisis Sistema Actual	32
4.1 Descripción del Control de Velocidad Diferencial (DSC)	32
4.1.1 Modos de Funcionamiento	33
4.2 Análisis del Comportamiento del DSC	35
4.3 Funcionamiento del Sistema Hidráulico	37

### **CAPITULO V**

Sistema Propuesto	39
5.1 Criterios de Diseño	40
5.1.1 Protección contra sobrecarga de Torsión	41
5.1.2 Solución del problema de Torque a bajas velocidades	43
5.1.3 Valores máximos de trabajo	43
5.2 Determinación de velocidad y potencia del motor	44
5.3 Acondicionamiento de las señales de control	46
5.4 Características del variador de frecuencia	47
5.5 Programación del variador de frecuencia	48

## CAPITULO VI

Análisis de costos	54
Conclusiones y Observaciones	55
Bibliografía	56
Anexos	57

# PROLOGO

La variación de velocidad diferencial de las decantadoras centrífugas FPNX 934 se realiza por medio de un sistema hidráulico. Los costos de mantenimiento de este sistema son elevados y su reparación puede demorar semanas, en el caso que se tenga que importar algún repuesto. Este fue el principal motivo para buscar otras alternativas de variación de velocidad diferencial, optándose por un variador electrónico de frecuencia, el cual, además de tener un costo de mantenimiento mucho menor, presenta un ahorro de energía considerable.

La propuesta se ha desarrollado en seis capítulos

**Capítulo I**, es la introducción del trabajo.

**Capítulo II**, "Fundamento Teórico", que revisa la teoría de la Modulación por Ancho de Pulso, las Tecnologías de Control Vectorial y el Método para Determinar los Parámetros de Circuito Equivalente de un Motor AC.

**Capítulo III**, "Descripción y Especificaciones Técnicas del Equipo", realiza la revisión de la Decantadora Centrífuga y del principio de funcionamiento utilizado.

**Capítulo IV**, "Análisis del Sistema Actual", es el estudio riguroso del Sistema Motriz Hidráulico, así como del Controlador de Velocidad Diferencial del Equipo, su importancia en el proceso de decantación y sus modos de funcionamiento.

**Capítulo V**, "Sistema Propuesto", presenta los diagramas de bloques del sistema hidráulico y del que se propone; enumerándose las señales utilizadas por el sistema hidráulico, ubicando su equivalencia para el nuevo sistema, haciéndose los cálculos para determinar el nuevo motor y el variador de frecuencia necesarios; y, finalmente, desarrolla la programación del variador elegido.

**Capítulo VI**, "Análisis de Costos", muestra la factibilidad del proyecto. Se incluyen, además, los planos eléctricos a ser modificados y en los anexos tenemos una descripción del DSC; asimismo, el despiece del sistema hidráulico y fotografías de la Decantadora funcionando con el Sistema Hidráulico y el Variador de Frecuencia.,  
Finalmente se presentan las conclusiones y observaciones.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

Grupo Sipesa actualmente tiene 14 separadoras de sólidos (decantadoras centrífugas) FPNX934B distribuidas en sus 8 plantas pesqueras. Estas son utilizadas para separar los sólidos de los líquidos y grasas del licor proveniente de cocinas y prensas. Estos equipos son la parte principal del Sistema de Recuperación de Sólidos de una planta de harina de pescado, representando el 10% de la producción de harina. Además, forman parte del Plan de Adecuación y Medio Ambiente (PAMA) y su funcionamiento es de vital importancia tanto para la empresa como para evitar la contaminación del mar.

Una parte importante de estos equipos es el Control de Velocidad Diferencial, del cual depende la eficiencia de la máquina en la separación de los sólidos. Este sistema es hidráulico, susceptible de fallas y con costos de mantenimiento elevados. En este trabajo se plantea el cambio del sistema hidráulico por un variador de frecuencia electrónico. Este cambio permite mejorar la eficiencia del sistema y disminuir los costos de mantenimiento.

## CAPITULO II

### FUNDAMENTO TEORICO

#### 2.1 MODULACION POR ANCHO DE PULSO (PWM).-

La modulación por ancho de pulso es una técnica que nos permite generar señales similares a las senoidales a partir de señales continuas. El método PWM es muy popular en la generación de sistemas de alimentación de frecuencia variable, pues tiene una ventaja que lo destaca del resto: con él la frecuencia de la tensión de salida es fácilmente controlable.

En la figura adjunta se muestra el tipo de onda que se pretende obtener (una senoide convencional); y, en segundo término, lo que verdaderamente se obtiene.

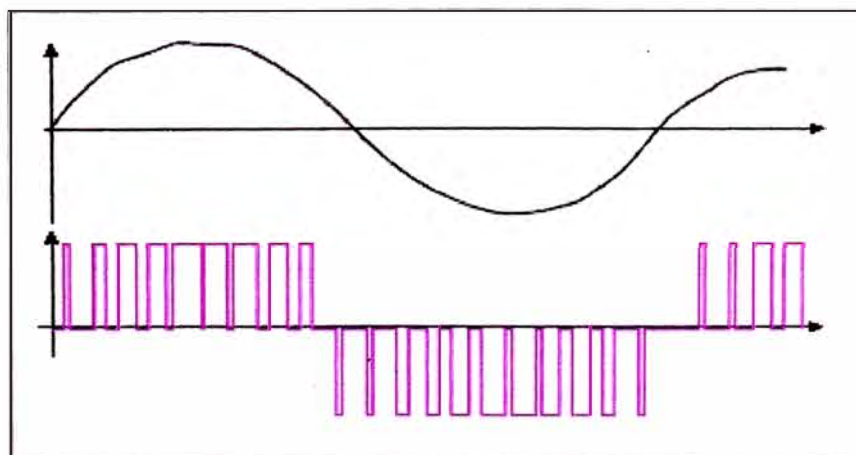


Figura 1. Onda Senoidal y Onda PWM



Como se aprecia en la figura 1, la esencia del método consiste en generar un tren de pulsos de altura fija, pero de ancho "más o menos" proporcional a la amplitud de la onda. No se obtiene una tensión senoidal; sin embargo, se puede aproximar lo suficiente seleccionando los valores adecuados en cantidad de pulsos por ciclo, duración de los pulsos y el espaciamiento de los pulsos.

### 2.1.1 ESQUEMA BASICO.-

El esquema básico de funcionamiento de este inversor se muestra en la figura 2:

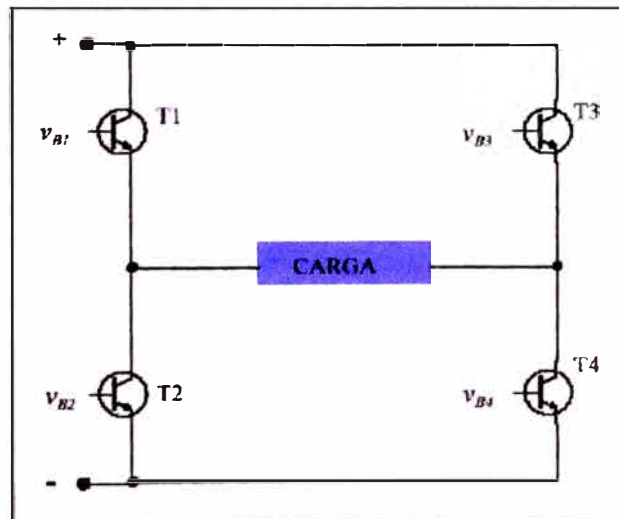


Figura 2. Esquema básico: Modulación por Ancho de Pulso

Hay una carga en medio de cuatro transistores de potencia, los cuales se alimentan con tensión continua.

Dependiendo de cómo se encuentren los transistores (cortados o saturados) se puede hacer que con una sola alimentación, la corriente que pase por la carga tenga una u otra dirección. Es decir, si se activan T1 y T4:

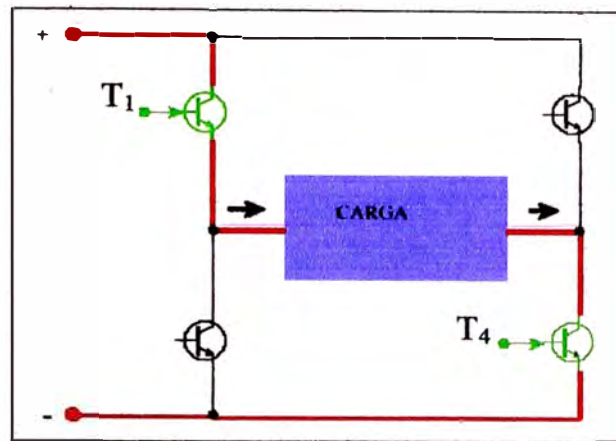


Figura 3: PWM Accionamiento 1

La corriente circula de izquierda a derecha. Mientras que si los transistores activados son T2 y T3, la corriente circula de derecha a izquierda. (figura 4)

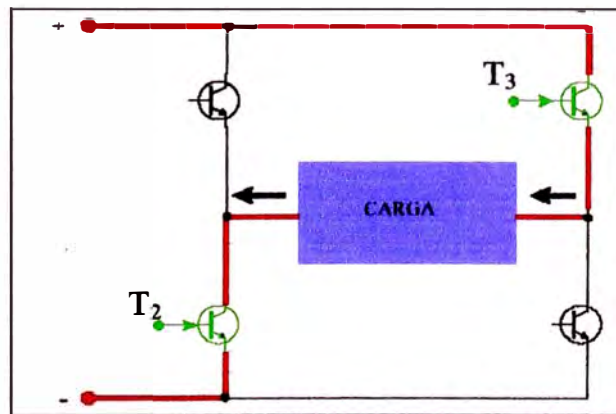


Figura 4. PWM Accionamiento 2

Para conseguir que se alternen los transistores en la conducción, el procedimiento consiste en disponer como tensión de alimentación de las bases de los transistores, las salidas de dos comparadores. El comparador A controla T1 y T2 y el B controla T3 y T4, de forma tal que nunca los dos transistores estén conduciendo simultáneamente (en ese caso tendríamos un cortocircuito). Hay tres señales que gobiernan el funcionamiento de los comparadores:  $v_{ent}(t)$  (común para los dos),  $v_x(t)$  y  $v_y(t)$  (específicas de cada uno de los comparadores). (figura 5).

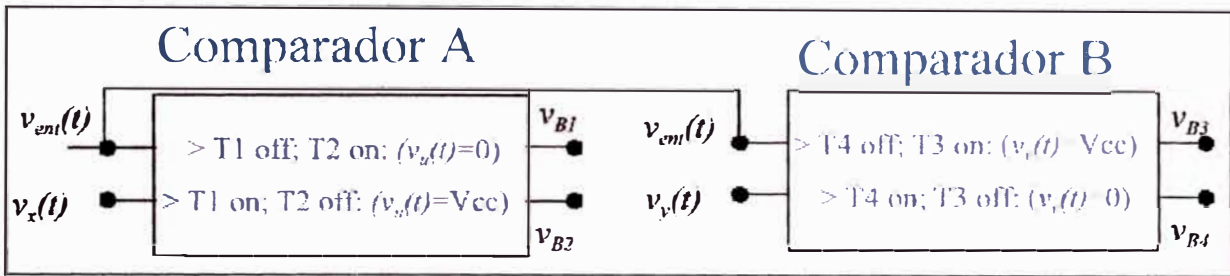


Figura 5. Señales que gobiernan el funcionamiento del PWM

El funcionamiento de los comparadores se indica en la figura 6.

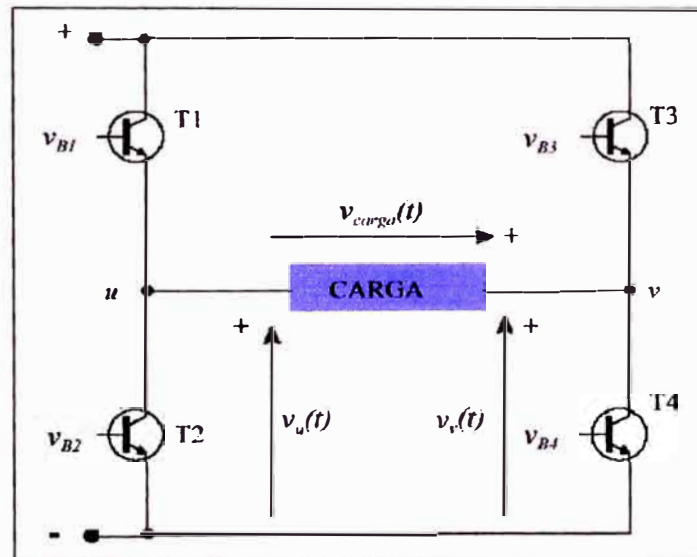


Figura 6. Funcionamiento de los comparadores de señal

Para el comparador A, si la señal mayor es la tensión  $v_{ent}(t)$ , entonces se activa T2 y se corta T1, consiguiéndose que la tensión en el nodo "u" sea cero voltios; mientras que si la tensión mayor es  $v_x(t)$ , entonces se activa T1 y se corta T2, con lo que la tensión en el nudo u es ahora Vcc. Para el comparador "B" las señales de entrada son  $v_{ent}(t)$  y  $v_y(t)$ , y el funcionamiento es tal que si la tensión mayor es  $v_{ent}(t)$  entonces se hace conducir a T3 con lo que se consigue que en el nodo "v" la tensión sea Vcc, y si la mayor es la tensión  $v_y(t)$  entonces se hace conducir a T4.

Las tensiones  $v_x(t)$  y  $v_y(t)$  corresponden a formas de onda triangulares con un desfase de  $180^\circ$  (en todo momento  $v_x(t) = -v_y(t)$ ); las dos ondas son fijas en cuanto a frecuencia y amplitud). (figura 7)

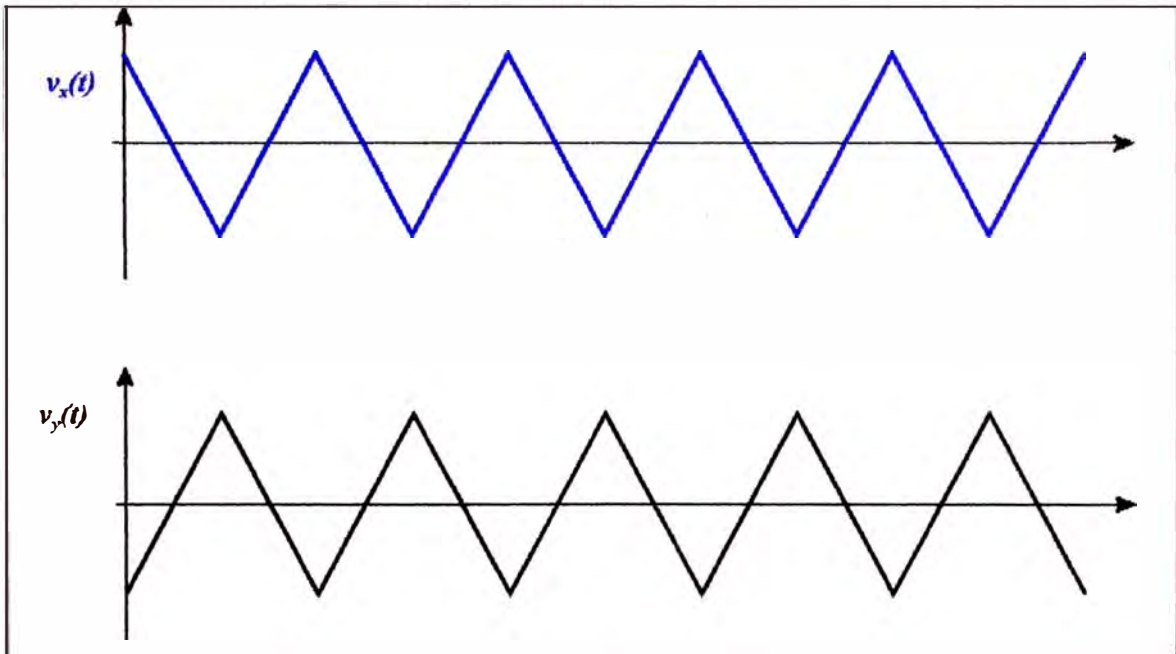


Figura 7. Señales de referencia  $V_x$  y  $V_y$

Dependiendo de la tensión de entrada a los comparadores, las tensiones en los nodos "u" y "v" variará y en consecuencia la tensión en la carga ( $v_u - v_v$ ) también lo hará. Así por ejemplo, si la tensión de entrada es nula, la tensión en la carga también lo es. (figura 8).

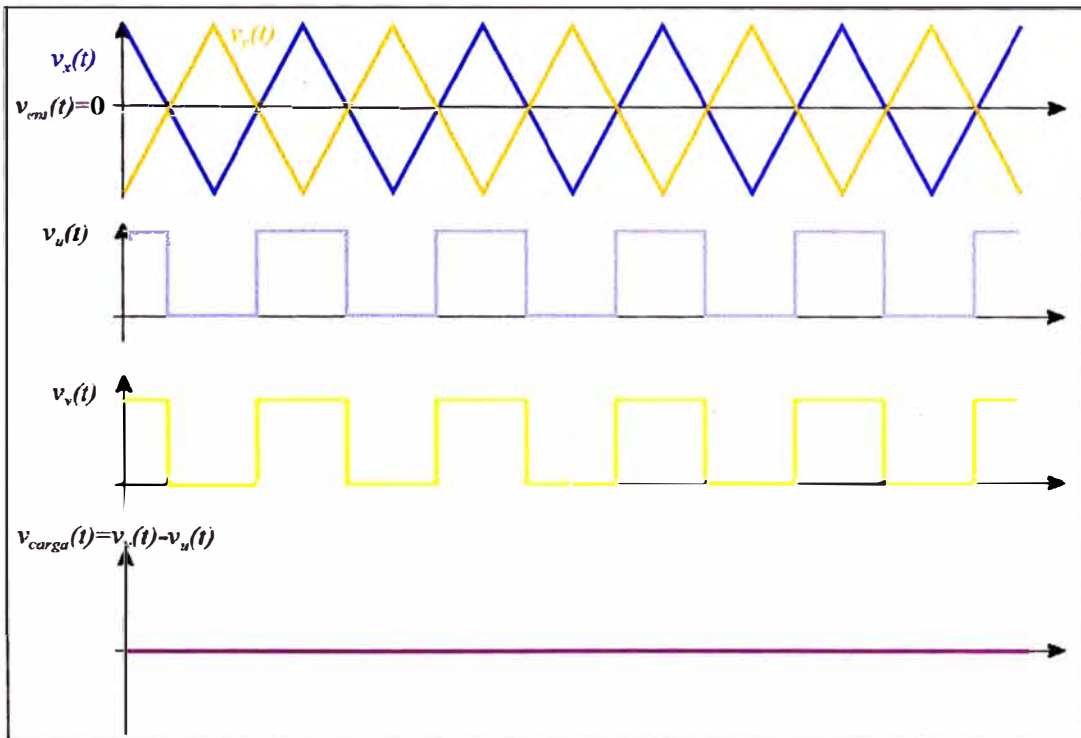


Figura 8. Tensión de salida a Tensión de entrada 0 V.

Para diferentes valores de la tensión de entrada las tensiones resultantes en la carga tendrían la forma siguiente:

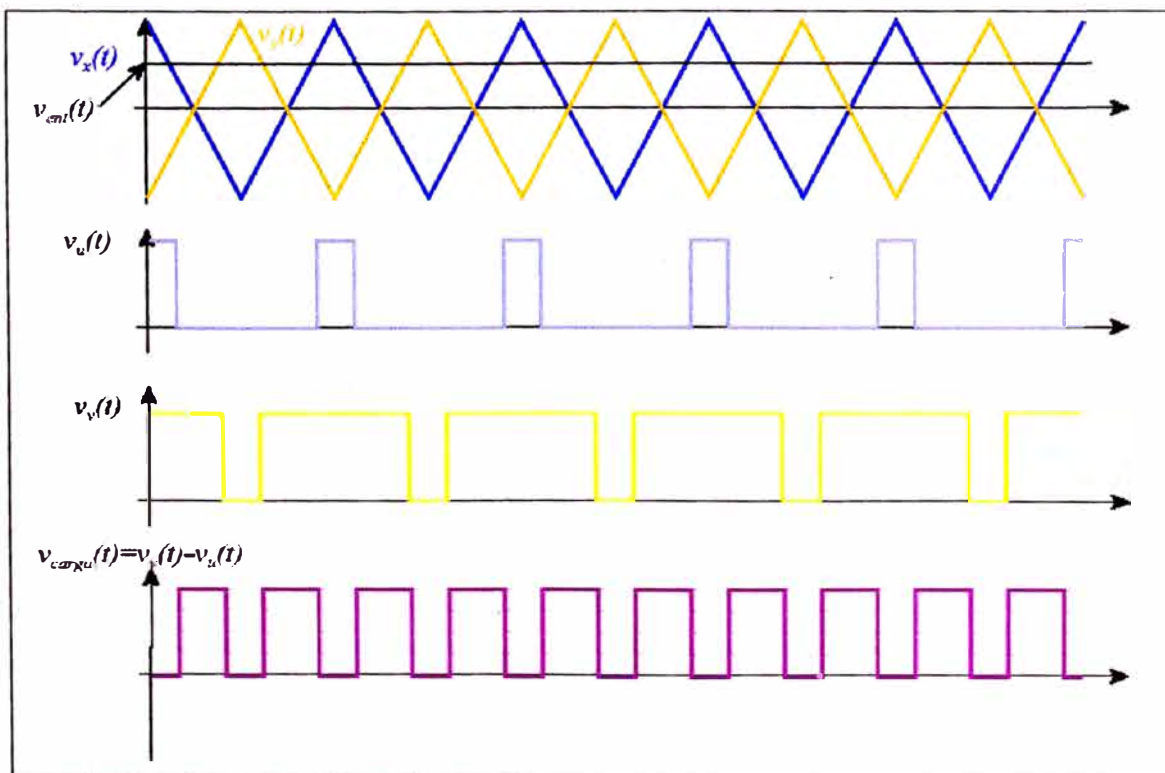


Figura 9. a) Señal resultante ante diversos valores de señal de entrada

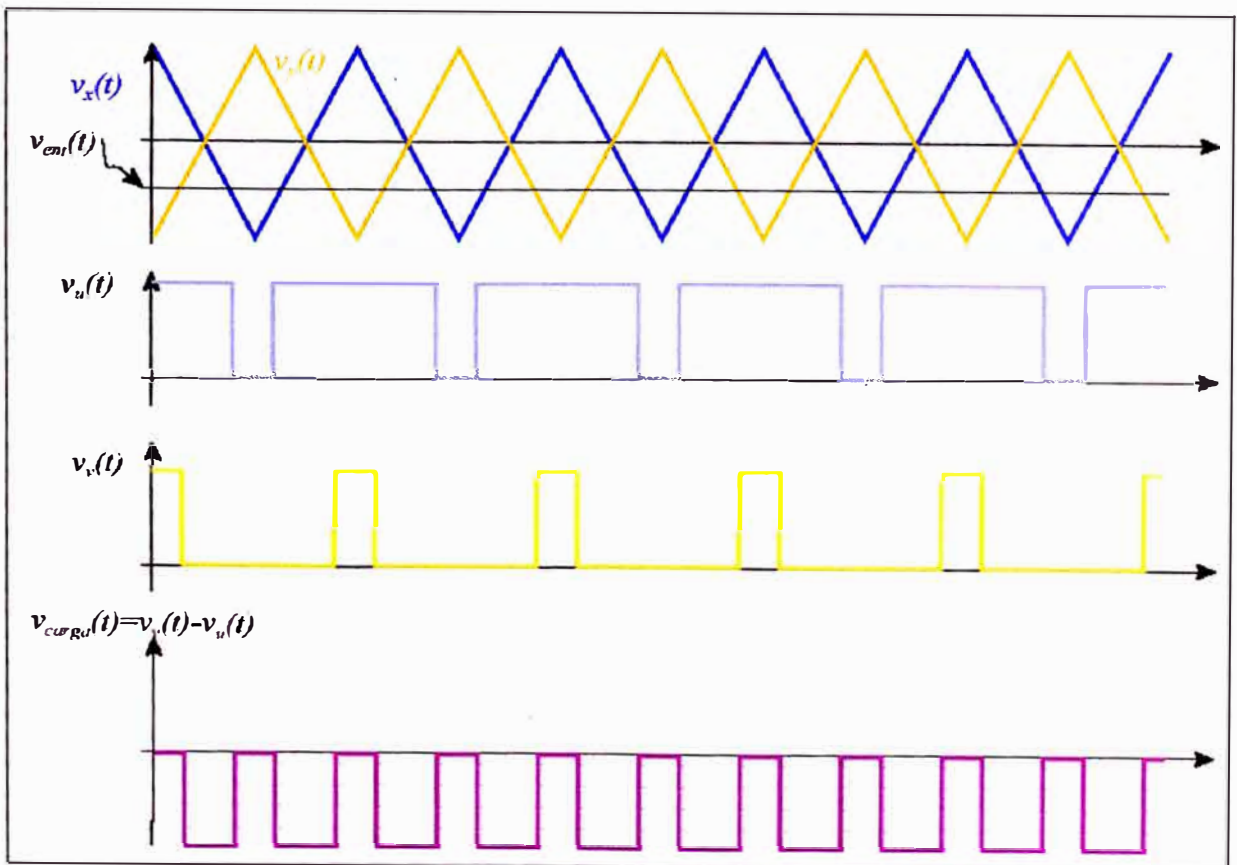
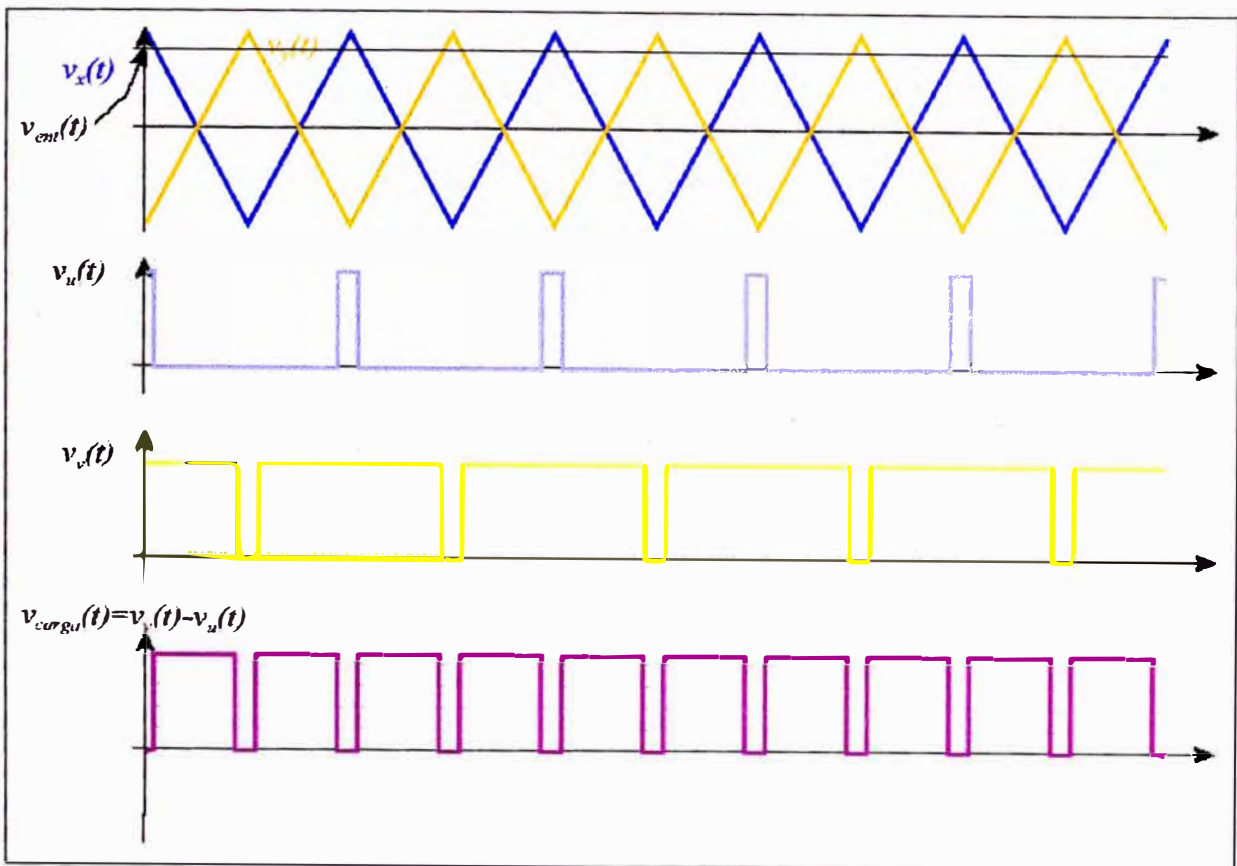


Figura 9. b y c Señales resultantes ante diversos valores de señal de entrada



Y si finalmente, la tensión de entrada se hace variar sinusoidalmente, la tensión en la carga tendrá un aspecto como el deseado en un principio (figura 10):

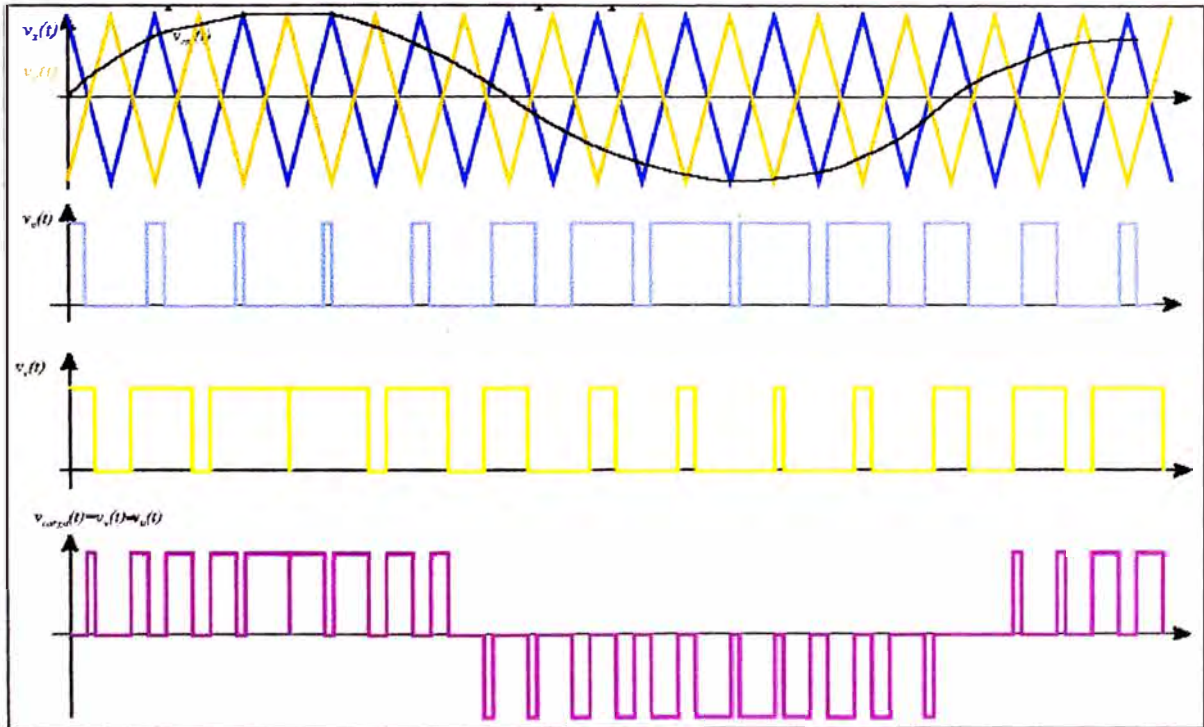


Figura 10. Respuesta del comparador ante una señal de entrada sinusoidal

De modo que al final, dependiendo de la frecuencia y amplitud de la señal de entrada, se consiguen señales de frecuencia y amplitud equivalentes, pero moduladas según el ancho de pulso (figura 11):

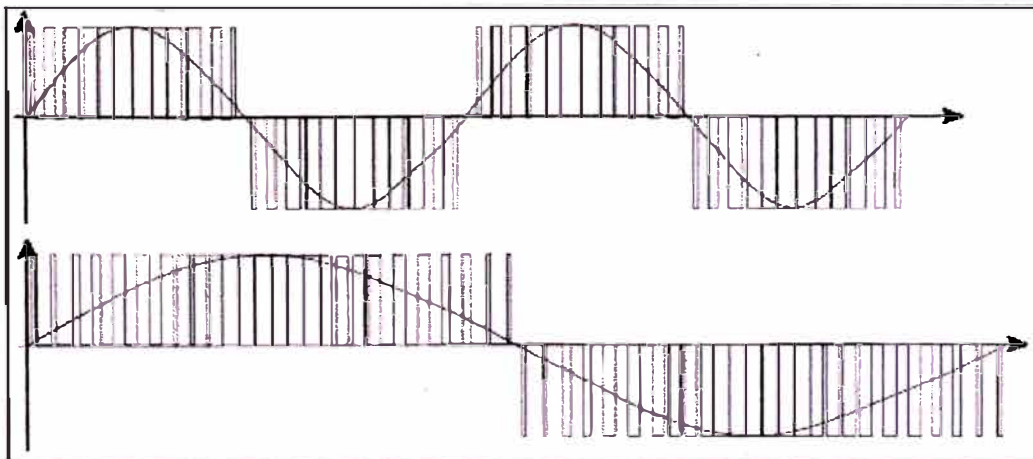


Figura 11. a) Respuesta del comparador ante señales sinusoidales de diversas frecuencias

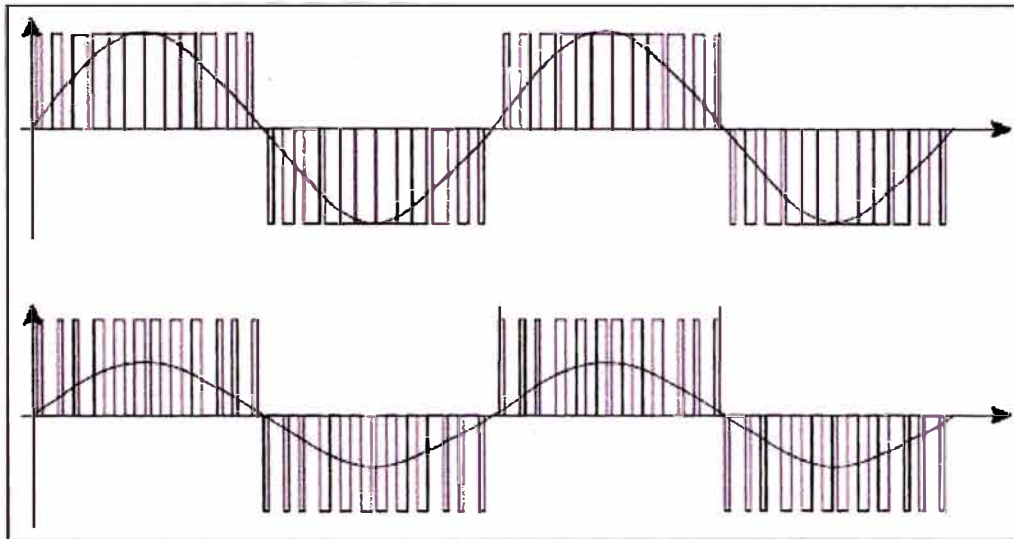


Figura 11. b) Respuesta del comparador ante señales sinusoidales de diversas frecuencias

## 2.2 TECNOLOGIA DE CONTROL VECTORIAL.-

La tecnología de control vectorial (a veces denominada Control de Campo Orientado) es un esquema de control de lazo cerrado que emplea un algoritmo para ajustar la frecuencia y fase del voltaje, así como la corriente aplicada a un motor de inducción trifásico. El control vectorial separa la corriente del motor en sus componentes productores de par ( $I_q$ ) y flujo ( $I_d$ ). Estos componentes son ajustados en forma independiente y sumados vectorialmente para mantener, entre ellos, una relación de 90 grados. Esto produce un par máximo desde la velocidad base hasta la velocidad cero, inclusive. Al excederse la velocidad base, el componente de flujo es reducido para operación a potencia (HP) constante. Aparte de la corriente, también se controla la frecuencia eléctrica. La frecuencia del voltaje, aplicada al motor, se calcula a partir de la frecuencia de deslizamiento y de la velocidad mecánica del rotor. Esto proporciona un ajuste instantáneo del ángulo de fase de corriente y voltaje como respuesta a la retroalimentación de velocidad y posición provista por un codificador montado en el eje del motor.

Diferentes tecnologías implementan distintos grados de control sobre uno o más de estos componentes ( $I_d$ ,  $I_q$  y el ángulo entre ellos), con la finalidad de mejorar la respuesta ante las variables siguientes: torque de arranque, torque a bajas



velocidades, velocidad de reacción ante variaciones de carga, regulación de velocidad, regulación de torque y otros parámetros medibles.

## 2.2.1 PRINCIPALES TECNOLOGIAS DE CONTROL VECTORIAL.-

Los inversores de corriente alterna que usan la Modulación por Ancho de Pulso (PWM), varían su performance de acuerdo al algoritmo de control usado. Existen cuatro tipos básicos de control, estos son: Voltaje/Hertz, Sensorless Vector Control, Flux Vector Control y Field Oriented Control.

### 2.2.1.1 Volts/Hertz.-

Este es uno de los métodos más populares que buscan controlar variables como frecuencia, voltaje o corriente. Las señales de comando y realimentación son señales DC proporcionales a las variables respectivas de control.

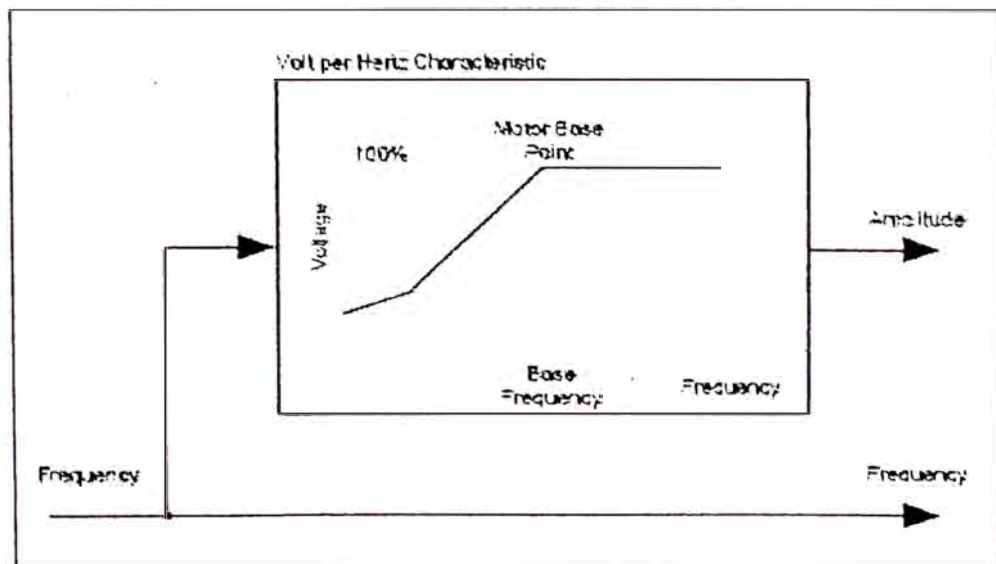


Figura 12. Esquema de funcionamiento control Volts/Hertz

Este esquema está definido como una relación Voltaje/frecuencia, porque el voltaje aplicado se calcula directamente a partir de la frecuencia, buscando mantener la magnitud del componente productor de flujo ( $I_d$ ) constante. En operación, en estado estable, este componente es aproximadamente

proporcional a la relación  $V_s/f_s$ , donde  $V_s$  es la amplitud del voltaje y  $f_s$  es la frecuencia sincronía aplicada al motor. Este sistema de control es ilustrado en la figura 13. Las características están definidas en el punto base de operación del motor. Debajo del punto base el motor opera a una excitación óptima, denominada operación a torque constante, debido al ratio constante  $V_s/f_s$ . Sobre este punto el motor opera sub-excitado, llamada operación a potencia constante, debido al límite de voltaje establecido.

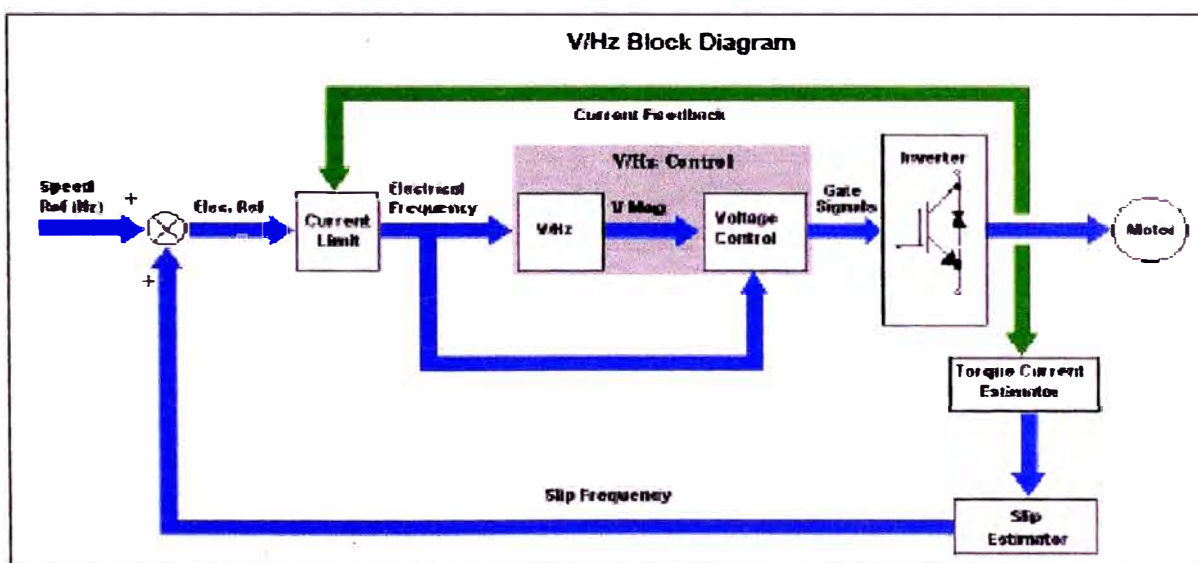


Figura 13. Diagrama de Bloques Control V/Hz

Este tipo de control es muy bueno para aplicaciones de propósito general como ventiladores y bombas; sin embargo, no es recomendable para aplicaciones que requieren alta performance ante variaciones de velocidad y torque, aplicaciones donde el motor trabaja a velocidades muy bajas o aplicaciones que requieren controlar el torque.

En el gráfico siguiente se muestran pruebas experimentales en los que se establece una velocidad de referencia. Luego la carga en el motor es incrementada. Notar cómo el torque de salida disminuye a bajas velocidades de referencia. Esta es una característica normal en este tipo de control y es una de las razones por las que el rango de operación de los drivers V/Hz es alrededor de 20:1. Cuando la carga se

incrementa, la velocidad del motor cae. Este inconveniente es resuelto con el siguiente tipo de control.

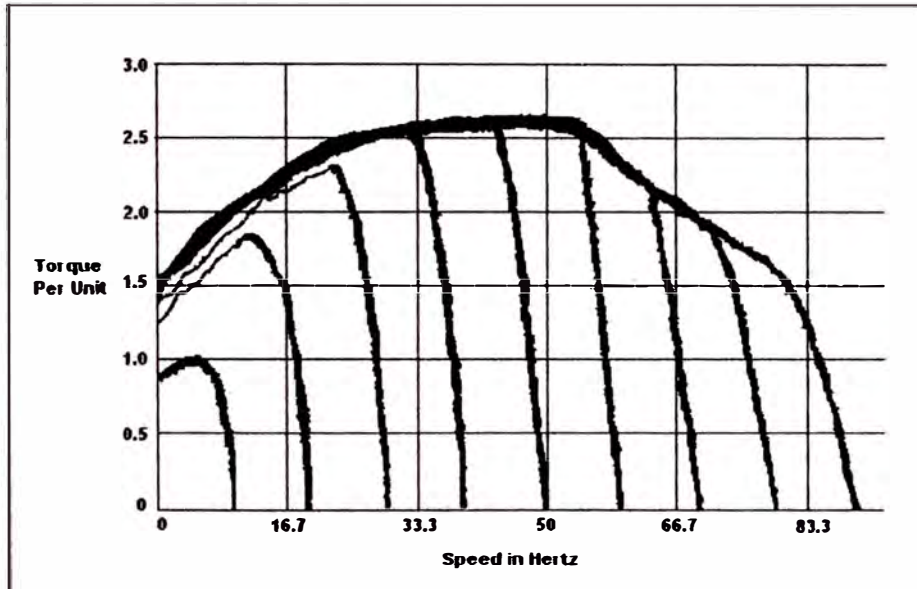


Figura 14. Respuesta Torque Vs. Frecuencia V/Hz

### 2.2.1.2 SENSORLESS VECTOR.-

Este tipo de control, mantiene el principio del V/Hz; además, se implementa una compensación al deslizamiento para mantener la velocidad real del motor cercana a la velocidad deseada. También se estima la corriente de torque ( $I_q$ ), utilizando observadores de estado.

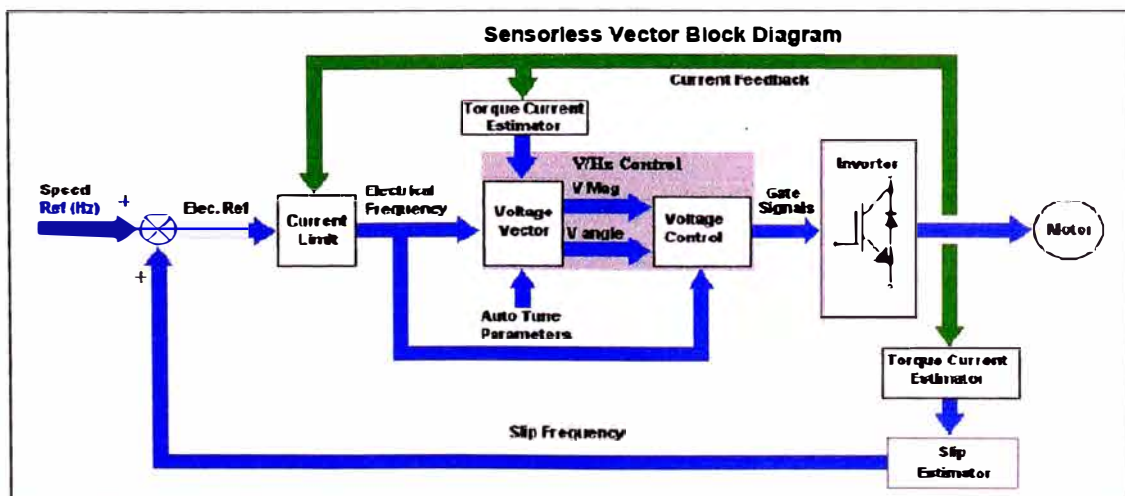


Figura 15. Diagrama de Bloques Control Sensorless

La señal de frecuencia recibida y el torque estimado, nos proporciona la magnitud del voltaje y el ángulo entre el vector voltaje y el vector corriente. Debido a este control del ángulo del vector voltaje, es posible obtener una mejor respuesta a bajas velocidades de operación.

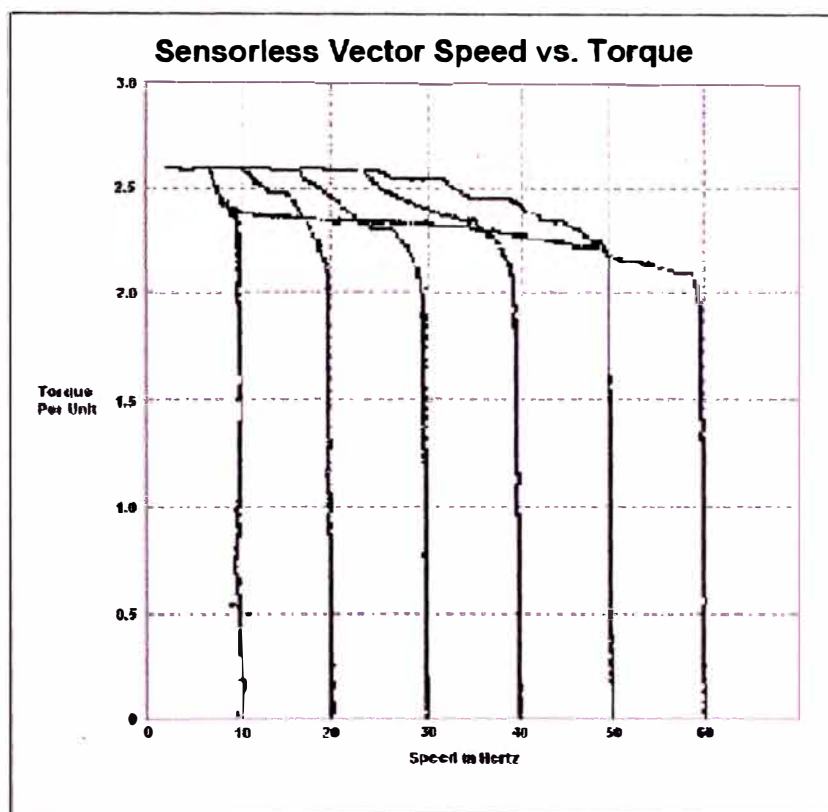


Figura 16. Respuesta Torque Vs. Frecuencia. Control Sensorless

Esta tecnología nos ofrece un nivel intermedio de performance, mayor que V/Hz, pero menor que Field Oriented Control. Sensorless o control vectorial de lazo abierto brinda mejores características de torque al arranque, aceleración e incremento de carga, un amplio rango de torque-velocidad y mejor respuesta de torque a bajas velocidades. Sin embargo, no se controla el torque y no se puede regular la magnitud del torque producido en un motor. Este tipo de control no puede competir con el Field Oriented, en cuanto a respuesta dinámica, alta performance ante variación y rango de velocidad, respectivamente.



### 2.2.1.4 FIELD ORIENTED CONTROL.-

Lo que distingue a este tipo de control al resto, es que utiliza un controlador adaptivo adicional, el que proporciona un control independiente de torque y flujo. Tiene la capacidad de regular la velocidad y el torque, debido a que es posible controlar ambos componentes de corriente, y el ángulo entre ellas. Estos drivers proporcionan excelentes características de torque frente a un cambio de velocidad.

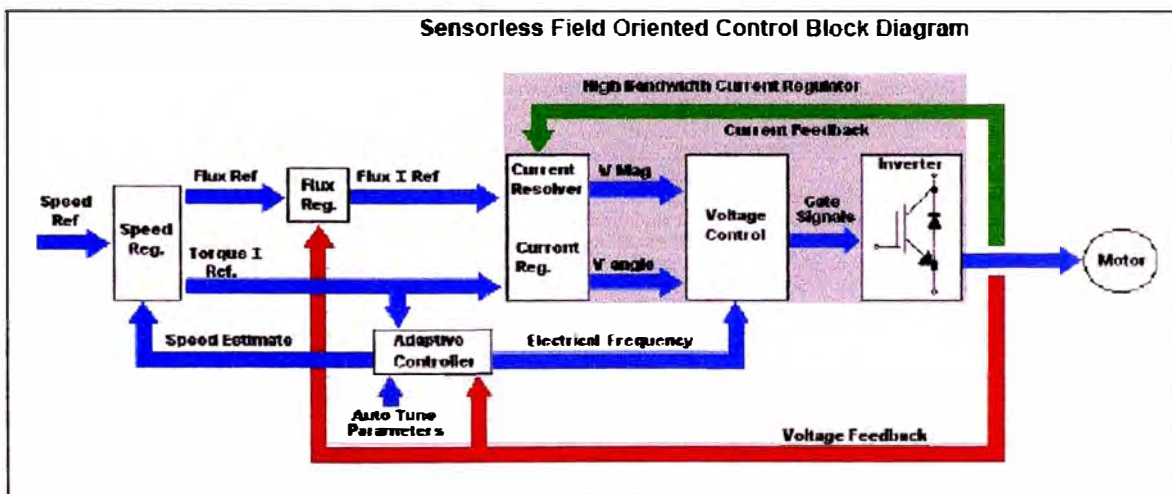


Figura 19. Diagrama de Bloques. Field Oriented Control

Nos proporciona el mejor control de torque y velocidad disponibles para motores AC. El motor de inducción responde con la misma performance de un motor DC, y es apropiado para aplicaciones típicas de motores DC.

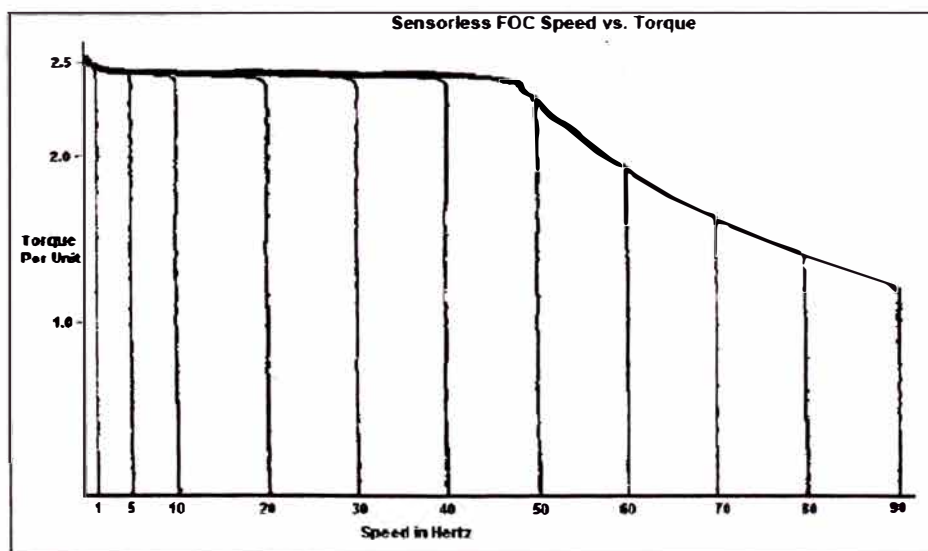


Figura 20. Respuesta Torque Vs. Frecuencia. Field Oriented Control



Este cuadro nos muestra una comparación de las características entre tres tecnologías de control: V/Hz, sensorless vector y field oriented control.

**Tabla 1: Comparativo de la performance de tres técnicas de control principales**

	Volls/Hertz	Sensorless Vector	Field Oriented Control
Control de Velocidad	Control de Frecuencia c/ compensación al resbalamiento	Control de Frecuencia c/ comp al resbalamiento o Retroalimentación con encoder	Control de velocidad o Retroalimentación con encoder
Regulación de velocidad	1%	Comp Resb 0.5% Encoder .1%	Lazo abierto 0.5% Lazo cerrado .1%
Regulación de Torque	NA	NA	Depende Motor 2 - 5%
Torque de Arranque	150%	250%	Dependiendo del Driver y el motor 150% Minimo 400% Maximo
Torque en Aceleración	150%	150%	Dependiendo del Driver y el motor 150% Minimo 400% Maximo
Torque Pico	250%	260%	Dependiendo del Driver y el motor 150% Minimo 400% Maximo

### 2.3 DETERMINACION DE LOS PARAMETRÓS DE CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN MOTOR AC TRIFASICO.-

El circuito equivalente de un motor de inducción es una herramienta muy útil para determinar la respuesta del motor a los cambios de carga. Sin embargo, si se va a utilizar un modelo para la máquina real, es necesario determinar qué valores se utilizarán en el modelo. En este capítulo trataremos los métodos para determinar los valores de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_M$ .

Estos conjuntos de información se pueden hallar conformando una serie de pruebas en el motor de inducción, análogas a las pruebas de corto circuito y de circuito abierto realizadas en un transformador. Las pruebas deben llevarse a cabo bajo condiciones perfectamente controladas, puesto que las resistencias varían con la temperatura, y la resistencia del rotor varía también con su frecuencia. Los detalles

precisos de cómo debe realizarse cada prueba en los motores de inducción para alcanzar resultados exactos, están en la norma 112 de la IEEE.

### 2.3.1 PRUEBA DE VACIO.-

En un motor de inducción la prueba de vacío mide las pérdidas rotacionales del motor y suministra información sobre su corriente de magnetización. El circuito para esta prueba se muestra en la figura 21-a

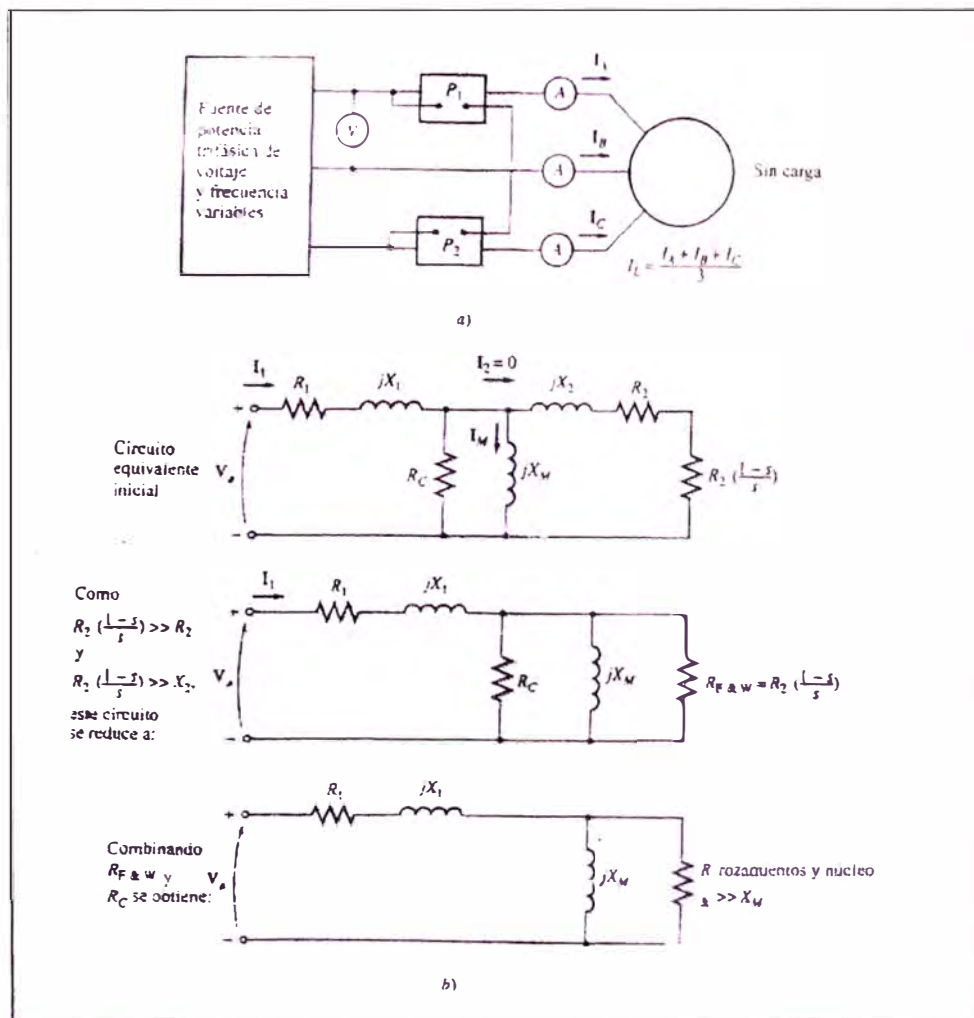


Figura 21. a) Configuración para prueba de Vacío motores AC.  
b) Circuito equivalente del motor

Los vatímetros, un voltímetro y un amperímetro se conectan al motor de inducción al cual se le permite girar libremente. La única carga que tiene el motor es el rozamiento propio y el rozamiento con el aire, de modo que  $P_{conv}$



es consumida en el motor por las pérdidas mecánicas y el deslizamiento del motor es muy pequeño (cerca de 0.001 o menor). En la figura 21-b se muestra el circuito equivalente de este motor. Con este pequeño deslizamiento, la resistencia correspondiente a su potencia convertida,  $R_2(1-s)/s$ , es mucho mayor que la resistencia correspondiente a las pérdidas en el cobre del rotor  $R_2$  y mucho mayor que la reactancia del motor  $X_2$ . En este caso, el circuito equivalente se reduce aproximadamente al último de los circuitos mostrados en la figura 21-b. Allí, la resistencia de salida está en paralelo con la reactancia de magnetización  $X_M$ , y la resistencia de pérdidas en el núcleo  $R_C$ .

En este motor, en condiciones de vacío, la potencia de entrada medida por los vatímetros debe ser igual a las pérdidas en el motor. Las pérdidas en el cobre del rotor son despreciables porque la corriente  $I_2$  es extremadamente pequeña [debido a la gran resistencia de carga  $R_2(1-s)/s$ ], y por tanto puede ser despreciada. Las pérdidas en el cobre del estator están dadas por:

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$$

Por consiguiente la potencia de entrada debe ser igual a :

$$\begin{aligned} P_m &= P_{SCL} + P_{nucleo} + P_{F\&W} + P_{misc} \\ &= 3I_1^2 R_1 + P_{rot} \end{aligned}$$

Donde  $P_{rot}$  son las pérdidas rotacionales del motor:

$$P_{rot} = P_{nucleo} + P_{F\&W} + P_{misc}$$

Entonces, dada la potencia de entrada al motor, se pueden determinar las pérdidas rotacionales de la máquina.

El circuito equivalente que describe la operación del motor en esta condición contiene las resistencias  $R_C$  y  $R_2(1-s)/s$  en paralelo con la reactancia de magnetización  $X_M$ . La corriente necesaria para establecer el campo

magnético es muy grande en un motor de inducción debido a la alta reluctancia de su entrehierro, de modo que la reactancia  $X_M$  será mucho menor que las resistencias en paralelo con ella, y el factor de potencia total de entrada será muy pequeño. Con esa gran corriente en atraso, la mayoría de la caída de voltaje se producirá a través de las componentes inductivas del circuito. La impedancia de entrada equivalente es entonces aproximadamente:

$$|Z_{eq}| = \frac{V_\phi}{I_{1,ef}} = X_1 + X_M$$

y si  $X_1$  puede encontrarse de alguna otra forma, la impedancia de magnetización  $X_M$  será conocida para el motor.

### 2.3.2 PRUEBA DC PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL ESTATOR.-

La resistencia del rotor  $R_2$  juega un papel crítico en la operación de un motor de inducción. Entre otras cosas,  $R_2$  determina la forma de la curva par-velocidad al establecer la velocidad a la cual ocurre el par máximo. Para determinar la resistencia total del circuito del motor, se puede aplicar al motor una prueba estándar, llamada *prueba de rotor bloqueado* (la cual detallamos en la siguiente sección). Sin embargo, esta prueba determina tan solo la resistencia total. Para encontrar la resistencia aproximada del rotor  $R_2$ , es necesario conocer  $R_1$  de modo que ésta se pueda restar de la total.

Existe una prueba para  $R_1$  independiente de  $R_2$ ,  $X_1$  y  $X_2$ , la cual se denomina *prueba dc*. Básicamente, se aplica un voltaje dc a los devanados del estator del motor de inducción. Puesto que la corriente es dc, no hay voltaje inducido en el circuito del rotor y en éste no fluye corriente resultante. Así mismo, la reactancia a corriente directa del motor es cero. Entonces, la

única cantidad que limita el flujo de corriente en el motor es la resistencia del estator, y por tanto, ésta puede ser determinada.

El circuito básico para la prueba dc aparece en la figura 22. Esta figura muestra una fuente de potencia dc conectada a dos de los tres terminales de un motor de inducción conectado en Y. Para realizar la prueba, se ajusta la corriente del estator al valor nominal y se mide el voltaje en los terminales. La corriente en los devanados del estator se ajusta al valor nominal para que los devanados se calienten a la misma temperatura que tendrían durante la operación normal (recuérdese que la resistencia del devanado es función de la temperatura).

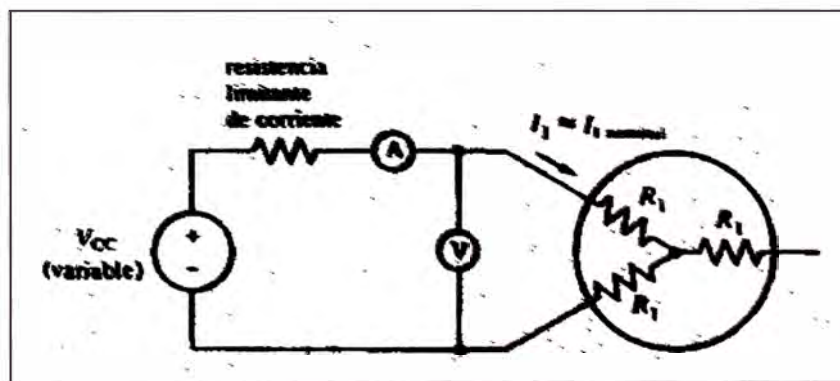


Figura 22. Circuito básico prueba DC

En la figura 22, la corriente fluye a través de dos devanados, de modo que la resistencia total en el camino de la corriente es  $2R_1$ . Entonces:

$$R_1 = \frac{V_{DC}}{2I_{DC}}$$

Conociendo este valor de  $R_1$  se pueden determinar las pérdidas en el cobre del estator en vacío; las pérdidas rotacionales se pueden deducir de la diferencia entre la potencia de entrada en vacío y las pérdidas en el cobre del estator.

El valor de  $R_1$  calculado de esta forma no es muy preciso puesto que se desprecia el efecto pelicular que ocurre cuando se aplica voltaje ac a los devanados.

### 2.3.3 PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO.-

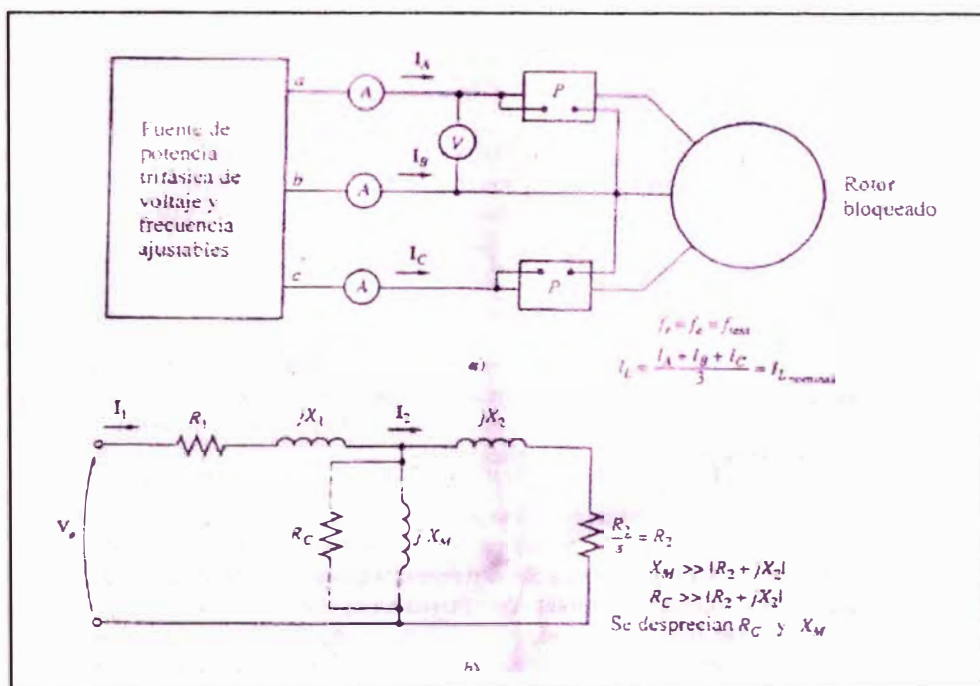
La tercera prueba que se puede realizar en un motor de inducción para determinar los parámetros de circuito se llama *prueba de rotor bloqueado* o algunas veces *prueba de rotor enclavado*. Durante esta prueba que corresponde a la de cortocircuito del transformador, se bloquea o enclava el rotor de tal forma que no se pueda mover, se aplica voltaje al motor y se miden el voltaje, la corriente y la potencia resultantes.

La figura 23-a muestra las conexiones para realizar la prueba de rotor bloqueado. Para llevar a cabo la prueba de rotor bloqueado, se aplica un voltaje al estator y se ajusta el flujo de corriente al valor aproximado a plena carga. Cuando la corriente está en su valor de plena carga, se miden el voltaje, la corriente y la potencia resultante que fluyen hacia el motor.

En la figura 23-b se muestra el circuito equivalente para esta prueba. Nótese cómo el rotor se encuentra quieto, el deslizamiento es  $s=1$  y, por tanto, la resistencia del rotor  $R_2/s$  es justamente igual a  $R_2$  (un valor muy pequeño). Puesto que  $R_2$  y  $X_2$  son tan pequeños, casi toda la corriente de entrada fluirá a través de la reactancia de magnetización  $X_M$  que es mucho mayor. En estas condiciones, el circuito parece la combinación serie de  $X_1$ ,  $R_1$ ,  $X_2$ , y  $R_2$ .

Sin embargo, esta prueba presenta un problema. En operación normal, la frecuencia del estator es la frecuencia de la línea del sistema de potencia (50 o 60 Hz). En condiciones de arranque el rotor también está a la frecuencia de la línea. Sin embargo, en condiciones de operación normal, el deslizamiento de la mayoría de los motores es tan sólo de 2 o 4% y la frecuencia resultante en el rotor está en un rango de 1 a 3 Hz, lo cual crea un problema en cuanto que *la frecuencia de línea no representa las condiciones de operación normal del rotor*. Puesto que la resistencia efectiva del rotor es una función de la frecuencia nominal. Aunque esta aproximación es aceptable para rotores de resistencia constante (diseños

clase A y D), no es aplicable cuando se trata de encontrar la resistencia normal del rotor en un rotor de resistencia variable. Debido a estos y otros problemas similares, se debe tener mucho cuidado al realizar las mediciones durante estas pruebas.



23. a) Configuración para pruebas de rotor bloqueado. b) Circuito equivalente

Después que se han fijado el voltaje y la frecuencia para las pruebas, el flujo de corriente en el motor se ajusta con rapidez cerca del valor nominal y se miden la potencia, el voltaje y la corriente de entrada, antes que el rotor se caliente demasiado. La potencia de entrada al motor está dada por

$$P = \sqrt{3}V_T I_L \cos \theta$$

de modo que el factor de potencia del rotor bloqueado se puede encontrar como

$$PF = \cos \theta = \frac{P_{in}}{\sqrt{3}V_T I_L}$$

y el ángulo de impedancia  $\theta$  es justamente igual al coseno inverso de PF.

La magnitud de la impedancia total en el circuito del motor es

$$|Z_{LR}| = \frac{V_{\phi}}{I_1} = \frac{V_T}{\sqrt{3}I_L}$$

y el ángulo de la impedancia total es  $\theta$ . En consecuencia

$$\begin{aligned} Z_{LR} &= R_{LR} + jX'_{LR} \\ &= |Z_{LR}| \cos \theta + j|Z_{LR}| \sin \theta \end{aligned}$$

La resistencia de rotor bloqueado  $R_{LR}$  es igual a

$$R_{LR} = R_1 + R_2$$

mientras que la reactancia de rotor bloqueado  $X'_{LR}$  es igual a

$$X'_{LR} = X'_1 + X'_2$$

donde  $X'_1$  y  $X'_2$  son las reactancia del estator y del rotor a *la frecuencia de prueba*, respectivamente.

La resistencia del rotor  $R_2$  se puede encontrar a partir de

$$R_2 = R_{LR} - R_1$$

Donde  $R_1$  se determinó de la prueba dc. La reactancia total del rotor referida al estator también se puede encontrar. Puesto que la reactancia es directamente proporcional a la frecuencia, la reactancia equivalente total a la frecuencia de operación normal se puede encontrar como

$$X_{LR} = \frac{f_{nominal}}{f_{test}} X'_{LR} = X_1 + X_2$$

Por desgracia, no hay una forma sencilla de separar las contribuciones de las reactancias recíprocas del rotor y del estator. Durante años, la experiencia ha demostrado que las reactancias del rotor y del estator son proporcionales en motores de ciertos tipos de diseño.

En la tabla 2 se muestran estos datos:

TABLA 2: Reactancias de motores según diseño

DISEÑO DEL ROTOR	$X_1$ y $X_2$ como funciones de $X_{LR}$	
	$X_1$	$X_2$
Rotor devanado	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$
Diseño A	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$
Diseño B	$0.4 X_{LR}$	$0.6 X_{LR}$
Diseño C	$0.3 X_{LR}$	$0.7 X_{LR}$
Diseño D	$0.5 X_{LR}$	$0.5 X_{LR}$

## CAPITULO III

### DESCRIPCION Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL EQUIPO

El equipo en el que se trabajó es una decantadora centrífuga(o separadora de sólidos) Alfa Laval FPNX 934, de 40,000 litros/h de capacidad. Está compuesto por un bowl (rotor), el que es accionado por un motor eléctrico, y un tornillo transportador, cuya velocidad de rotación es dada por un sistema hidráulico y un reductor planetario.

#### 3.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO

Sistema Mecánico	: motor de 70 HP, 1750 rpm
Sistema hidráulico	: motor de 10 HP
Velocidad del rotor máxima	: 3259 rpm
Densidad de los sólidos máxima	: 1.2 kg / dm <sup>3</sup>
Temperatura mínima del líquido a procesar	: 0°C (32°F)
Temperatura máxima del líquido a procesar	: 110°C (230°F)

#### Datos del reductor de velocidad

Tipo	: Reductor planetario
Torque de trabajo	: 2,5 kNm
Relación de reducción	: 1 : 159,5



### 3.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El decantador centrífugo utiliza el principio del proceso de clarificación, por medio del cual se produce la sedimentación de sólidos por efecto de la gravedad y la diferencia de densidades; sin embargo, este proceso es extremadamente lento y ante la necesidad de la industria de un proceso más rápido y controlable, surge la idea de un decantador centrífugo, el que permite una separación continua de líquidos y sólidos. En esencia, una centrífuga es un clarificador alimentado internamente. Girando esta unidad rápidamente simula el efecto de la gravedad, el cual, en este equipo, se puede controlar y aumentar hasta 3000 veces más. Esta fuerza es utilizada para separar sólidos de líquidos en forma eficiente y con gran precisión.

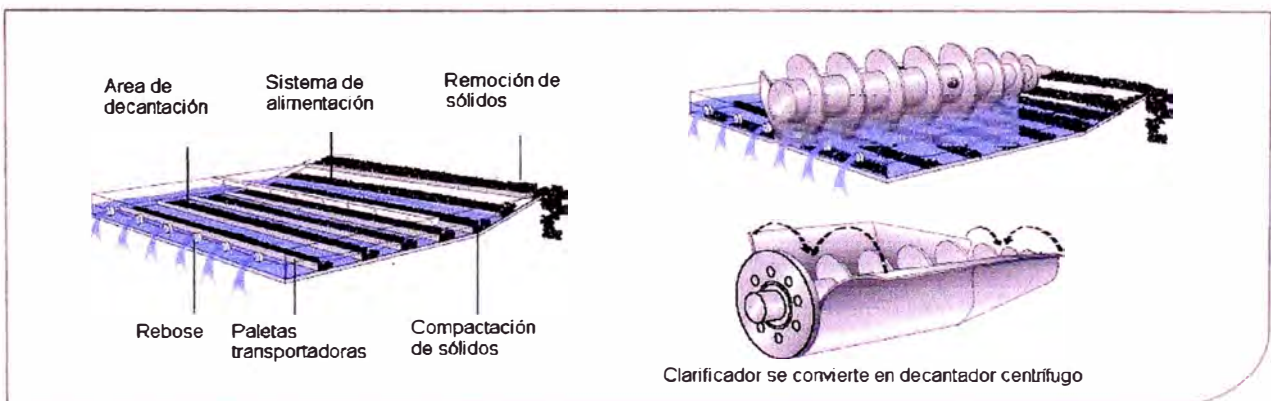


Figura 24. Principio de funcionamiento de la Decantadora Centrífuga

La separación se realiza en un bowl cilíndrico horizontal, equipado con un tornillo transportador interno. Los lodos a decantar entran al bowl a través de un tubo interno estacionario, situado en el centro del tornillo transportador. Después de salir de este tubo los lodos se distribuyen en el líquido que gira alrededor del bowl y van acelerando poco a poco hasta conseguir la velocidad de rotación máxima. Las fuerzas centrífugas causan que los sólidos en suspensión sedimenten en la pared interior del bowl. El tornillo transportador gira en la misma dirección que el bowl, pero con una velocidad menor, y va transportando constantemente estos sólidos a la parte cónica del bowl.

La separación de sólidos tiene lugar a todo lo largo de la parte cilíndrica del bowl y el líquido clarificado sale por el extremo de mayor diámetro por desbordamiento a través de salidas de diámetro ajustable.

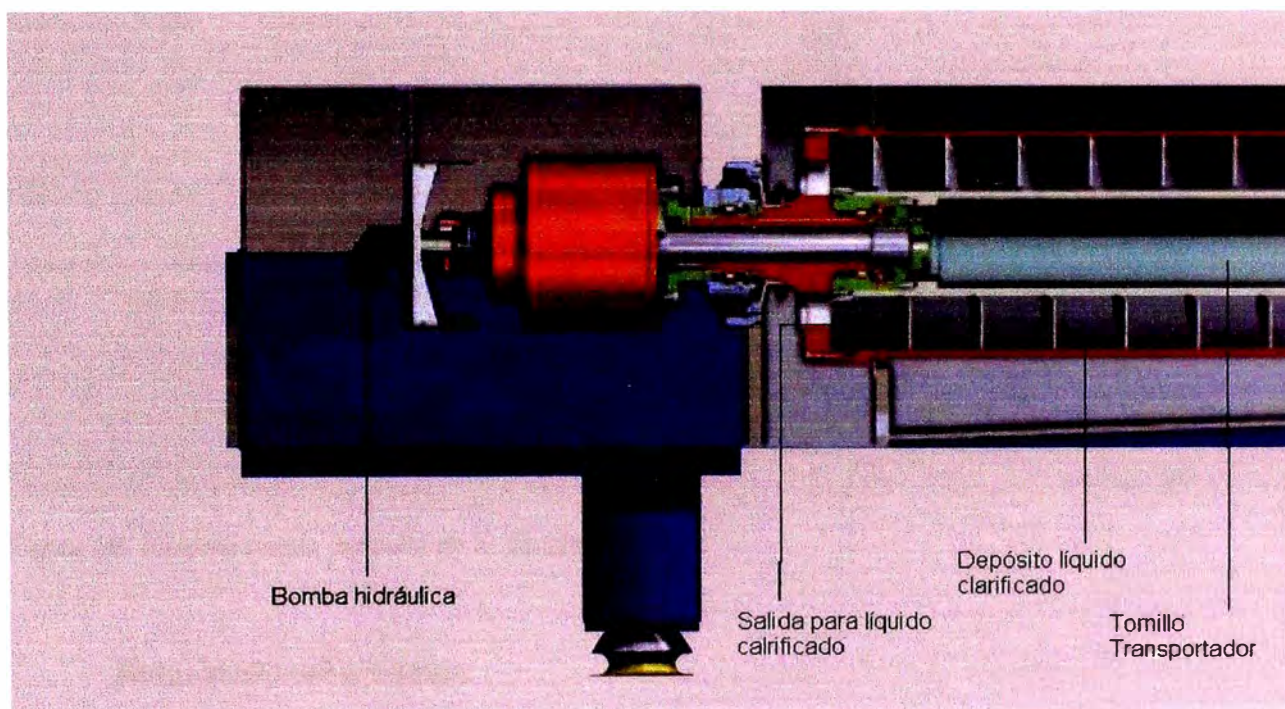


Figura 25. Sistema motriz del tornillo transportador

Los sólidos salen por el extremo de menor diámetro, transportados por el tornillo y, la fuerza centrífuga, los impulsa hacia las aberturas de salida.

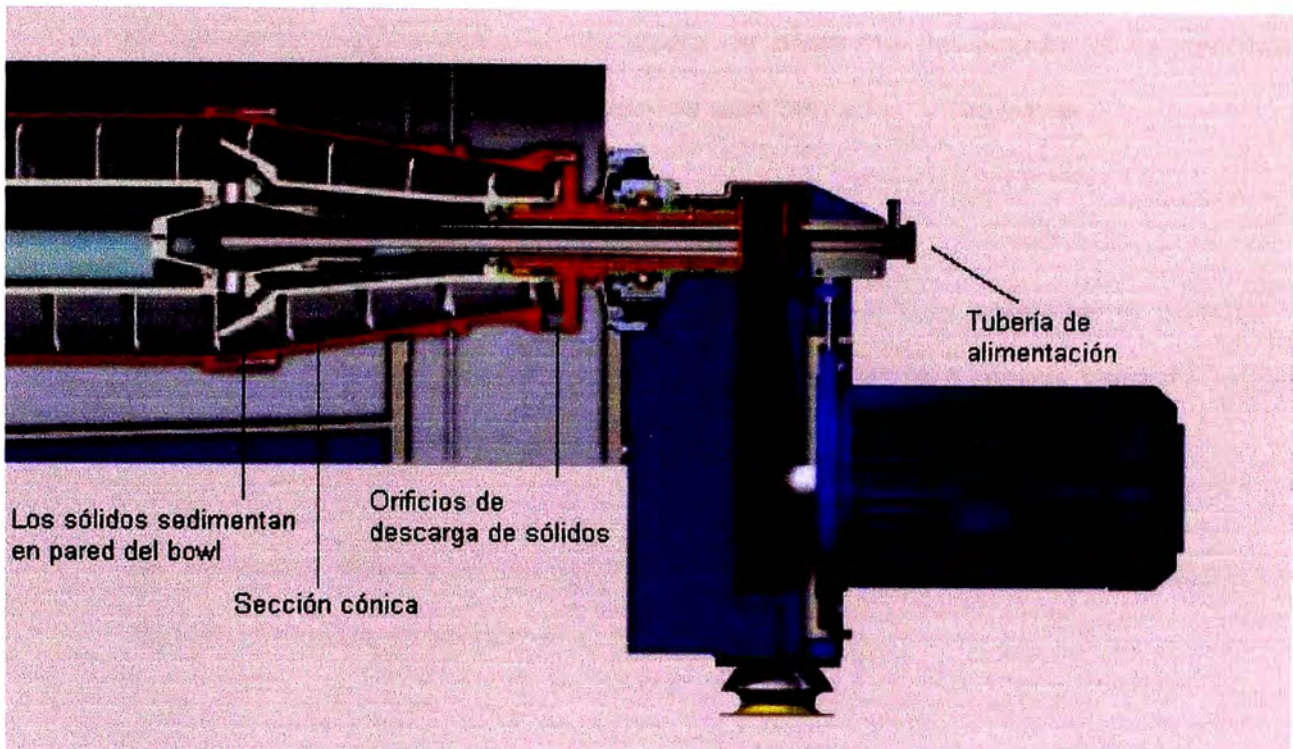


Figura 26. Sistema motriz del bowl de la decantadora

### **Regulación del proceso:**

El decantador puede ser ajustado para requerimientos individuales variando los siguientes parámetros:

- **Velocidad del bowl:**

Variando la velocidad del bowl, se puede ajustar la fuerza  $G$  para obtener una separación óptima, según la aplicación. Cuanto mayor sea la velocidad, mejor será la separación.

- **Nivel del líquido:**

Ajustar el nivel del líquido (profundidad del depósito) tratando de conseguir el equilibrio óptimo entre la claridad del líquido y el grado de sequedad de los sólidos, eligiendo las placas reguladoras correspondientes.

En general, cuando disminuye la altura de desborde del líquido, el concentrado resulta más claro y los sólidos separados más húmedos, y viceversa.

- **Velocidad diferencial:**

Cuando se está utilizando una velocidad diferencial más pequeña, el material a tratar tiene que estar más seco, pero el concentrado será menos claro. El torque aumenta cuando disminuye la velocidad diferencial.

La velocidad diferencial se puede regular automáticamente, que compensa el distinto contenido de sólidos en el líquido de proceso.

- **Caudal de alimentación:**

Cuando mayor sea el caudal de alimentación (el límite máximo es el caudal de diseño), mejor será la separación.



## **CAPITULO IV**

### **ANALISIS SISTEMA ACTUAL**

El bowl del decantador es accionado por un motor eléctrico, sobre cuyo eje hay montada una polea de mando para transmisión de la fuerza motriz, mediante correas trapezoidales a la polea de mando del rotor.

El tornillo transportador es accionado por un motor hidráulico, el cual varía su velocidad de acuerdo a la carga (torque) que tenga el equipo. Esta regulación de velocidad está controlada por un Sistema de Regulación de Velocidad Diferencial. Este sistema usa un reductor tipo planetario, la finalidad del reductor de velocidad es la posibilidad de regular la velocidad del tornillo transportador, regulando así también la velocidad diferencial entre el bowl y el tornillo transportador. En este sistema el motor que realiza la regulación de velocidad es controlado por un sistema hidráulico, y este a su vez recibe una señal de control de un Controlador de Velocidad Diferencial (DSC - Diferencial Speed Controller).

#### **4.1 DESCRIPCIÓN DEL CONTROL DE VELOCIDAD DIFERENCIAL (DSC)**

El Control de Velocidad Diferencial ha sido diseñado para mantener una cantidad óptima de sólidos en el decantador, ante condiciones de variación de carga de sólidos provocadas por el cambio de las concentraciones de sólidos o por fluctuaciones en el caudal.

Esto se consigue variando la velocidad diferencial ( $\Delta n$ ) entre el tornillo transportador de acuerdo con la carga de torsión en el mismo.

En términos generales, tanto la sequedad de la torta como el par de torsión del tornillo transportador se incrementan cuando disminuye la velocidad diferencial, pero el líquido tratado será también menos claro.

Por esta razón, para conseguir un ajuste óptimo de los controles del DSC, se debe buscar la relación óptima entre la sequedad de la torta y la calidad de la fase líquida.

Para obtener el mejor rendimiento del decantador se deben tener en cuenta también otros parámetros del proceso, como la velocidad del rotor, el nivel del líquido y la velocidad de alimentación.

#### **4.1.1 MODOS DE FUNCIONAMIENTO**

El DSC se opera mediante cuatro teclas de "MODO" y un par de teclas "UP/DOWN" situadas en el panel frontal. En la pantalla, los números indican la velocidad del rotor (denominada velocidad principal en el panel), dividida entre 10, la velocidad diferencial del tornillo transportador, el par de torsión del tornillo transportador y el "set point" para el modo en el que se encuentra trabajando en ese momento.

Las teclas "UP/DOWN" se utilizan para determinar el "set point" del equipo para cada modo de trabajo.

##### **Modo manual:**

El equipo trabaja en este modo al presionar la tecla "MAN". El DSC se enciende y permanece en modo manual hasta que se seleccione el modo automático.

La finalidad principal del modo manual es la de comprobar y verificar el funcionamiento del DSC, y no para una operación normal.

En modo manual el "set point" mostrado en la pantalla será la señal de salida (0-100%) desde el DSC.

**Modo automático:**

El DSC tiene tres modos de control automático y selecciona automáticamente el modo que requiere la mayor velocidad diferencial, dependiendo del par de torsión.

Los tres modos de control automático son:

Modo $\Delta n$ (Modo diferencial)	Velocidad diferencial constante. En este modo, el punto de referencia será la velocidad diferencial mínima permitida por el DSC ( $\text{MIN } \Delta n$ ). Un valor de partida adecuado es entre 5 y 10 rpm
Modo T (Modo torsión)	Par de torsión constante. En este modo, el punto de referencia será el par de torsión máximo permitido por el DSC ( $\text{MAX } T=2 \text{ kNm}$ ).
Modo $T / \Delta n$ (Modo tors. / dif.)	Relación constante entre el par de torsión y la velocidad diferencial. El punto de referencia para este modo será el par de torsión de partida ( $T_0$ ) donde comienza la regulación $T / \Delta n$ .

## 4.2 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL DSC

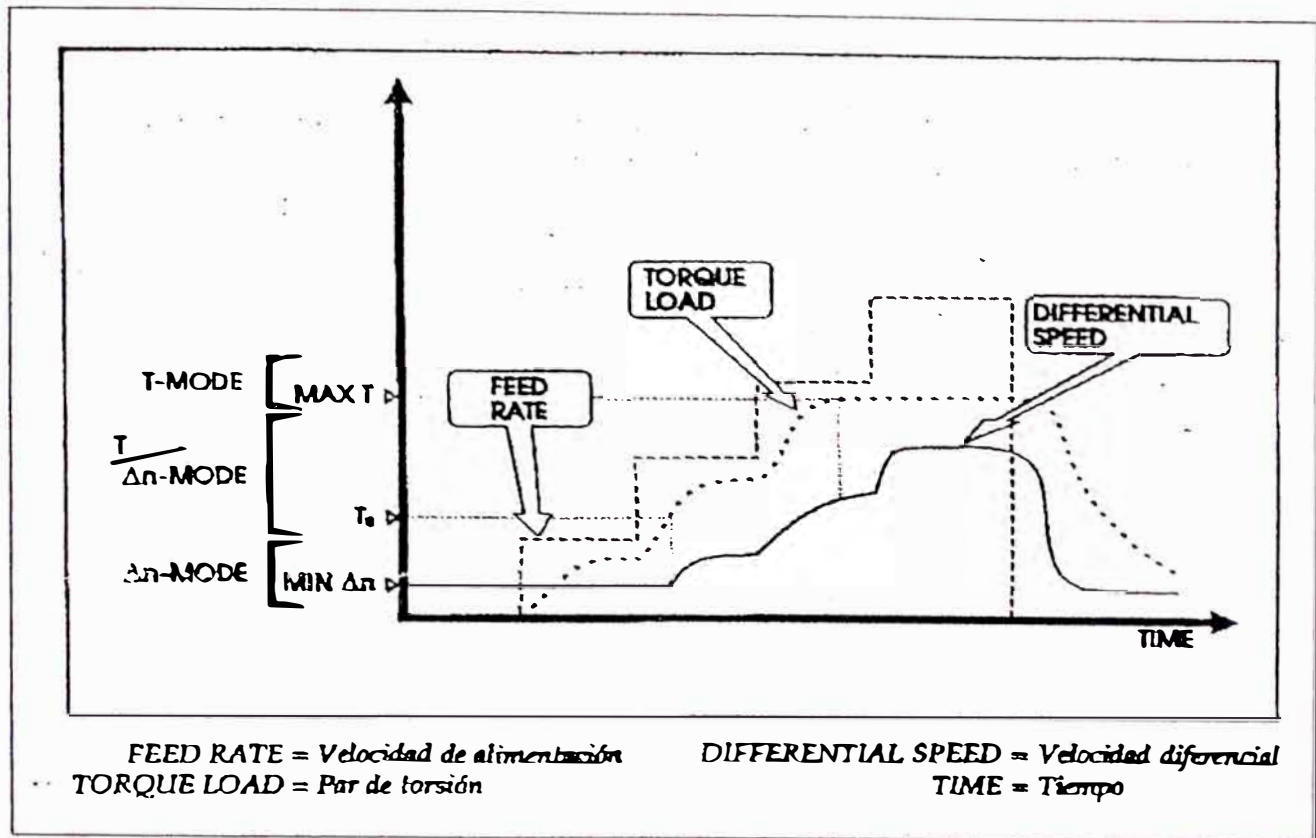


Figura 27. Fases de funcionamiento del Control de Velocidad Diferencial (DSC)

En la figura 27 se muestra en seis fases el funcionamiento del DSC cuando varía la carga de sólidos en el transportador. No existe un cambio momentáneo en el par de torsión y la velocidad diferencial cuando cambia la velocidad de alimentación, y puede tardar algunos minutos en alcanzarse unas condiciones fijas y estables.

El DSC elige automáticamente entre tres modos de control, según el par de torsión.

1. Cuando no hay alimentación, en consecuencia no hay par de torsión, como se muestra en la primera parte de la figura; el DSC mantiene la velocidad diferencial en su valor mínimo preajustado (MIN  $\Delta n$ ). El DSC se encuentra en modo  $\Delta n$ .
2. Con una velocidad de alimentación baja se incrementa el par de torsión hasta un cierto nivel (bajo). Esto no provoca ningún cambio en la velocidad diferencial,



- que permanece al valor mínimo preajustado. El DSC se encuentra aún en modo  $\Delta n$ .
3. Cuando se aumenta la velocidad de alimentación, se incrementa a su vez el par de torsión. Cuando el par de torsión alcanza el valor preajustado  $T_0$ , el DSC incrementa la velocidad diferencial y mantiene una relación constante entre el par de torsión y la velocidad diferencial. El DSC pasa en ese momento a modo  $T / \Delta n$ .
  4. Cuando se incrementa aún más la velocidad de alimentación, la velocidad diferencial y el par de torsión se incrementan a su vez hasta que el par de torsión alcanza el valor máximo preajustado (MAX T), el DSC cambia a modo T, en el cual mantiene el par de torsión constante, pero incrementa la velocidad diferencial.
  5. Ante un aumento de la carga de sólidos incrementando la velocidad de alimentación aún más, el DSC aumenta la velocidad diferencial, manteniendo aún el par de torsión constante  
El DSC se encuentra aún en modo T.
  6. Cerrando la alimentación al decantador desaparece la carga de torsión, cayendo la velocidad diferencial hasta el valor mínimo preajustado y cambiando el DSC de nuevo a modo  $\Delta n$ .

Una práctica común es regular el  $T_0$  mayor a MAX T, por lo que el modo  $T / \Delta n$  queda desactivado, y solo tendremos dos modos de control: velocidad diferencial constante (modo  $\Delta n$ ) y par de torsión constante (modo T). (Ver figura 28)

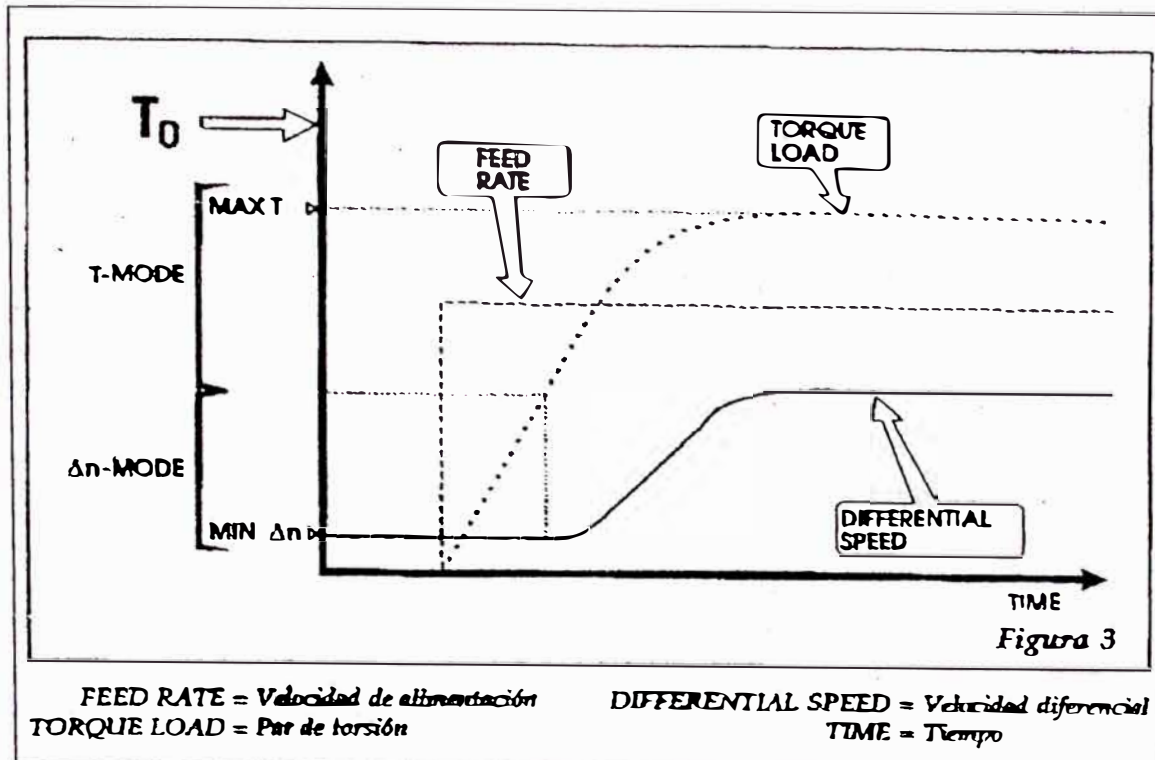


Figura 28. Modo de funcionamiento común del DSC

### 4.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Los principales componentes de este sistema (ver figura 29) son una bomba hidráulica de desplazamiento variable y otra de desplazamiento fijo. Una pequeña bomba de alimentación montada en la de desplazamiento variable, permite la circulación continua de aceite entre el circuito cerrado y el depósito de lubricación, asegurando así el enfriamiento del sistema y una presión mínima constante.

La bomba de desplazamiento variable va conectada a un motor de corriente alterna que mantiene la velocidad de la bomba constante, mientras que puede variar su caudal.

La bomba de desplazamiento fijo va conectada al eje del planeta del reductor. La velocidad de giro de la bomba dependerá del caudal entregado por la bomba variable. Así, la velocidad del eje del reductor planetario depende directamente del caudal.

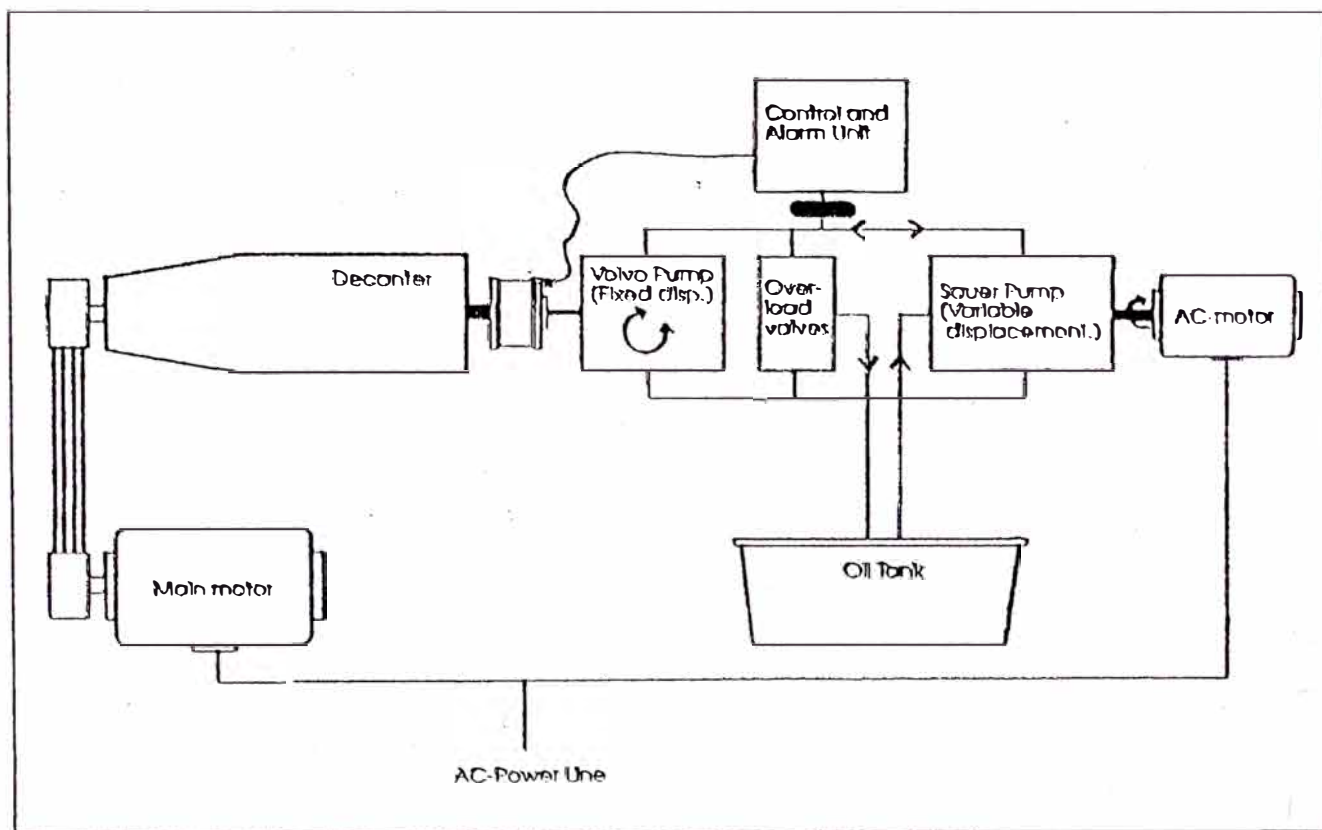


Figura 29. Decantador Centrifugo – Sistema Actual

## CAPITULO V

### SISTEMA PROPUESTO

En el presente capitulo plantearemos el cambio del sistema hidráulico por un variador de frecuencia y un motor eléctrico. El esquema propuesto sería el que se muestra en la figura 30.

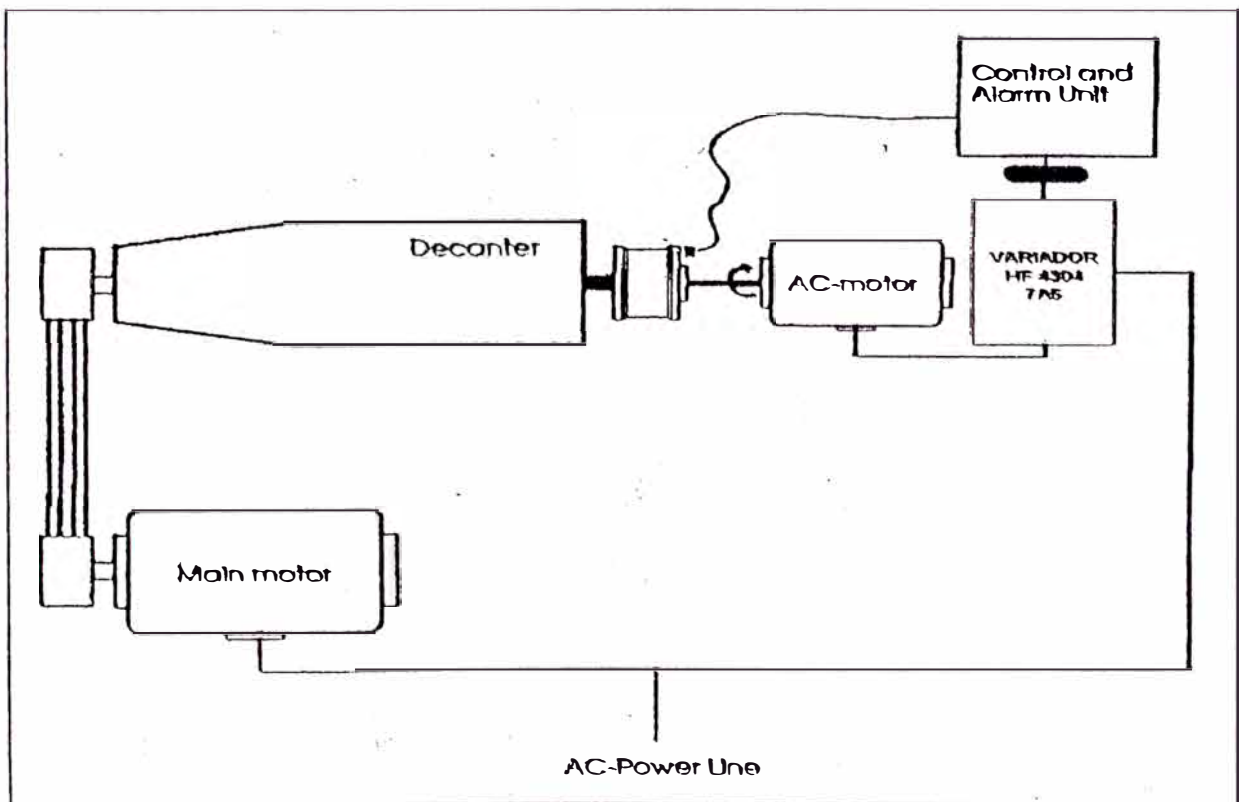


Figura 30. Decantador Centrífugo – Sistema Propuesto

Para lograr esto es necesario analizar el diagrama de bloques del sistema actual, identificar las señales de entrada y salida del controlador, identificar las señales de alarma que deberán ser reemplazadas y adaptarlos al nuevo sistema.

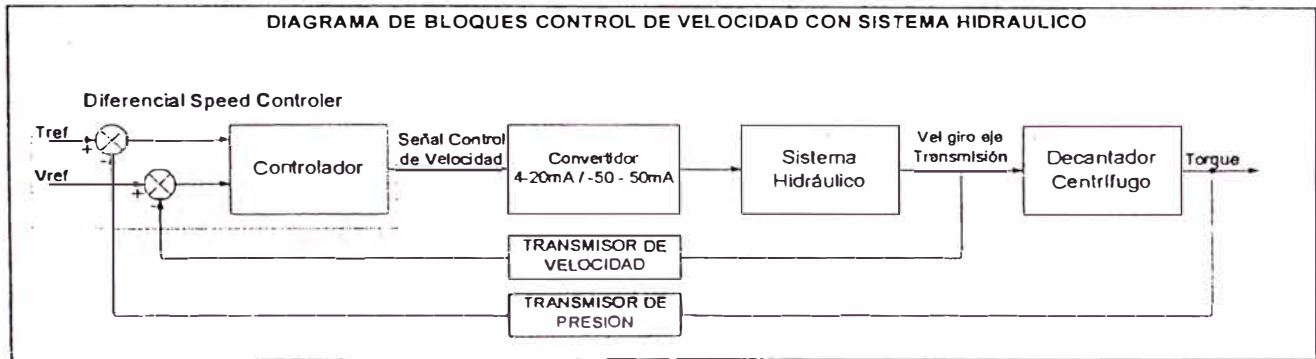


Figura 31. Diagrama de bloques del Control de Velocidad del Tornillo Transportador con Sistema Hidráulico.

El variador de frecuencia a instalarse utiliza un observador de estado, calculando de acuerdo a los valores de corriente y voltaje del motor, así como el torque eléctrico que está aplicando el motor. Con el reemplazo del sistema hidráulico por el variador de frecuencia el diagrama de bloques se muestra en la figura 32:

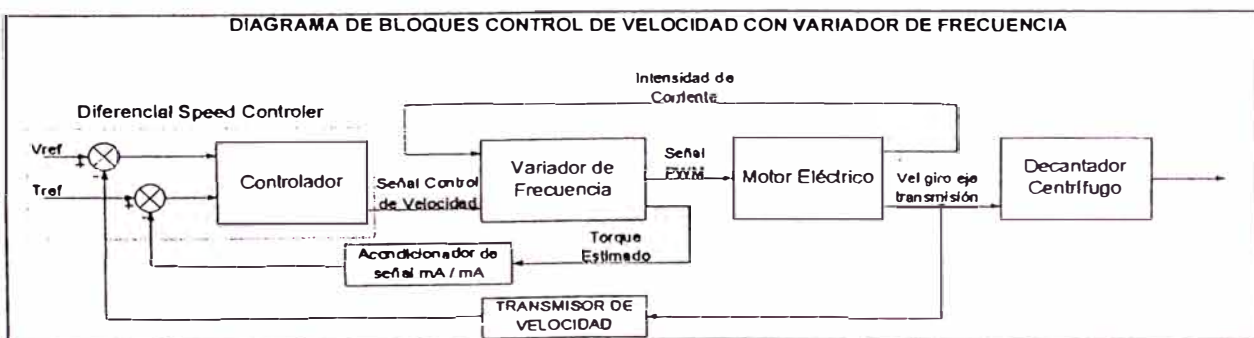


Figura 32. Diagrama de bloques del Control de Velocidad del Tornillo Transportador con Variador de Frecuencia.

### 5.1 CRITERIOS DE DISEÑO

Para poder determinar la velocidad de giro del motor y la potencia necesaria, primero se determina los valores críticos de operación del sistema actual, y el

el nuevo sistema debe ser elegido, de forma tal, que no se vea afectado e inclusive se vea mejorado el rendimiento.

Los parámetros normales de operación del equipo se encuentran en la tabla 3 (parámetros tomados en la planta de Paita).

**TABLA 3: Parámetros Normales de Operación del Decantador**

PARAMETRO	VALOR
VELOCIDAD MAXIMA	3250 RPM
$\Delta n$	28 RPM
T	1.6 kNm
$T / \Delta n$	9.94 kNm

### 5.1.1 PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA DE TORSIÓN

Si el par del tornillo transportador supera cierto límite (PSH), el sistema de control desactiva la bomba de alimentación. Si el par del tornillo transportador supera cierto límite más alto (PSHH), también se detiene el motor principal.

#### **Causas de la sobrecarga**

Las causas de la sobrecarga pueden ser:

- Una alimentación demasiado rápida
- Que el líquido de proceso esté muy concentrado
- Las propiedades de los sólidos (puede que sea necesario colar el líquido de proceso antes de pasarlo por el decantador)
- Que la diferencia de velocidad sea excesivamente baja
- Que la salida esté atascada por los sólidos

Para evitar problemas de sobrecarga del par de torsión, el punto de referencia de DSC para un par de torsión constante (MAX T), debe ser ajustado de acuerdo con el tipo de reductora instalada; en este caso, el par máximo recomendado es de 2 kNm.

Para evitar dificultades cuando se activa la alimentación, el punto de referencia para una velocidad diferencial constante (MIN  $\Delta n$ ), no debe ser ajustado demasiado bajo, o se debe incrementar el caudal de alimentación gradualmente de cero hasta la velocidad determinada.

Para proteger el reductor planetario se utilizan dos alarmas de par de torsión con límite de alarma, como se indica en la tabla 4.

**TABLA 4: Límites de Carga del Decantador**

Reductora (kNm)	Relación de reducción	P. referencia máx. recomend. para par de torsión	Niveles de alarma Par de torsión de transportador (kNm)	
			Parada de Alimentación (PSH)	Parada de decantador (PSHH)
2,5	159,5	2,0	2,5	3,0

La primera alarma es utilizada para cortar la corriente de la bomba de alimentación cuando se abre el interruptor de alarma y, en caso de que persista la carga y el par de torsión alcance el límite de seguridad, se debe utilizar la segunda alarma para cortar la corriente al motor principal cuando se abre el interruptor de alarma. En el sistema hidráulico estas alarmas son interruptores de presión externos, independientes del controlador.

### 5.1.2 SOLUCION DEL PROBLEMA DE TORQUE A BAJAS VELOCIDADES

Como se describió en la sección 4.2, al disminuirse la velocidad de giro del tornillo helicoidal, el torque aumenta y el motor hidráulico no tenía problemas con esta característica; sin embargo, si elegimos un variador de frecuencia convencional, no obtendremos el rendimiento deseado. Por esto, es necesario elegir un variador de frecuencia con una tecnología que nos permite tener altos torques a bajas frecuencias de giro. Afortunadamente, la tecnología de los variadores de frecuencia ha desarrollado mucho y vemos nuestro problema resuelto con el control vectorial, teniendo disponible la tecnología **sensorless vector control**, que utilizaremos en este trabajo.

### 5.1.3 VALORES MAXIMOS DE TRABAJO

Tomando en cuenta la descripción del equipo y las precauciones que se deben tomar en caso de sobrecargas, llegamos a la conclusión que los parámetros críticos de trabajo se muestran en la tabla 5.

**TABLA 5: Parámetros Máximos de Operación del Decantador**

PARAMETRO	VALOR
VELOCIDAD BOWL	3250 RPM
$\omega_n$	28 RPM
$T_{parada}$	3.0 kNm
$T_{alarma}$	2.5 kNm
$T_{max}$	2.0 kNm



## 5.2. DETERMINACION DE VELOCIDAD Y POTENCIA DEL MOTOR

### Velocidad del motor:

Para el equipo la velocidad diferencial se calcula de la siguiente forma (considerando la siguiente convención: giro en sentido antihorario positivo, giro en sentido horario negativo)

$$\Delta n = \frac{V_b - V_m}{R} \qquad V_m = V_b - R \times \Delta n$$

Donde:

$\Delta n$  : Velocidad diferencial (rpm)

$V_b$  : Velocidad del bowl (rpm)

$V_m$  : Velocidad del motor (rpm)

R : Relación de reducción

De acuerdo a los datos de la decantadora tendremos:

$$V_b = 3,250 \text{ rpm}$$

$$R = 159.5$$

Como se mencionó anteriormente, esta separadora trabaja en el modo T, y a la velocidad diferencial regulada varía entre : 24 – 28 rpm. En la tabla 6 observamos las velocidades a las que trabajaría el motor para diversas velocidades diferenciales.

**TABLA 6: Velocidades de operación del motor variando la velocidad diferencial**

rpm MOTOR	$\Delta n$	R	rpm BOWL
1655	10	159.5	3250
857.5	15	159.5	3250
60	20	159.5	3250
-737.5	25	159.5	3250
-1694.5	31	159.5	3250

Esto quiere decir que el motor eléctrico a instalar debe girar a 1700 RPM o más. En este trabajo se eligió un motor de 1750.

#### Cálculo del Torque:

$$T_m = \frac{T_c}{\eta \times R} \times 8.85$$

Donde:

$T_m$  : Torque del motor (lb-pulg)

$T_c$  : Torque generado por la carga (Nm)

$\eta$  : Eficiencia del reductor

$R$  : Relación de reducción

Para el caso de la decantadora centrífuga tenemos:

$$T_{cmax} = 3,000 \text{ Nm}$$

$$\eta = 90\% \text{ (Estimada de documentación)}$$

$$R = 159.5$$

$$T_m = 185 \text{ lb-pulg}$$

#### Cálculo de la Potencia:

$$P_m = \frac{T_m \times N}{63,000}$$

Donde:

$P_m$  : Potencia del motor (HP)

$N$  : velocidad del motor (rpm)

La mayor velocidad de giro del motor será cuando éste gire a 60 Hz; es decir, 1750

RPM, reemplazando tenemos que:  $P_m = 5.13 \text{ HP}$

Se seleccionará un motor de 7.5 HP y 1750 RPM trifásico

El variador de frecuencia a seleccionar será de 10 HP.

### 5.3 ACONDICIONAMIENTO DE LAS SEÑALES DE CONTROL

#### 5.3.1 SEÑALES DE ENTRADA DEL PLC

La carga de torsión del tornillo transportador se determina mediante un transmisor de presión que mide la presión hidráulica, esta señal es utilizada por el DSC para determinar la velocidad diferencial ( $\Delta n$ ) que deberá tener el tornillo helicoidal.

Las velocidades reales del rotor y del eje de salida se determinan mediante impulsos de temporización procedentes de los sensores de inducción (tipo Namur). Se utilizan dos sensores para el eje de salida, para determinar la velocidad y el sentido de giro. Estas señales son utilizadas para cerrar el lazo de control de la velocidad del motor hidráulico con el DSC.

El motor hidráulico es controlado por una servoválvula, la cual recibe la señal de control del DSC. Esta señal sale del DSC en un rango de 4 – 20 mA, luego un convertidor de señal la transforma a un rango de -50mA – 50 mA, sistema hidráulico que tiene un convertidor de señal del 4 – 20 mA a -50 – 50 mA.

También tenemos dos sensores para proteger al sistema de una sobrecarga, cuyos valores límites se describieron en la sección 5.1.1

#### **Señales del nuevo sistema:**

El nuevo sistema utilizará los mismos sensores de velocidad y sentido de giro.

La señal del sensor de torque será reemplazado por una salida de 4 – 20 mA que nos dará el variador de frecuencia y que deberá ser convertida a la escala del DSC.

Los sensores PSH y PSHH serán reemplazados por salidas digitales que nos dará el variador de frecuencia, estas salidas entrarán al PLC.

Un mayor detalle de las conexiones se encuentra en los esquemas eléctricos.

**TABLA 7: Equivalencias de señales entre el Sistema Hidráulico y el Sistema Electrónico propuesto.**

SISTEMA HIDRAULICO	SISTEMA ELECTRONICO
Sensor de velocidad	Se mantiene
Sensor sentido de giro	Se mantiene
Sensor de presión hidráulica (Torque)	Esta señal sale del variador de frecuencia, el cual trabajará en modo sensorless. La señal debe ser previamente transformada por un convertidor 4-20mA / 4-20mA.
Sensor de presión (PSH)	Salida X <sub>1</sub> del variador de frecuencia
Sensor de presión (PSHH)	Salida X <sub>2</sub> del variador de frecuencia
Señal de control velocidad diferencial	Esta señal sale del DSC y entrará al variador de frecuencia para controlar la frecuencia de giro del motor eléctrico.

#### 5.4 CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

De acuerdo a los datos analizados se necesita un variador de frecuencia que tenga las siguientes características:

- Una entrada analógica de 4-20 mA, la cual deberá controlar la frecuencia del variador.
- Una salida analógica de 4-20 mA, que deberá ser proporcional al torque que está aplicando el nuevo motor eléctrico.

- Dos switches que se puedan programar como límites de torque máximo
- Potencia: 10 HP
- Voltaje: 430 V, trifásico
- Tecnología sensorless vector control

Luego de buscar un driver con estas características, y considerando otros aspectos importantes para decidir la compra de un equipo como son: facilidades de pago, estandarización de equipos, servicio al cliente y tiempos de entrega en la empresa se optó por elegir el siguiente variador de frecuencia:

Potencia	:	10 HP
Marca	:	SUMITOMO
Modelo	:	HF4304 – 7A5
Entrada analógica	:	4 – 20 mA
Salida analógica	:	4 – 20 mA
Inversión de velocidad	:	Si
Voltaje	:	440 V – trifásico
Tecnologías de control	:	V/Hz, sensorless vector control (altos torques hasta 0.5 Hz de frecuencia).

## 5.5 PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

El variador de frecuencia tiene dos formas de trabajo: sink type (GND = "1"; 24 VDC = "0") y source type (24 VDC = "1"; GND = "0"). El DSC trabaja en modo source, por lo tanto el modo de trabajo del variador de frecuencia será **source**.

- **Frecuencia base** : Función A003 = 60 Hz
- **Voltaje del motor** : Función A082 = 440 V
- **Capacidad del motor** : Función H003 = 5.5 kW
- **Número de polos** : Función H004 = 4 polos

### **Arranque y parada del motor:**

La función A002 será programada en 01 (terminal). La salida Q0 del PLC del DSC debe conectarse a la entrada FR del variador de frecuencia. (Diagramas eléctricos PAG 04)

### **Señal de control de frecuencia:**

La función A001 será programada en 01 (terminal). La salida 17 del DSC debe ser conectada al terminal IRF del variador de frecuencia. (Diagramas eléctricos PAG 06)

### **Señal de torque**

El variador de frecuencia puede calcular los valores de torque y velocidad del motor trabajando en el modo sensorless vector, para esto es necesario seguir los siguientes pasos:

### **Programación de parámetros (R1, R2, L, J)**

Ejecutar la función autotuning para obtener los parámetros del motor (R1, R2, L, J) de la siguiente forma:

- Función H001 = 02 y luego presionar RUN.
- Función H002 = 03 (motor autotuning data)

En el motor que se está utilizando actualmente los parámetros obtenidos con estas pruebas son los siguientes:

R<sub>1</sub> : 0.74  $\Omega$

R<sub>2</sub> : 0.556  $\Omega$

L : 9.92 H

J : 0.110 kgm<sup>2</sup>

### **Establecimiento del modo Sensorless:**

- Función A044 = 03 (Sensorless vector control)

Asegurarse que la frecuencia portadora de los pulsos PWM este sobre los 2.1 kHz

### **Programación de la señal de torque:**

- Función C029 = 02 (Output torque por el terminal AMI)

De acuerdo a las pruebas realizadas en el DSC, para una señal de 20mA arroja una señal de 7 kNm por el display, que sería el torque máximo que podría medir en el tornillo transportador. Esto equivale a torque en el motor de **43.89 Nm**.

Antes de hallar la ecuación de conversión de la señal de torque del driver es necesario conocer cual es el torque correspondiente a la señal de 20 mA.

Para hallar este valor utilizaremos la siguiente formula dada por el fabricante:

$$T_r = \frac{9545 \times P_d}{N}$$

$T_r$  : Torque nominal del driver

$P_d$  : Potencia del driver

$N$  : RPM del motor

Para nuestro caso:

$$P_d = 7.5 \text{ kW}$$

$$N = 1750 \text{ RPM}$$

Reemplazando tenemos:

$$T_r = 40.91 \text{ Nm}$$

La función Output torque el valor equivalente a 20 mA es el 200% del valor nominal, por lo tanto será 81.82 Nm, con estos valores se obtendrá la tabla 8.

**TABLA 8. Señal de Torque de salida del driver Vs. Señal Torque de entrada al DSC**

DRIVER TORQUE Nm	SEÑAL mA	DSC TORQUE Nm	SEÑAL mA
0	4.00	0	4.0000
1	4.20	1	4.3645
2	4.39	2	4.7291
5	4.98	5	5.8227
10	5.96	10	7.6455
15	6.93	15	9.4682
20	7.91	20	11.2910
25	8.89	25	13.1137
30	9.87	30	14.9364
35	10.84	35	16.7592
40	11.82	40	18.5819
45	12.80	43.89	20.0000
81.82	20.00		

Con estos datos se puede deducir la ecuación de transformación siguiente:

$$T_e = 4 + \frac{(T_d - 4)}{0.5364}$$

Donde:

$T_d$  : Señal de torque del variador de frecuencia

$T_e$  : Señal de ingreso al DSC

**Programación Parada de Alimentación (PSH):**

- Función C023 = 10 (Relaciona X1 con la función Over Torque)
- Función C033 = 01 (X1 contacto normalmente cerrado)

El siguiente paso es definir el límite para esta función, el Torque límite para la alarma PSH es 2,5 kNm, esto equivale a un torque en el motor de 15.67 Nm que es el 38.3% de 40.91 Nm.

- Función C055 = 38% (Torque límite para la función Over Torque)
- Función C056 = 38%
- Función C057 = 38%
- Función C058 = 38%



**Programación Parada de Decantador (PSHH):**

- Función C024 = 07 (Relaciona X2 con la función Torque Limit Value)
- Función C034 = 01 (X2 contacto normalmente abierto)

El siguiente paso es definir el límite para esta función, el Torque límite para la alarma PSHH es 3 kNm, esto equivale a un torque en el motor de 18.81 Nm que es el 46% de 40.91 Nm.

- Función B040 = 00 (Configurar torque límite manual)
- Función B041 = 46%
- Función B042 = 46%
- Función B043 = 46%
- Función B044 = 46%

**Selección display Señal de Torque:**

1. Presionar la tecla FUNC, en el display del driver aparecerá el siguiente código: d001
2. Presionar la tecla 2 hasta que en la pantalla aparezca el código d012.
3. Presionar la tecla STR

## CAPITULO VI

### ANÁLISIS DE COSTOS

#### Mantenimiento del Sistema Hidráulico:

- Cambio de aceite (25 litros) cada 2000 horas. US\$ 250 + IGV
- Filtro de aceite US\$ 125 + IGV
- Mantenimiento general US\$ 1,850 + IGV

#### Precios de repuestos principales

- Servoválvula US\$ 8,665 + IGV
- Enfriador US\$ 3,120 + IGV
- Transmisor de presión Diferencial US\$ 3,000 + IGV
- Posicionador electroneumático US\$ 1,120 + IGV

#### Inversión:

- Costo del variador de frecuencia US\$ 1,850 + IGV
- Motor de 7.5 HP US\$ 500 + IGV

#### Mantenimiento Variador de Frecuencia y motor:

- Mantenimiento variador de frecuencia US\$ 300
- Mantenimiento motor US\$ 200

**Ahorros por operación:**

En el cuadro 1 se muestra la diferencia en consumo de potencia del sistema Hidráulico y el Sistema con Variador de Frecuencia.

**Cuadro 1. Ahorro en consumo de potencia al cambiar al sistema con variador de frecuencia**

TORQUE (kNm)	HIDRAULICO		VARIADOR		AHORRO
	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)	%
0.75	5.4	1,097	2.7	604	55%
1.00	5.5	1,118	2.8	626	56%
1.25	5.7	1,158	2.9	648	56%
1.50	6	1,219	3.3	738	61%
PROMEDIO AHORRO					57%

En el cuadro 2 se muestra el flujo de caja de la inversión y el tiempo de retorno del capital invertido.

**Cuadro 2. Flujo de Caja y Retorno de inversión al reemplazar el Sistema Hidráulico por el Variador de Frecuencia**

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
<b>MANTENIMIENTO DEL SISTEMA HIDRAULICO</b>	<b>US\$</b>	<b>US\$</b>	<b>US\$</b>
- Cambio de aceite y filtro(25 litros) cada 2000 horas.	375	375	375
- Mantenimiento general	1,850		1,850
<b>OPERACIÓN SISTEMA HIDRAULICO</b>			
CONSUMO DE ENERGÍA (10 HP)	11,235	11,235	11,235
COSTO ENERGIA ELECTRICA (US\$/Kw-h)	0.16	0.16	0.16
<b>TOTAL GASTO ANUAL(US\$)</b>	<b>4,023</b>	<b>2,173</b>	<b>4,023</b>

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
<b>MANTENIMIENTO VARIADOR DE FRECUENCIA Y MOTOR</b>	<b>US\$</b>	<b>US\$</b>	<b>US\$</b>
Mantenimiento variador de frecuencia	300	300	300
Mantenimiento motor	50	50	50
<b>OPERACIÓN VARIADOR DE FRECUENCIA</b>			
CONSUMO DE ENERGÍA (7.5 HP)	8,426	8,426	8,426
COSTO ENERGIA ELECTRICA (US\$/Kw-h)	0.16	0.16	0.16
<b>TOTAL GASTO ANUAL(US\$)</b>	<b>1,698</b>	<b>1,698</b>	<b>1,698</b>

<b>INVERSION</b>	<b>US\$</b>
Costo del variador de frecuencia	1,850
Motor de 7.5 HP	500
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>2,350</b>

<b>FLUJO DE CAJA ANUAL</b>	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO SISTEMA HIDRAULICO		4,023	2,173	4,023
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO VARIADOR DE FRECUENCIA		1,698	1,698	1,698
<b>AHORRO (US\$)</b>	<b>0</b>	<b>2,324</b>	<b>474</b>	<b>2,324</b>
	<b>-2,350</b>	<b>2,324</b>	<b>474</b>	<b>2,324</b>

TIR(2 años)	16%
TIR(3 años)	54%

Para una tasa del 12% vemos que el proyecto es rentable a partir del segundo año de funcionamiento.

## CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Es factible realizar este cambio y se puede aplicar al resto de separadoras de sólidos FPNX934 que tiene Grupo Sipesa.
- Los gastos de mantenimiento se reducen significativamente en un 86%, ya que el sistema motriz del tornillo transportador ahora se reduce a un variador de frecuencia y un motor eléctrico.
- Al utilizar el sistema con el variador de frecuencia, se reduce el consumo de energía eléctrica en un 57%, aproximadamente.
- La técnica de control sensorless nos ofrece un torque de arranque del 200%, simulando las características del motor hidráulico.
- Hacer un buen mantenimiento trimestral al variador de frecuencia, de lo contrario el ambiente agresivo de una fábrica de Harina de Pescado terminaría dañando el equipo.
- El proyecto tiene un TIR de 16% evaluándolo en los dos primeros años.
- El proyecto se hace aun más atractivo en el caso de tener que cambiar la servoválvula del sistema hidráulico original (cuyo costo es de US\$ 8,665).
- Durante el año que viene operando el variador electrónico no ha tenido fallas.

## BIBLIOGRAFIA

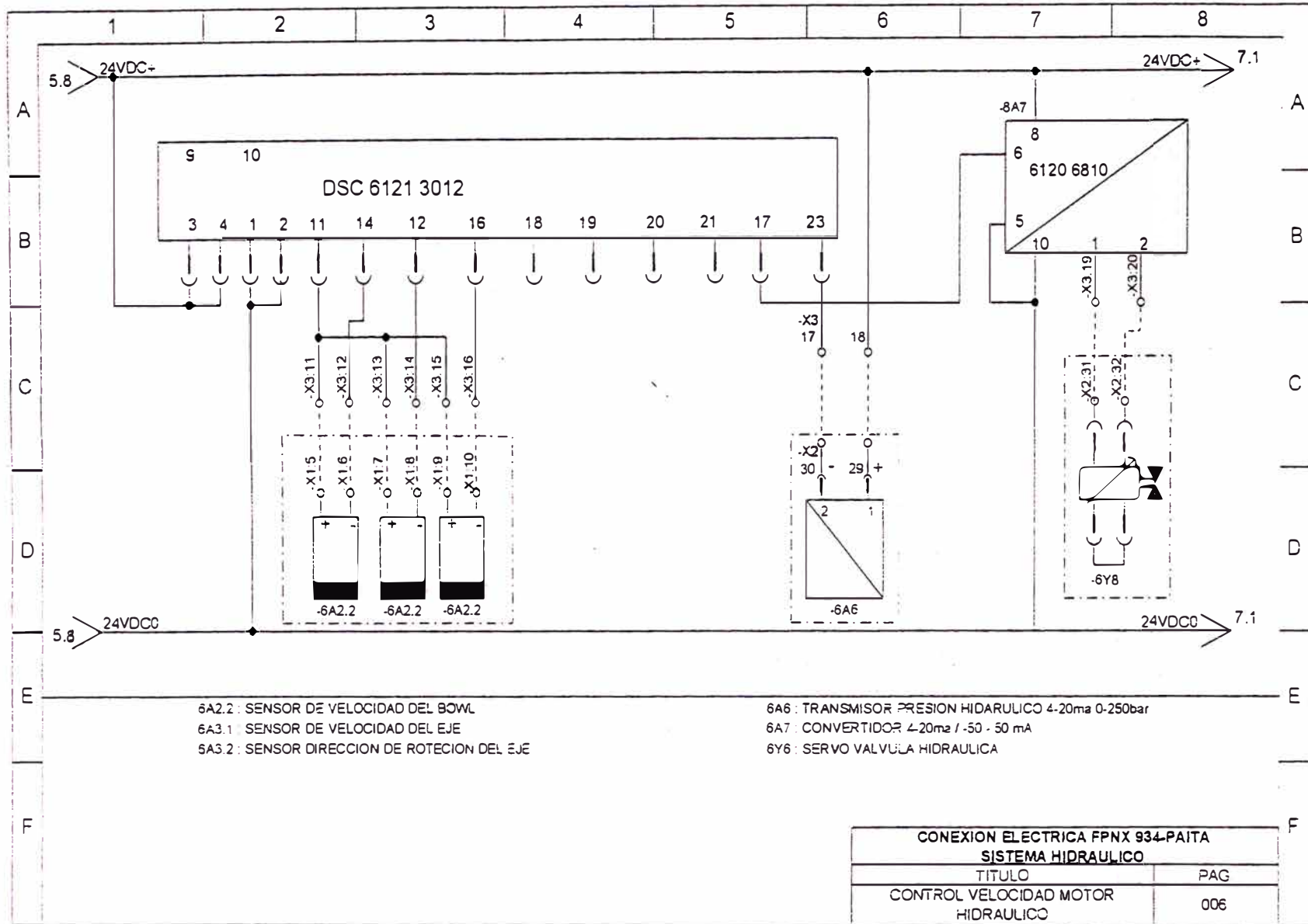
Decanter Centrifugue NX900 Catalogo de Repuestos	Alfa Laval
Decanter Centrifugue NX900 Manual de Operación y Mantenimiento	Alfa Laval
Decanter Centrifugue NX900 Catalogo de Repuestos	Alfa Laval
Decanter Centrifugue NX900 Datos de Instalación	Alfa Laval
Máquinas Eléctricas	Stephen Chapman
Instrumentación: Transductores e Interfaz	B. R. Bannister D.G. Whilehead
Electrónica Industrial Moderna	Timothy J. Maloney
Instrumentación Industrial	Antonio Creus Solé
Electrónica: Teoría de circuitos	Robert L. Boylestad
Soluciones Prácticas para el Ingeniero Mecánico	J. Edward Pope
PWM AC DRIVES (REV01)	Allen - Bradley
Sensorless Vector Technology: What separates this technology from the rest (1336SV-1_5)	Allen - Bradley
3-Phase AC Motor Control with V/Hz Speed Open Loop Using DSP56F80X (AN1911)	MOTOROLA

# **ANEXO I**

**(DIAGRAMAS ELECTRICOS)**



# CONEXIÓN ELECTRICA CON SISTEMA HIDRAULICO

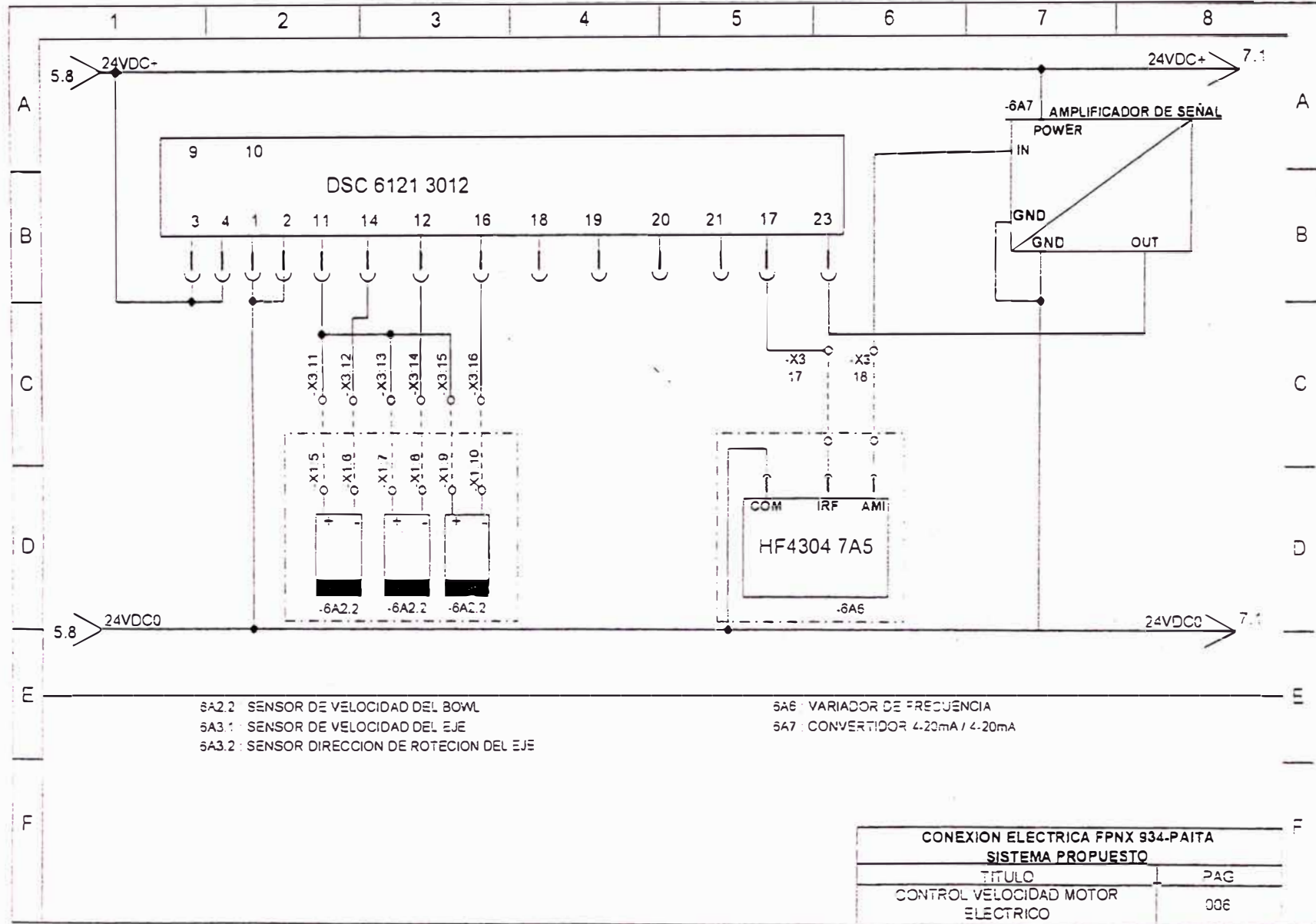


6A2.2 : SENSOR DE VELOCIDAD DEL BOWL  
 6A3.1 : SENSOR DE VELOCIDAD DEL EJE  
 6A3.2 : SENSOR DIRECCION DE ROTACION DEL EJE

6A6 : TRANSMISOR PRESION HIDRAULICO 4-20ma 0-250bar  
 6A7 : CONVERTIDOR 4-20ma / 50 - 50 mA  
 6Y8 : SERVO VALVULA HIDRAULICA

CONEXION ELECTRICA FPNX 934-PAITA SISTEMA HIDRAULICO	
TITULO	PAG
CONTROL VELOCIDAD MOTOR HIDRAULICO	006

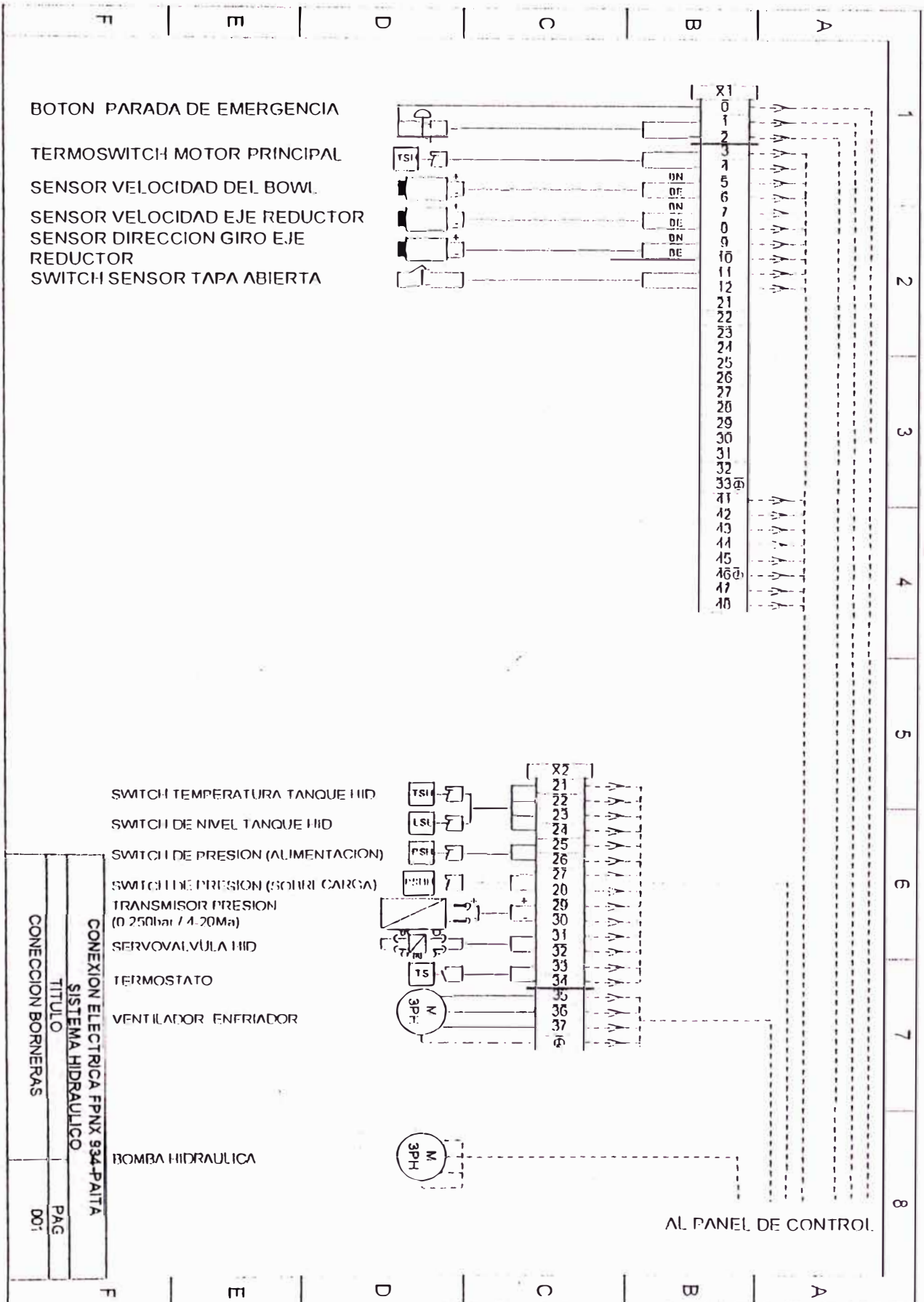
# CONEXIÓN ELECTRICA CON VARIADOR DE FRECUENCIA

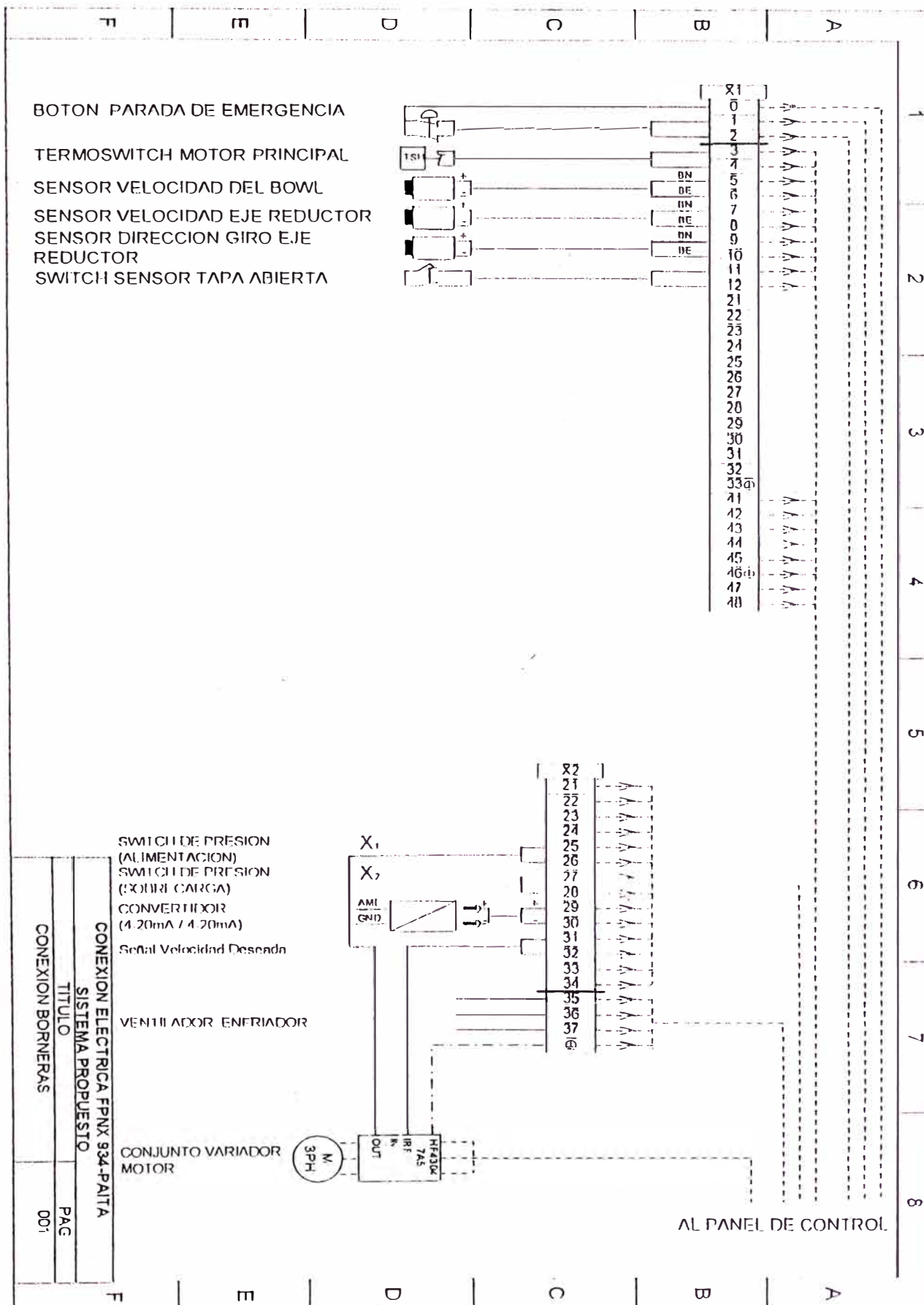


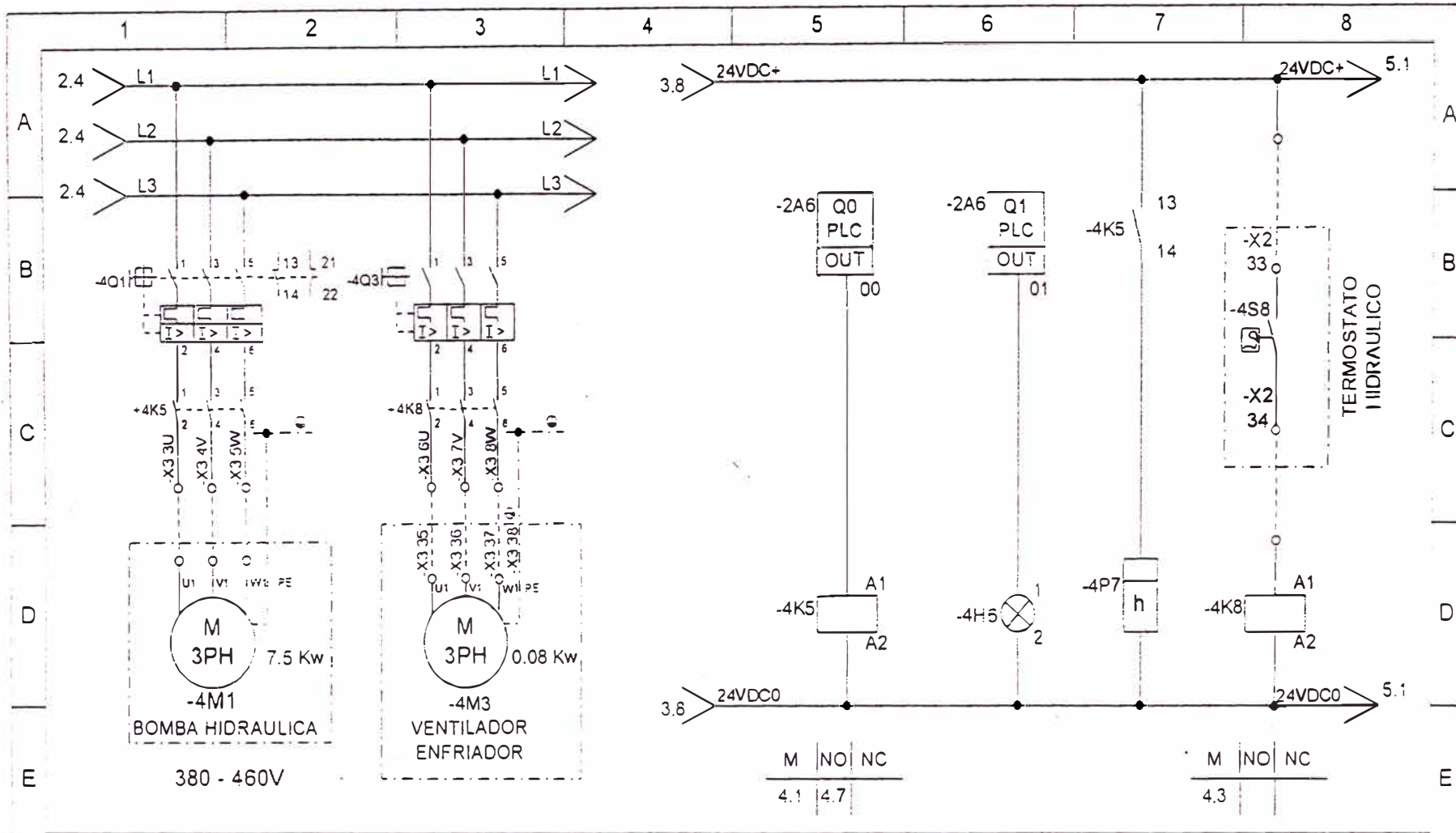
6A2.2 : SENSOR DE VELOCIDAD DEL BOWL  
 6A3.1 : SENSOR DE VELOCIDAD DEL EJE  
 6A3.2 : SENSOR DIRECCION DE ROTACION DEL EJE

6A6 : VARIADOR DE FRECUENCIA  
 6A7 : CONVERTIDOR 4-20mA / 4-20mA

CONEXION ELECTRICA FPNX 934-PAITA	
SISTEMA PROPUESTO	
TITULO	PAG
CONTROL VELOCIDAD MOTOR ELECTRICICO	006

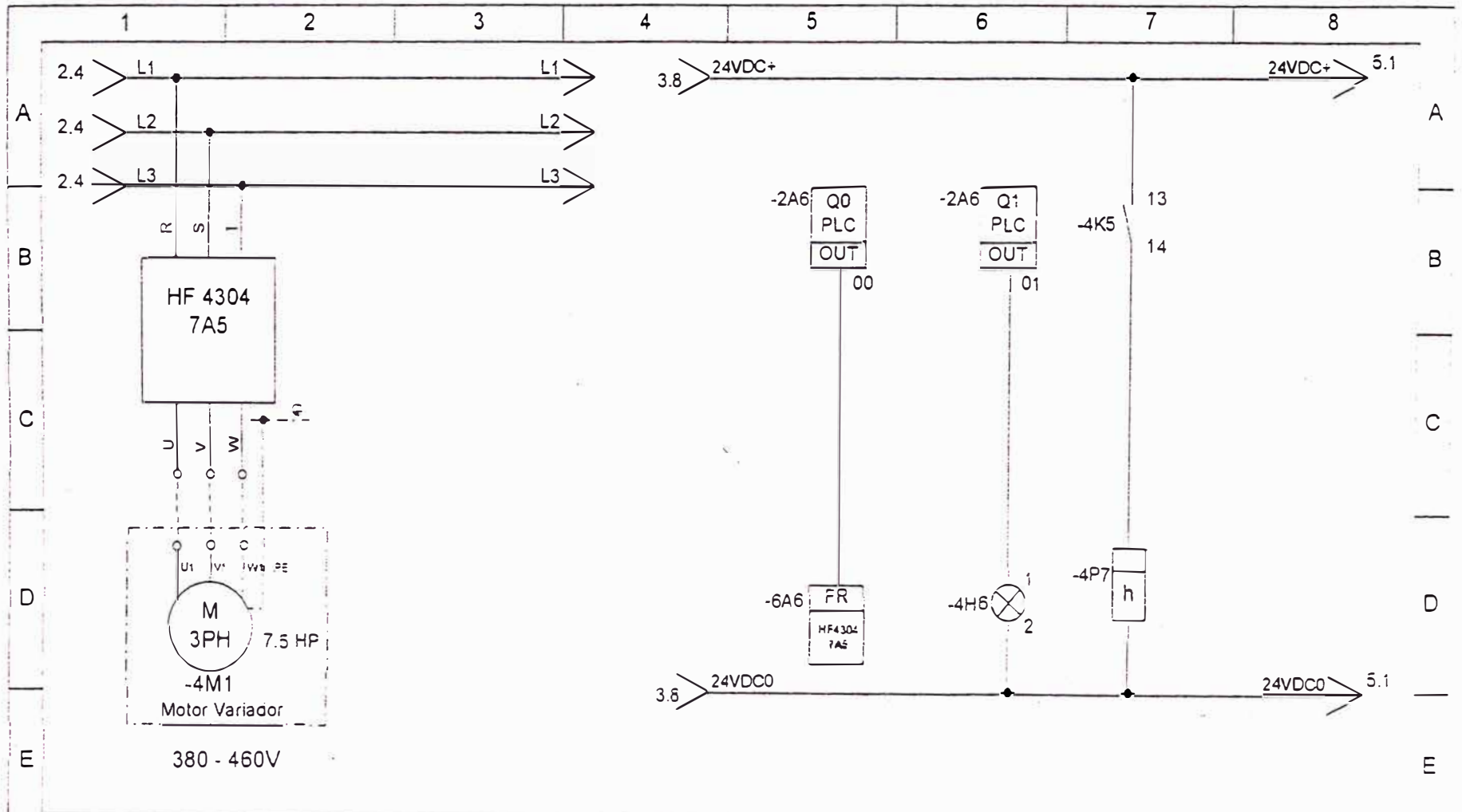






4P7: HOROMETRO      4S8: SWITCH TEMPRATURA HID

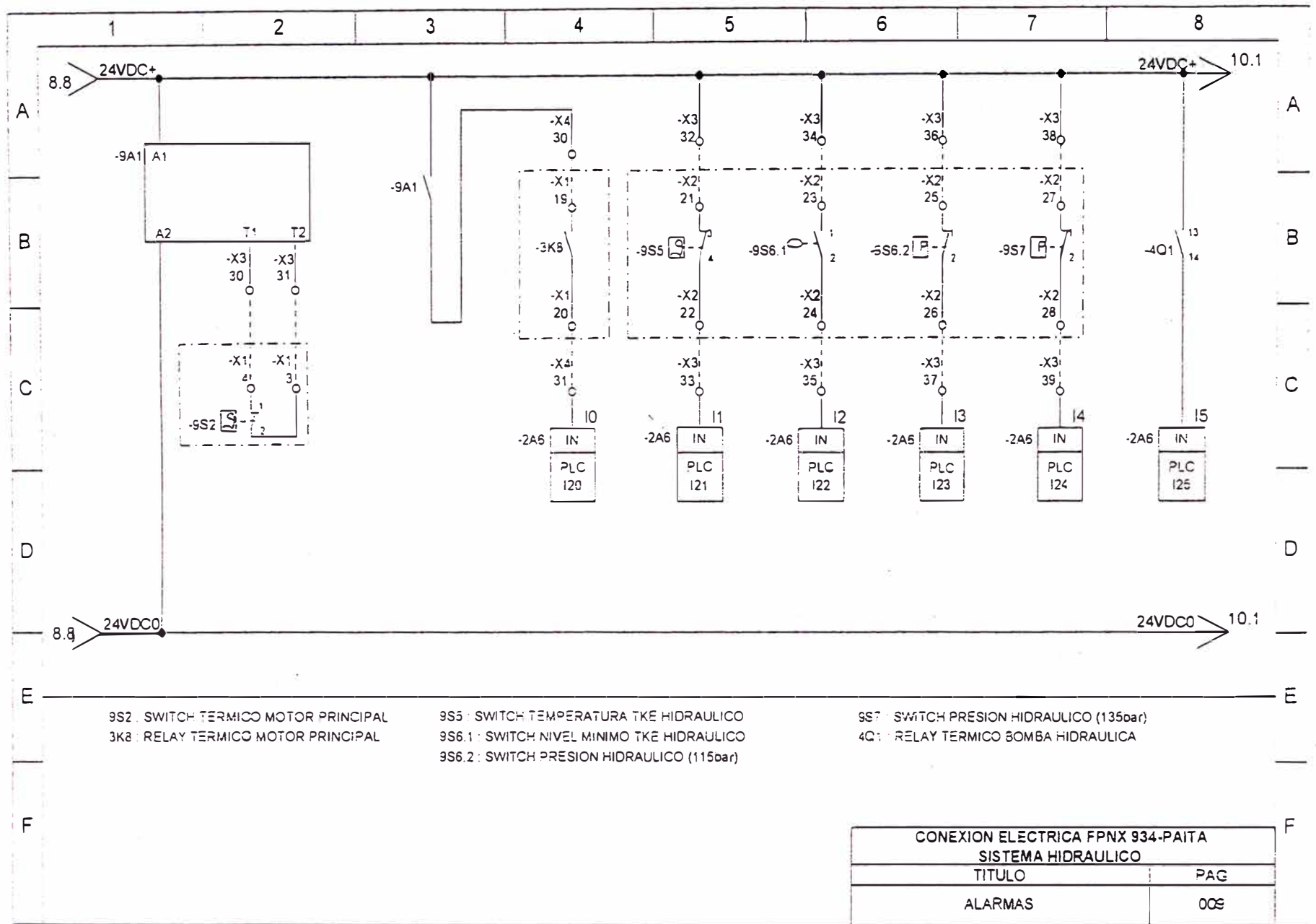
CONEXION ELECTRICA FPNX 934-PAITA	
SISTEMA HIDRAULICO	
TITULO	PAG
BOMBA HIDRAULICA	004



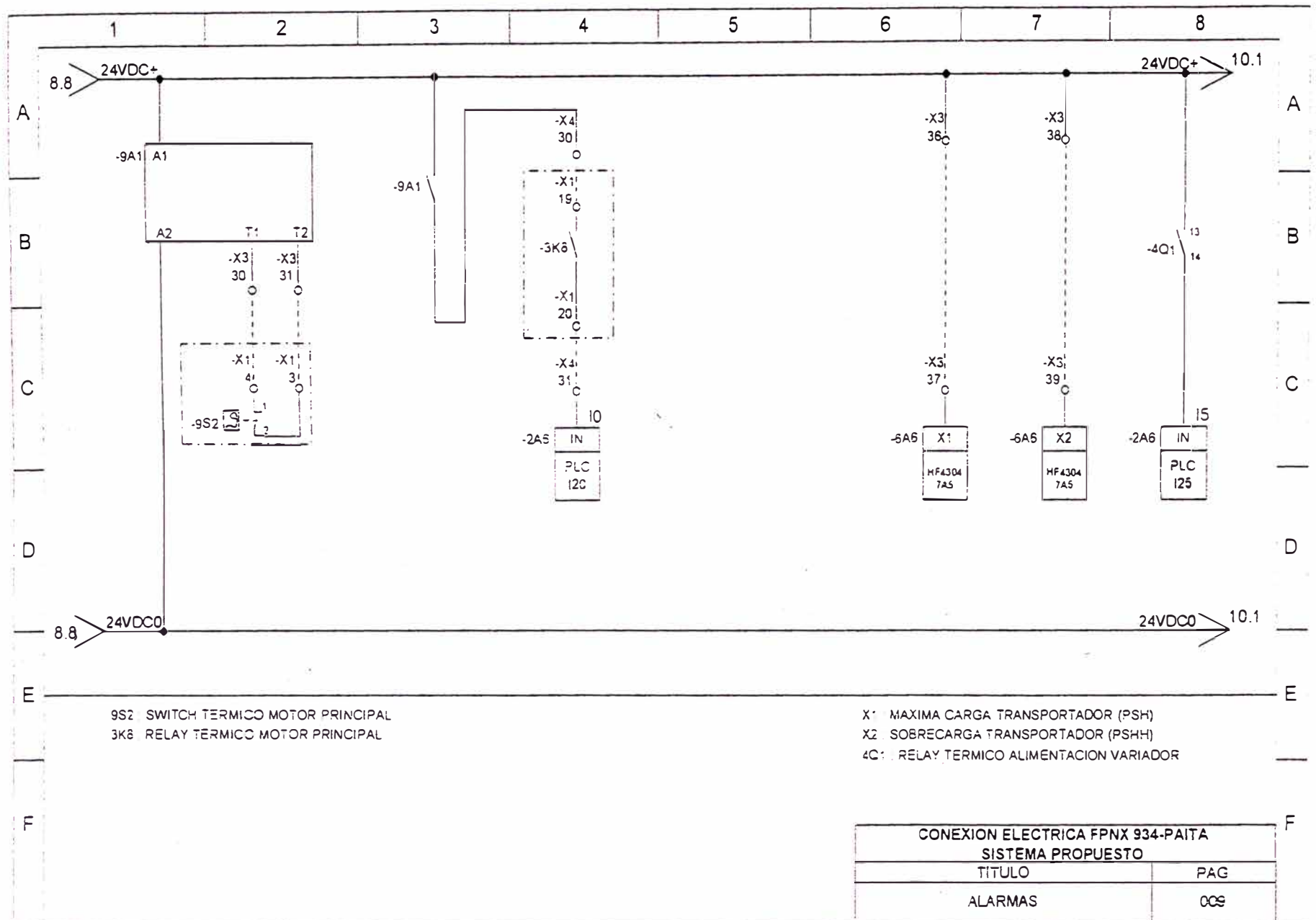
6A6 : VARIADOR DE FRECUENCIA      4P7 : HOROMETRO

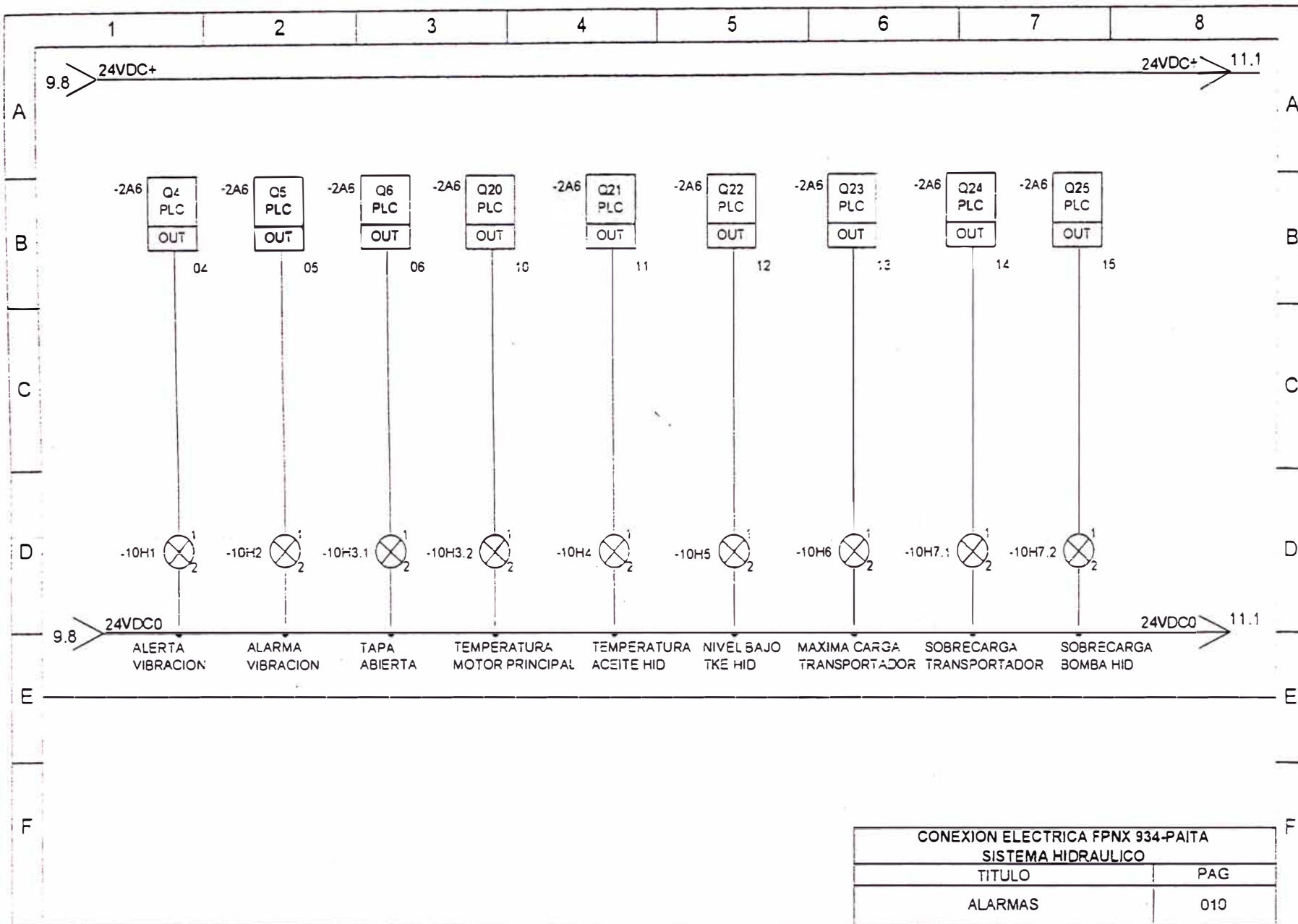
CONEXION ELECTRICA FPNX 934-PAITA	
SISTEMA PROPUESTO	
TITULO	PAG
CONEXION VARIADOR	004

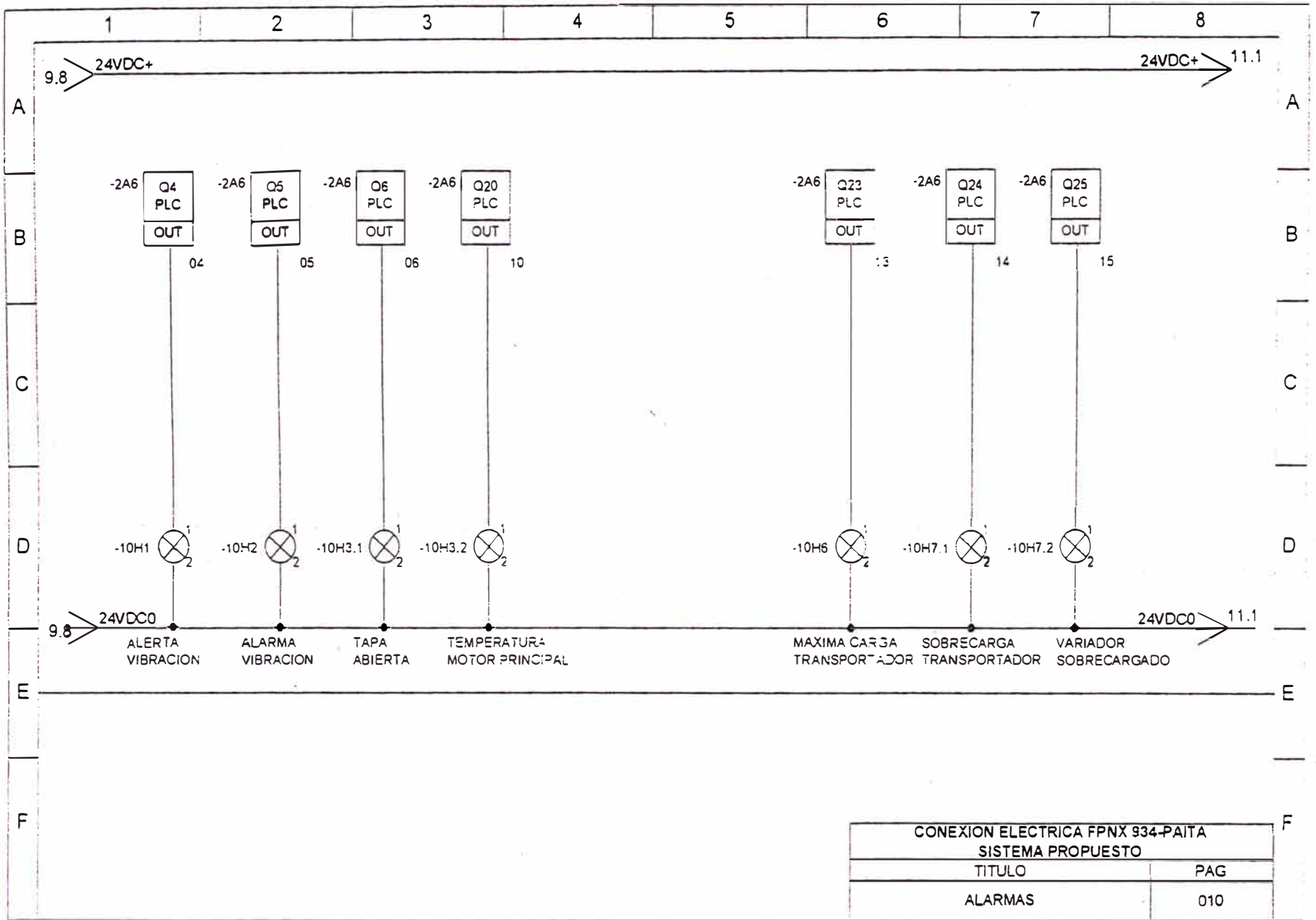








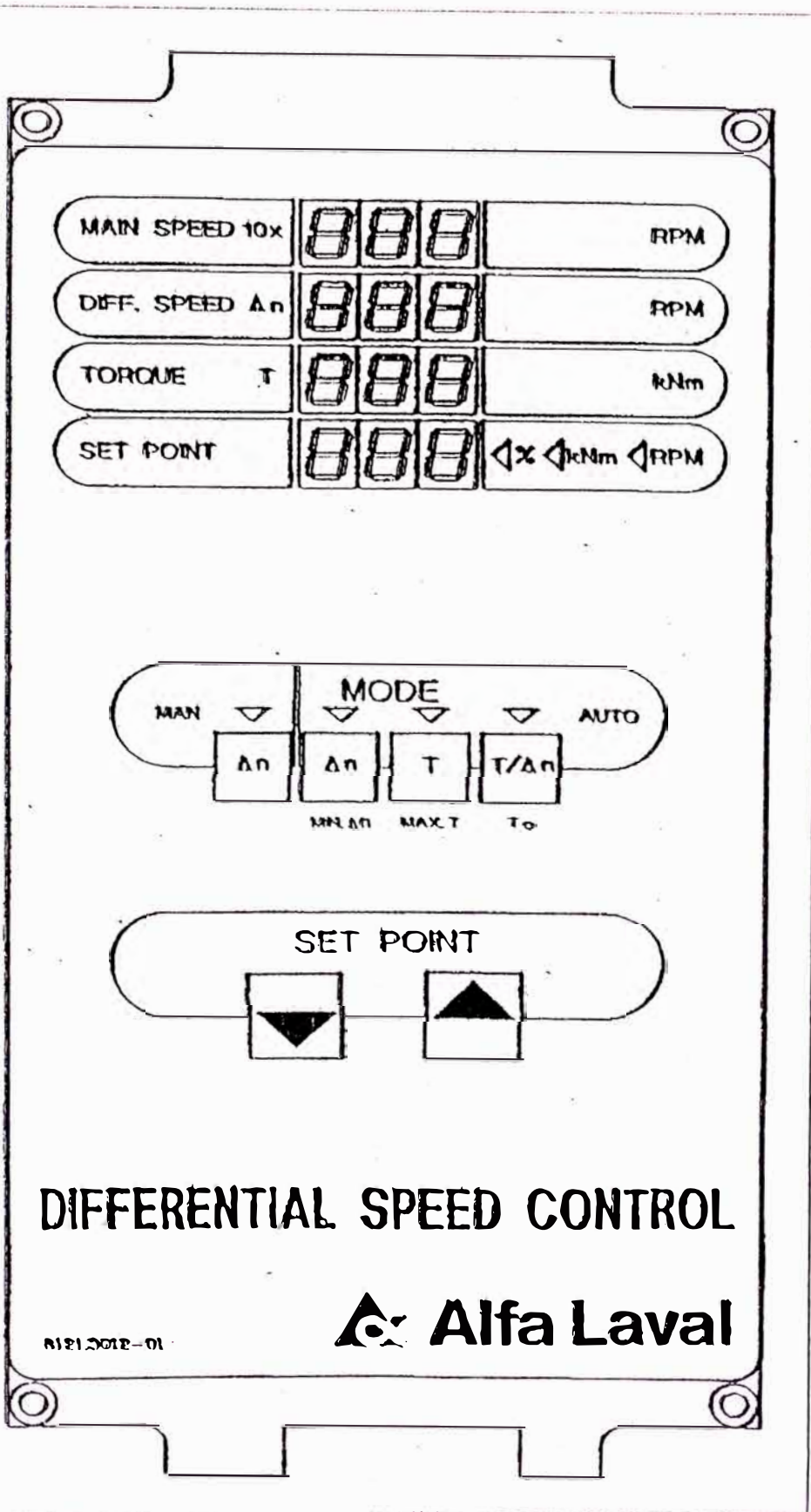




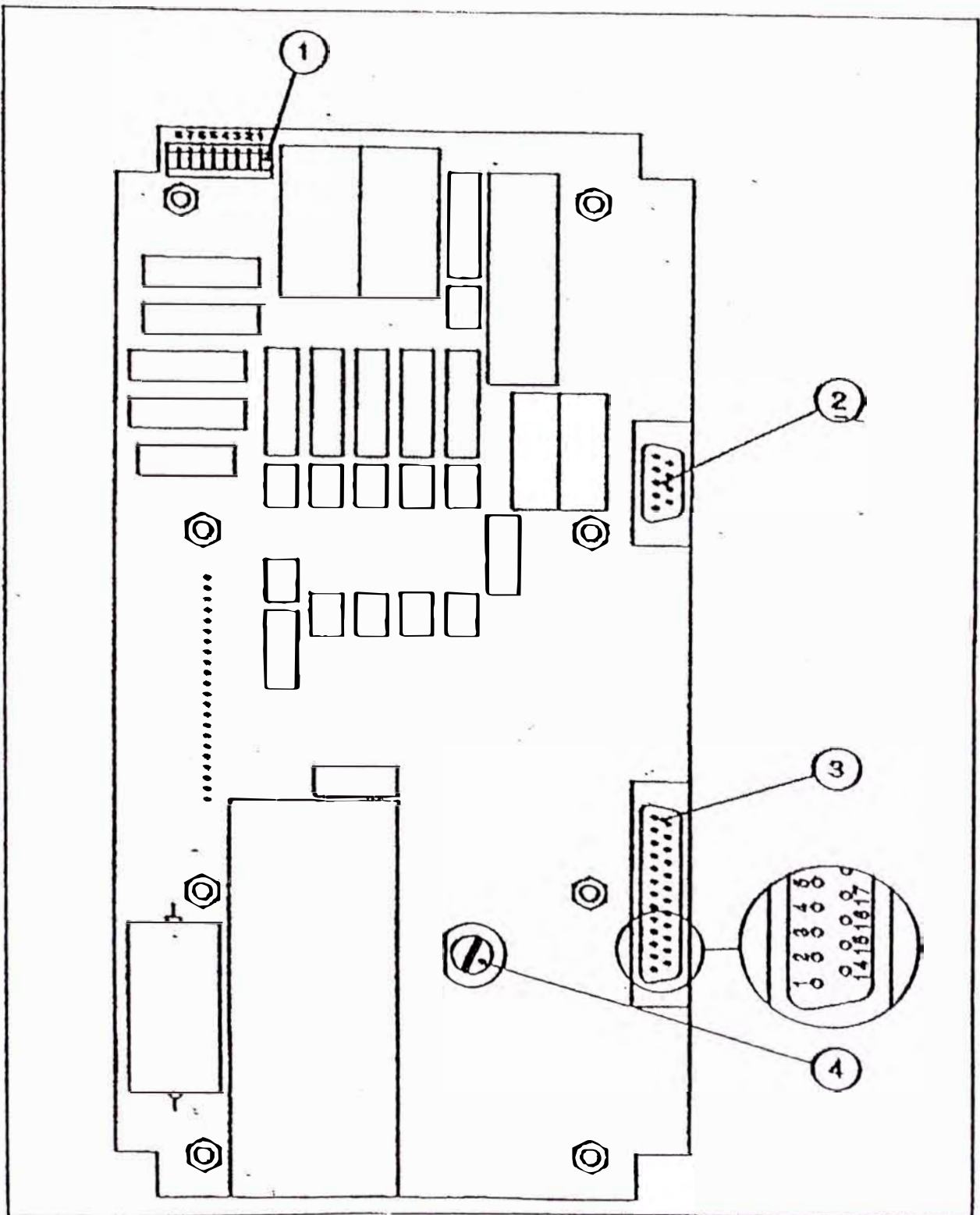
CONEXION ELECTRICA FPNX 934-PAITA	
SISTEMA PROPUESTO	
TITULO	PAG
ALARMAS	010

# **ANEXO II**

## **DESCRIPCION DEL DSC**



PANEL FRONTAL DSC



- 1. Interruptores DIP (SW-1 a SW-8)
- 2. E/S en serie (RS 485)

- 3. Conexiones de clavija (25 pines)
- 4. Fusible (1 Amp T)

PARTE POSTERIOR DSC

<b>DATOS ELECTRICOS</b>	
<b>Conector</b>	Sub – conector "D" macho de 25 pines
<b>Fuente de Alimentación</b>	24 Vol CC $\pm$ 10 % Consumo máx.: 1 Amperio
<b>Condiciones Ambientales</b>	0° - 50° C 0 – 70% de humedad relativa sin condensación
<b>Entrada analógica</b>	Resistencia 280 $\Omega$ 0-100% = 4 – 20 mA $\pm$ 2%
<b>Entrada digital</b>	Resistencia 4100 $\Omega$ Baja 0 a 4 V Alta 10 a 24 V
<b>Sensores Namur</b>	Salida de la fuente de alimentación 8,2 V $\pm$ 5% Resistencia: 510 $\Omega$ Baja 0 a 1,3 V Alta 1,6 a 8,2 V
<b>Salida analógica</b>	Resistencia 100 k $\Omega$ 0-100% = 4 – 20 mA $\pm$ 2% Tensión máx.: 18 V Carga máx.: 500 $\Omega$
<b>Relés</b>	Resistencia 0,2 $\Omega$ Potencia máx.: 10 W Tensión máx.: 30 V CA ó 50 V CC Corriente máx.: 0,5 Amp
<b>E/S en serie</b>	RS 485 Conector D hembra de 9 pines



**DATOS ELECTRICOS**

**Márgenes de señales analógicas de 4 – 20 mA :**

<b>Presión</b>	0 – 400 bar	Reductora 10 kNm
	0 – 250 bar	Otras reductoras
<b>Velocidad diferencial</b>	0 – 100 rpm	
<b>Velocidad del rotor</b>	0 – 8000 rpm	Series NX 3500
	0 – 4000 rpm	Otros decantadores
<b>Par de torsión</b>	0 – 10 kNm	Reductora 10 kNm
	0 – 4 kNm	Otras reductoras

**Conectores de 25 pines**

<b>1, 2</b>	0 V
<b>3, 4</b>	24 V
<b>5, 6</b>	Relé (normalmente cerrado) ECB : Advertencia sobrecarga par de torsión (PSH)
<b>7, 8</b>	Relé (normalmente cerrado) ECB : Sobrecarga par de torsión (PSHH)
<b>9, 10</b>	Relé (normalmente cerrado) Hidráulico : Activado con velocidad del rotor = 0 ECB : Velocidad del eje de salida alta o baja

**Sensores Namur :**

<b>11</b>	Salida de 8,2 V de la fuente de alimentación
<b>12</b>	Sensor del eje de salida
<b>14</b>	Sensor del rotor
<b>16</b>	Dirección rotativa del eje de salida

**Salida analógica**

<b>17</b>	Señal de control a amplificador
<b>18</b>	Velocidad diferencial
<b>19</b>	Velocidad del rotor
<b>20</b>	Señal de par de torsión

**Entrada analógica**

<b>23</b>	Presión hidráulica
-----------	--------------------

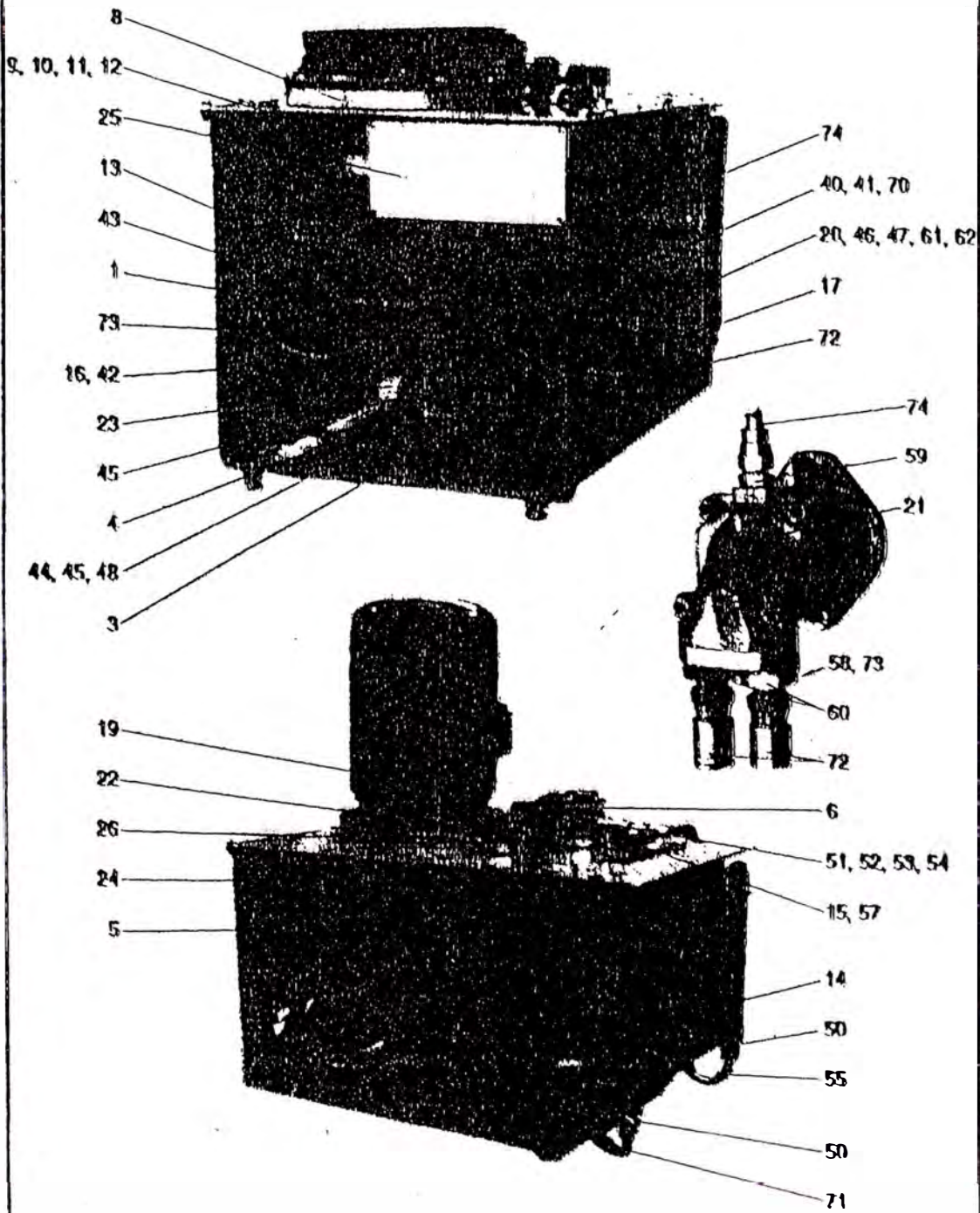


**DATOS ELECTRICOS****Tarjeta de interfase de ECB**

<b>Conector</b>	12 polos con terminales de tornillo
<b>Alimentación</b>	187 – 264 V                      50 – 60 Hz
<b>Entrada tacómetro</b>	Resistencia 7,8 k $\Omega$ máx. 200V
<b>Salida</b>	máx. 4,5 Amp 90 V
<b>Fusibles</b>	4 x 5 Amp
<b>Conexiones de clavija</b>	
<b>1, 3</b>	Salida a bobina de freno
<b>5</b>	Protección a tierra
<b>7, 9</b>	Alimentación
<b>11, 12</b>	Entrada desde generador tacométrico

# **ANEXO III**

**PARTES DEL SISTEMA HIDRAULICO**



93.09

300-003

BACK DRIVE

Complete Hydraulic System, 2.5 kNm

5120.8897- 80 / - 81

NX 4..

NX 8.. / NX 9..



	ES - English	SE - Svensk	DE - Deutsch	FR - Français	ES - Español	IT - Italiano	OK - Dansk
	BACK DRIVE	SOULDRIFT	SOMMELRÅSTREB	ÉLÉMENTS DE LA ROUE SOUS	ACQUANTO DE LA RUOTA SOTTO	ACQUANTO DEL PARONE CENTRALE	SOULDRIFT
14.	Complete hydraulic system, 2.5 kN/m	Komplet hydraulisk system	Komplet hydraulisk system	Système hydraulique complet	Sistema Hidráulico completo	Sistema Idraulico	Komplet hydraulisk system
1.	1120.2007-01	2-way, 20L/50-250/250/250	Pump	Pompe	Bomba	Pompe	Pumpe
2.	1120.2007-03	Charge-over valve	Trykindsætt	Vanne à deux voies	Válvula de dos vías	Válvula a dua vie	3-åbning
7.	1120.2007-04	Valve block	Verdix	Bois de vanne	Bloque de valves	Blocco di valvole	Verdix
5.	1120.2007-12	Soft glass	Skjold	Vanne	Matras	Vetro gho	Skjold
6.	1120.2007-08	Plain flow	Åbning	Filo de nylon	Filo de nylon	Filo di nylon	Åbning
6.1	1120.2007-14	Flow element	Flødestrømer	Copel de fil	Elemento de fil	Elemento di filo	Flødestrømer
8.	1120.2007-01	Adapter for cover	Plug til boks	Bite du couvercle	Bite de la boîte	Punza del coperchio	Plug til boks
9.	1120.2007-09	Cover	Lok	Couvercle	Tap	Coperchio	Lok
10.	1120.2007-03	Flubber element for coupling	Distriktslemme til kopling	Coupe en caoutchouc pour accouplement	Elemento de goma para accouplement	Elemento di gomma per accouplemento	Distriktslemme til kopling
11.	1120.2007-11	Coupling part	Koplingsdel	Parte d'accouplement	Parte de accouplement	Parte d'accouplement	Koplingsdel
12.	1120.2007-12	Coupling part	Koplingsdel	Parte d'accouplement	Parte de accouplement	Parte d'accouplement	Koplingsdel
13.	1120.2007-13	Angular plug correction for servo valve	Vinkelkorrigering til servovalve	Recommandation à l'usage angulaire pour servovalve	Recor de ajuste angular para servovalvula	Recomando angolare di corretto uso per servovalvole	Vinkelkorrigering for servovalve
14.	1120.2007-14	At cover	Luftrør	Support à air	Soporte de aire	Supporto ad aria	Luftrør
15.	1120.2007-16	Thermostat	Termostat	Thermostat	Termostato	Termostato	Termostat
16.	1120.2007-16	Keyset	Fløj	Stèle	Stèle	Plancia	Fløj
17.	1120.2007-05	Pressure (Pressure control)	Presstænd	Pressostat	Pressostato	Pressostato	Presstænd
18.	1120.2007-18	Electro motor	Driv	Moteur électrique	Motor eléctrico	Motore elettrico	Driv
19.	1120.2007-20	Switch motor, AL 0009	Driv	Motor électrique	Motor eléctrico	Motore elettrico	Driv
20.	1120.2007-06	Motor	Driv	Motore	Motor	Motor	Driv



NX 4.,  
NX 8. / NX 9.,

6120.8897-80 / -81

BACK DRIVE  
Complete Hydraulic System, 2.5 kN/m

93.09  
300-003 a

	GB - English	SE - Svensk	DE - Deutsch	FR - Française	ES - Español	IT - Italiano	DK - Dansk
	<b>BACK DRIVE</b>	<b>SOLJULSDRIFT</b>	<b>SORTERADANTRIES</b>	<b>ENTRACEMENT DE LA ROUE SOLAIRE</b>	<b>ACCIONAMIENTO DE LA RUEDA SOLAR</b>	<b>ACCIONAMENTO DEL PIGNONE CENTRALE</b>	<b>SOLJULSDRIFT</b>
	Complete hydraulic system, 2.5 kN/m	Komplet hydraulisk system	Komplettes Hydrauliksystem	Système hydraulique complet	Sistema hidráulico completo	Sistema Idraulico	Komplet hydraulisksystem
11. 6120.8897-40	Pump, VOLVO AL C308 (6120.8897-40)	Pump	Pump	Pompe	Bomba	Pompa	Pumpe
12. 6120.8897-41	Level and Temperature switch	Herf- og Temperaturswitch	Niveau- und Temperaturschalter	Interrupteur de niveau et de température	Interruptor de nivel y de temperatura	Interruttore di livello e termico	Niveau- og temperaturswitch
13. 6120.8897-42	Pressure transmitter	Tryktransmitter	Druckmessumformer	Transmetteur de pression	Transmisor de presión	Transmissore di pressione	Tryktransmitter
14. 6120.8897-43	Oil tank	Oljetank	Öltank	Réservoir de huile	Cilindrata para aceite	Serviziato per olio	Oljetank
15. 6120.8897-44	Shield for oil tank	Skjold for oljetank	Ölschild	Garde pour réservoir de huile	Guarda de la cisterna p. aceite	Protezione del serbatoio per olio	Skjold for oljetank
16. 6120.8897-45	Electrical junction box, complete	Elektrisk forbindelse, komplet	Elektrische Abzweigbox, komplet	Boîte de borniers électrique complète	Caja de conexiones eléctrica completa	Scatola terminali elettrica completa	Elektrisk forbindelse, komplet
17. 6120.8897-46	Rubber bush	Gummiforbinding	Gummiluchse	Ouville en caoutchouc	Cablete de goma	Braccio di gomma	Gummiforbinding



NX 4..  
NX 8.. / NX 9..

6120.8897-80 / - 81

BACK DRIVE  
Complete Hydraulic System, 2.5 kN/m

93.09  
300-003 b



Pos.	40 - 48	49 - 74	75 - 80	81 - 87	88 - 90	91 - 97
40.	1120.8897-40	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
41.	1120.2277-18	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
42.	1120.2277-40	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
43.	1120.2277-40	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
44.	1120.8897-44	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
45.	1120.2277-40	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
46.	1120.2277-44	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
47.	1120.2277-44	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
48.	1120.8897-48	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
49.	1120.2277-40	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
50.	1120.2277-40	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
51.	1120.8897-41	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
52.	1120.8897-42	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
53.	1120.8897-43	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
54.	1120.8897-44	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
55.	1120.8897-45	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
56.	1120.8897-46	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC
57.	1120.2277-18	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VEMO BOCK	SAUER + VERBODIC



NX 4.,  
 NX 8., / NX 9.,  
 8120.8897-80 / 81  
 BACK DRIVE  
 Complete Hydraulic System, 2.5 KNM  
 93.09  
 300-003 c

GB - English	SE - Svensk	DE - Deutsch	FR - Français	ES - Español	IT - Italiano	DK - Dansk
<b>SACK DRIVE</b> Complete hydraulic system, 2.5 kN/m	<b>SÖCKLÅSÖRIFT</b> Komplett hydrauliskt system 2,5 kN/m	<b>SOMMERLAGUTRIEB</b> Komplettes hydraulisches System 2,5 kN/m	<b>ENTRAÎNEMENT DE LA ROUE SOLAIRE</b> Système hydraulique complet Système Métrique	<b>ACCIONAMIENTO DE LA RUEDA SOLAR</b> Sistema hidráulico completo Sistema Métrico	<b>AZIONAMENTO DEL POMONE CENTRALE</b> Sistema idraulico completo Sistema Metrico	<b>SÖCKLÅSÖRIFT</b> Komplett hydraulisk system 2,5 kN/m
<b>Pos. 6120.8887-60</b>	<b>6120.8887-60</b>	<b>6120.8887-60</b>	<b>6120.8887-60</b>	<b>6120.8887-60</b>	<b>6120.8887-60</b>	<b>6120.8887-60</b>
<b>Pos. 40 - 74</b>	<b>Flange</b>	<b>Flange</b>	<b>Reccordi de brasure</b>	<b>Accesori per lubrific</b>	<b>Accessori per lubrific</b>	<b>Flange</b>
<b>Pos. 58 - 60</b>	<b>VOLVO pump</b>	<b>VOLVO-Pompe</b>	<b>Pompe VOLVO</b>	<b>Bomba VOLVO</b>	<b>Pompa VOLVO</b>	<b>VOLVO-pompe</b>
<b>58. 6120.8887-63</b>	<b>Flak tapping</b>	<b>Flacke Aufverbindung</b>	<b>Joint 3 part</b>	<b>Accoppiamento ricco</b>	<b>Accoppiamento ricco</b>	<b>Upe bogstavning</b>
<b>59. 6120.2214-60</b>	<b>Flak tapping</b>	<b>Flacke Aufverbindung</b>	<b>Joint 3 part</b>	<b>Accoppiamento ricco</b>	<b>Accoppiamento ricco</b>	<b>Upe bogstavning</b>
<b>60. 6120.2214-60</b>	<b>Flak tapping</b>	<b>Flacke Aufverbindung</b>	<b>Joint 3 part</b>	<b>Accoppiamento ricco</b>	<b>Accoppiamento ricco</b>	<b>Upe bogstavning</b>
<b>Pos. 61, 62</b>	<b>Procting coupling</b>	<b>Proctingverbindung</b>	<b>Joint 4 of 1/2 inch</b>	<b>Accoppiamento di cingole</b>	<b>Accoppiamenti di cingole</b>	<b>Tælingsøj</b>
<b>61. 6120.8887-41</b>	<b>T-joint</b>	<b>T-Hohlröhre</b>	<b>Joint 3 T</b>	<b>Accoppiamento T</b>	<b>Accoppiamento T</b>	<b>T-Åbning</b>
<b>62. 6120.8887-42</b>	<b>Test sub</b>	<b>Probenutzen</b>	<b>Reccordi d'inchiambrage</b>	<b>Tornillos de cables</b>	<b>Raccordi di supporto</b>	<b>Provettsub</b>
<b>Pos. 70 - 74</b>	<b>Sleeve</b>	<b>Schlauch</b>	<b>Tuyaux flexibles</b>	<b>Mangueras</b>	<b>Tubo flexible</b>	<b>Sleeve</b>
<b>70. 6120.8887-70</b>	<b>Suction hose</b>	<b>Saugschlauch</b>	<b>Tuyau aspirateur</b>	<b>Manguera de aspiración</b>	<b>Manchicchia d'aspirazione</b>	<b>Suggering</b>
<b>71. 6120.8887-71</b>	<b>Delivery hose to cooler</b>	<b>Drosselschlauch zum Kühler</b>	<b>Tuyau à pression en relief</b>	<b>Manguera de presión al enfriador</b>	<b>Tubo flessibile di mandata al raffreddatore</b>	<b>Tilgang til køler</b>
<b>72. 6120.2276-77</b>	<b>Delivery hose from valve block A+B to VOLVO</b>	<b>Drosselschlauch vom Ventilblock A+B zur VOLVO</b>	<b>Tuyau à pression entre bloc de valves A+B et VOLVO</b>	<b>Manguera de presión entre blo- que de válvulas A+B y VOLVO</b>	<b>Tubo flessibile di mandata fra blocco di valvole A+B e VOLVO</b>	<b>Tilslutning fra ventilblok A+B til VOLVO</b>
<b>73. 6120.8887-73</b>	<b>Delivery hose from valve block to VOLVO</b>	<b>Saugschlauch vom Ventilblock zur VOLVO</b>	<b>Tuyau flexible de tirage de bloc de valve à la VOLVO</b>	<b>Manguera de tirado del bloque de válvulas a la VOLVO</b>	<b>Tubo flessibile di tiraggio del blocco di valvole della VOLVO</b>	<b>Suggering fra ventilblok til VOLVO</b>
<b>74. 6120.8887-74</b>	<b>Over hose from VOLVO to SAUER</b>	<b>Anschlußschlauch von der VOLVO zur SAUER</b>	<b>Tuyau flexible de drainage entre VOLVO et SAUER</b>	<b>Manguera de drenaje entre VOLVO y SAUER</b>	<b>Tubo flessibile di drenaggio fra VOLVO e SAUER</b>	<b>Drainage fra VOLVO til SAUER</b>



NX 4.,  
NX 8., / NX 9.,

6120.8887- 80 / - 81

BACK DRIVE

Complete Hydraulic System, 2.5 kN/m

93.09

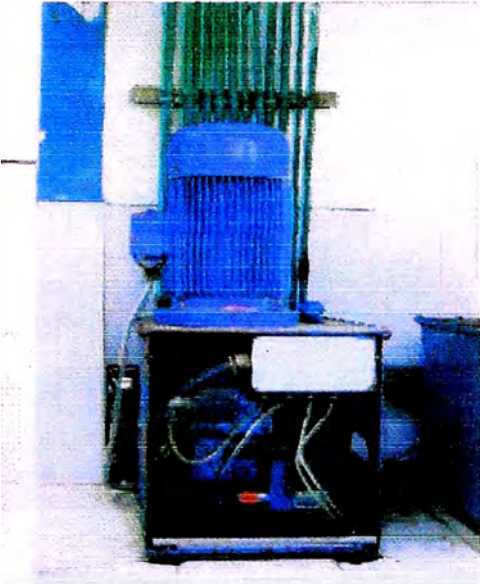
300-003 d

# **ANEXO IV**

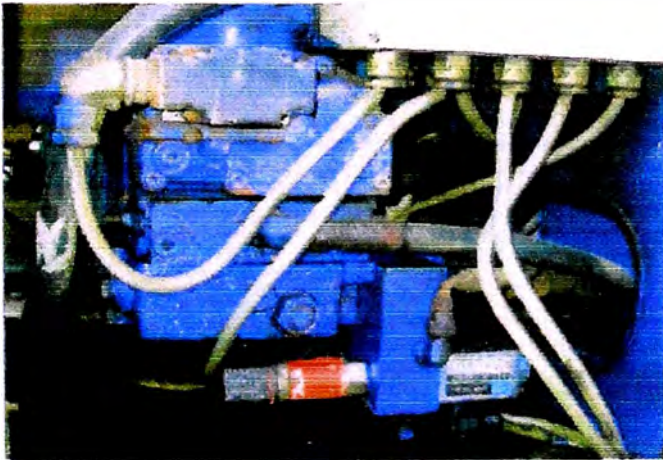
**FOTOS SEPARADORA DE SOLIDOS**



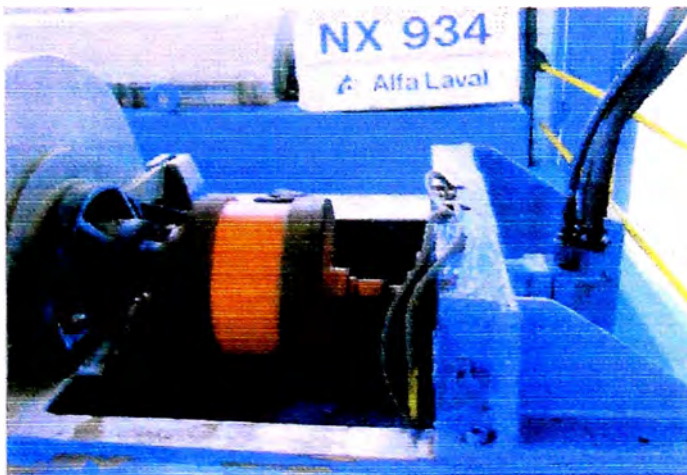
## FOTOS SISTEMA HIDRAULICO



**SISTEMA BOMBA HIDRAULICA**

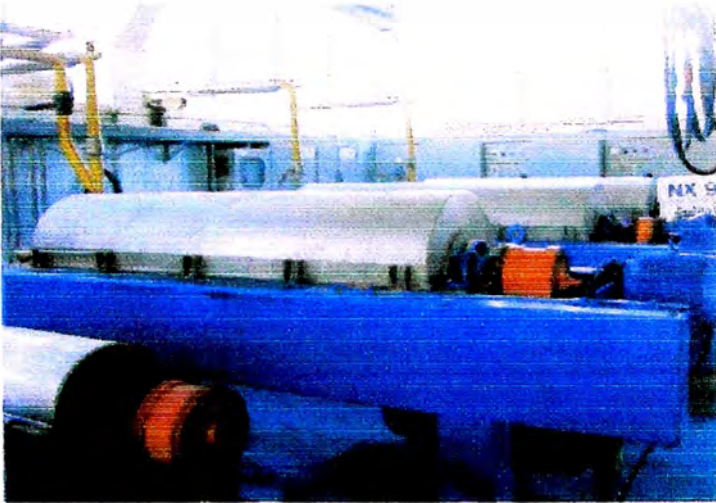


**SERVOVALVULA**



**MOTOR HIDRAULICO**

## FOTOS SISTEMA VARIADOR DE FRECUENCIA



**MOTOR ELECTRICO**



**MOTOR ELECTRICO**



**VARIADOR DE FRECUENCIA**

**HF 430**