

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
SEDE – LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULO DIDÁCTICO PARA EL  
CONTROL Y REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD EN LAZO  
CERRADO EN MOTORES ASINCRÓNICOS TRIFÁSICOS,  
EMPLEANDO UN VARIADOR DE CONTROL VECTORIAL.**

**ELABORADO POR:**

**NÚÑEZ PÉREZ JULIO STALIN**

**Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTROMECAÁNICA**

**Año**

**2007**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Julio Stalin Núñez Pérez, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero de Ejecución en Electromecánica.

---

Fecha

---

Ing. Mario Jiménez  
DIRECTOR

---

Ing. Mario Silva  
CODIRECTOR

## **AGRADECIMIENTO.**

Mi agradecimiento muy especial a la ESPE-L por haberme dado la oportunidad de especializarme y así poder desarrollar mis capacidades como Ingeniero Electromecánico.

Así como también agradezco a todos a quienes han colaborado de una u otra manera para haber podido llegar a la culminación de la meta que me propuse.

Además mi más sincero agradecimiento a mis padres, maestros y amigos que con su experiencia y motivación hicieron posible la realización de este trabajo.

Y sobre todo, las gracias más profundas a Dios que con su sabiduría y misericordia ha sabido guiarme y fortalecerme.

*Julio Núñez.*

## **DEDICATORIA.**

*La presente tesis está dedicada especialmente a mis padres que con abnegación y esfuerzo me han apoyado para la feliz culminación de mis estudios universitarios y, por tanto, para la elaboración de este trabajo que expongo a continuación.*

*Julio Núñez.*

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
i.- INTRODUCCIÓN	i
ii.- ANTECEDENTES	i
iii.- OBJETIVO GENERAL	ii
iv.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ii
v.- JUSTIFICACIÓN	ii
vi.- ALCANCES Y METAS	iii

## CAPÍTULO1

### GENERALIDADES

1. 1 LAS TÉCNICAS DE MODULACIÓN	1
1.1.1. El control PWM.	1
1.1.2. Control Vectorial.	2
1.1.3. El circuito de potencia del inversor.	3
1.1.4. Modulación vectorial	5
1.1.4.1 Sistemas Trifásicos 4 hilos.	6
1.1.4.2 Sistemas Trifásicos 3 hilos.	9
1.1.4.3 Estados de conmutación en inversores VSI.	12
1.1.4.4. Señal de salida en modulación SVPWM	16
1.1.5 Estrategia de modulación vectorial.	17
1.1.6 Modulador digital.	19

1.2. Sistemas de control.	20
1.2.1. Ejemplos de sistemas de control.	21
1.2.1.1. Lazo Abierto.	23
1.2.1.2. Lazo Cerrado.	24
1.3. Control de velocidad de un motor de inducción.	26
1.3.1. Técnicas de control.	27
1.3.1.1. Variar el deslizamiento de un motor para una carga dada.	27
1.3.1.2. Variar la velocidad sincrónica.	29
1.3.2. Elección del método a usar para el control de velocidad.	32
1.3.2.1 Método de variar el deslizamiento.	33
1.3.2.2 Método de variar la velocidad sincrónica.	33
1.3.3. Tipos de control al variar la frecuencia.	34
1.3.4. Límites o gama de regulación.	35
1.4. Encoder's.	36
1.4.1. Clasificación.	37
1.4.1.1. Encoder incremental.	37
1.4.1.2. Encoder incremental con fases de conmutación integradas.	39
1.4.1.3. Encoder sinusoidal.	40
1.4.1.4. Encoder Absoluto.	42
1.4.2. Acondicionamiento de señal.	46
1.4.2.1. Acondicionamiento analógico.	47
1.4.2.2. Multiplexor analógico.	48
1.4.2.3. Amplificador de muestreo y retención.	48
1.4.3. Selección del encoder.	49

## **CAPÍTULO 2**

### **EL VARIADOR MICROMASTER 440**

2.1. El Micromaster 440.	51
2.2. Características .	52
2.3. Instalación.	55
2.4. Funciones.	59
2.5. Opciones y Calibración.	66

## **CAPÍTULO 3**

### **IMPLEMENTACIÓN**

3.1. Introducción.	70
3.2. Selección e implementación del encoder.	71
3.2.1. Diseño y construcción del acople del encoder.	72
3.2.2. Diseño y construcción del elemento de sujeción del encoder.	75
3.3. Acondicionamiento de señal.	76
3.4. El variador de frecuencia.	78

3.5. El motor de inducción.	79
3.6. Electrodinamómetro.	80
3.7. Montaje del proyecto.	80
3.8. Programación del variador.	82

## **CAPÍTULO 4**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

4.1. Introducción.	87
4.2. Análisis en estado estacionario.	88
4.3. Análisis de comportamiento del conjunto motor – LAZO ABIERTO.	88
4.3.1. Análisis de estabilidad en la variable velocidad en modo de de operación V/f	89
4.3.2. Análisis de estabilidad en la variable velocidad en modo de operación control vectorial sin sensor	95
4.4. Análisis de comportamiento del conjunto motor-variador en LAZO CERRADO	100
4.5. Análisis de estabilidad en la variable velocidad.	101
4.6. Influencia del sentido de giro.	107
4.7. Análisis de efectividad del conjunto motor – variador.	107

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 CONCLUSIONES	109
5.2. RECOMENDACIONES	110

# ÍNDICE DE FIGURAS.

## CAPÍTULO 1 GENERALIDADES.

Figura 1.1. Esquema convertidor de frecuencia.	3
Figura 1.2. Inversor trifásico (PWM)	4
Figura 1.3. Circuito de potencia del inversor.	5
Figura 1.4. Componentes de un sistema trifásico.	6
Figura 1.5. Evolución temporal de los tres voltajes de un sistema 3Ø	7
Figura 1.6. Evolución temporal del vector suma.	8
Figura 1.7. Relación entre voltajes simples y tensiones compuestas	10
Figura 1.8. Inversor trifásico por tres semipuentes.	12
Figura 1.9. Estado de los interruptores	14
Figura 1.10. Posición de los diferentes vectores	15
Figura 1.11. Generación de una señal cuadrada trifásica.	16
Figura 1.12. Descomposición del vector intermedio en el sector 1	18
Figura 1.13. Sistema espejo.	20
Figura 1.14. Sistema de control	21
Figura 1.15. Curva característica típica par-velocidad de un motor de inducción	27
Figura 1.16. Curva característica par-velocidad de un motor de inducción que muestra los rangos extendidos de operación.	28
Figura 1.17. Grafico de la velocidad variando la frecuencia.	30
Figura 1.18. Posibles conexiones e un motor con polos cambiables.	32
Figura 1.19. Sistema encoder.	37
Figura 1.20. Encoder incremental.	38
Figura 1.21. Encoder incremental con fases de conmutación.	40
Figura 1.22. Encoder sinusoidal.	42
Figura 1.23. Encoder absoluto.	43
Figura 1.24. Codificación absoluta.	44
Figura 1.25. Código gray o binario.	45

## **CAPÍTULO 2**

### **EL VARIADOR MICROMASTER 440**

Figura 2.1. Serie MICROMASTER 440.	52
Figura 2.2. Colocación y desmontaje del convertidor.	57
Figura 2.3. Conexiones del motor y la red.	58
Figura 2.4. Localización del interruptor DIP para ajuste de frecuencia base	60
Figura 2.5. Paneles disponibles para el convertidor MICROMASTER.	61
Figura 2.6. Funcionamiento básico con panel SDP.	62
Figura 2.7. Puesta en servicio del variador de frecuencia.	63

## **CAPÍTULO 3**

### **IMPLEMENTACIÓN.**

Figura 3.1. Encoder DRS 61.	72
Figura 3.2. Acople del motor.	73
Figura 3.3. Dimensiones del acople del encoder.	73
Figura 3.4. Acople finalizado del encoder.	74
Figura 3.5. Acople finalizado del encoder.	74
Figura 3.6. Encoder montado al eje cilíndrico.	75
Figura 3.7. Encoder listo para acoplar al motor.	75
Figura 3.8. Tarjeta de acoplamiento de encoder	76
Figura 3.9. Montaje de la tarjeta en el variador.	77
Figura 3.10. Colocación de la tarjeta AOP.	77
Figura 3.11. Variador con tarjeta de acople de encoder y AOP.	78
Figura 3.12. Bornera de la tarjeta de acoplamiento de encoder y distribución de terminales del encoder	78
Figura 3.13. Variador MICROMASTER 440.	79
Figura 3.14. Electrodinamómetro y Tacogenerador.	80
Figura 3.15. Encoder acoplado a motor.	81

Figura 3.16. Acoplamiento de todo el conjunto.	81
Figura 3.17. Proyecto ensamblado	81
Figura 3.18. Ajuste de los datos de placa del motor.	82

## **CAPÍTULO 4**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

Figura 4.1. Estados de funcionamiento del motor eléctrico.	88
Figura 4.2 Lazo Abierto	89
Figura 4.3 Velocidad vs. Torque a 45 Hz	90
Figura 4.4 Torque vs. Corriente a 45 Hz.	91
Figura 4.5 Velocidad vs. Torque a 60 Hz	92
Figura 4.6 Torque vs. Corriente a 60 Hz.	92
Figura 4.7 Velocidad vs. Torque a 70 Hz	93
Figura 4.8 Torque vs. Corriente a 70 Hz.	94
Figura 4.9 Velocidad vs. Torque a 45 Hz	96
Figura 4.10 Torque vs. Corriente a 45 Hz.	96
Figura 4.11 Velocidad vs. Torque a 60 Hz	97
Figura 4.12 Torque vs. Corriente a 60 Hz.	98
Figura 4.13 Velocidad vs. Torque a 70 Hz	99
Figura 4.14 Torque vs. Corriente a 70 Hz.	99
Figura 4.15 Sistema de control en lazo cerrado.	101
Figura 4.16 Velocidad vs. Torque a 45 Hz	102
Figura 4.17 Torque vs. Corriente a 45 Hz.	103
Figura 4.18 Velocidad vs. Torque a 60 Hz	104
Figura 4.19 Torque vs. Corriente a 60 Hz.	104
Figura 4.20 Velocidad vs. Torque a 70 Hz.	105
Figura 4.21 Torque vs. Corriente a 70 Hz.	106
Figura 4.22 Comparación entre la funcionalidad horaria y anti horaria.	106

## **ÍNDICE DE TABLAS.**

### **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.**

Tabla 1.1. Vectores de tensión de conmutación.	15
Tabla 1.2. Combinación código Binario - Gray	44
Tabla 1.3. Código Gray quebrado o Gray con exceso N.	45

### **CAPÍTULO 2**

#### **EL VARIADOR MICROMASTER 440**

Tabla 2.1. Características del MICROMASTER 440.	55
Tabla 2.1. Operación del MICROMASTER 440 por primera vez.	56
Tabla 2.3. Diferentes estados de alarma o fallo.	62
Tabla 2.4. Botones del panel del variador MICROMASTER 440.	64

### **CAPÍTULO 3 IMPLEMENTACIÓN**

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS Y RESULTADOS

Tabla 4.1. Prueba a 45 Hz.	90
Tabla 4.2. Prueba a 60 Hz.	91
Tabla 4.3. Prueba a 70 Hz.	93
Tabla 4.4. Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 0N.m	94
Tabla 4.5. Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 1.5 N.m	94
Tabla 4.6. Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 1.75 N.m	95
Tabla 4.7. Prueba a 45 Hz.	95
Tabla 4.8. Prueba a 60 Hz.	97
Tabla 4.9. Prueba a 70 Hz.	98
Tabla 4.10. Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 0N.m	100
Tabla 4.11. Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 1.5 N.m	100
Tabla 4.12. Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 1.75 N.m	100
Tabla 4.13. Relación entre elementos teóricos y reales.	101
Tabla 4.14. Prueba a 45 Hz.	102
Tabla 4.15. Prueba a 60 Hz.	103
Tabla 4.16. Prueba a 70 Hz.	105
Tabla 4.17. Eficiencia del sistema.	108

## ANEXOS

### Anexos A

**ANEXO A1:** Variador Siemens MICROMASTER 440.

**ANEXO A2:** Encoder DRS 61.

**ANEXO A3:** Tarjeta de encoder.

**ANEXO A4:** Guías de Práctica.

## **i.- INTRODUCCIÓN**

El hombre en el transcurso de su historia en la industria siempre ha intentado desarrollar métodos y técnicas con el fin de satisfacer necesidades y que su mano no esté dentro de un proceso, lo cual produce que tenga una mayor velocidad de respuesta y mejor eficiencia dentro de dicho proceso. Al pasar el tiempo se inventaron métodos mecánicos, los cuales no tenían la eficiencia requerida, luego vino la electromecánica; con el uso de relés y contactores se pudo realizar un mayor control del proceso, pero al igual que el mecánico no tenían una buena eficiencia. Con el avance de la electrónica y de los elementos de estado sólido, se implementaron nuevas técnicas de control (LAZO CERRADO – ABIERTO), junto con los variadores y sensores o transductores se pudo realizar un control muy eficiente sin la intervención de la mano del hombre, lo cual permitió que aumente la vida útil de los equipos y por ende la eficiencia de los mismos.

## **ii.- ANTECEDENTES.**

El control de velocidad en un motor de corriente alterna siempre ha sido uno de los problemas más grandes que a tenido que afrontar la industria, con el apareamiento de los variadores de frecuencia, se solucionó parcialmente el problema, ya que éste controla la frecuencia y el voltaje en forma proporcional, esto ocasiona que no mantenga un control en el torque, siendo esta una de las principales desventajas de los sistemas antiguos.

Ahora en la actualidad se ha propuesto un sistema muy atractivo y eficiente, el mismo que se lo ha llamado CONTROL VECTORIAL, ya que esta técnica se basa en la teoría de los vectores espaciales y hoy en día constituye la mejor alternativa para la modulación de convertidores estáticos.

Una de las principales ventajas es que este tipo de modulación o control puede mantener un torque máximo desde 0 Hz. Lo cual permite en los distintos procesos de la industria sea muy aplicado.

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

### **iii.- OBJETIVO GENERAL.**

Controlar y regular la velocidad en lazo cerrado en motores asincrónicos trifásicos, empleando un variador de control vectorial, utilizando un encoder.

### **iv.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Controlar la velocidad de un motor asincrónico
- Implementar un panel de control lazo cerrado en el laboratorio de Control Electrónico de Motores.
- Determinar cual de los métodos de control (lazo abierto o cerrado), es el más efectivo.

### **v.- JUSTIFICACIÓN.**

En la mayoría de las industrias se tiene la necesidad de tener una regulación de velocidad desde el momento del arranque. La mejor forma es mediante un variador de frecuencia, para el cual se han aportado varias técnicas de modulación, las mismas que tienden a mantener un torque máximo con una frecuencia baja.

Con el control vectorial se desea obtener una mejor operación del motor y un buen control de frecuencia manteniendo un torque máximo. Esto hace que la industria pueda realizar nuevas prácticas para obtener un mejor producto.

La retroalimentación (control lazo cerrado), hace mucho más eficiente el funcionamiento del motor. Con el control vectorial podemos tener un

continuo monitoreo y cambio de sus variables sin intervención de la mano del hombre, lo que produce un menor costo de operación y mejoramiento de productividad en tiempos de traslado del personal técnico.

De la misma forma, el control con lazo cerrado hace posible a cada instante cambiar los parámetros que controlan la velocidad del motor, provocando un mejor rendimiento y una mejor utilización de los recursos electromecánicos.

En el ámbito educativo es necesario aplicar esta tecnología, con el fin de estar preparados como futuros profesionales, frente a los nuevos retos que nos trae la globalización.

El estudio de este fenómeno (regulación de velocidad), para este caso particular tiene una gran importancia práctica, ya que la elección correcta de las características del motor, variador y encoder a implementar, requieren el conocimiento de las características y condiciones de control de éste proceso.

El variador nos permite realizar un control de lazo abierto y cerrado, para así poder determinar cual de los dos métodos es el más óptimo para el mejor rendimiento del motor siendo esto de importancia en la realización de este proyecto.

La implementación de un módulo sería la forma más didáctica de aprender y asimilar el trabajo del Variador de Velocidad con Control Vectorial y la retroalimentación con un encoder.

#### **vi.- ALCANCES.**

- Dar a conocer la técnica de modulación para variadores de frecuencia.
- Controlar automáticamente la velocidad del motor mediante un lazo cerrado.
- Promover el cambio de tecnología, demostrando que el control vectorial mejora el rendimiento del variador de frecuencia y por ende el rendimiento del motor.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.2 LAS TÉCNICAS DE MODULACIÓN**

#### **1.1.1 EL CONTROL PWM.**

Existe una gran variedad de técnicas con respecto a la modulación para convertidores de tensión desde continua a alterna (DC / AC) o comúnmente denominados inversores. La modulación de 120°, la modulación de 180°, la modulación por desplazamiento de fase y las modulaciones de la anchura del pulso son algunas de las técnicas de modulación más conocidas, cada una de ellas con un concepto y funcionamiento específico y determinado. La elección de una técnica de modulación u otra, depende de los factores que caracterizan la aplicación, como son entre otros:

- ◆ Nivel de potencia a controlar.
- ◆ Dispositivos semiconductores empleados.
- ◆ Requisitos de la carga.
- ◆ Características de la forma de onda de salida (Distorsión, amplitud, frecuencia).

Una de las técnicas más utilizadas es la modulación por ancho de pulso (PWM)<sup>1</sup> con sus múltiples variantes: un único pulso por semiperiodo, varios pulsos por semiperiodo, varios pulsos senoidal, etc. Tiene como principal ventaja la sencillez en su implementación, pero como contrapartida, no se adaptan bien a la respuesta dinámica en cargas no lineales y poseen elevadas pérdidas por conmutación que se producen cuando se requiere una distorsión armónica total (THD)<sup>2</sup> de bajo valor, debido a que el número de conmutaciones debe ser elevado.

### 1.1.2 CONTROL VECTORIAL

El motor de Inducción controlado vectorialmente tiene un comportamiento dinámico muy similar al del motor de corriente continua. Esta característica unida a su bajo costo y a su poco mantenimiento hace que éste se esté imponiendo en las aplicaciones industriales como servomotor. Al controlar, con esta técnica, no solo la magnitud sino también la fase se controlan y permiten tener:

- ◆ Una regulación precisa de velocidad.
- ◆ Un par máximo disponible a cualquier velocidad, hasta la de sincronismo.
- ◆ La operación en cuatro cuadrantes.
- ◆ Que no haya zonas muertas en el control de par o velocidad.
- ◆ Una excelente respuesta dinámica.

Se analizará a detalle la técnica de modulación por ancho de pulso del vector espacio (SVPWM) generalmente llamada control vectorial. Su principal característica es que se sustituye todo el sistema trifásico por un sólo vector en el que la frecuencia queda reflejada en su velocidad de giro con el paso del tiempo.

Esto permite emplear dicho vector para estudiar tanto los regímenes estacionarios como dinámicos en dichos sistemas. Son varias e importantes las

---

<sup>1</sup> PWM.- Pulse Width Modulation.

<sup>2</sup> THD.- Total Harmonic Distortion.

ventajas que presenta el control vectorial aunque depende de la aplicación. Por ejemplo, cuando se trata de controlar un motor trifásico de inducción, el control vectorial sobre el inversor trifásico permite desacoplar las variables del motor de inducción de forma que se logra un control independiente de la velocidad y del par, equiparable al motor de continua. O bien, cuando lo que se pretende es generar un sistema trifásico de tensiones senoidales (por ejemplo en sistemas de generación de energía eléctrica a partir de paneles solares y baterías), la implementación digital del control vectorial resulta mucho más sencilla que la de un PWM senoidal trifásico.

El Control Vectorial ó SVPWM de inversores trifásicos alimentados por fuente de tensión (VSI ó voltage source inverter) constituye una poderosa herramienta para el desarrollo y control de los convertidores de continua-alterna.

### 1.1.3 CIRCUITO DE POTENCIA DEL INVERSOR

La función de un convertidor de frecuencia es cambiar una tensión de entrada de corriente alterna con una magnitud y frecuencia fija, en una tensión simétrica de salida en corriente alterna, con la amplitud y frecuencia deseadas.

Entre estas dos etapas hay una etapa intermedia de rectificación a corriente continua de la entrada, para después ondular a las magnitudes deseadas. El esquema de un convertidor de frecuencia es el siguiente:

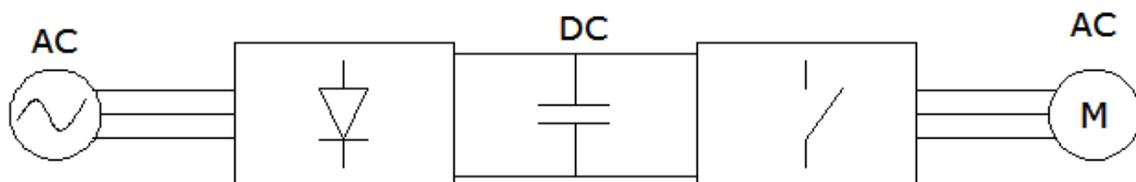


Figura 1.1 Esquema convertidor de frecuencia

Al variar la frecuencia eléctrica aplicada al estator la velocidad de rotación del campo magnético cambia en proporción directa al cambio de la frecuencia eléctrica.

El control de la velocidad se realiza mediante la frecuencia de conmutación de los componentes electrónicos (transistor, IGBT, MOSFET o GTO) que forman el inversor. La regulación de la tensión de salida se puede realizar de tres formas diferentes:

- ◆ Modificando el valor de la tensión de salida del rectificador, mediante un rectificador controlado.
- ◆ Variando el ancho de conducción de la tensión de salida, retrasando y adelantando la conducción y bloqueo de los semiconductores respecto de sus pasos por  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , figura 1.2
- ◆ Conmutar los semiconductores del inversor varias veces por cada ciclo de la frecuencia fundamental, de modo, que la proporción entre los tiempos de encendido  $t_{on}$  y de apagado  $t_{off}$ , dé el valor medio de la tensión de salida mediante la relación  $t_{on}/(t_{on}+t_{off})$ .

Las dos primeras posibilidades se dan en los convertidores de frecuencia con salida por bloques, y la última en los de salidas por pulsos, que es la más conocida.

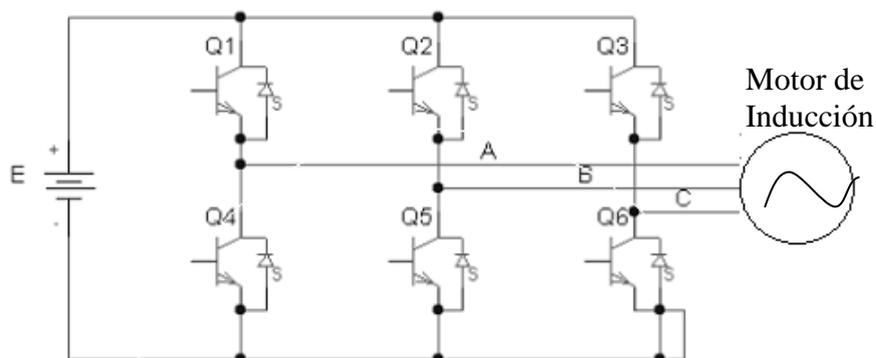


Figura 1.2 Inversor trifásico con modulación por el ancho de los impulsos (PWM).

El circuito de potencia del inversor se aprecia en la figura 1.3. Se observa que el inversor tiene en la entrada un rectificador. El circuito incluye además una resistencia ( $R_f$ ) y un transistor ( $T_f$ ), los que permiten disipar en forma controlada la energía devuelta por la carga, en el caso de frenado de un motor. El inversor como tal, está compuesto por transistores T1...T6.

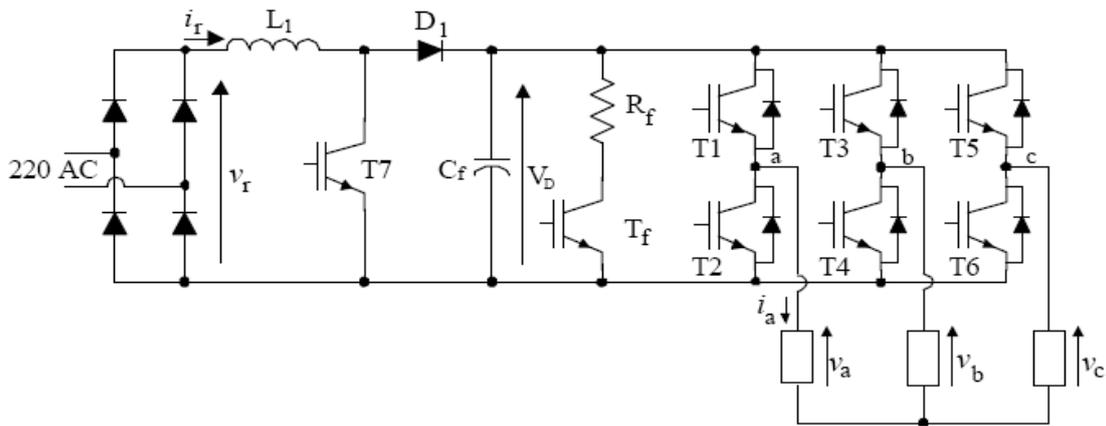


Figura 1.3 Circuito de potencia del inversor

#### 1.1.4 MODULACIÓN VECTORIAL

La representación vectorial con vectores espaciales se fundamenta en la manera en que se puede representar todo sistema compuesto por tres magnitudes  $x_1$ ,  $x_2$  y  $x_3$ , dependientes del tiempo, y que en un marco de referencia bidimensional verifican la relación de la siguiente ecuación.

$$x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) = 0 \quad (\text{Ecuación 1})$$

En este caso, en los sistemas eléctricos trifásicos balanceados, estas tres magnitudes representan corrientes, voltajes, etc.

### 1.1.4.1 SISTEMAS TRIFÁSICOS DE 4 HILOS

En un sistema trifásico a cuatro hilos, los voltajes de las tres fases respecto al neutro verifican la ecuación (1), pudiéndose expresar de la siguiente forma:

$$V_R(t) + V_S(t) + V_T(t) = 0 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Los tres voltajes de un sistema trifásico balanceado de cuatro hilos (tres fases simples) se pueden representar en un plano de referencia bidimensional ( $\alpha$ - $\beta$ ) mediante tres vectores espaciales desfasados entre sí  $120^\circ$ ; tal y como se muestra en la figura. 1.4

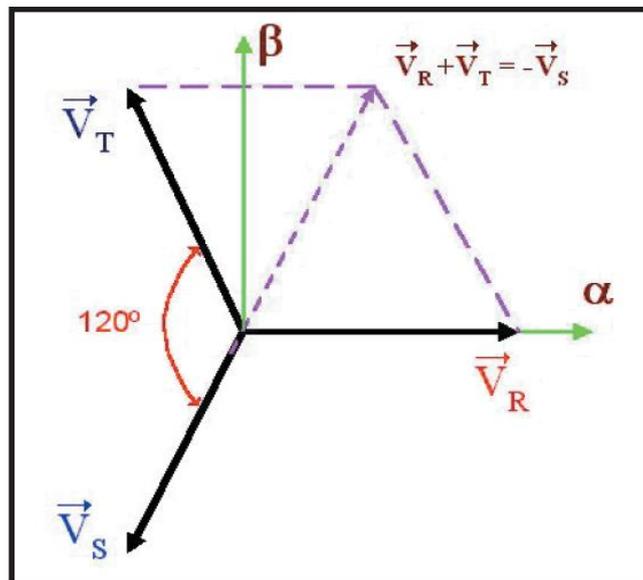


Figura 1.4 Componentes de un sistema trifásico

En la figura. 1.4 se observa que sobre el plano bidimensional ( $\alpha$ - $\beta$ ) se han distribuido los tres componentes de un sistema trifásico  $\vec{V}_R$ ,  $\vec{V}_S$ ,  $\vec{V}_T$ , Desfasadas entre sí  $2\pi/3$  ( $120^\circ$ ), haciendo coincidir la primera de las componentes,  $V_R$ . Con el eje de las abscisas para tener un desfase de  $0^\circ$  con el eje de referencia y, de esta manera, simplificar las ecuaciones que describen a cada uno de los voltajes simples:

$$V_R(t) = V_p * \text{sen}(wt) \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$V_S(t) = V_p * \text{sen}(wt - \varphi) \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$V_T(t) = V_p * \text{sen}(wt - 2\varphi) \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde  $\varphi = 2\pi/3 = 120^\circ$  y  $V_p$  representa el valor máximo de la señal, verificando, además que:

$$V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

La evolución temporal de los 3 voltajes de un sistema trifásico se detalla en la figura 1.5.

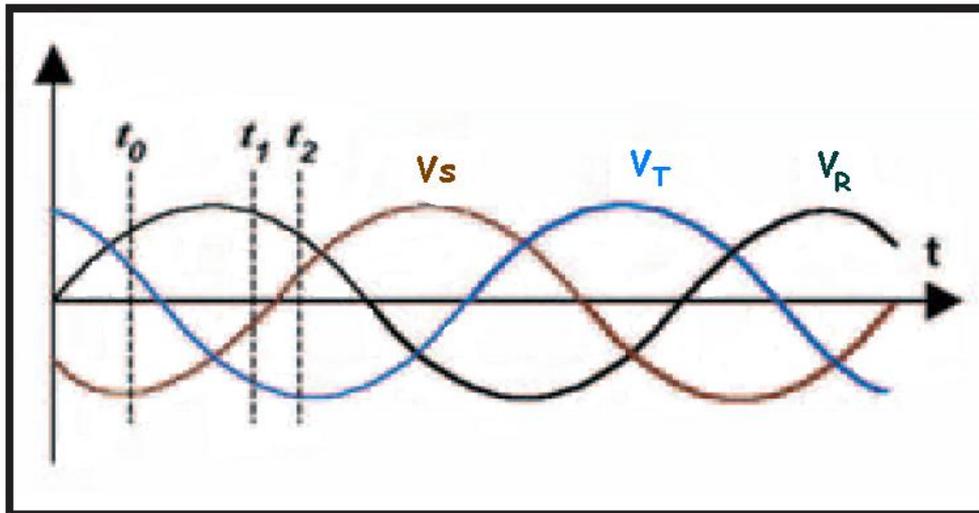


Figura 1.5 Evolución temporal de los tres voltajes de un sistema trifásico

Sobre la gráfica de la figura anterior se han marcado tres momentos determinados ( $t_0$ ,  $t_1$  y  $t_2$ ) en los que se tiene en cada uno de ellos, valores diferentes de los voltajes instantáneos.

La figura 1.6 muestra en estos tres instantes los tres voltajes simples en el sistema de referencia a-b y la evolución temporal del vector suma.

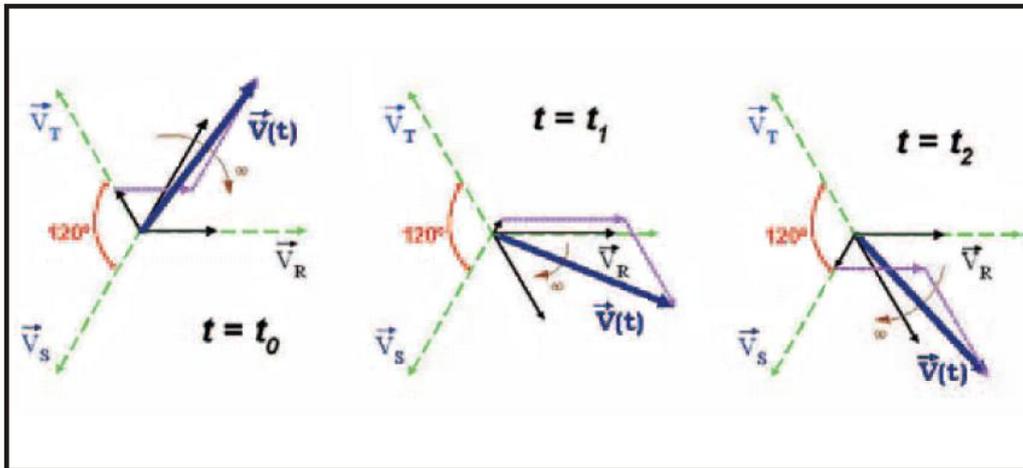


Figura 1.6 Evolución temporal del vector suma

La composición vectorial nos muestra como un sistema trifásico de voltajes  $V_R(t)$ ,  $V_S(t)$  y  $V_T(t)$ , que son los valores instantáneos de los voltajes equilibrados por fase, se reduce a un único vector  $V(t)$  mediante una suma vectorial en cada instante de tiempo, consistente en la suma del valor en ese instante de  $V_R(t)$ , del valor de  $V_S(t)$  girado  $120^\circ$  y del valor de  $V_T(t)$  girado  $240^\circ$ . Este vector espacial complejo resultante, gira con una frecuencia  $\omega$  alrededor del origen en el sentido de las agujas del reloj. La expresión matemática de este vector resultante es la siguiente:

$$\vec{V}(t) = \frac{2}{3} \left( \vec{V}_R + \vec{V}_S e^{j120^\circ} + \vec{V}_T e^{j240^\circ} \right) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde  $2/3$  representa el factor de escala aplicado al vector resultante para que su módulo coincida con el módulo de los vectores de cada fase.

### 1.1.4.2 SISTEMAS TRIFÁSICOS DE 3 HILOS

De forma equivalente, el desarrollo anterior puede hacerse igualmente para sistemas trifásicos equilibrados de 3 hilos de voltajes compuestos, donde cada voltaje es la diferencia entre dos voltajes simples, y que verifican la ecuación 8.

$$V_{RS}(t) + V_{ST}(t) + V_{TR}(t) = 0 \quad \text{(Ecuación 8)}$$

$$\vec{V}_{RS} = \vec{V}_R - \vec{V}_S \Rightarrow V_{RS}(t) = V_{p_{L-L}} * \text{sen}\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \quad \text{(Ecuación 9)}$$

$$\vec{V}_{ST} = \vec{V}_S - \vec{V}_T \Rightarrow V_{ST}(t) = V_{p_{L-L}} * \text{sen}\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{(Ecuación 10)}$$

$$\vec{V}_{TR} = \vec{V}_T - \vec{V}_R \Rightarrow V_{TR}(t) = V_{p_{L-L}} * \text{sen}\left(\omega t + \frac{5\pi}{6}\right) \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Donde se verifica la siguiente relación:

$$V_{R-S} = \sqrt{3} * V_R \quad \text{(Ecuación 12)}$$

En la figura 1.7 se muestra una representación espacial de los vectores correspondientes a los voltajes compuestos y a los voltajes simples de un sistema trifásico de voltajes balanceados. Se puede apreciar como todo el sistema de voltajes compuestos es el mismo que el de voltajes simples pero desfasado 30° y con distinto módulo.

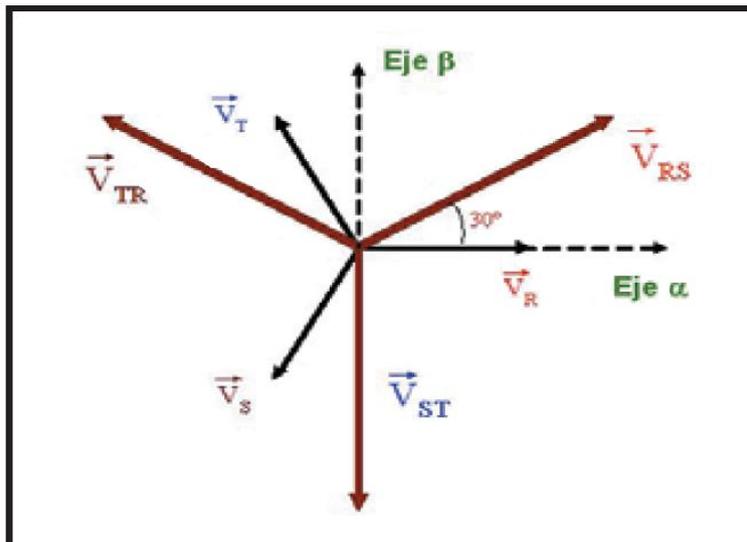


Figura 1.7 Relación entre voltajes simples y tensiones compuestas

El vector espacial resultante que representa al sistema trifásico de voltajes compuestos para cualquier instante de tiempo es el expresado en la ecuación 13.

$$\vec{V}(t) = \frac{2}{3} \left( V_{RS}(t) + V_{ST}(t) * e^{j\left(\frac{2\pi}{3}\right)} + V_{TR}(t) * e^{j\left(\frac{4\pi}{3}\right)} \right) \quad (\text{Ecuación 13})$$

Este vector puede descomponerse en dos componentes correspondientes a la parte real y a la parte imaginaria:

$$\vec{V}(t) = \vec{V}_\alpha(t) + j\vec{V}_\beta(t) \quad (\text{Ecuación 14})$$

Recordando la fórmula de Euler:

$$e^{j\rho} = \cos \rho + j\text{sen } \rho \quad (\text{Ecuación 15})$$

y desarrollando la ecuación (13), se obtiene que las componentes real e imaginario del vector resultante del sistema trifásico son:

Parte real  $\vec{V}_\alpha(t)$  ecuación 14:

$$\vec{V}_\alpha(t) = \frac{2}{3} \left( V_{RS}(t) - \frac{1}{2} V_{ST}(t) - \frac{1}{2} V_{TR}(t) \right) = \frac{2}{3} \left( V_{RS}(t) - \frac{1}{2} (V_{ST}(t) + V_{TR}(t)) \right) = V_{RS}(t)$$

$$\vec{V}_\alpha(t) = V_{RS}(t) = V_{p_{L-L}} \text{sen} \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right)$$

**(Ecuación 16)**

A partir de la ecuación 8 tenemos:

$$V_{RS}(t) = -V_{ST}(t) - V_{TR}(t) \quad \textbf{(Ecuación 17)}$$

para la parte imaginaria se tiene:

$$\vec{V}_\beta(t) = \frac{2}{3} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} V_{ST}(t) - \frac{\sqrt{3}}{2} V_{TR}(t) \right) = \frac{\sqrt{3}}{3} (V_{ST}(t) - V_{TR}(t)) = \frac{\sqrt{3}}{3} V_{p_{L-L}} \left( \text{sen} \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) - \text{sen} \left( \omega t + \frac{5\pi}{6} \right) \right)$$

$$\vec{V}_\beta(t) = -V_{p_{L-L}} \cos \left( \omega t + \frac{5\pi}{6} \right)$$

**(Ecuación 18)**

De donde se deduce que el vector espacial resultante viene expresado por la siguiente ecuación.

$$\vec{V}(t) = \vec{V}_\alpha(t) + j\vec{V}_\beta(t) = V_{L-L} * e^{j \left( \omega t - \frac{\pi}{3} \right)} \quad \textbf{(Ecuación 19)}$$

Con esta expresión, se consigue una composición vectorial en el plano complejo de un sistema trifásico, obteniendo un único vector giratorio representativo de dicho sistema.

### 1.1.4.3 ESTADOS DE CONMUTACIÓN EN INVERSORES VSI (VOLTAJE SOURCE INVERTER O FUENTE DE VOLTAJE)

Un inversor trifásico está formado por tres semipuentes donde en cada uno de ellos dispone de dos interruptores, unidireccionales en tensión y bidireccionales en corriente, uno en la parte superior y el otro en la parte inferior. Las tres semirramas se conectan por los extremos al bus de continua (DC) y desde los puntos medios de las ramas, mediante inductores en serie, se conecta a un sistema trifásico de tensiones, tal como se aprecia en la figura. 1.8.

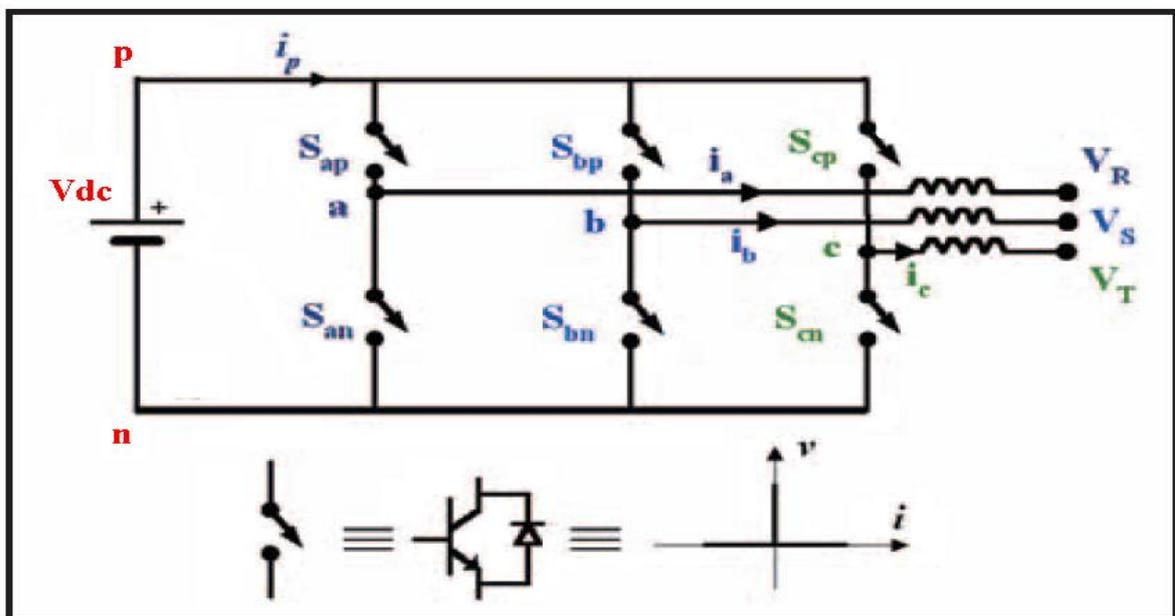


Figura 1.8 Inversor trifásico formado por tres semipuentes

Hay que tener en cuenta dos reglas:

- Nunca se puede cortocircuitar la fuente de continua (condensador en el lado DC), lo que se traduce en que en una misma rama no pueden dispararse los dos semiconductores a la vez. Así por ejemplo si  $S_{ap}="1"$ , entonces  $S_{an}="0"$

- Nunca se debe dejar el circuito abierto en las inductancias dispuestas en el lado de alterna, lo que se traduce en que siempre debe haber algún semiconductor conduciendo en cada rama.

Atendiendo a las dos premisas anteriores, se tienen ocho combinaciones posibles del inversor trifásico. En la figura. 1.9 se muestran los ocho estados de conmutación, donde los tres estados de los interruptores conectados al positivo del bus DC sirven para identificar el estado de conmutación y se representan con vectores. De esta manera, cuando un interruptor está cerrado se representa con un «1» y cuando está abierto con un «0». La diferencia entre cada vector y el siguiente, o el anterior, se encuentra en que los interruptores de una de las ramas han conmutado. Estas ocho combinaciones son denominadas vectores de voltaje de conmutación (SVV)<sup>3</sup> o estados de conmutación. Los vectores  $V_0$  y  $V_7$  son los llamados vectores nulos. Son vectores excepcionales porque tienen una tensión nula pero que sin embargo cumplen con las dos premisas mencionadas anteriormente.

Si consideramos el vector de tensión de conmutación  $V_1$ , que corresponde a la combinación 100 (binario), se deduce de la figura 1.9, que las tensiones entre los terminales a-b-c en la salida del inversor VSI son:

- $VRS = +V_{dc}$
- $VST = 0$
- $VTR = -V_{dc}$

Sustituyendo dichos valores en la ecuación (6) obtenemos el valor del estado de conmutación.

$$\vec{V}_1 = \frac{2}{\sqrt{3}} V_{dc} \angle 30^\circ \quad (\text{Ecuación 20})$$

---

<sup>3</sup> *Switching Voltage Vectors*

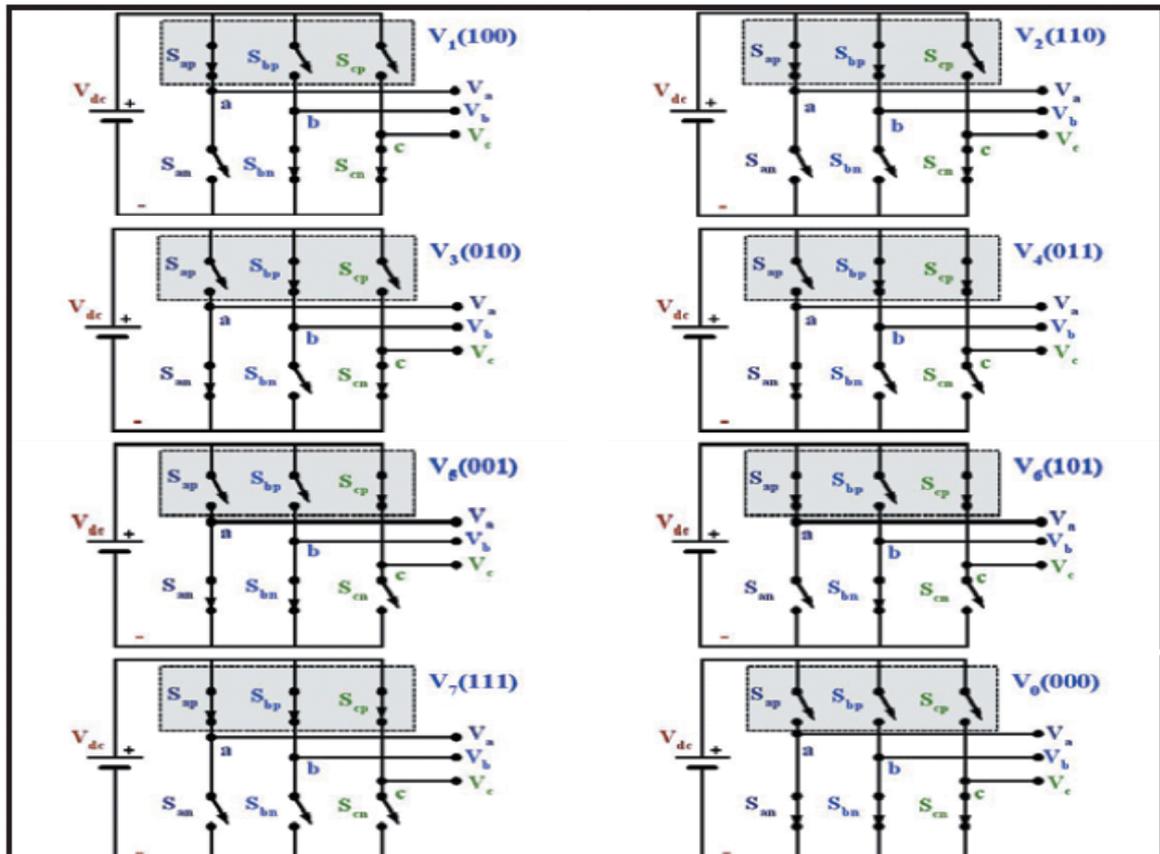


Figura 1.9 Estados de los Interruptores

Este ángulo está medido desde la referencia  $V_{RS}$  por lo que queda en fase con el eje “ $\alpha$ ”, (figura 1.7). Procediendo de la misma forma para los demás vectores, se obtienen las expresiones de los vectores de tensión de conmutación SVV, donde la expresión de los ocho vectores se da referida sobre el eje “ $\alpha$ ”. La ecuación general que representa a los vectores de voltaje de conmutación es:

$$\vec{V}_m = \begin{cases} \frac{2}{\sqrt{3}} V_{dc} e^{-j\left(\frac{n-1}{3}\pi\right)} & m = 1..6 \\ 0 & m = 0,7 \end{cases} \quad (\text{Ecuación 21})$$

$m$ = ángulo en radianes cuando se realiza la conmutación.

Vector	Estados interruptores	V <sub>ab</sub>	V <sub>bc</sub>	V <sub>ca</sub>	Expresión SVV
V <sub>0</sub>	(000)	0	0	0	$\vec{V}_0 = 0V$
V <sub>1</sub>	(100)	+V <sub>dc</sub>	0	-V <sub>dc</sub>	$\vec{V}_1 = \frac{2}{\sqrt{3}}V_{dc} \angle 0^\circ$
V <sub>2</sub>	(110)	0	+V <sub>dc</sub>	-V <sub>dc</sub>	$\vec{V}_2 = \frac{2}{\sqrt{3}}V_{dc} \angle -60^\circ$
V <sub>3</sub>	(010)	-V <sub>dc</sub>	+V <sub>dc</sub>	0	$\vec{V}_3 = \frac{2}{\sqrt{3}}V_{dc} \angle -120^\circ$
V <sub>4</sub>	(011)	-V <sub>dc</sub>	0	+V <sub>dc</sub>	$\vec{V}_4 = \frac{2}{\sqrt{3}}V_{dc} \angle -180^\circ$
V <sub>5</sub>	(001)	0	-V <sub>dc</sub>	+V <sub>dc</sub>	$\vec{V}_5 = \frac{2}{\sqrt{3}}V_{dc} \angle -240^\circ$
V <sub>6</sub>	(101)	+V <sub>dc</sub>	-V <sub>dc</sub>	0	$\vec{V}_6 = \frac{2}{\sqrt{3}}V_{dc} \angle -300^\circ$
V <sub>7</sub>	(111)	0	0	0	$\vec{V}_7 = 0V$

Tabla 1.1 Vectores de tensión de conmutación

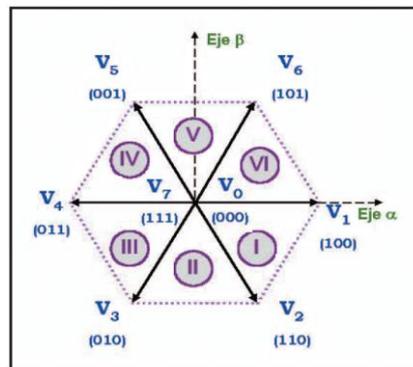


Figura 1.10 Posición de los diferentes vectores

A partir de la tabla 1.1 se pueden representar los distintos vectores SVV sobre los ejes  $\alpha$  y  $\beta$ , tal como se muestra en la figura. 1.10. Como se puede apreciar, los extremos de los vectores forman un hexágono regular. El área encerrada entre dos vectores adyacentes define un sector y en total se dispone de seis sectores. Los vectores  $V_0$  y  $V_7$  corresponden con el valor cero y se han representado en el centro del plano.

#### 1.1.4.4 SEÑAL DE SALIDA EN MODULACIÓN SVPWM

Para conseguir a la salida del inversor trifásico una señal cuadrada donde las tres fases estén desfasadas  $120^\circ$  entre sí, la secuencia de los vectores de conmutación debe ser  $V_6, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_1, \dots$  tal y como se muestra en la figura 1.11. En la parte superior de la figura se muestran las señales de control de cada semipunto, mientras que en la parte inferior se observa los voltajes compuestos que corresponderían a la diferencia entre las correspondientes componentes simples.

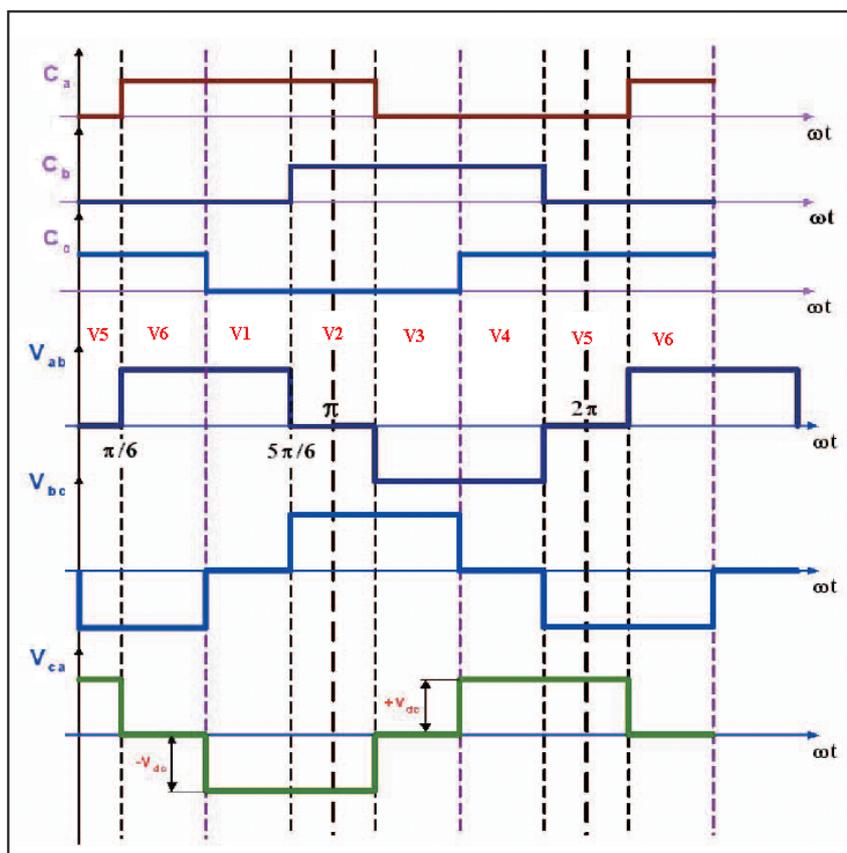


Figura 1.11 Generación de una señal cuadrada trifásica

En la figura anterior se muestra que los vectores se reparten todo el tiempo del período de la señal ( $\pi/3$  cada uno) y la amplitud de la señal de salida será la máxima:

$$V_{p_{L-L}} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} * V_{DC} \quad (\text{Ecuación 22})$$

La amplitud de la tensión de salida podría controlarse reduciendo el tiempo de aplicación de los vectores e introduciendo tiempos con vectores nulos ( $V_0$  ó  $V_7$ ) de por medio, por ejemplo sería una secuencia  $V_6, V_n, V_1, V_n, V_2, V_n, V_3, V_n, V_4, V_n, V_5, V_n$  donde la suma de todos los tiempos durante los que se aplica cada vector continuaría siendo igual al período de la señal que se desea generar.  $V_n$  puede ser tanto el vector  $V_0$  como el  $V_7$ .

### 1.1.5 ESTRATEGIA DE MODULACIÓN VECTORIAL

La estrategia de control vectorial consiste en extrapolar la técnica de control de motores de corriente continua al ámbito de los motores de inducción. Para ello, y debido a que una máquina de corriente alterna carece de dos bobinados desacoplados, se recurre a la referencia del sistema trifásico alterno de corrientes estáticas a un sistema de coordenadas no estacionario que gira sincrónicamente con el campo magnético rotórico. En este nuevo sistema de referencia, las corrientes estáticas pueden ser tratadas como vectores rotantes de ahí el nombre de “control vectorial” o también “control de campo orientado”.

La modulación de vectores espaciales consiste en construir el vector espacial  $\vec{V}_{ref}$  aplicando alternativamente los dos vectores espaciales adyacentes que definen el sector en el que se sitúa el vector  $\vec{V}_{ref}$ . Para obtener las expresiones generales, se detalla como se obtienen los tiempos de aplicación de los vectores adyacentes cuando el vector  $\vec{V}_{ref}$  que se encuentra en el sector 1, situado entre los vectores directores adyacentes  $\vec{V}_1$  y  $\vec{V}_2$ , se descompone como suma del vector  $\vec{d}_1$  más el vector  $\vec{d}_2$  tal como se observa en la figura. 1.12.

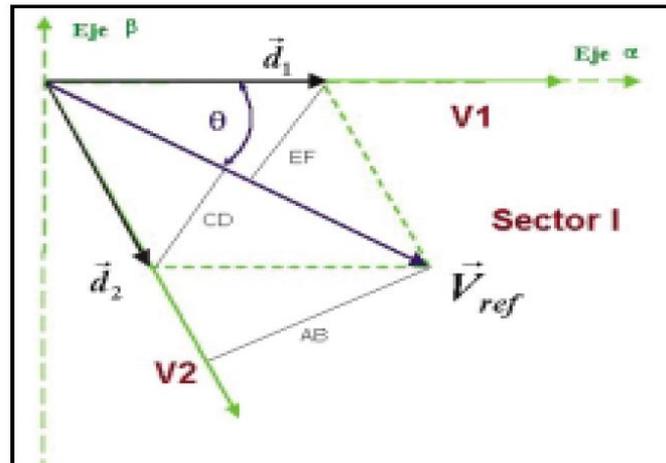


Figura 1.12 Descomposición del vector intermedio  $\vec{V}_{ref}$  situado en el sector 1

En el transcurso de un período de conmutación, denominado  $T_s$ , se activarán los interruptores correspondientes al vector  $\vec{V}_1$  durante un tiempo  $T_1$  que corresponde al ciclo de trabajo 1 o  $\vec{d}_1$ , y también se activarán los interruptores correspondientes al vector  $\vec{V}_2$  durante un tiempo denominado  $T_2$  que se corresponde con el ciclo de trabajo 2 o  $\vec{d}_2$ . La expresión correspondiente a la descomposición vectorial de  $\vec{V}_{ref}$  es la siguiente:

$$\vec{V}_{ref} = \vec{d}_1 + \vec{d}_2 = d_1 * \vec{V}_1 + d_2 * \vec{V}_2 = \frac{T_1}{T_s} * \vec{V}_1 + \frac{T_2}{T_s} * \vec{V}_2 \quad (\text{Ecuación 23})$$

Atendiendo a la figura anterior y operando en la ecuación (24) se puede obtener el valor de los ciclos de trabajo, resultando:

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} = \frac{|\vec{V}_{ref}|}{V_{dc}} * \begin{bmatrix} \text{sen}\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right) \\ \text{sen}\theta \end{bmatrix} = \frac{|\vec{V}_{ref}|}{V_{dc}} * \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{\pi}{6} + \theta\right) \\ \text{sen}\theta \end{bmatrix} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde  $\left| \vec{V}_{ref} \right|$  es el módulo de  $\vec{V}_{ref}$ ,  $\theta$  es el ángulo existente entre el vector  $\vec{V}_{ref}$  y el  $\vec{V}_1$ , tal como se indica en la figura 1.12, y la tensión del bus de continua del inversor se representa por  $V_{dc}$ . El resto del tiempo del período de conmutación estará ocupado por los vectores nulos ( $V_0$  y  $V_7$ ). El ciclo de trabajo para los dos vectores nulos ( $d_0$ ) viene dado por la siguiente ecuación.

$$d_o = 1 - d_1 - d_2 = 1 - \frac{\left| \vec{V}_{ref} \right|}{V_{dc}} \cos\left(\frac{\pi}{6} - \theta\right) \quad \text{(Ecuación 25)}$$

### 1.1.6 MODULADOR DIGITAL

El cálculo de los tiempos correspondientes a las ecuaciones anteriores puede ser hecho en tiempo real con un microprocesador de 16 bits, si la frecuencia de pulsación es mayor que 5 KHz. Para obtener frecuencias mayores debería trabajarse con procesadores (DSP's) rápidos que también tienen un costo muy superior.

Las tensiones de referencia en un inversor trifásico con un control en lazo cerrado se determinan a partir de la tensión y la corriente a la salida del inversor. La generación de las secuencias de pulsos es fácil de implementar con los modernos circuitos digitales (DSP), integrados que incluyen circuitos especiales para la generación de señales de control PWM y SVPWM.

Los procesadores digitales de señal DSP<sup>4</sup> ofrecen una alta velocidad de ejecución y soportan algoritmos especializados en el control digital (incluidos como hardware). El uso de instrucciones de multiplicación y suma en un solo ciclo incluidas en un DSP, optimizan los tiempos de ejecución. Para el control de convertidores de potencia conmutados, generalmente se utilizan DSPs, por

---

<sup>4</sup> DSP.-Digital Signal Processors

su menor costo, ya que para la mayor parte de aplicaciones basta una resolución de 16 bits.

### 1.3 SISTEMAS DE CONTROL

- Un **sistema** es un arreglo de componentes físicos conectados o relacionados de tal manera que formen una unidad completa o que puedan actuar como tal.

La palabra **control** generalmente se usa para designar regulación, dirección o comando; al combinar las dos definiciones anteriores se tiene: Un **sistema de control** es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que se pueda comandar, dirigir o regular a si mismo o a otro sistema.

En el sentido más abstracto es posible considerar cada objeto físico como un sistema de control. Cada cosa altera su medio ambiente de alguna manera. Si no lo hace activamente lo hace pasivamente, tal es el caso de un espejo que dirige un haz de luz que incide sobre él, a un ángulo agudo. El espejo, se puede considerar como un sistema elemental de control, que comanda el haz de luz de acuerdo con la simple relación “el ángulo de reflexión  $\alpha$  es igual al ángulo de incidencia  $\alpha$ ”.

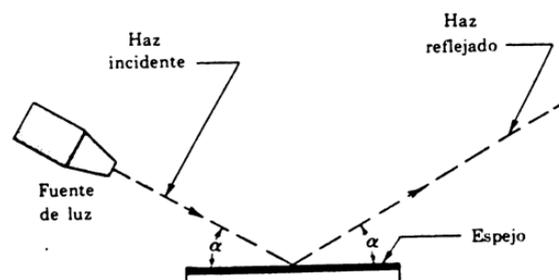


Figura 1.13 Sistema Espejo

En la ingeniería y en la ciencia generalmente restringimos el significado de sistemas de control al aplicarlo a esos sistemas cuya función principal es comandar, dirigir o regular *dinámicamente o activamente*. El sistema ilustrado de la figura siguiente, que consiste en un espejo pivoteado en uno de sus extremos y que se puede mover hacia arriba o hacia abajo por medio de un tornillo en el otro extremo, se denomina propiamente un *sistema de control*. El ángulo de la luz reflejada se regula por medio del tornillo.

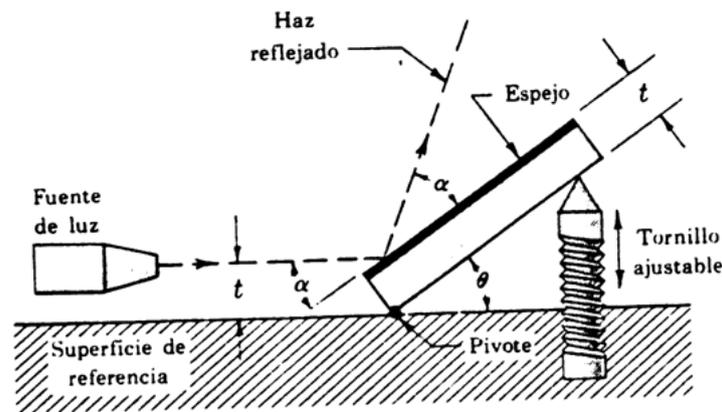


Figura 1.14 Sistema de control

### 1.2.1 EJEMPLOS DE SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control abundan en el medio laboral del hombre. Antes de mostrar esto se va a definir dos términos que son los de *entrada* y *salida* los cuales ayudan a identificar o definir el sistema de control.

La **entrada** es el estímulo o excitación que se aplica a un sistema de control desde una fuente de energía externa, generalmente con el fin de producir una respuesta específica. En este caso la entrada son los números de pulsos del encoder que entran en el variador de frecuencia.

La **salida** es la respuesta obtenida del sistema de control. Puede ser o no puede ser igual a la respuesta especificada que la entrada implica. En este

caso es el aumento o reducción de la frecuencia para mantener la velocidad constante.

Dadas la entrada y la salida es posible determinar o definir la naturaleza de los componentes del sistema.

Los sistemas de control pueden tener más de una entrada o salida. A menudo todas las entradas y salidas quedan bien definidas con la descripción del sistema, aunque algunas veces este no es el caso. Por ejemplo, el exceso de máquinas por el lugar por donde pase el cable del encoder, puede producir que se introduzca ruido en la señal y no sea buena la recepción en el variador de frecuencia. Esta salida de "mala recepción" no está especificada en la definición del sistema de recepción del variador pero forma parte de la salida total como se estipuló antes. Con el propósito de identificar un sistema en forma simple, las entradas debidas a interferencias y las salidas producidas por éstas no se consideran como entradas y salidas en la descripción del sistema. Sin embargo, cuando el sistema se examina en detalle es necesario, en general, tener en cuenta entradas y salidas.

Existen tres tipos básicos de sistemas de control:

1. Un conmutador eléctrico es un sistema de control, hecho por el hombre, que controla el flujo de electricidad. Por definición, el aparato o la persona que actúa el conmutador no forma parte del sistema de control.

La entrada constituye la conmutación del equipo tanto hacia la conducción como al corte. Es decir la entrada la puede constituir uno de los dos estados, el de conducción o el de corte. La salida la constituye la presencia o ausencia de flujo (dos estados) de electricidad. El conmutador eléctrico es probablemente uno de los sistemas de control más rudimentarios.

2. Sistemas de control naturales, incluyendo sistemas biológicos. Ejemplo: el acto, aparentemente sencillo, de indicar un objeto con un dedo

requiere de un sistema de control biológico constituido por los ojos, el brazo, la mano, el dedo y el cerebro de un hombre. La entrada es la dirección precisa del objeto (en movimiento o no) con respecto a alguna referencia, y la salida es la dirección que se indica con respecto a la misma referencia.

3. Sistemas de control cuyos componentes están unos hechos por el hombre y los otros son naturales. Ejemplo: el sistema de control constituido por un hombre que maneja un automóvil tiene componentes que son hechos claramente por el hombre como de tipo biológico. El conductor debe mantener el automóvil sobre la pista apropiada de la carretera. El lleva a cabo esta acción mirando constantemente la dirección del automóvil con respecto a la dirección de la carretera. En este caso, la dirección de la carretera, representada por la línea pintada que sirve de guía o por líneas en ambos lados de su pista se puede considerar como la entrada. La dirección actual del automóvil es la salida del sistema. El conductor controla esta salida midiéndola constantemente con sus ojos y cerebro, y corrigiéndola con sus manos sobre el timón. Los componentes principales de este sistema de control son las manos del conductor, sus ojos, cerebro y el vehículo.

Los sistemas de control se clasifican en dos grandes categorías a saber: *Sistemas de lazo abierto* y de *lazo cerrado*. La distinción la determina la acción de control, que es la cantidad que activa el sistema para producir la salida.

#### **1.2.1.1 LAZO ABIERTO**

Un sistema de control de **lazo abierto** es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida. Los sistemas de control de lazo abierto tienen dos rasgos sobresalientes:

1. La habilidad que estos tienen para ejecutar una acción con exactitud está determinada por su calibración. Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

2. Estos sistemas no tienen el problema de la *inestabilidad*.

Ejemplo: el variador de velocidad puede funcionar como un sistema de control de lazo abierto. La frecuencia requerida para mantener la velocidad deseada debe ser estipulada por el usuario quien no forma parte del sistema. El control sobre la velocidad del motor (la salida) es dado según el aumento o reducción de la frecuencia, lo cual constituye tanto la entrada como la acción de control.

#### **1.2.1.2 LAZO CERRADO**

Un sistema de control de **lazo cerrado** es aquel en el cual la acción de control es en cierto modo dependiente de la salida.

Los sistemas de control de lazo cerrado se llaman comúnmente sistemas de control por *retroalimentación*.

Ejemplo: el control que se va realizar en este proyecto consta de un variador de control vectorial, un motor y un sensor encoder que controla y forman parte de un sistema de control de lazo cerrado (por retroalimentación). Su objetivo es mantener una velocidad específica del motor, a pesar de los cambios en su carga o freno del mismo. El sistema ejecuta su tarea midiendo continuamente la velocidad instantánea del motor y ajustando automáticamente la frecuencia en el variador de manera que coincida la velocidad instantánea del motor con la

velocidad especificada. El operador, quien fija con anterioridad la frecuencia no forma parte del sistema de control.

### **a) RETROALIMENTACIÓN**

La retroalimentación es una característica de los sistemas de control de lazo cerrado que los distingue de los sistemas de control de lazo abierto. La **retroalimentación** es esa propiedad de un sistema de lazo cerrado que permite que la salida (o cualquier otra variable controlada del sistema) sea comparada con la entrada del sistema (o con una entrada a cualquier componente interno del sistema o con un subsistema de éste) de tal manera que se pueda establecer la acción de control apropiada como función de la entrada y la salida. Más generalmente se dice que existe retroalimentación en un sistema cuando existe una secuencia cerrada de relaciones de causa y efecto entre las variables del sistema.

### **b) CARACTERÍSTICAS DE LA RETROALIMENTACIÓN**

Los rasgos más importantes que la presencia de retroalimentación imparte a un sistema son:

1. Aumento de exactitud. Por ejemplo, la habilidad para reproducir la entrada fielmente.
2. Sensibilidad reducida de la razón de la salida a la entrada, a las variaciones en las características del sistema.
3. Efectos reducidos de la no linealidad y la distorsión.

4. Aumento del ancho de banda. El **ancho de banda** de un sistema es ese intervalo de frecuencias (de la entrada) por sobre el cual el sistema responde satisfactoriamente.
5. Tendencia a la oscilación o a la inestabilidad.

#### **1.4 CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.**

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

- Límites o gama de regulación.
- Progresividad o flexibilidad de regulación.
- Rentabilidad económica.
- Estabilidad de funcionamiento a una velocidad dada.
- Sentido de la regulación (aumento o disminución con respecto a la velocidad nominal).
- Carga admisible a las diferentes velocidades.

- Tipo de carga (par constante, potencia constante, etc.).
- Condiciones de arranque y frenado.

El estudio de este fenómeno para cada caso particular tiene una gran importancia práctica, ya que la elección correcta de las características de los motores y variadores a instalar para un servicio determinado, requieren el conocimiento de las particularidades de éste proceso. La regulación de velocidad también puede realizarse por métodos mecánicos, como poleas o engranajes.

### **1.3.1 TÉCNICAS DE CONTROL**

Básicamente existen dos técnicas para variar la velocidad de un motor de inducción.

#### **1.3.1.1 Variar el deslizamiento del motor para una carga dada**

Las siguientes figuras presentan la curva característica par-velocidad de un motor de inducción. En estas figuras se puede observar que el par inducido del motor es cero a la velocidad sincrónica. La curva par-velocidad es aproximadamente lineal entre vacío y plena carga, en este rango, la resistencia del rotor es mucho mayor que su reactancia, por lo tanto la corriente, el campo magnético del rotor y el par inducido crecen linealmente cuando crece el deslizamiento.

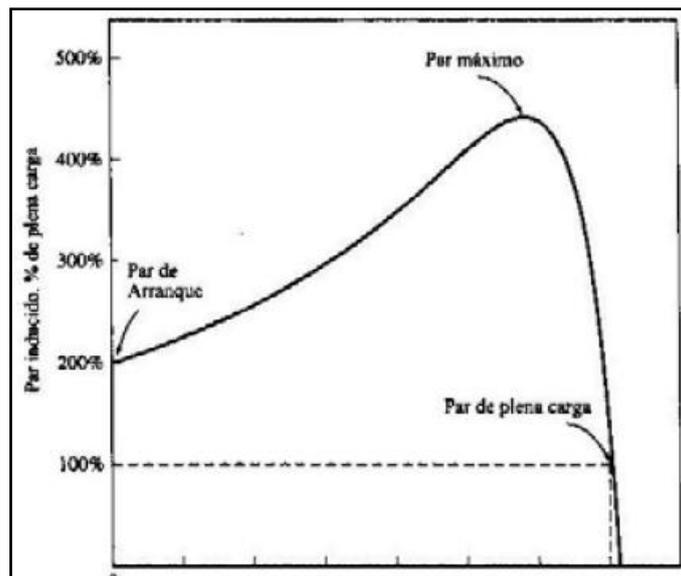
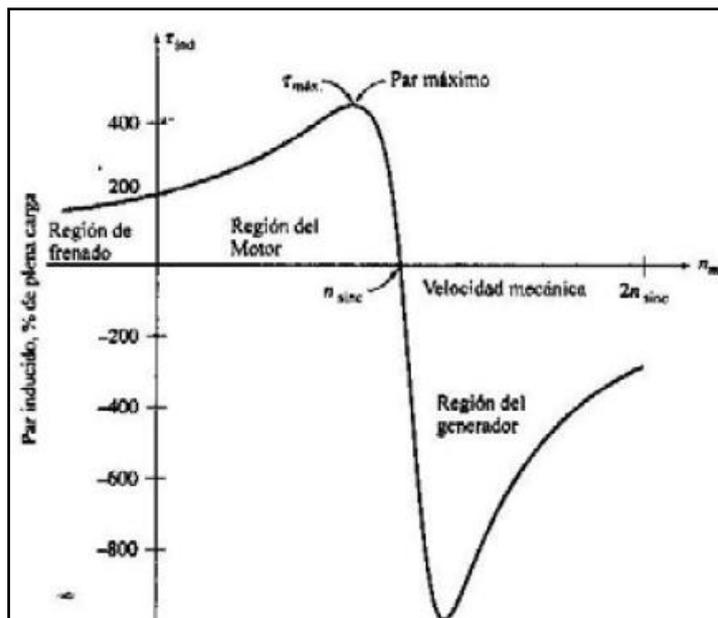


Figura 1.15 Curva característica típica par-velocidad de un motor de inducción



**Figura 1.16 Curva característica par-velocidad de un motor de inducción que muestra los rangos extendidos de operación. (Región de frenado y región de generación)**

Existe un par máximo posible que no puede ser excedido. Este par, llamado par máximo o par de desviación, equivale a 2 ó 3 veces el par nominal a plena carga del motor. El par inducido en el motor, para un deslizamiento dado, varía con el cuadrado del voltaje aplicado. En base a éstas características es posible controlar la velocidad del motor de inducción.

El método de variar el deslizamiento del motor para una carga dada se puede implementar cambiando el voltaje en la línea o cambiando la resistencia del rotor. En el primer caso la velocidad del motor puede ser controlada en un rango limitado. En el segundo caso, si se cambia la resistencia del rotor; se reduce en gran manera la eficiencia de la máquina.

### 1.3.1.2 Variar la velocidad sincrónica

En esta técnica, tal como su nombre lo indica, se hace variar la velocidad sincrónica del motor, esto es, se varía la velocidad de los campos magnéticos del rotor y del estator. Se logra variar la velocidad del motor debido a que la velocidad del rotor siempre permanece cerca de  $n_{sinc}$ . Este tipo de control se puede llevar a cabo mediante dos maneras que se explican a continuación.

**a) Variando la frecuencia eléctrica**

Los motores de inducción rotan a una velocidad que es un poco menor que la velocidad sincrónica del campo rotatorio. La velocidad sincrónica del campo rotatorio está determinada por el número de polos del devanado del estator y de la frecuencia del voltaje CA aplicado.

$$n_{sinc} = \frac{120f}{p} \quad \text{(Ecuación 26)}$$

Donde:

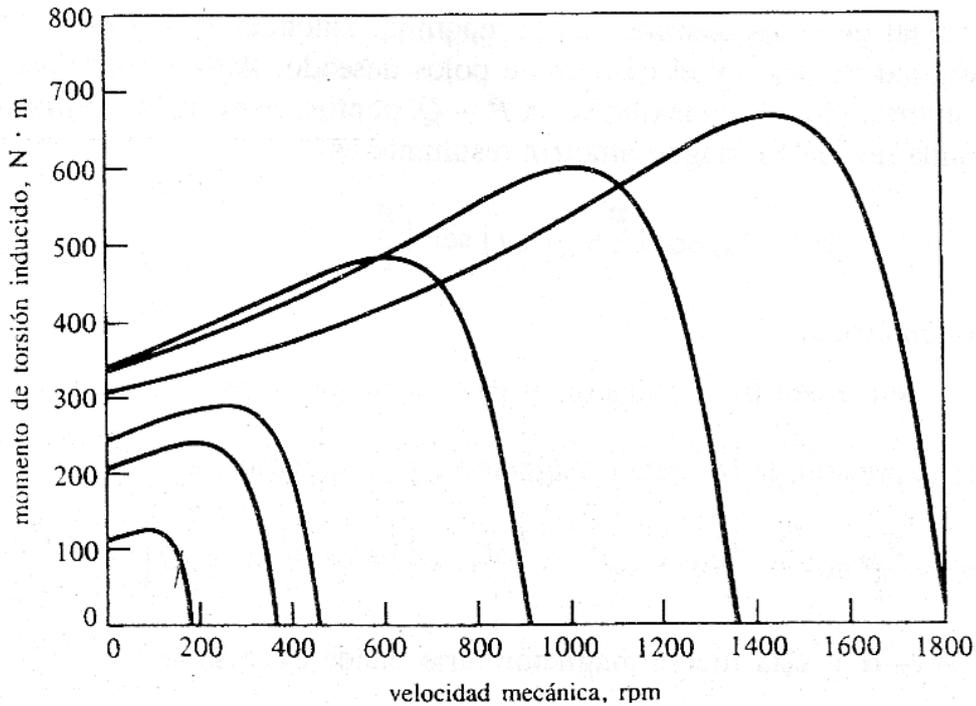
$f$  es la frecuencia en hertz del voltaje aplicado al estator.

$p$  es el número de polos del devanado del estator.

En variadores de velocidad electrónicos para motores de CA, la frecuencia del voltaje aplicado al estator se varía para cambiar la velocidad sincrónica. El cambio en la velocidad sincrónica produce entonces un cambio en la velocidad del eje del motor. Se obtiene el voltaje CA de frecuencia variable para el sistema operador del motor CA cambiando potencia CD en potencia CA de frecuencia variable. El circuito que efectúa este trabajo se llama inversor.

Utilizando el control de frecuencia variable, es posible ajustar la velocidad del motor por encima o por debajo de la velocidad base. Un controlador de

frecuencia variable para motor de inducción, diseñado adecuadamente, puede ser muy flexible y puede controlar la velocidad de un motor de inducción sobre un rango de velocidad que va desde cero, hasta cerca del doble de la velocidad base. Sin embargo, es importante respetar ciertos límites de voltaje y par sobre el motor cuando varía la frecuencia para asegurar una operación confiable.



**Figura. 1.17. Grafico de la velocidad variando la frecuencia**

En la figura 1.17, se muestra el control de velocidad de frecuencia variable en un motor de inducción, en esta figura se presenta la familia de las curvas características momento de torsión-velocidad, para velocidades por debajo de la velocidad base, suponiendo que el voltaje de línea, se disminuya linealmente con la frecuencia.

**b) Cambiar el número de polos de la máquina**

Se basa en el hecho de que el número de polos de los devanados del estator de un motor de inducción se puede cambiar con facilidad en relación 2:1 con efectuar cambios en la conexión de las bobinas. Como método de control de velocidad sólo puede utilizarse para producir velocidades relativamente fijas para un motor de inducción cuya velocidad varía sólo ligeramente (del 2% al 8%), desde vacío hasta plena carga.

Por lo tanto, se requiere de un motor especial que posea los devanados necesarios y las terminales llevadas al exterior del estator para intercambio de polos. Aun así, no se puede conseguir un control gradual de la velocidad. Las velocidades obtenidas están en relación 2:1 y no se pueden conseguir velocidades intermedias mediante los procedimientos de conmutación.

Este tipo de control se puede implementar mediante las técnicas de polos consecuentes, y devanados de estator múltiples.

En la figura 1.18, se muestran las posibles conexiones de las bobinas del estator de un motor de polos cambiante, junto con la características resultante del momento de torsión-velocidad:

*a) Conexiones de momento de torsión constante:* las capacidades del momento de torsión del motor permanecen aproximadamente constantes, tanto en la conexión de alta velocidad como en la conexión de baja. *b) Conexión de potencia constante:* las capacidades de potencia del motor permanecen aproximadamente constantes, tanto en la conexión de alta velocidad, como en la de baja. *c) Conexión de momento de torsión de ventilador:* las capacidades del momento de torsión del motor cambian con la velocidad en la misma forma que las cargas de tipo ventilador.

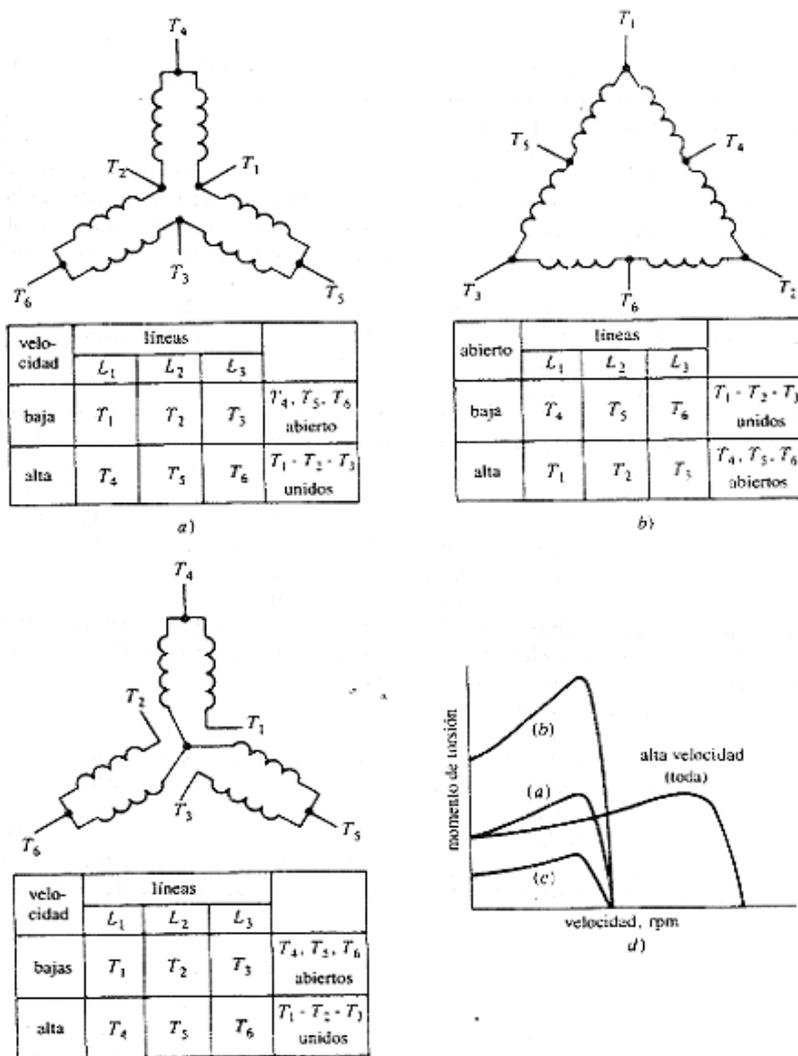


Figura.1.18 Posibles conexiones en un motor con polos cambiantes

### 1.3.2 ELECCIÓN DEL MÉTODO A USAR PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD

En base al principio de operación de cada uno de los métodos para el control de velocidad en motores de inducción descritos, se hacen las siguientes observaciones.

### **1.3.2.1 Método de variar el deslizamiento del motor**

La variación de velocidad en ese rango es más o menos directamente proporcional a la carga sobre el eje del motor. La eficiencia del motor es muy pobre. Llevando a cabo este método mediante el cambio de voltaje de la línea, la velocidad puede ser controlada en un rango muy limitado.

Si se lleva a cabo cambiando la resistencia del motor, se reduce la eficiencia de éste, además que el motor solo se puede utilizar en periodos cortos.

### **1.3.2.2 Método de variar la velocidad sincrónica**

Si se cambia el número de polos de la máquina tenemos que se requiere un motor especial. No puede conseguirse un control gradual y continuo de la velocidad. Si el cambio del número de polos en el motor de inducción se lleva a cabo por el método de polos consecuentes, se observa que para cambiar la velocidad, las velocidades deben estar en relación 2:1. Ésta última limitación se aminora si se emplean estatores de devanados múltiples. Éstos devanados deben tener diferente número de polos, de los cuales sólo se debe energizar uno en cada oportunidad. Aun así, globalmente ésta no parece la mejor solución, pues además de aumentar el costo del motor, aun con esto no se puede tener una variación gradual de la velocidad.

Finalmente, se tiene el principio de control variación de la frecuencia eléctrica. Éste método es usado ampliamente en la industria, y por la naturaleza del método y sus efectos sobre el motor, se observa que:

- No se necesitan hacer cambios físicos en las conexiones del motor.
- El motor controlado operará siempre en sus condiciones óptimas de funcionamiento.
- Menor mantenimiento.

- Permite un control gradual de la velocidad.
- Es posible ajustar la velocidad del motor por encima o debajo de la velocidad base.

### 1.3.3 TIPOS DE CONTROL AL VARIAR LA FRECUENCIA

En función de su efectividad dinámica se destacan tres tipos de control de velocidad: el control escalar o Voltz-Hertz, el control Vectorial o de Flujo Orientado, y el DTC<sup>5</sup> o Control Directo del Torque.

El control escalar es un método simple, que solo requiere controlar las magnitudes del voltaje y la frecuencia aplicadas al estator. Se controlan estas dos variables de manera de mantener el flujo en el entrehierro constante y así un torque constante en todo el rango de velocidades. Generalmente este método de control es utilizado en control abierto, siendo así de muy fácil implementación y de bajo costo. Además utilizando este método no se requiere conocer información detallada del motor a controlar. Una desventaja del control escalar es que el torque no es controlado directamente por lo tanto depende de la carga que se va a mover. Además la respuesta dinámica del sistema no es tan buena como en el control vectorial o en el DTC.

El control por campo orientado, o *control vectorial*, es en la actualidad uno de los métodos que entrega la mejor respuesta dinámica en una máquina de corriente alterna. Este método requiere medir, o estimar, la magnitud y posición del flujo magnético, de manera de controlar las variables de voltaje y frecuencia para posicionar el flujo en cuadratura con la corriente de armadura y mantenerlo en un valor constante. Esta medición del flujo se puede realizar, directamente, o utilizando transformaciones matemáticas y midiendo las corrientes del estator. Además se debe conocer con precisión la posición del rotor y los parámetros de la máquina. Estas mediciones hacen de este método

---

<sup>5</sup> DTC.- Direct Torque Control

uno mucho más complejo que el por control escalar, y por lo tanto no se justifica a menos que se requiera una respuesta dinámica muy rápida.

En el método de control directo del torque (DTC) se utilizan comparadores de histéresis para controlar directamente el flujo y el torque de la máquina. Se obtiene de esta manera una rápida respuesta de torque, siempre que se tomen las muestras del flujo a una muy alta frecuencia para mantenerse dentro de las bandas de histéresis.

#### **1.3.4 LIMITES O GAMA DE REGULACIÓN**

Como ya se anotó anteriormente la regulación de velocidad puede ser mecánica o eléctrica, la gama de regulación de velocidad por métodos mecánicos puede ser:

- Motoreductores
- Engranajes lineales solidarios
- Bandas y poleas reductoras

En cambio cuando se habla de regulación de velocidad por medios eléctricos la gama puede ser de:

- Variadores de frecuencia
- Auto transformadores o Variac
- Resistencias rotóricas
- Resistencias estatóricas

Toda esta gama de regulación está limitada por las características de la carga con la que se va a trabajar tanto en el arranque como en funcionamiento normal.

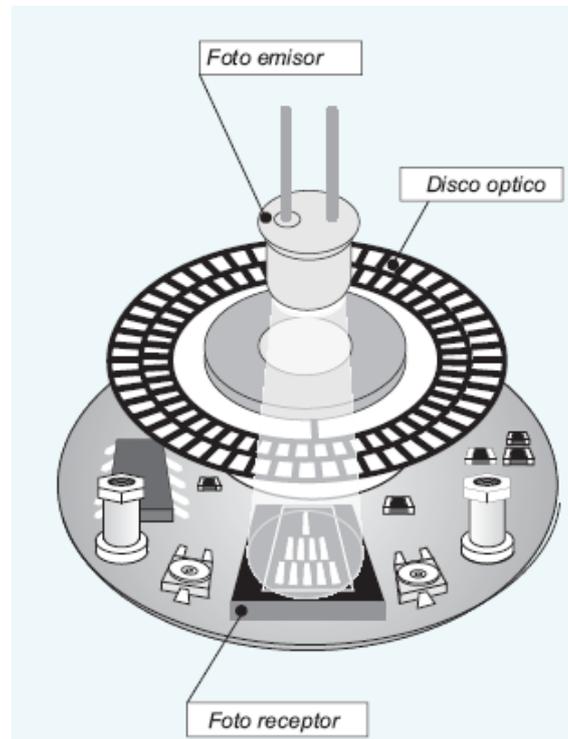
## **1.5 ENCODER'S**

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), controladores lógicos programables (PLC), sistemas de control, etc.

Las aplicaciones principales de estos transductores están en las máquinas herramientas o de elaboración de materiales, en los robots, en los sistemas de motores, en los aparatos de medición y control. En algunos encoders, la detección del movimiento angular se ejecuta en base al principio de exploración optoeléctrica. 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 foto receptor eléctricas.

La señal eléctrica detectada, para generar impulsos correctamente escuadrados y sin interferencias, debe ser procesada electrónicamente. Para incrementar la calidad y estabilidad de las señales, el sistema de lectura se efectúa generalmente de manera diferencial, comparando dos señales casi idénticas, pero desfasados en  $180^\circ$  eléctricos. Su lectura se efectúa en base a la diferencia de las dos señales, eliminando de este modo las interferencias

definidas "de modo común" porque están superpuestas de igual manera en toda forma de onda.



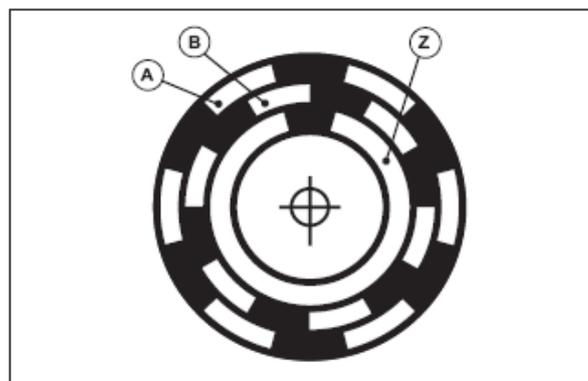
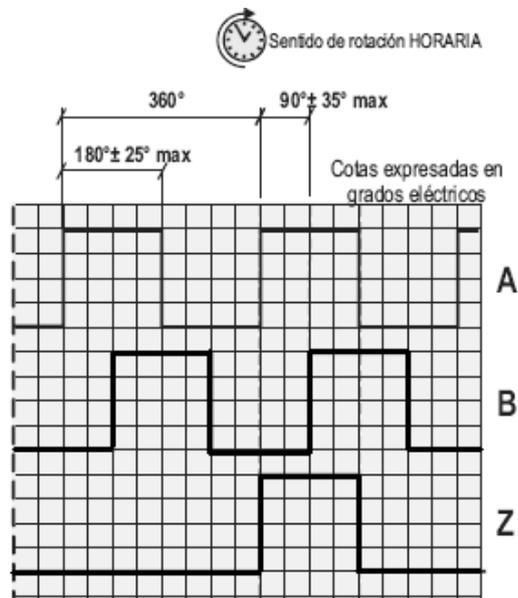
**Figura 1.19 Sistema Encoder**

## **1.4.1 CLASIFICACIÓN**

### **1.4.1.1 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 llamada 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.



**Figura 1.20 Encoder Incremental**

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 360° 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° eléctricos es suficiente aplicar la fórmula siguiente.

$$360^\circ \text{ eléctricos} = \frac{360^\circ \text{ mecánicos}}{\text{N}^\circ \text{ impulsos/giro}} \quad (\text{Ecuación 27})$$

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.

#### **1.4.1.2 Encoder Incremental con fases de conmutación integradas (Fases de conmutación).**

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. En ciertos encoders, en cambio, estas señales de conmutación se generan ópticamente y se presentan bajo la forma de tres ondas cuadradas desfasadas entre sí en 120° eléctricos.

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.

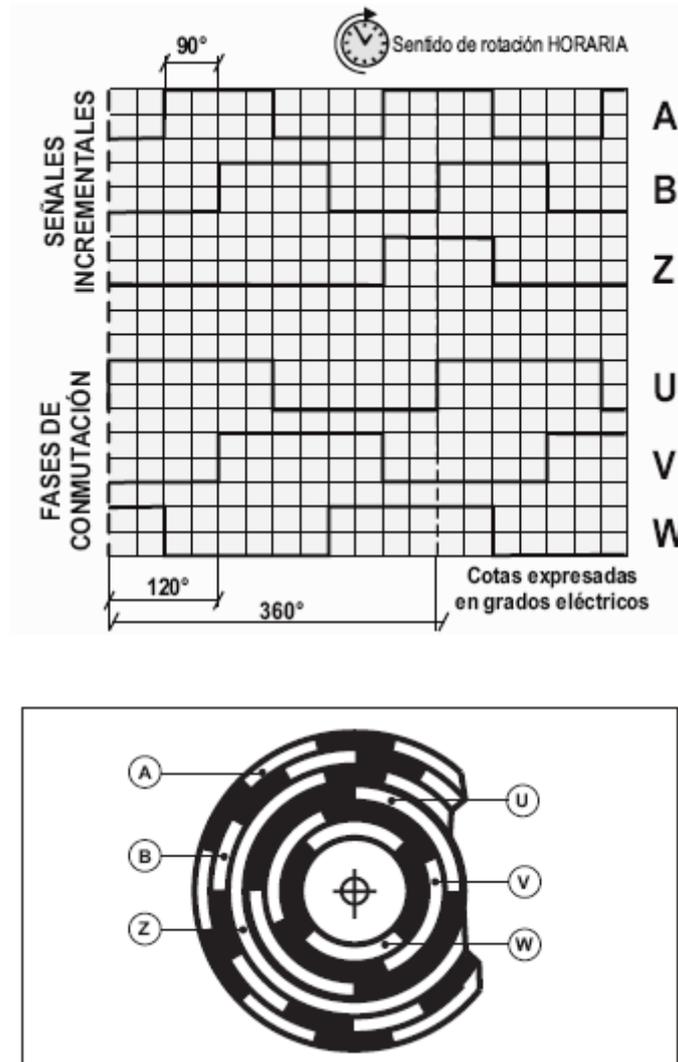


Figura 1.21 Encoder Incremental con fases de conmutación

### 1.4.1.3 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.

Este encoder se emplea cuando se desean aumentar las prestaciones dinámicas con respecto a los demás sistemas tradicionales. Para contar con un mejor control del motor por parte del convertidor, la retroacción desde el encoder debe estar en condiciones de proporcionar un alto número de impulsos especialmente a baja velocidad.

En este caso el ancho de banda necesaria al servomotor para tratar la señal, por ejemplo de un encoder de 10.000 impulsos por revolución, debería superar sin problema el umbral de la frecuencia.

En cambio el uso de 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 sinusoides por rev. más de 100.000 impulsos por revolución.

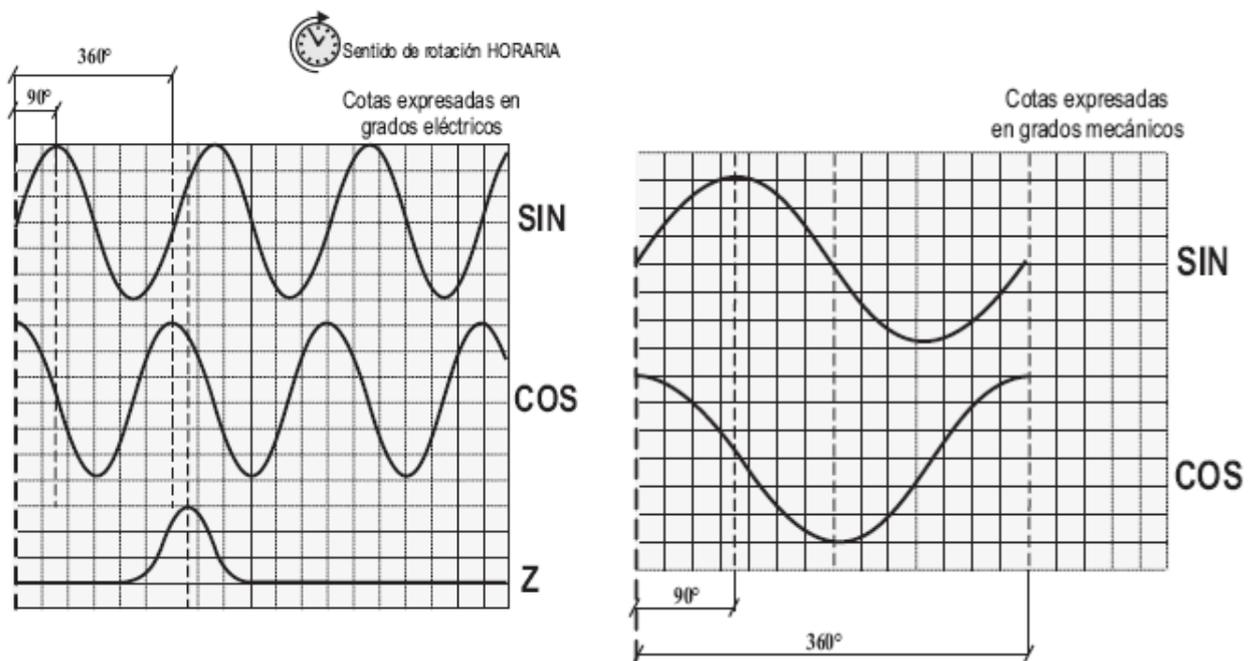
Simultáneamente la amplitud de la banda necesaria para recibir la señal, es suficiente que sea un poco superior a los 100 KHz. Las señales que hay a la salida del encoder se componen de dos sinusoides desfasadas entre sí en  $90^\circ$  eléctricos que llamaremos seno y coseno (2048 sen/rev. MAX) y de una señal de cero, también analógica centrada entre dos canales. Están integradas además otras dos señales sinusoidales con período de  $360^\circ$  mecánicos (1 sen/rev) que cumplen la función de señales de conmutación.

El dibujo que sigue a continuación, aclara la configuración típica de los desfases correspondientes. Las salidas con resolución de 1 imp/rev, son muy útiles porque desde éstas es posible obtener la posición angular absoluta. 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 senoide 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 grados mecánicos el 10%. Referido a R.P.M. del encoder, depende lógicamente del número del sen/rev. del encoder

El error correspondiente a la desviación del ángulo, medido respecto al real, generalmente es producido por los citados factores y se mantiene dentro de los 10 seg cuidando la calidad de los rodamientos y el centrado del disco en el eje.



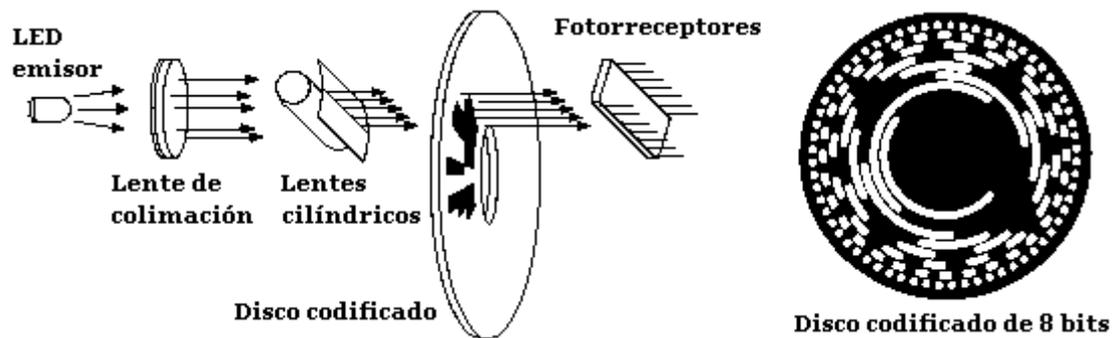
**Figura 1.22 Encoder Sinusoidal**

#### 1.4.1.4 Encoder Absoluto

El principio de funcionamiento de un encoder absoluto es muy similar al de un encoder incremental en el que un disco que gira, con zonas transparentes y

opacas interrumpe un haz de luz captado por fotoreceptores, luego estos transforman los impulsos luminosos en impulsos eléctricos los cuales son tratados y transmitidos por la electrónica de salida.

Respecto a los encoders incrementales, los encoders absolutos muestran importantes diferencias desde el punto de vista funcional.



**Figura 1.23 Encoder Absoluto**

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.

Analicemos 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 bits 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.

DECIMAL	BINARIO	GRAY
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

Tabla 1.2. Combinación código Binario - Gray

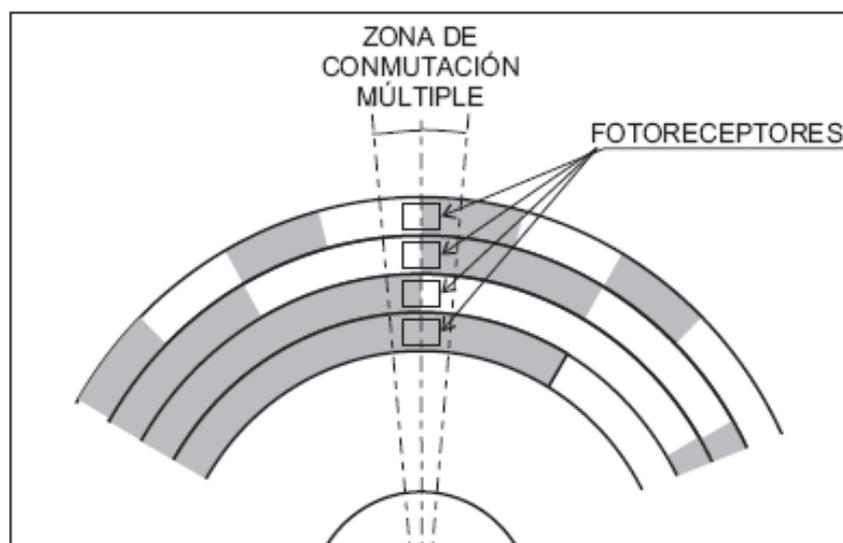


Figura 1.24 Codificación Absoluta

El código Gray puede convertirse fácilmente, con un simple circuito combinatorio, en código binario:

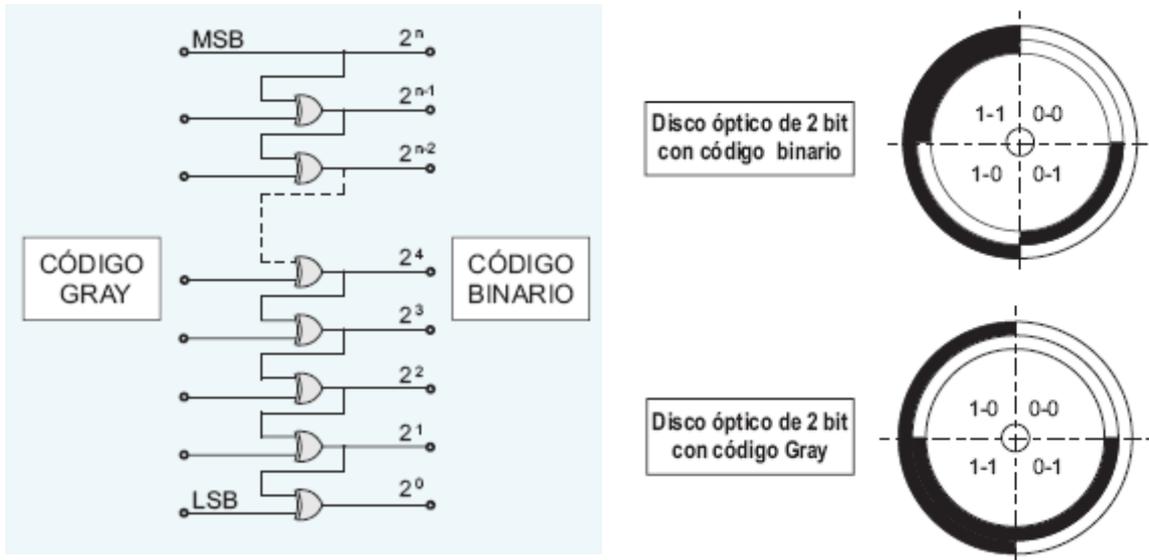


Figura 1.25 Código gray o binario

POSICIÓN	GRAY
0	0011
1	0010
2	0110
3	0111
4	0101
5	0100
6	1100
7	1101
8	1111
9	1110
10	1010
11	1011

POSICIÓN	GRAY
0	0000
1	0001
2	0011
3	0010
4	0110
5	0111
6	0101
7	0100
8	1100
9	1101
10	1111
11	1110
0	0000

Error

Tabla 1.3. Código Gray quebrado o Gray con exceso N

Cuando el número de posiciones no es una potencia de 2, la propiedad de cambiar un solo bit se pierde al pasar el último valor al primero y viceversa. Por ejemplo, deseamos realizar un encoder absoluto con 12 posiciones/giro. La codificación debería ser como las que se encuentran en la tabla:

Se nota que al pasar entre la posición 11 y 0, el cambio de estado simultáneo de 3 bit puede producir cambios de lectura y esto, como se ha visto anteriormente no es aceptable.

Para no perder la característica de la conmutación de un solo bit, se utiliza el código Gray quebrado o bien con exceso N, haciendo corresponder a la posición 0 el código Gray correspondiente al valor N, donde N es el número que, substrayéndolo al código Gray convertido a número binario da el valor exacto de posición.

El cálculo del número N se efectúa según la siguiente fórmula:

$$N = \frac{2^n - IMP}{2} \quad \text{(Ecuación 28)}$$

Donde:

IMP es el número de impulsos / giro (solo impulsos pares); n es el número de impulsos múltiplo potencia de 2, inmediatamente superior a IMP

#### **1.4.2 MÉTODOS DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL**

Antes de la cuantización de muestras mediante un convertidor A/D, es necesario contar con una serie de funciones electrónicas que preparen las señales analógicas procedentes de los transductores. Los métodos para acondicionar la señal son:

- Funciones de acondicionamiento analógico, constituyen el interfaz entre la salida de cada sensor y el sistema de adquisición de señales.
- Multiplexor analógico, que permite adquirir varios canales de señal utilizando un único A/D.

- Amplificador de muestreo-retención (sample-hold), que ha de mantener las muestras el tiempo suficiente para garantizar la operación del conversor A/D.

La disposición de estas funciones en un sistema de adquisición de datos puede ser diferente, según las necesidades, siendo posibles al menos cuatro configuraciones:

- Cada sensor cuenta con su propio subsistema de acondicionamiento de señal, cuya salida es multiplexada para entrar a un único S&H (sample-hold). Esta configuración se usa en aplicaciones donde el decalaje temporal (time skew) entre muestras de los canales no es importante.
- Cada canal incluye hasta su propio S&H, siendo multiplexadas las salidas de éstos para entrar a un único conversor A/D. Se utiliza en: aplicaciones donde dicho decalaje es crítico.
- Cada canal incluye hasta su propio conversor A/D dedicado, para aplicaciones de muy alta velocidad. Esta también es la aproximación utilizada con diseños sigma-delta.
- La salida de los sensores es directamente multiplexada antes de entrar al subsistema de acondicionamiento. Esta configuración es aconsejable en aplicaciones con múltiples sensores de características de salida parecidas, y donde la velocidad de adquisición es muy baja, dado que es necesario respetar los tiempos de establecimiento del subsistema de adquisición de señal ante cada nueva selección del multiplexor.

#### **1.4.2.1 Acondicionamiento analógico**

Las tareas llevadas a cabo por un sistema de acondicionamiento analógico de señales son:

- Escalado de las salidas de un transductor para ajustarlas al rango de entrada del convertidor A/D.
- Llevar el ruido acoplado o inducido en las entradas a un nivel suficientemente bajo, contribuyendo él mismo a este ruido de forma insignificante.
- Adaptación del espectro de frecuencias de la salida del sensor para que puedan obtenerse muestras digitales válidas a la frecuencia diseñada de muestreo.

#### **1.4.2.2 Multiplexor analógico**

Nace de la necesidad de utilizar un único elemento de conversión A/D para adquirir varias señales de diferentes fuentes. Es necesario intercalar las muestras de los diferentes canales (multiplexado en tiempo) y ofrecerlas ordenadas al circuito de muestreo. El problema electrónico asociado se centra en la implementación de un conjunto de conmutadores analógicos que han de ir abriéndose de forma sucesiva. Estos conmutadores analógicos pueden implementarse con elementos electro-mecánicos (relés) o mediante dispositivos de estado sólido.

#### **1.4.2.3 Amplificador de muestreo-retención (sample-hold)**

El muestreo necesita que el valor de la muestra de señal se mantenga el tiempo necesario para permitir la conversión A/D. El circuito que muestrea la señal y mantiene el valor de las muestras es el amplificador de muestreo-retención, que en la terminología anglosajona suele denominarse sample&hold. En realidad los circuitos físicos no realizan una función pura de muestreo-retención, que implicaría un tiempo de muestreo infinitamente estrecho. Son

más bien circuitos del tipo track&hold, donde la señal se hace aparecer en la salida durante intervalos finitos de tiempo.

En este proyecto se cuenta con una tarjeta especialmente para encoder (absoluto o incremental), la misma que ya no requiere de un acondicionamiento de señal, en este caso el encoder produce una señal digital la cual recibe la tarjeta y realiza un acondicionamiento para que el variador acepte la información del encoder sin necesidad de un circuito adicional de acondicionamiento de señal.

### **1.4.3 SELECCIÓN DEL ENCODER**

Para la selección adecuada del encoder se deben tomar en cuenta sus parámetros, así:

Resolución, el número de pulsos por revolución del eje (Típicas: 10, 60, 100, 200, 300, 360, 500, 600, 1000 y 2000).

Respuesta máxima en frecuencia, la frecuencia máxima a la cual el encoder puede responder eléctricamente, en los encoders incrementales es el máximo número de pulsos de salida que se pueden emitir por segundo.

Par de arranque, cuanto menor sea más sencillo es de arrancar.

Velocidad máxima de rotación, el número máximo de revoluciones que el encoder puede soportar mecánicamente, la velocidad del eje del encoder debe respetar la velocidad máxima de rotación y la frecuencia máxima de respuesta.

Momento de inercia, es el momento de inercia de rotación del eje, cuanto menor sea más sencillo es de parar.

Si se va a utilizar un variador en modo de control vectorial lazo cerrado, se necesitará un encoder conectado al eje del motor, se recomienda el uso de un

encoder de cuatro canales o en su defecto se puede emplear un encoder de dos canales. Además los pulsos por revolución se deben tomar en cuenta de la siguiente forma: 500 ppr por par de polos del motor.

El encoder debería ir acoplado directamente al eje del motor (utilizando un acoplamiento flexible) o indirectamente por medio de una correa dentada (deslizamiento nulo) o similar. Se debe evitar cualquier deslizamiento u holgura, así como que la carga recaiga sobre el eje del encoder.

El encoder debe conectarse utilizando cable apantallado y conectarse a tierra para evitar posibles lazos de tierra. La longitud máxima del cable es inversamente proporcional al máximo de impulsos requeridos. Un encoder de salida push-pull proporciona mejor rango que el tipo colector abierto, y se recomienda en aquellos casos que la longitud del cable sobrepase los 30 metros. Al instalar un encoder con colector abierto y al utilizar cable apantallado, la longitud del cable en metros no debería exceder de 1500 metros.

Los encoders de salida diferencial tienen una gran inmunidad frente a ruidos eléctricos, por lo que se recomienda su uso.

## **CAPÍTULO II**

### **EL VARIADOR MICROMASTER 440**

#### **2.1 EL MICROMASTER 440**

La serie MICROMASTER 440 (SIEMENS) es una gama de convertidores de frecuencia (también denominados variadores) para modificar la velocidad de motores trifásicos. Los distintos modelos disponibles abarcan un rango de potencias desde 120 W para entrada monofásica hasta 75 kW con entrada trifásica.

Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación. Esto los hace fiables, flexibles y versátiles, es decir el convertidor MICROMASTER 440 se puede usar en numerosas aplicaciones de accionamiento de velocidad variable, entre ellas se incluyen las tareas de posicionamiento para grúas y elevadores, paletizadores y similares en almacenes automatizados, máquinas de la industria de alimentación y bebidas, máquinas empaquetadoras, etc.; cabe indicar que estas aplicaciones requieren una funcionalidad y una dinámica superiores a lo normal. Un método especial de modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable permite un

funcionamiento silencioso del motor, además extensas funciones de protección ofrecen un resguardo excelente tanto del convertidor como del motor.

El MICROMASTER 440 puede utilizarse tanto en aplicaciones donde se encuentre aislado como integrado en sistemas de automatización.



**Figura 2.1 Serie MICROMASTER 440**

## **2.2 CARACTERÍSTICAS**

A continuación se detallan las características más relevantes de los variadores MICROMASTER 440:

- Fácil de instalar, parametrizar y poner en servicio.
- Diseño robusto en cuanto a CEM (compatibilidad electromagnética).
- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido y repetible.

- Amplio número de parámetros que permite la configuración de una gama extensa de aplicaciones.
- Conexión sencilla de cables.
- Relés de salida.
- Salidas analógicas (0 – 20 mA).
- 6 entradas digitales NPN/PNP aisladas y conmutables.
- 2 entradas analógicas.
- Diseño modular para configuración extremadamente flexible.
- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor.
- Información de estado detallada y funciones de mensaje integradas.
- Opciones externas para comunicaciones por PC, panel BOP (Panel de Operador Básico), panel AOP (Panel de Operador Avanzado) y módulo de comunicación PROFIBUS.
- Control vectorial sin sensores (sensorless vector control).
- Control de flujo corriente FCC (flux current control) para una mejora de la respuesta dinámica y control del motor.
- Limitación rápida de corriente FCL (fast current limitation) para funcionamiento libre de disparos intempestivos.
- Freno por inyección de corriente continua integrado (frenado dinámico).
- Frenado compuesto o combinado para mejorar las prestaciones del frenado.
- Tiempos de aceleración / desaceleración con redondeo de rampa programable.
- Control de lazo cerrado utilizando una función PID (proporcional, integral y diferencial), con autoajuste.
- Chopper de frenado incorporado.
- Rampas de subida y bajada seleccionables.

- Aislamiento de rampa con 4 puntos.
- Característica Voltaje / frecuencia multipunto.
- Se puede conmutar entre 3 juegos de parámetros, permitiendo a un único convertidor controlar varios procesos de forma alternada.
- Protección de sobre tensión y mínima tensión.
- Protección de sobre temperatura para el convertidor.
- Protección de defecto a tierra.
- Protección de cortocircuito.
- Protección térmica del motor por  $I^2 \cdot t$ .
- Protección del motor mediante sondas PTC/KTY (Sensor con coeficiente de temperatura positivo).

En la siguiente tabla se tiene un resumen de las características del MICROMASTER 440:

Característica		Especificación
Tensión de red y Márgenes de potencia		200 a 240 V ± 10 % 1AC    0,12 kW – 3,0 kW 200 a 240 V ± 10% 3AC    0,12 kW – 45,0 kW 380 a 480 V ± 10% 3AC    0,37 kW – 75,0 kW 500 a 600 V ± 10% 3AC    0,75 kW – 75,0 kW
Grado de protección		IP20
Temperatura de almacenamiento		-40 °C a +70 °C
Humedad		95 % humedad relativa; sin condensación
Altitud de operación		hasta 1000 m sobre el nivel del mar sin reducción de potencia
Método de control		Lineal V/f ; Flux Current Control (FCC); cuadrática V/f ; multipunto V/f; ahorro de energía; Sensorless Vector; vectorial en lazo cerrado; control de par.
Capacidad de sobrecarga	Par constante (CT)	1,5 * corriente nominal de salida durante 60 s (cada 300 s) 2,0 * corriente nominal de salida durante 3 segundos (cada 300 segundos)
	Par variable (VT)	1,1 * corriente nominal de salida VT de forma permanente 2,0 * corriente nominal de salida CT durante 3 segundos (cada 300 segundos)
Compatibilidad electromagnética		Filtros CEM opcionales según EN55011 Clase A o B, y también disponibles filtros Clase A internos
Características de protección		Mínima tensión, sobretensión, defecto a tierra, cortocircuito, prevención de desenganche, rotor bloqueado, sobretemperatura en motor, sobretemperatura en convertidor
Frecuencia de entrada		47 a 63 Hz
Resolución de consigna		0,01 Hz digital, 0,01 Hz serie, 10 bits analógica (potenciómetro motorizado 0.1 Hz [0.1% (en modo PID)])

Característica	Especificación
Resolución de frecuencia de salida	0,01 Hz digital, 0,01 Hz serie, 10 bits analógica
Frecuencia de pulsación	2 kHz a 16 kHz (en pasos de 2 kHz)
Entradas digitales	6 entradas programables aisladas, conmutables entre activa con high / activa con low (PNP/NPN)
Frecuencias fijas	15 programables
Frecuencias inhibibles	4 programables
Salidas de relé	3 programables 30 V DC / 5 A (carga resistiva), 250 V AC 2 A (carga resistiva)
Entrada analógica 1	0 – 10 V, 0 – 20 mA y –10 V a +10 V
Entrada analógica 2	0 – 10 V y 0 – 20 mA
Salida analógica	2 (0/4 a 20 mA) programable
Interface serie	RS-232 y RS-485
Diseño/fabricación	de acuerdo a ISO 9001
Normas	UL, cUL, CE, C-tick
Marcado CE	de acuerdo con las directivas europeas "Baja tensión" 73/23/CEE y "Compatibilidad electromagnética" 89/336/CEE
Factor de potencia	≥0,7
Rendimiento del convertidor	96 a 97 %
Corriente de arranque	Inferior a la corriente nominal de entrada
Frenado	frenado por inyección de corriente continua, frenado combinado y frenado dinámico

**Tabla 2.1 Características del MICROMASTER 440**

## 2.3 INSTALACIÓN

Para instalar y poner en marcha el variador se debe tomar en cuenta ciertos aspectos que ayudarán a que la vida útil del equipo sea prolongada. Cuando el variador se vaya a utilizar por primera vez y si se tuvo almacenado el equipo un periodo prolongado es necesario reformar los condensadores del convertidor de acuerdo a la tabla 2.2.

Además para la instalación del variador en mención se debe tomar en cuenta las condiciones ambientales del lugar donde operará el equipo, así por ejemplo, la temperatura deberá estar entre  $-10^{\circ}\text{C}$  como mínimo hasta  $50^{\circ}\text{C}$  como máximo, la humedad del aire deberá ser del 95% sin condensación, si la altitud a la que se va instalar el variador es mayor a 1000 msnm será necesario la corrección de la potencia del equipo, además se deberá instalar en un lugar libre de vibraciones constantes y contaminación.

Periodo de almacenamiento	Acción requerida	Tiempo de preparación
1 año o menos	No se requiere reformar	No hace falta preparación
1 a 2 años	Aplicar tensión al convertidor durante una hora antes de dar la orden de marcha	1 hora
2 a 3 años	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Utilizar una alimentación alterna variable</li> <li>➤ Aplicar el 25% de la tensión de entrada durante 30 minutos</li> <li>➤ Incrementar la tensión hasta el 50% durante otros 30 minutos</li> <li>➤ Incrementar la tensión hasta el 75% durante otros 30 minutos</li> <li>➤ Incrementar la tensión hasta el 100% durante otros 30 minutos</li> </ul> <b>Convertidor listo para señal de marcha</b>	2 horas
3 años o más	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Utilizar una alimentación alterna variable</li> <li>➤ Aplicar el 25% de la tensión de entrada durante 2 horas</li> <li>➤ Incrementar la tensión hasta el 50% durante otras 2 horas</li> <li>➤ Incrementar la tensión hasta el 75% durante otras 2 horas</li> <li>➤ Incrementar la tensión hasta el 100% durante otras 2 horas</li> </ul> <b>Convertidor listo para señal de marcha</b>	8 horas

**Tabla 2.2 Operación del MICROMASTER 440 por primera vez.**

El convertidor se debe montar en posición vertical para asegurar una refrigeración óptima, como se indica en la figura 2.2. Se debe asegurar de que no queden obstruidas las aberturas de ventilación del convertidor, para esto se debe dejar 100 mm de separación por encima y debajo del equipo.

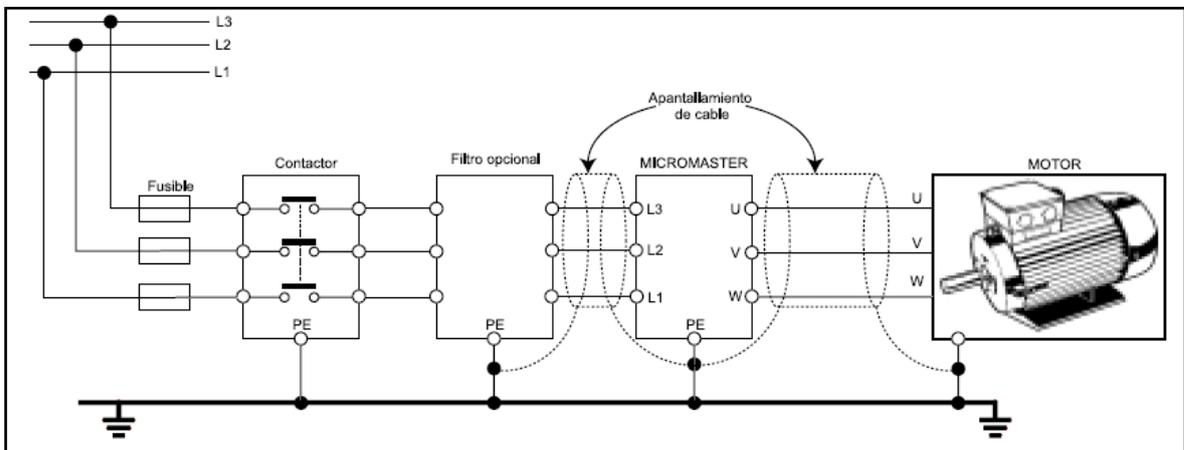
El convertidor debe ponerse siempre a tierra. Si el convertidor no está puesto a tierra correctamente, pueden presentarse condiciones extremadamente peligrosas dentro del convertidor que pueden ser potencialmente fatales.



**Figura 2.2 Colocación y desmontaje del convertidor**

El MICROMASTER puede funcionar alimentado desde una red no puesta a tierra, y continuará funcionando si una de las fases de entrada se pone accidentalmente a tierra. En cambio si una de las fases de salida se pone accidentalmente a tierra, el MICROMASTER se dispara e indicará F0001. Con redes no puestas a tierra será necesario sacar el condensador 'Y' del interior de la unidad y colocar una bobina de salida.

Una vez retiradas las tapas que cubren los bornes, se deben conectar la red y el motor como se indica en la figura 2.3.



**Figura 2.3 Conexiones del motor y la red**

Se debe asegurar de que el convertidor se encuentre configurado para el voltaje de alimentación correcta y si se conectan motores sincrónicos o si se acoplan varios motores en paralelo, el variador debe funcionar con la característica de control voltaje/frecuencia (P1300 = 0, 2 ó 3).

Los convertidores han sido diseñados para funcionar en un entorno industrial cargado con grandes interferencias electromagnéticas. Normalmente, unas buenas prácticas de instalación aseguran un funcionamiento seguro y libre de perturbaciones. Si se encuentran problemas, se deben seguir las siguientes acciones que se indican a continuación:

- Se debe asegurar que todos los aparatos alojados en un armario se encuentren bien puestos a tierra.
- Se debe conectar la tierra del motor controlado por el convertidor directamente a la conexión de tierra del convertidor asociado.
- Es preferible usar conductores planos ya que tienen menos impedancia a altas frecuencias.
- Terminar de forma limpia los extremos de los cables, asegurándose de que los hilos no apantallados sean lo más cortos posibles.
- Separar lo más posible los cables de control de los cables de potencia, usando conducciones separadas, y si es necesario formando ángulo de 90° los unos con los otros.
- Siempre que sea posible utilizar cables apantallados para las conexiones del circuito de mando.

Por último se debe asegurar de que entre la fuente de alimentación y el convertidor estén conectados interruptores o fusibles apropiados con la corriente nominal especificada, además se recomienda usar únicamente hilo de cobre Class 1 60/75°C.

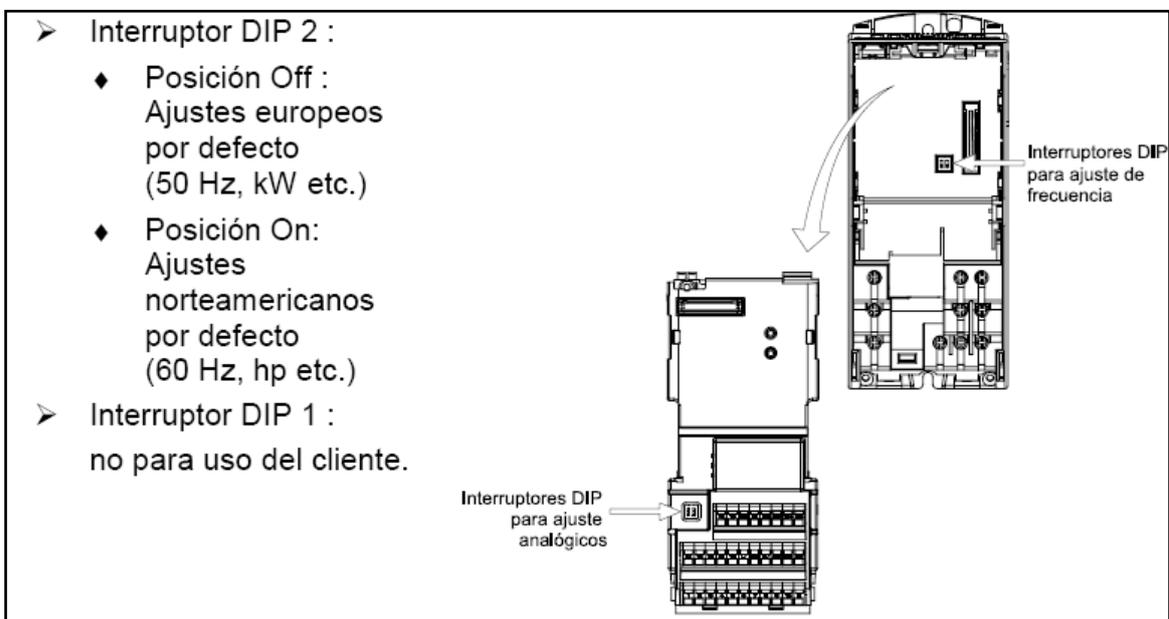
## **2.4 FUNCIONES**

La principal función del MICROMASTER 440 es controlar el motor (arranque, frenado, variación de velocidad, control del torque), además tiene algunas funciones de protección contra fallas en el motor. El MICROMASTER 440 está provisto de un panel SDP (Status Display Panel, panel indicador de estado)

como panel estándar de usuario. Los ajustes por defecto de los parámetros cubren los siguientes requerimientos:

- Los datos nominales del motor, voltaje, corriente y frecuencia, se encuentran ingresados en el convertidor para asegurarse de que el motor es compatible con el convertidor.
- Característica de control del motor V/f lineal, controlada por un potenciómetro analógico.
- Velocidad máxima de 3600 rpm a 60 Hz; controlable si se usa un potenciómetro mediante las entradas analógicas del inversor.
- Tiempo de aceleración/desaceleración de 10 segundos.

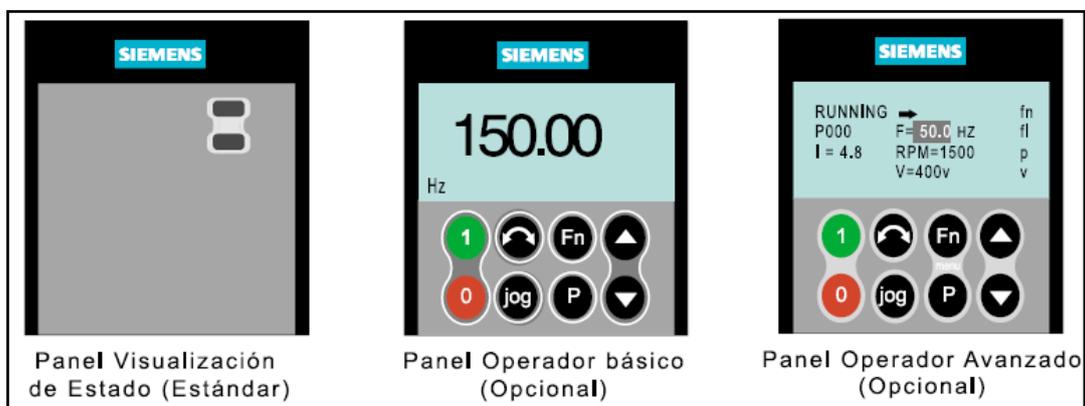
Para un correcto funcionamiento del variador se debe ajustar la frecuencia del sistema en donde va a trabajar el equipo, para esto se debe proceder como se indica en la figura 2.4.



**Figura 2.4 Localización del interruptor DIP para ajuste de frecuencia base**

Para poder modificar los parámetros del convertidor se necesitará de uno de los paneles de operador opcionales, bien sea el panel básico BOP o bien el panel avanzado AOP. Como ayuda para cambiar de una forma eficiente los parámetros, se pueden utilizar herramientas compatibles de software para puesta en servicio. Estos paneles se muestran en la figura 2.5.

El panel SDP se suministra con el MICROMASTER 440 de serie. El panel dispone de dos LED's en su frontal que indican el estado operativo del convertidor.



**Figura 2-5. Paneles disponibles para los convertidores MICROMASTER 440**

Con el panel SDP se puede utilizar el convertidor con sus ajustes de fábrica para numerosas aplicaciones. Estos ajustes se detallan en la sección siguiente. Los dos LED's situados en el panel SDP indican el estado de funcionamiento del convertidor y los diferentes estados de alarma o fallo. Los estados del convertidor indicados por los LED's en el panel SDP se indican en la Tabla 2.3.

Si el convertidor está operando con el panel SDP puede realizar las siguientes funciones:

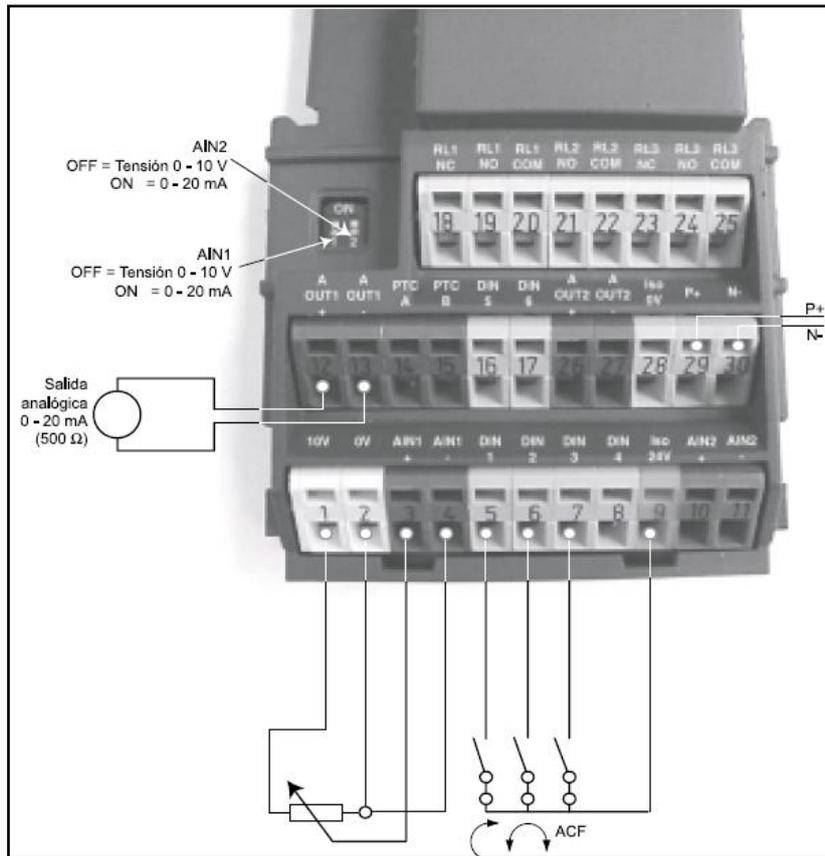
- Arrancar y parar el motor (DIN1 mediante interruptor externo)
- Invertir el sentido de giro del motor (DIN2 mediante interruptor externo)

- Reposición o acuse de fallos (DIN3 mediante interruptor externo)

El control de la velocidad del motor se realiza conectando las entradas analógicas tal y como se muestra en la figura 2.6.

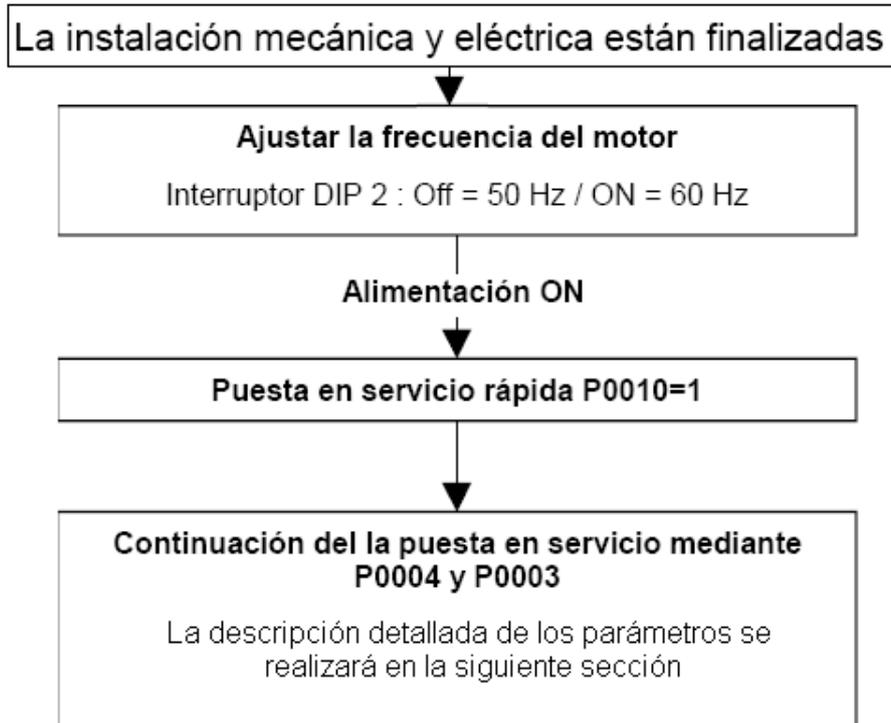
LEDs		Prioridad	Definiciones de estado del convertidor
Verde	Amarillo		
OFF	OFF	1	Ausencia de red
OFF	ON	8	Fallo del convertidor, uno de los indicado aquí abajo
ON	OFF	13	Convertidor en marcha
ON	ON	14	Preparado para funcionar, standby
OFF	R1 parpadea	4	Fallo sobrecorriente
R1 parpadea	OFF	5	Fallo sobretensión
R1 parpadea	ON	7	Fallo sobretemperatura motor
ON	R1 parpadea	8	Fallo sobretemperatura convertidor
R1 parpadea	R1 parpadea	9	Alarma límite corriente (ambos LEDs parpadean al mismo tiempo)
R1 parpadea	R1 parpadea	11	Otras alarmas (ambos LEDs parpadean alternativamente)
R1 parpadea	R2 parpadea	6/10	Disparo/alarma por mínima tensión
R2 parpadea	R1 parpadea	12	Accionamiento no listo; visualización > 0
R2 parpadea	R2 parpadea	2	Error en ROM (ambos LEDs parpadean al mismo tiempo)
R2 parpadea	R2 parpadea	3	Error en RAM (ambos LEDs parpadean alternativamente)
<b>R1 – Tiempo de encendido de 900 ms</b>		<b>R2 – Tiempo de encendido de 300 ms</b>	

**Tabla 2.3 Diferentes estados de alarma o fallo**



**Figura 2.6 Funcionamiento básico con panel SDP**

Para poner en servicio con los paneles BOP o AOP se deben cumplir los requisitos mostrados en el diagrama siguiente:



**Figura 2.7 Puesta en servicio del variador de frecuencia.**

Es importante que el parámetro P0010 se use para la puesta en servicio y el P0003 para seleccionar el número de parámetros a los que es posible acceder. Este parámetro permite seleccionar un grupo de parámetros para facilitar la puesta en servicio rápida. Entre ellos se incluyen los parámetros de ajuste del motor y de los tiempos de rampa.

Al acabar la secuencia de puesta en servicio rápida es necesario seleccionar P3900, el cual, si está ajustado a 1, activa el cálculo del motor necesario y pone el resto de parámetros (no incluidos en P0010 = 1) a los ajustes por defecto. Esto sólo ocurre en el modo de puesta en servicio rápida.

El panel básico de operador BOP permite acceder a los parámetros del convertidor y ofrece al usuario la posibilidad de personalizar los ajustes del MICRMASTER 440.

Panel/Botón	Función	Efectos
	Indicación de estado	La pantalla de cristal líquido muestra los ajustes actuales del convertidor.
	Marcha	Al pulsar este botón se arranca el convertidor. Por defecto está bloqueado este botón. Para habilitar este botón, ajustar P0700 = 1.
	Parada	OFF1 Pulsando este botón se para el convertidor siguiendo la rampa de deceleración seleccionada. Por defecto está bloqueado; para habilitarlo, ajustar P0700 = 1. OFF2 Pulsando el botón dos veces (o una vez prolongada) el motor se para de forma natural (por inercia). Esta función está siempre habilitada.
	Invertir sentido de giro	Pulsar este botón para cambiar el sentido de giro del motor. El inverso se indica mediante un signo negativo (-) o un punto decimal intermitente. Por defecto está bloqueado; para habilitarlo, ajustar P0700 = 1.
	Jog motor	Pulsando este botón mientras el convertidor no tiene salida hace que el motor arranque y gire a la frecuencia Jog preseleccionada. El convertidor se detiene cuando se suelta el botón. Pulsar este botón cuando el convertidor/motor está funcionando carece de efecto.
	Acceder a parámetros	Pulsando este botón es posible acceder a los parámetros.
	Subir valor	Pulsando este botón se sube el valor visualizado.
	Bajar valor	Pulsando este botón se baja el valor visualizado.
	Funciones	Este botón sirve para visualizar información adicional. Ver Sección 5.1.2. Pulsando y manteniendo este botón apretado durante 2 segundos desde cualquier parámetro durante la operación, muestra lo siguiente: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tensión del circuito intermedio (indicado mediante d – unidades en V).</li> <li>2. Corriente de salida. (A)</li> <li>3. Frecuencia de salida (Hz)</li> <li>4. Tensión de salida (indicada mediante o – unidades en V).</li> <li>5. El valor seleccionado en P0005 (si P0005 está ajustado para mostrar cualquiera de los valores de arriba (3,4 ó 5) entonces éste no se muestra de nuevo).</li> </ol> Cualquier pulsación adicional hace que vuelva a visualizarse la sucesión indicada anteriormente. <b>Función de salto</b> Pulsando brevemente el botón Fn es posible saltar desde cualquier parámetro (rXXXX o PXXXX) a r0000, lo que permite, si se desea, modificar otro parámetro. Una vez retomado a r0000, si pulsa el botón Fn irá de nuevo a su punto inicial.

Tabla 2.4 Botones del panel del variador MICROMASTER 440

El panel BOP contiene un indicador de cinco dígitos que permite al usuario leer las características de entrada y salida de cualquier parámetro. El panel BOP no tiene la capacidad de almacenar información de parámetros.

Por defecto están bloqueadas las funciones de control del motor del BOP, para controlar el motor mediante el panel BOP, se debe ajustar el parámetro P0700 a 1 y el parámetro P1000 a 1. El panel BOP se puede colocar y retirar del convertidor mientras se esté aplicando potencia, si el panel BOP se ha ajustado como control E/S (P0700 = 1), el accionamiento se parará si se retira el mencionado panel.

A continuación se presenta un cuadro con los botones que se encuentran en el panel BOP con sus respectivos efectos al momento de accionarlos.

Cabe mencionar que cuando un motor funciona por debajo de la velocidad nominal se reduce el efecto refrigerante de los ventiladores solidarios con el eje del mismo. Por ello, en la mayor parte de los motores es necesario reducir la potencia si se desea que funcione de forma continua a menores frecuencias. Para asegurar que los motores están protegidos contra sobrecalentamiento en estas condiciones, se debe colocar en el motor una sonda de temperatura tipo PTC y conectarla a los bornes de mando del convertidor y el parámetro P0601 debe estar habilitado.

Entre las características avanzadas del panel AOP figuran las siguientes:

- Visualización multilingüe de textos explícitos
- Carga/descarga de varios juegos de parámetros
- Capacidad multipunto para controlar hasta 30 convertidores

## **2.5 OPCIONES Y CALIBRACIÓN**

Para navegar dentro de las opciones del convertidor y para calibrar el mismo se tienen una serie de parámetros que solamente son accesibles con el panel BOP o AOP.

Mediante el panel BOP es posible modificar parámetros para ajustar las propiedades deseadas del convertidor, así por ejemplo, tiempos de rampa, frecuencia mínima y máxima, etc. El número de parámetro seleccionado y el ajuste de los valores de los parámetros se visualizan en la pantalla de cristal líquido de cinco dígitos.

Los parámetros de sólo lectura están identificados con una 'r' en lugar de una 'P'. El parámetro P0010 inicia la "Puesta en servicio rápida". El convertidor no arrancará hasta que se ponga a cero (0) el parámetro P0010 una vez accedido al mismo, esta función se ejecuta automáticamente si  $P3900 > 0$ . El parámetro P0004 actúa como un filtro, permitiendo el acceso a los parámetros de acuerdo a su funcionalidad.

Hay tres niveles de acceso disponibles para el usuario: estándar, ampliado y experto. El nivel de acceso se ajusta mediante el parámetro P0003. Para la mayor parte de las aplicaciones, los niveles estándar y ampliado son suficientes. El número de parámetros que aparecen dentro de cada grupo funcional depende del nivel de acceso ajustado en el parámetro P0003.

Para ajustar la consigna de frecuencia que es el primer paso para poner en marcha el convertidor se debe ajustar el parámetro P1000 y conectar las entradas analógicas AIN+/AIN- (Bornes 3 y4) con una señal de 0 a 10 V . Los tiempos de rampa y las funciones de redondeo de rampa tienen también efecto en cómo se pone en marcha/paro al motor.

Para poner en marcha al motor en la entrada digital DIN 1 (Borne 5) deberá estar un 1 lógico y además se deberá ajustar la rampa de aceleración con el parámetro P1120.

Para parar el motor existen varias formas, la orden OFF 1 (producida por cancelación de la orden ON) hace que se pare el convertidor siguiendo la rampa de desaceleración seleccionada, es decir el parámetro que se debe ajustar es el P1121, además en la entrada digital DIN 1 (Borne 5) deberá ingresarse un 0 lógico. La orden OFF 2 hace que el motor se pare de forma natural (pulsos bloqueados), esta orden simplemente se ejecuta pulsando el botón Off una vez de forma prolongada (dos segundos) en el panel BOP o AOP. La orden OFF 3 hace que el motor se desacelere rápidamente, para esta orden hay que ajustar el parámetro P1135 que es la rampa de desaceleración para esta orden en particular.

Para invertir el sentido de giro del motor en la entrada digital DIN 2 (Borne 6) se deberá ingresar un 1 lógico y además se deben ajustar los parámetros P0700 al P0708 que son los que controlan las fuentes de señales de mando.

Para realizar un frenado por inyección de corriente continua se puede utilizar las órdenes OFF 1 y OFF 3. Para ello, una corriente continua se inyecta para detener el motor rápidamente y retiene de forma estacionaria el eje hasta que finalice el periodo de frenado. Para este tipo de frenado hay que habilitar el frenado por corriente continua con los parámetros P0701 al P0708, ajustar el periodo de frenado por corriente continua con el parámetro P1233, ajustar la corriente de frenado por corriente continua con el parámetro P1232 y ajustar la frecuencia de arranque del frenado por corriente continua con el parámetro P1234. Si no hay ninguna entrada digital ajustada a frenado por inyección de corriente continua y P1233 es diferente de cero, el frenado por inyección de corriente continua se activará después de cada orden OFF 1 con el tiempo ajustado en P1233.

Para realizar el frenado combinado se puede utilizar las órdenes OFF 1 o OFF 3. En el frenado combinado una componente de corriente continua se suma a la corriente alterna, para esto se debe ajustar la corriente de frenado con el parámetro P1236.

Otra opción de frenado es a través de una resistencia externa, este es un método que permite una reducción suave y controlada de la velocidad del motor de una forma lineal. Esta técnica se conoce también como frenado dinámico.

Los diferentes modos de control del MICROMASTER 440 gobiernan la relación entre la velocidad del motor y la tensión suministrada por el convertidor. A continuación se describen de forma resumida los modos de control disponibles:

- Control V/f lineal, puede ser usado para aplicaciones de torque variable y constante, como cintas transportadoras y bombas de desplazamiento positivo, el parámetro P1300 deberá ser igual a 0.
- Control V/f lineal con control de flujo de corriente (FCC), este modo de control se puede emplear para mejorar la eficiencia y la respuesta dinámica del motor, el parámetro P1300 deberá ser igual a 1.
- Control V/f cuadrático, este modo puede utilizarse para cargas con par variable como ventiladores y bombas, P1300 = 2.
- Control V/f multipunto, P1300 = 3.
- Control V/f lineal con modo ECO, esta característica aumenta y disminuye automáticamente la tensión del motor con el fin de buscar el consumo mínimo de potencia, está diseñado para funcionar una vez que se ha alcanzado la velocidad de consigna preajustada, P1300 = 4.
- Control V/f para aplicaciones textiles, no hay compensación de deslizamiento ni inhibición de frecuencias de resonancia, el controlador  $I_{m\acute{a}x}$  se refiere a la tensión en lugar de la frecuencia, P1300 = 5.
- Control V/f con FCC para aplicaciones textiles, P1300 = 6.
- Control V/f con consigna de tensión independiente, la consigna de tensión se puede dar usando P1330 de forma independiente de la frecuencia de salida del generador de rampa RFG (Ramp Function Generator), P1300 = 19.
- Sensorless Vector Control, esta característica permite que la velocidad del motor esté conectada con compensación de deslizamiento inherente.

Permite para torques elevados una mejora de la respuesta transitoria, un mantenimiento de la velocidad excelente y una mejora del par a frecuencias bajas. Permite cambiar de control vectorial a control de torque ajustando el parámetro P1501 y P1300 = 20.

- Sensorless Vector Torque Control, esta característica permite al convertidor controlar el par de un motor. Si hay una aplicación donde se requiera un par constante, se puede fijar una consigna de par y el convertidor variará la corriente suministrada al motor para mantener el par requerido, P1300 = 22.

El Anexo A1 detalla en forma reducida los parámetros que se pueden ajustar en el variador:

## **CAPÍTULO III**

### **IMPLEMENTACIÓN.**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

El módulo de entrenamiento de motores que posee el “Laboratorio de Control Electrónico de Motores”, ayuda para realizar prácticas de motores en vacío y bajo carga. Este módulo nos va a ser de gran utilidad para acoplar de una manera sencilla el encoder en un solo eje simétrico con el motor y el electrodinamómetro, puesto que este sistema es de acoplamiento rápido tipo “Oldham”. El módulo en su conjunto es de fácil acople, lo que nos permite una cómoda manipulación del mismo. Al finalizar el acople de todo el equipo tendremos alineado el encoder, el motor, el electrodinamómetro y un tacogenerador; esto hará que de una manera sencilla se pueda visualizar la operación y poder manipular los diferentes equipos, sin tener que realizar la remoción de ningún acople fijo. Por lo tanto el sistema contendrá los siguientes elementos:

- Encoder.
- Acoples.
- Variador de frecuencia con tarjeta de acoplamiento de encoder.

- Motor.
- Elecródinamometro.
- Tacogenerador.

### **3.2 SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL ENCODER.**

El encoder es la parte más delicada y sensible del conjunto, es aquella que nos ayuda a realizar el control lazo cerrado, siendo este el principal objetivo en este proyecto. La selección se ha tomado de acuerdo a las necesidades que tiene el usuario:

La selección de un encoder se da en base a las referencias citadas en el Capitulo I; entre lo que principalmente se toma en cuenta lo siguiente.

Hay algunas diferencias sutiles entre los encoders rotatorios absolutos e incrementales. Los encoders incrementales tienen señales de salida que repiten sobre la gama completa del movimiento. Es importante entender que cada posición mecánica no está definida únicamente. Cuando se gira el encoder incremental la posición no se sabe; puesto que las señales de salida no son únicas a ninguna posición singular. Los encoders absolutos tienen un valor único (voltaje, cuenta binaria, etc.) para cada posición mecánica. Cuando se gira un encoder absoluto, la posición se sabe. Las semejanzas de encoders absolutos e incrementales son por la forma y las aplicaciones. La cuenta y la información direccional pueden ser obtenidas de encoders absolutos e incrementales igualmente.

Entendiendo esto, sabemos que para nuestra necesidad utilizaremos un encoder incremental ya que realizaremos pruebas con inversión de giro (Reversa y Adelante) y el encoder absoluto no nos permite este tipo de control<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Tomado del manual del variados Micromaster MM 440; pagina 58

Otro punto muy importante en la selección, es el número de pulsos que se requieran, de esto va a depender mucho la precisión de la lectura de velocidad y la respuesta del variador, cabe recalcar que el número de pulsos del encoder debe ser compatible con el variador de velocidad, de lo contrario produciría un error de lectura y por ende un mal control.

El diámetro del eje del encoder también constituye un punto muy importante de la selección ya que del mismo va a depender el tipo de acople y cómo se acopla al eje del motor.

A partir de estos puntos se seleccionó el encoder incremental **DRS 61** de marca **SICK Core Tech** de fabricación Alemana. Fig. 3.1



**Figura. 3.1 Encoder DRS 61**

Las especificaciones técnicas del encoder seleccionado, se encuentran detalladas en el Anexo A2.

### **3.2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ACOPLA DEL ENCODER.**

Luego de haber seleccionado el encoder, se analiza la forma de acoplar el mismo, en la bancada que tendremos el motor, y a la vez que sea de acople y desacople rápido. Se tomó las dimensiones del eje del encoder que es 10.17

mm y la longitud que es 18mm. De igual manera el acople del motor, como se muestra en la figura. 3.2.

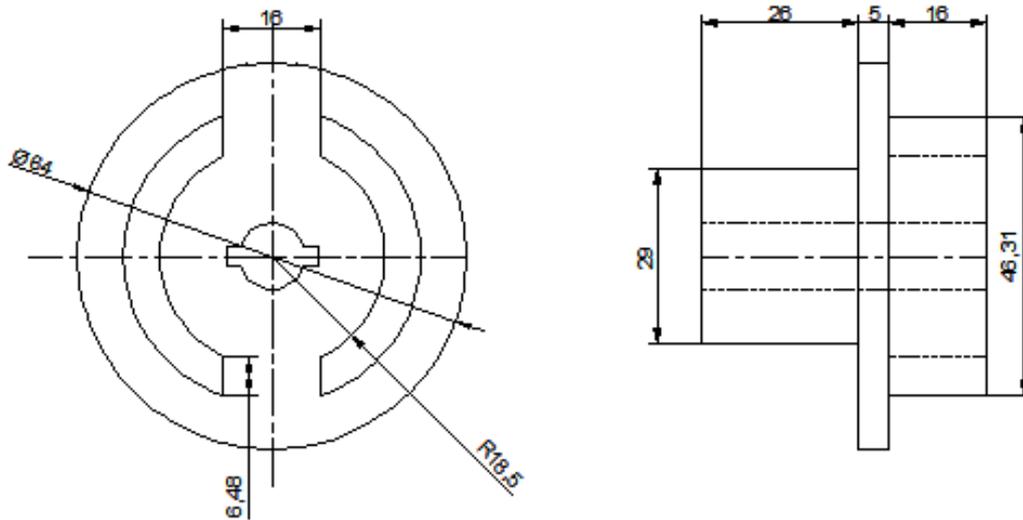


Figura. 3.2 Acople del motor.

El acople del motor es de aluminio por lo que el del encoder también debe ser del mismo material para las dimensiones de la figura a continuación figura. 3.3.

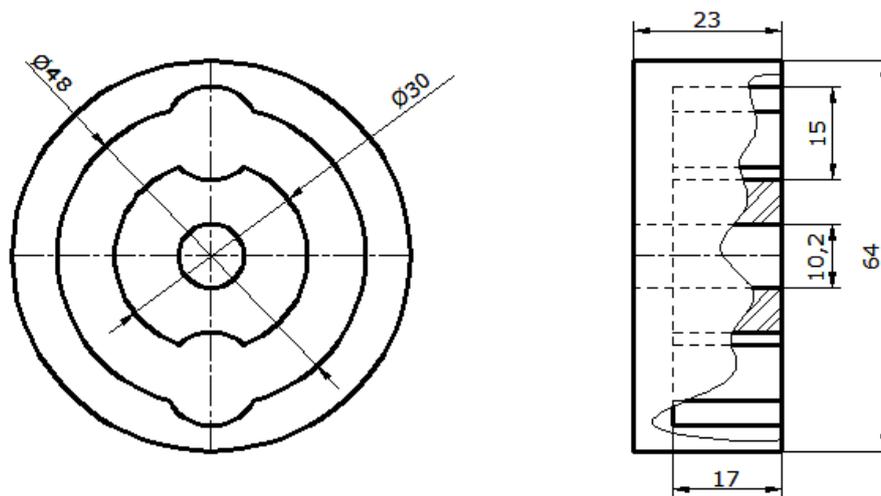
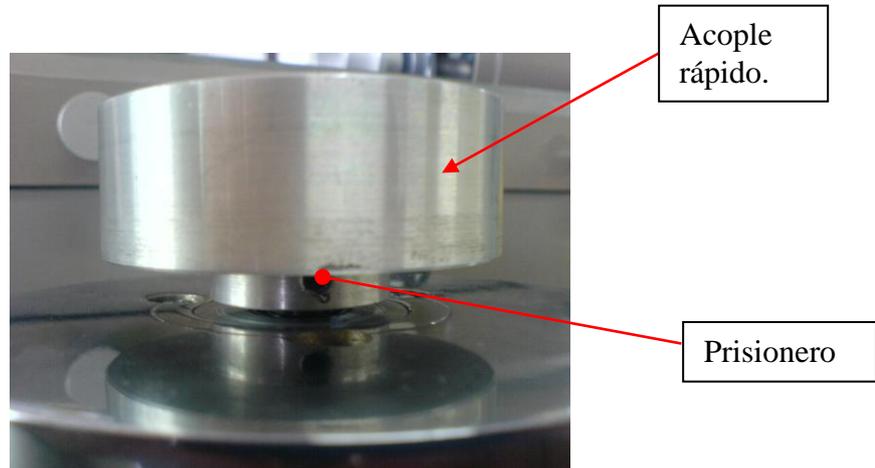
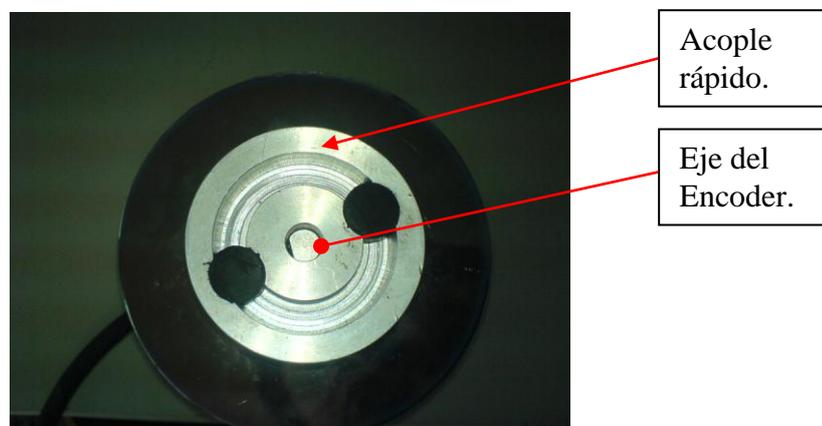


Figura. 3.3 Dimensiones del acople del encoder

Al final de la construcción el acoplamiento queda como se muestra en la fig. 3.4 y 3.5



**Figura. 3.4 Acople finalizado del encoder.**



**Figura. 3.5 Acople finalizado del encoder**

### 3.2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ELEMENTO DE SUJECIÓN DEL ENCODER.

Luego de un análisis exhaustivo de las diversas formas de sujetar el encoder, se toma la decisión de, que la mejor forma es con un eje cilíndrico en el cual se aloja el encoder. La bancada del módulo es de tipo V y los diámetros exteriores de los motores a prueba son de 119mm para lo que el cilindro se construirá de este diámetro.

Así que se toma las medidas del encoder, las mismas que podemos encontrar en el Anexo A2 y se procede a mecanizar el eje, luego a montar el encoder, tomando en cuenta que se trata de un instrumento de medición muy delicado y que el montaje debe estar alineado, ya que de lo contrario se puede producir un daño en el conjunto al girar.

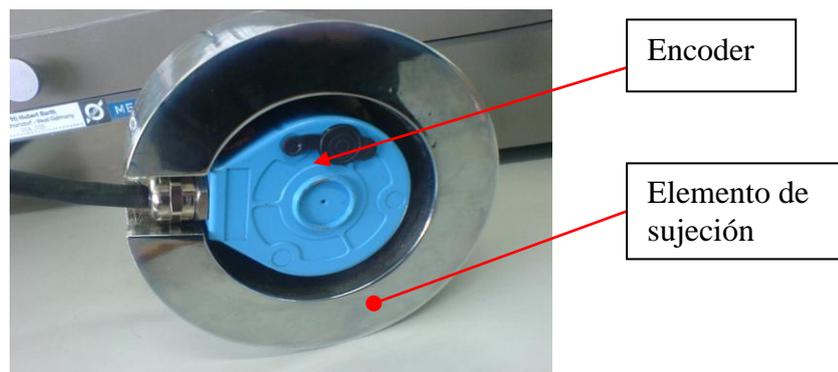


Figura. 3.6 Encoder montado al eje cilíndrico

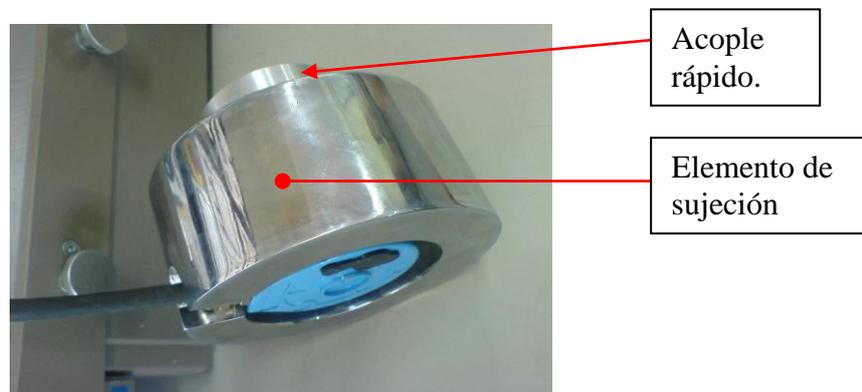


Figura. 3.7 Encoder listo para acoplar al motor.

### 3.3 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL.

Una vez con el encoder montado en el eje como muestra la figura. 3.7, se realiza el acople con el variador de forma directa con la ayuda de una tarjeta de acoplamiento de encoder figura. 3.8.

Este es un accesorio del variador Micromaster 440, el cual está diseñado para aceptar señales de encoders absolutos o incrementales; como en nuestro caso el encoder es de tipo incremental. Esta tarjeta se muestra en la figura 3.8.<sup>7</sup>

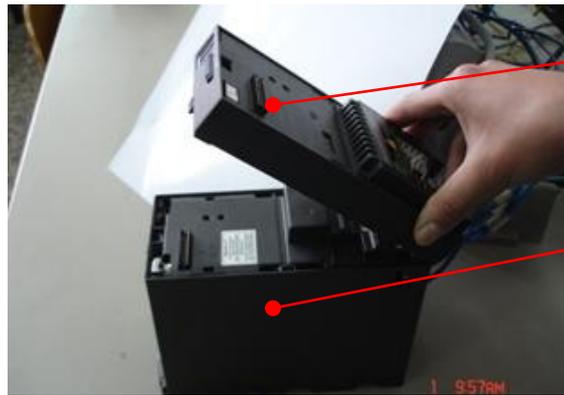


**Figura 3.8 Tarjeta de acoplamiento de encoder.**

Esta tarjeta va conectada en el variador, como se muestra en la figura. 3.9.

---

<sup>7</sup> Ver Anexo A3



Tarjeta de acoplamiento de encoder

Variador micromaster 440

**Figura. 3.9 Montaje de la tarjeta en el variador**

Sobre esta tarjeta se puede colocar el AOP, el BOB o la tarjeta RS232 como se muestra en la figura 3.10.



**Fig. 3.10 Colocación de la tarjeta AOP.**

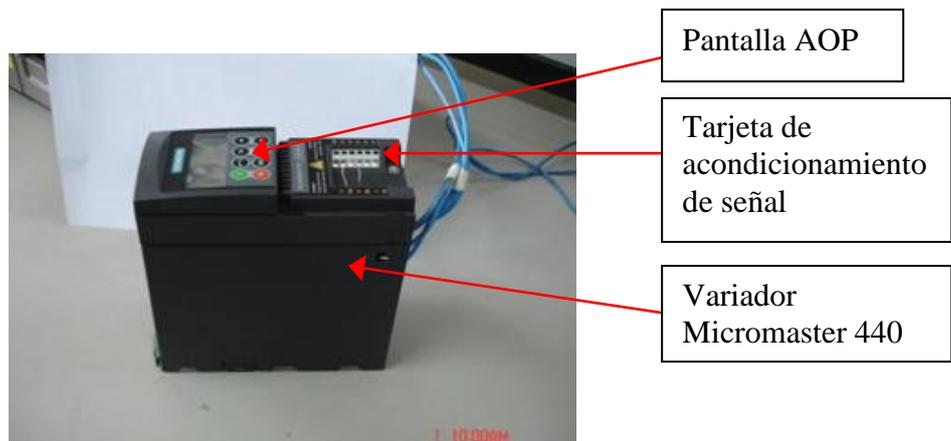


Fig. 3.11 Variador con tarjeta de acople de encoder y tarjeta AOP.

Se toma el encoder y de acuerdo a la **Tabla de distribución de terminales** (Anexo A2) se coloca sus conectores en la bornera de la tarjeta de acoplamiento de encoder figura 3.12.



PIN and wire allocation/cable 11 core			
PIN	Signal	Wire colour (Cable outlet)	Explanation
1	$\bar{B}$	black	Signal line
2	Sense +	grey	Connected internally to $U_s$
3	Z	lilac	Signal line
4	$\bar{Z}$	yellow	Signal line
5	A	white	Signal line
6	$\bar{A}$	brown	Signal line
7	N. C.	orange	Not connected
8	B	pink	Signal line
9	Screen		Housing potential
10	GND	blue	Zero volt connected to the encoder
11	Sense -	green	Connected internally to GND
12	$U_s$	red	Supply voltage <sup>1)</sup>

Figura. 3.12 Bornera de la tarjeta de acoplamiento de encoder y distribución de terminales del encoder.

### 3.4 EL VARIADOR DE FRECUENCIA.

EL variador a utilizar es un Micromaster 440 (figura. 3.13) de marca Siemens, el mismo que se estudió en el Capítulo II, se deberá realizar la programación en sus parámetros, tomando en cuenta que estos son para la puesta en

marcha de este proyecto; que concluirá con el control vectorial de velocidad empleando un encoder.



**Figura. 3.13 Variador Micromaster 440**

### **3.5 EL MOTOR DE INDUCCION.**

El motor en el que se va a realizar el control es un motor trifásico, jaula de ardilla, el mismo que puede ser conectado en estrella o triángulo y que posee las siguientes especificaciones técnicas:

Tensión: 220 V en Y

Frecuencia: 60 HZ

Potencia: 0.3 Kw

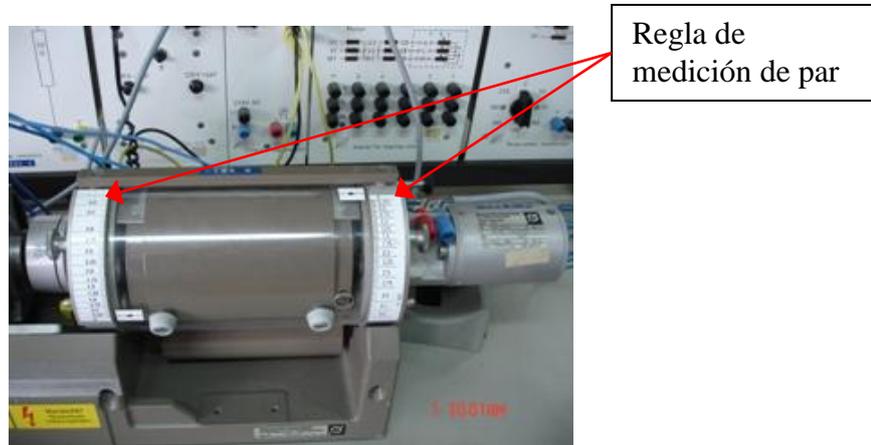
Velocidad: 1630 rev/min

Corriente: 1,75 A

$\text{Cos } \Theta = 0.74$

### **3.6 ELECTRO DINAMÓMETRO.**

Este elemento es el que nos permite simular una variación de carga, está acoplado mediante un (acople rápido) al motor, este elemento está montado juntamente en la bancada de la mesa de trabajo del laboratorio. Como se muestra la figura. 3.14



**Figura. 3.14 Electrodinómetro y Tacogenerador.**

En la figura. 3.14, se muestra una regla la cual nos ayuda para la medición del par generado en N.m y también al costado derecho del electro dinómetro se encuentra el Tacogenerador que genera 6 V a 1000 r.p.m.

### **3.7 MONTAJE DEL PROYECTO.**

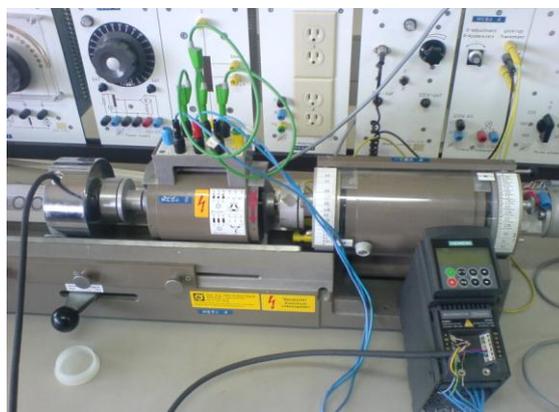
Luego de haber fabricado los acoples y con todos los implementos dispuestos (encoder, tarjeta de encoder para el variador) se procede a conectar el conjunto de tal manera que se pueda realizar una correcta alineación del mismo, ya que el conjunto va a girar en simetría. Como se muestra en las figuras (3.15 a 3.17)



**Figura. 3.15 Encoder acoplado a motor.**



**Figura. 3.16 Acoplamiento de todo el conjunto.**



**Figura. 3.17 Proyecto ensamblado.**

### 3.8 PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR

Una vez montado todos los elementos se procede a la programación del variador cambiando los siguientes parámetros:

El convertidor se puede configurar rápida y fácilmente ajustando P0010=1. Después de este ajuste sólo son visibles los parámetros relativos a los datos del motor (p.ej.: P0304, P0305, etc.). El valor de estos parámetros debe introducirse consecutivamente.



Fig. 3.18 Ajuste de los datos de placa del motor.

#### DATOS DEL MOTOR:

##### **P304 = Tensión nominal**

Tensión nominal motor [V] de la placa de características. [220 V]

##### **P305 = Intensidad nominal**

Intensidad nominal del motor [A] de la placa de características. [1.75 A]

**P307 = Potencia nominal**

Potencia nominal del motor [kW/hp] de la placa de características. [0.3 Kw]

**P310 = Frecuencia nominal**

Frecuencia nominal motor [Hz] de la placa de características. [60 Hz]

**P311 = Velocidad nominal**

Velocidad nominal motor [rpm] de la placa de características. [1630 rpm]

**P700 = Selección de la fuente de órdenes de marcha/paro**

***Ajustar a 1 = AOP***

**P1000 = Selección de la consigna de frecuencia**

***Ajustar a 2 = Consigna analógica***

**P1080 = Frecuencia mín. del motor (frecuencia a la que va a girar el motor).**

Por ejemplo [55 Hz]

**P1082 = Frecuencia max. del motor**

**P1120 = Tiempo de aceleración**

Tiempo que lleva al motor acelerar de la parada a la frecuencia máxima ajustada.

**P1121 = Tiempo de deceleración**

Tiempo que lleva al motor decelerar de la frecuencia máx. del motor a la parada.

**P2000** = Referencia de frecuencia igual a P 1082

**P3900** = Fin de la puesta en servicio rápida

**Ajustar a 3 = Inicio puesta en marcha rápida sólo para los datos del motor**

El final de la configuración rápida y el inicio del cálculo interno se inicializa ajustando P3900 = 1 o 3. Después, el parámetro P0010 se ajusta a cero automáticamente (mientras el P0010 está a valor 1 la orden de marcha se encuentra bloqueada).

**P0400** = Seleccionar tipo de encoder

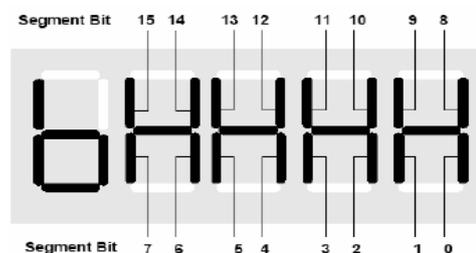
**Ajustar a 2 = Encoder incremental**

**r0403 CO/BO: Estado del encoder**

Visualiza el estado del encoder (en formato bit).

*Campos bits:*

Bit00 Modulo encoder activo	0 NO 1 YES
Bit01 Error en encoder	0 NO 1 YES
Bit02 Señal o.k.	0 NO 1 YES
Bit03 Codif. pérdida baja veloc.	0 NO 1 YES
Bit04 Utilizado temporizador HW	0 NO 1 YES



**P0408** = N°. de impulsos del encoder

Especifica el número de impulsos del encoder por revolución.

**Ajustar a 1024 pulsos**

**P0491** = Reac. pérdida señal velocidad

Selecciona reacción ante pérdida de señal de velocidad.

**Ajustar a 0 No cambiar a SLVC (Control vectorial sin sensor)**

**P0492** = Diferencia velocidad permitida [Hz]

Utilizado para la detección de la pérdida de la señal entre las muestras la diferencia permisible entre las considerar que ha perdido la señal de velocidad.

**Ajustar a 2 Hz**

**P0494** = Demora reac. pérdida [s]

Utilizado para la detección de la pérdida de la señal del encoder a baja velocidad. Si la velocidad del eje del motor es inferior al valor indicado en P0492, se detecta una pérdida del encoder utilizando un algoritmo de detección de pérdida del encoder a baja velocidad. Este Parámetro selecciona el retardo entre la pérdida del encoder a baja velocidad y la reacción ante la pérdida del encoder.

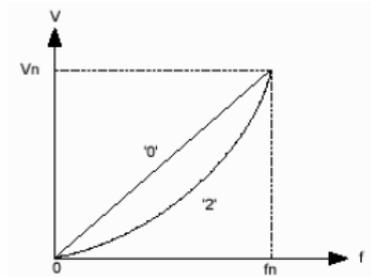
***Precaución:***

Cuando el retardo en P0494 se fija en 0, se desactiva la detección de la pérdida del encoder a baja velocidad y, por lo tanto, no puede detectarse la pérdida del encoder a baja velocidad (la detección de la pérdida del encoder a alta velocidad seguirá funcionando si  $P0492 > 0$ ). Si se desactiva la detección de la pérdida del encoder a baja velocidad, es posible que el funcionamiento del motor sea inestable. No se ha implementado todavía.

**Ajustar a 5.**

**P1300 = Modo de control**

Regula la relación entre la velocidad del motor y la tensión suministrada por el convertidor como se ilustra en el diagrama siguiente.



**Posibles ajustes:**

- 0 V/f con característ. lineal
- 5 V/f para aplicaciones textiles
- 20 Control vectorial sin sensor
- 21 Control vectorial con sensor

**Ajustar a 21**

**P1910 = Selección datos identificac. mot**

Realiza una identificación de los datos de motor.

Posibles ajustes:

- 0 Inhabilitado
- 1 Todos param. con cambio parám.

**Ajustar a 1. Aparece la alarma "A0541". Dar orden de marcha y esperar hasta que desaparezca la alarma.**

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN.**

Este capítulo está enfocado a la realización de pruebas con el conjunto armado, de esta forma podremos comprobar que método de control es realmente el más efectivo, considerando parámetros de torque, velocidad, voltaje y corriente; siendo el más importante la velocidad, ya que el fin de este proyecto es mantener la velocidad constante.

Ya que el variador posee variantes de operación o control (P 1300)<sup>8</sup>, realizaremos las siguientes pruebas:

- Modo V/f.
- Control Vectorial sin sensor.
- Control Vectorial con sensor (encoder).

#### **4.2 ANÁLISIS EN ESTADO ESTACIONARIO.**

---

<sup>8</sup> Parámetro 1300: manual Variador Micromaster 440, página 136

Definimos como estado estacionario al tiempo de trabajo del motor eléctrico, comprendido entre  $t_1$  en adelante (figura 4.1), sección de tiempo post transitoria en la cual los parámetros de la máquina eléctrica se mantienen estables, teniendo como único factor variable a la carga.

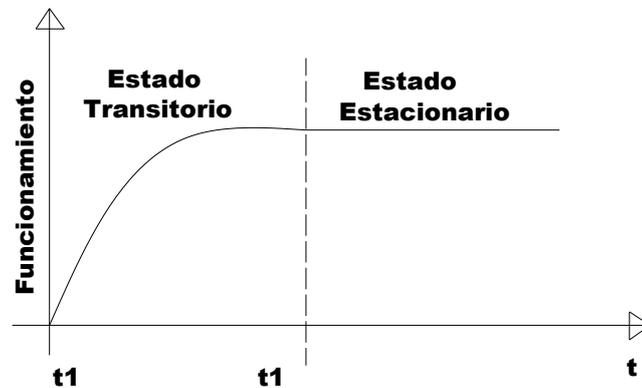
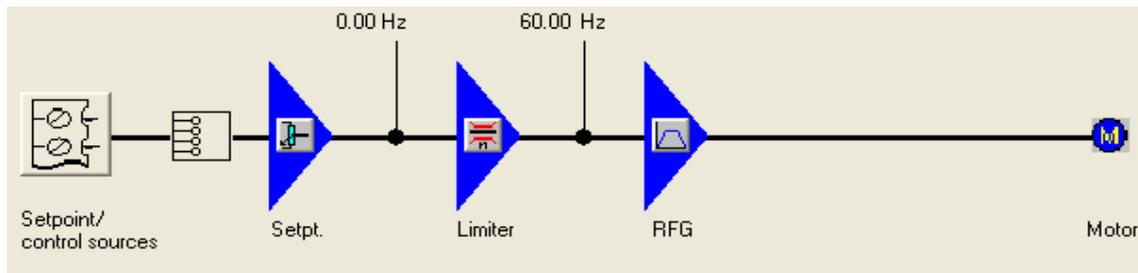


Figura 4.1 Estados de funcionamiento del motor eléctrico.

#### 4.3 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO MOTOR - LAZO ABIERTO

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración, sin embargo aun cuando los sistemas de control en lazo abierto no son utilizados de manera operativa, tienen una gran utilidad para la calibración de sistemas de control continuo, en este caso es útil para determinar la compatibilidad entre los dos subconjuntos a interactuar, motor eléctrico, sensor y variador de frecuencia.



**Figura 4.2 Lazo Abierto**

### 4.3.1 Análisis de estabilidad en la variable velocidad en modo de operación V/f.

La característica V/f es la solución más sencilla para procesos de control. La tensión del estator del motor asíncrono - o síncrono - se controla proporcionalmente a la frecuencia del mismo. Este procedimiento se ha ratificado en una gran variedad de aplicaciones "sencillas" como:

- Bombas, ventiladores
- Accionamientos para cintas transportadoras

El objetivo del control V/f es, mantener constante el flujo  $\Phi$  en el motor. Debiendo ser este proporcional a la corriente de magnetización o a la relación entre tensión V y frecuencia f.

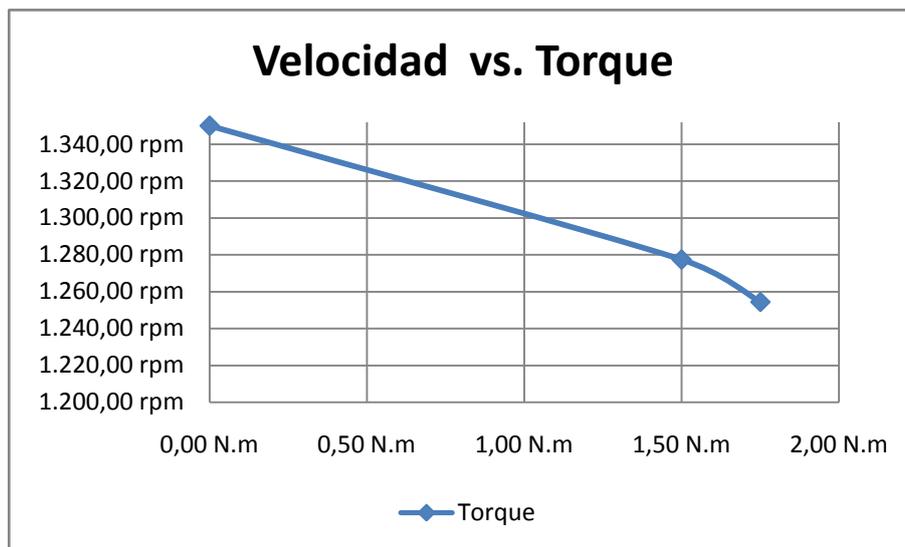
El par "M" del motor asíncrono es proporcional al producto de flujo por corriente (más exactamente al producto vectorial  $\Phi \times I$ ).  $M = \Phi \times I$ . El motor debe trabajar con el mayor flujo constante posible para producir la mayor fuerza a partir de una corriente determinada. Para mantener el flujo  $\Phi$  constante, se tiene que modificar proporcionalmente la tensión V cuando se cambie la frecuencia f. De esta forma la corriente de magnetización fluye constante. Este es el principio en el que se basa el funcionamiento del control por característica V/f.

A continuación se muestran los resultados y el análisis del incremento gradual del Torque y como este afecta al sistema.

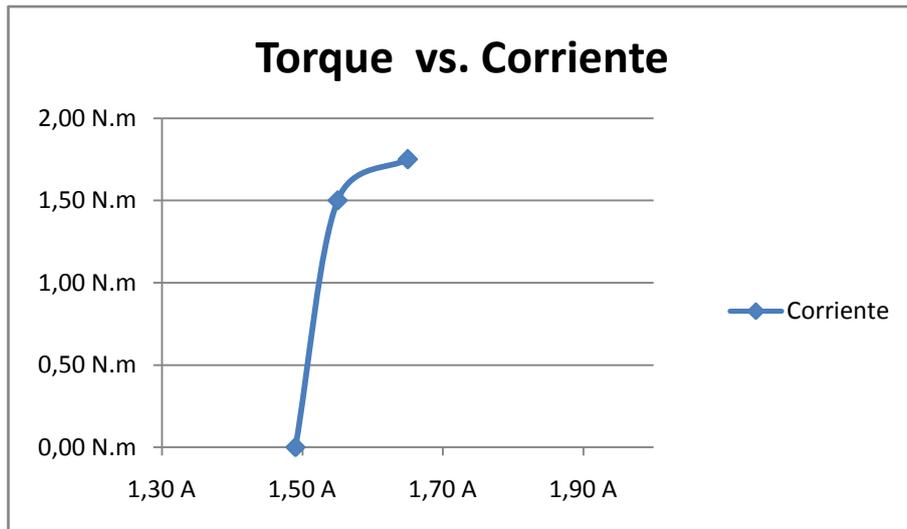
<b>Carga</b>	0,00 N.m	1,50 N.m	1,75 N.m
<b>Set Point</b>	45,00 Hz	45,00 Hz	45,00 Hz
<b>Voltaje</b>	168,00 V	168,00 V	168,00 V
<b>Corriente</b>	1,49 A	1,55 A	1,65 A
<b>Velocidad</b>	1.350,00 rpm	1.277,40 rpm	1.254,50 rpm

**Tabla 4.1 Prueba a 45 Hz.**

- Se observa en la tabla 4.1 y en la figura 4.3, que la variación de velocidad es muy notable y no permanece constante y el porcentaje de error es 7 % por lo que es muy grande y realmente no muy poco controlable.



**Figura 4.3 Velocidad vs Torque a 45 Hz**



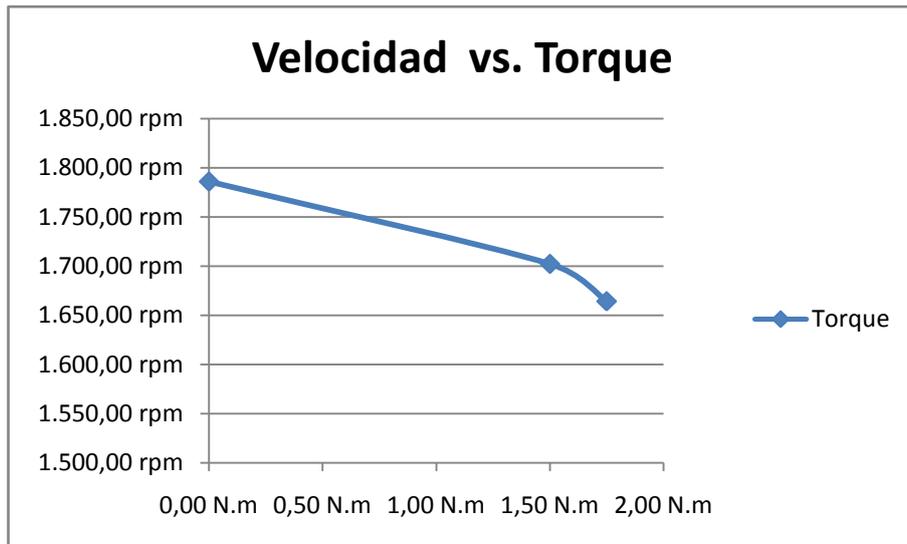
**Figura 4.4 Torque vs Corriente a 45 Hz.**

- La grafica 4.4, muestra que desde 0 a 1,5 N.m la corriente varia en forma leve hasta llegar a 1.5 Nm de carga donde la corriente aumentara drásticamente hasta alcanzar su valor nominal de placa.

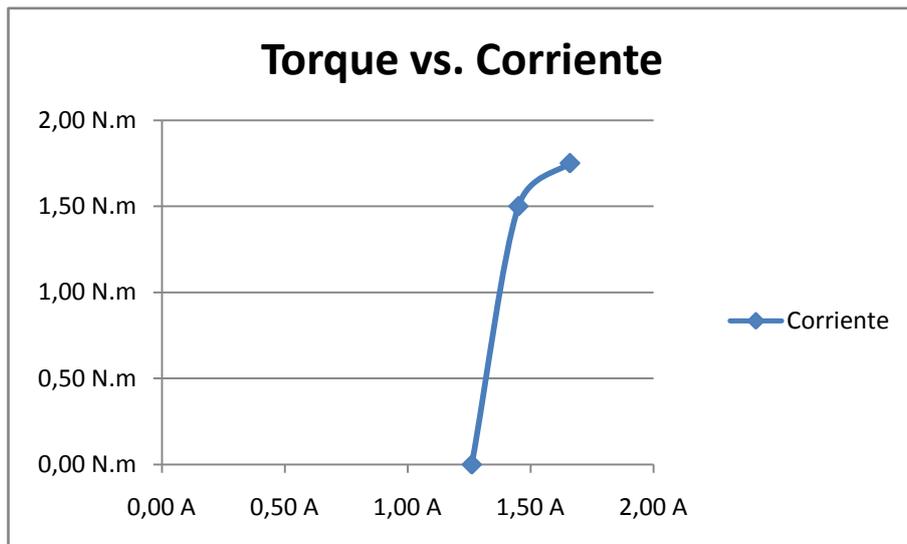
<b>Torque</b>	0,00 N.m	1,50 N.m	1,75 N.m
<b>Set Point</b>	60,00 Hz	60,00 Hz	60,00 Hz
<b>Voltaje</b>	207,00 V	204,00 V	203,00 V
<b>Corriente</b>	1,26 A	1,45 A	1,66 A
<b>Velocidad</b>	1.786,10 rpm	1.702,20 rpm	1.664,20 rpm

**Tabla 4.2 Prueba a 60 Hz.**

- De igual forma se observa en la tabla 4.2 y en la figura 4.5, que la variación de velocidad es muy notable (un error de 8 %), además de que la velocidad a 60 Hz debería ser 1800 rpm y existe un error de 4 r.p.m.



**Figura 4.5 Velocidad vs Torque a 60 Hz**



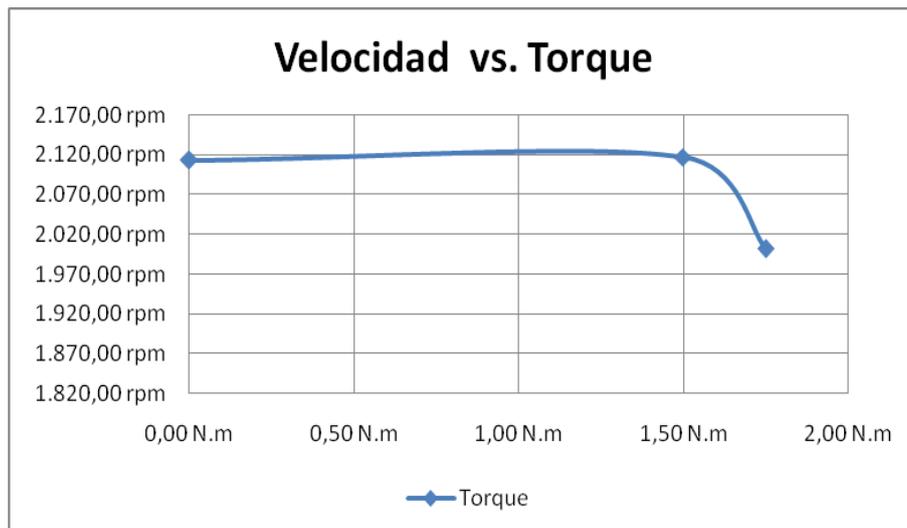
**Figura 4.6 Torque vs Corriente a 60 Hz.**

- En la figura 4.6, se observa la curva de la corriente de igual manera que a 45 Hz, la corriente aumenta bruscamente desde los 1,5 N.m.

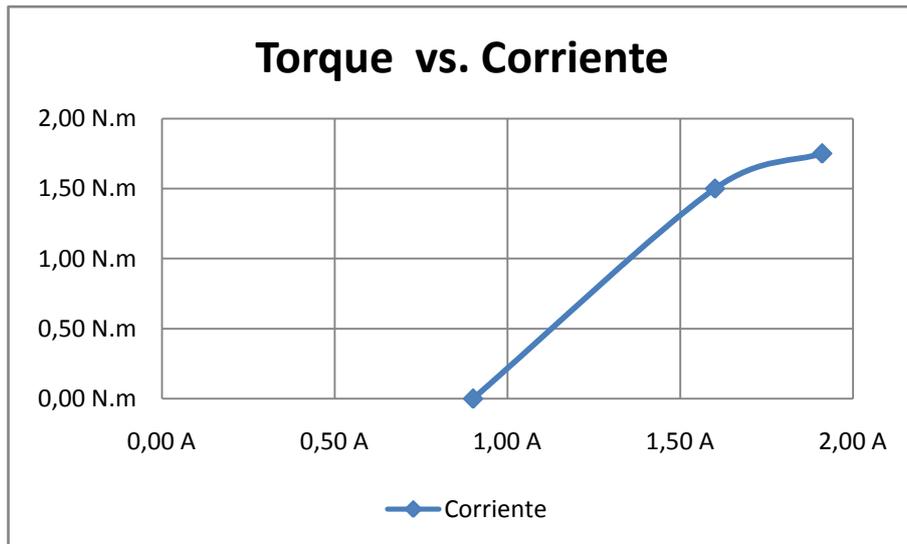
<b>Torque</b>	0,00 N.m	1,50 N.m	1,75 N.m
<b>Set Point</b>	70,00 Hz	70,00 Hz	70,00 Hz
<b>Voltaje</b>	208,00 V	203,00 V	202,00 V
<b>Corriente</b>	1,03 A	1,54 A	1,62 A
<b>Velocidad</b>	2.084,00 rpm	1.949,40 rpm	1.915,00 rpm

**Tabla 4.3 Prueba a 70 Hz**

- Como se puede observar en la tabla 4.3 y figura 4.7, la variación de velocidad es muy grande; estas superan el 8% de error. Lo cual en un sistema de precisión no es útil, ni aplicable.



**Figura 4.7 Velocidad vs Torque a 70 Hz**



**Figura 4.8 Torque vs Corriente a 70 Hz.**

- Como se puede observar figura 4.8, la corriente tiene tendencia lineal al cambio de torque y no brusco como en los casos de 45 y 60 Hz.

Frecuencia	V. Sincrónica	V. Real	% de variación
45hz	1350rpm	1350,0rpm	0
60hz	1800rpm	1786,1rpm	0,77
70hz	2100rpm	2084,0rpm	0,76

**Tabla 4.4 Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 0 N.m.**

Frecuencia	V. Sincrónica	V. Real	% de variación
45hz	1350rpm	1277,4rpm	5,37
60hz	1800rpm	1702,2rpm	5,43
70hz	2100rpm	1949,4rpm	7,17

**Tabla 4.5 Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 1,5 N.m.**

Frecuencia	V. Sincrónica	V. Real	% de variación
45hz	1350rpm	1254,5rpm	7,07
60hz	1800rpm	1664,2rpm	7,53
70hz	2100rpm	1915rpm	8,81

**Tabla 4.6 Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 1,75 N.m.**

- Las tablas 4.4, 4.5 y 4.6 muestran que evidentemente el error en velocidad es mucho mayor cuando el torque aumenta. Por esta razón no es aplicable para realizar un control del proceso ya que su error, cuando se aplica torque, sobrepasa el 5%

#### **4.3.2 Análisis de estabilidad en la variable velocidad en modo de operación control vectorial sin sensor.**

El control vectorial sin sensor de velocidad funciona calculando la posición del flujo y la velocidad real en el Modelo del motor<sup>9</sup>. Este Modelo se apoya en los valores de corriente y tensión disponibles y no está en la capacidad de calcular la velocidad cuando las frecuencias son bajas ( $\approx 0$  Hz). Por tal motivo y debido a la inexactitud de los valores medidos y de los parámetros del modelo, el control en lazo cerrado pasa a control en lazo abierto.

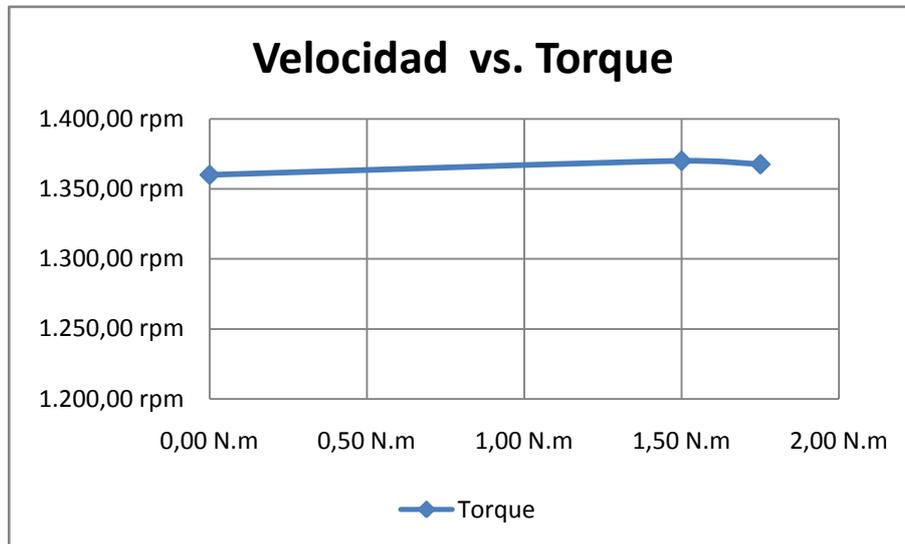
A continuación se muestran los resultados y el análisis del incremento gradual del Torque y como este afecta al sistema.

<b>Torque</b>	0,00 N.m	1,50 N.m	1,75 N.m
<b>Set Point</b>	45,00 Hz	45,00 Hz	45,00 Hz
<b>F. Variador</b>	45,95 Hz	48,14 Hz	48,89 Hz
<b>Voltaje</b>	166,00 V	192,00 V	192,00 V
<b>Corriente</b>	1,43 A	1,69 A	1,72 A
<b>Velocidad</b>	1.360,00 rpm	1.370,00 rpm	1.367,50 rpm

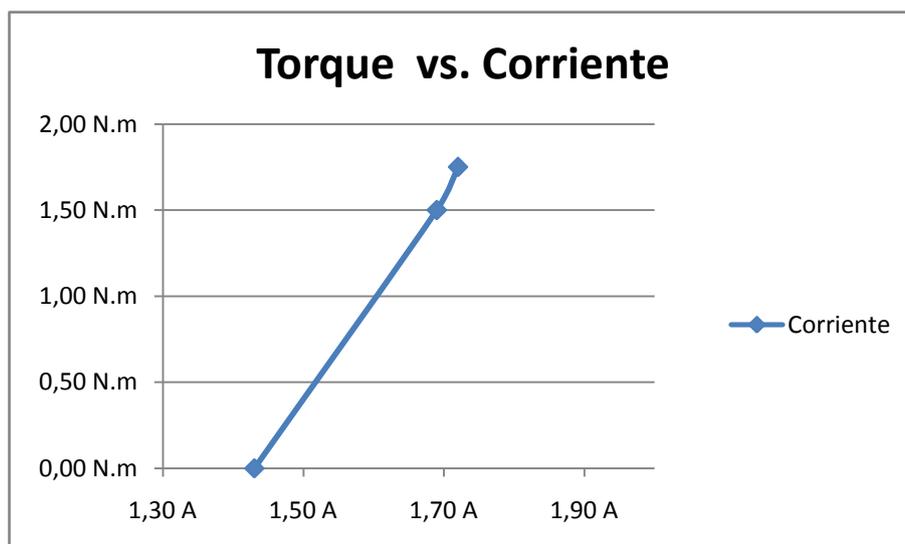
**Tabla 4.7 Prueba a 45 Hz**

<sup>9</sup> Parámetro 1910: manual Variador Micromaster 440, pagina 167

- Como se puede observar en la tabla 4.7 y figura 4.9, la variación de velocidad es muy pequeña; estas no superan el 2% de error. Pero a un tiene un margen de error considerable.



**Figura 4.9 Velocidad vs Corriente a 45 Hz.**



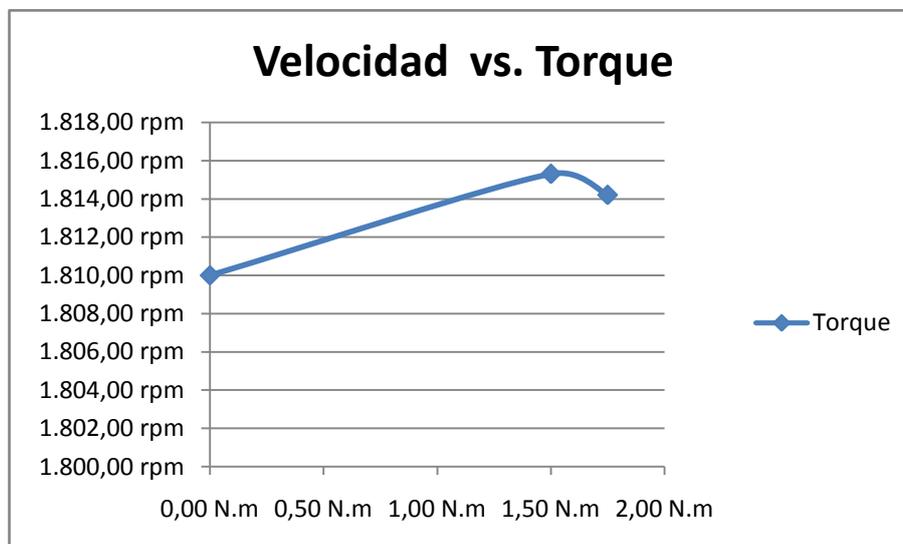
**Figura 4.10 Torque vs Corriente a 45 Hz.**

- En la figura 4.10, la corriente tiene tendencia lineal y resulta más controlable ya que no tiene cambios bruscos.

<b>Torque</b>	0,00 N.m	1,50 N.m	1,75 N.m
<b>Set Point</b>	60,00 Hz	60,00 Hz	60,00 Hz
<b>F. Variador</b>	60,49 Hz	65,71 Hz	67,11 Hz
<b>Voltaje</b>	191,00 V	192,00 V	190,00 V
<b>Corriente</b>	1,09 A	1,44 A	1,54 A
<b>Velocidad</b>	1.810,00 rpm	1.815,30 rpm	1.814,20 rpm

**Tabla 4.8 Prueba a 60 Hz**

- En la tabla 4.8 y figura 4.11, la variación de velocidad es muy pequeña; estas no superan el 1% de error. Pero a pesar de esto no se puede tener un control exacto en este sistema,



**Figura 4.11 Velocidad vs Corriente a 60 Hz.**

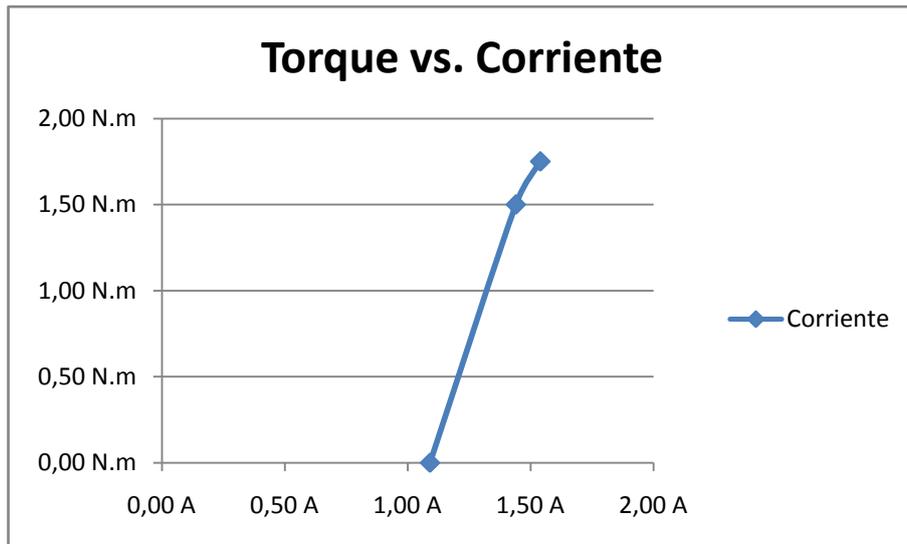


Figura 4.12 Torque vs Corriente a 60 Hz.

- En la figura 4.12, la corriente tiene a aumentar en forma lineal al torque, al igual que la prueba a 45 Hz esta nos presenta un mayor control en el manejo del torque.

<b>Torque</b>	0,00 N.m	1,50 N.m	1,75 N.m
<b>Set Point</b>	70,00 Hz	70,00 Hz	70,00 Hz
<b>F. Variador</b>	70,92 Hz	78,79 Hz	77,97 Hz
<b>Voltaje</b>	188,00 V	190,00 V	184,00 V
<b>Corriente</b>	0,90 A	1,60 A	1,91 A
<b>Velocidad</b>	2.113,00 rpm	2.117,00 rpm	2.002,00 rpm

Tabla 4.9 Prueba a 70 Hz

- En la figura 4.13 y en la tabla 4,9, la velocidad permanece casi constante aunque tiene un margen de error el cual se mantiene menor a 1%. Al

llegar a 1,75 N.m podemos observar que el motor se limita y ya no realiza un control de la velocidad, por lo que esta cae en 98 r.p.m. a la ideal que es 2100 teniendo un error del 4,6%

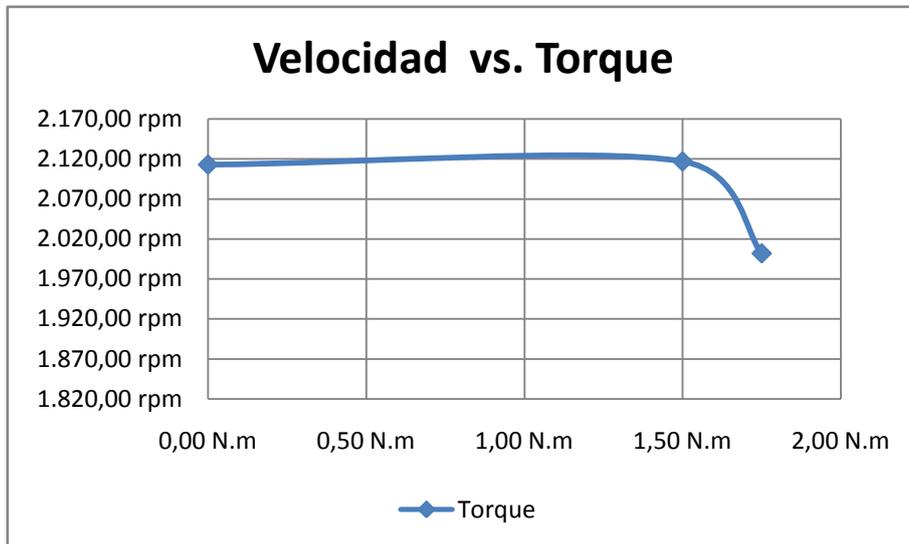


Figura 4.13 Velocidad vs Corriente a 70 Hz.

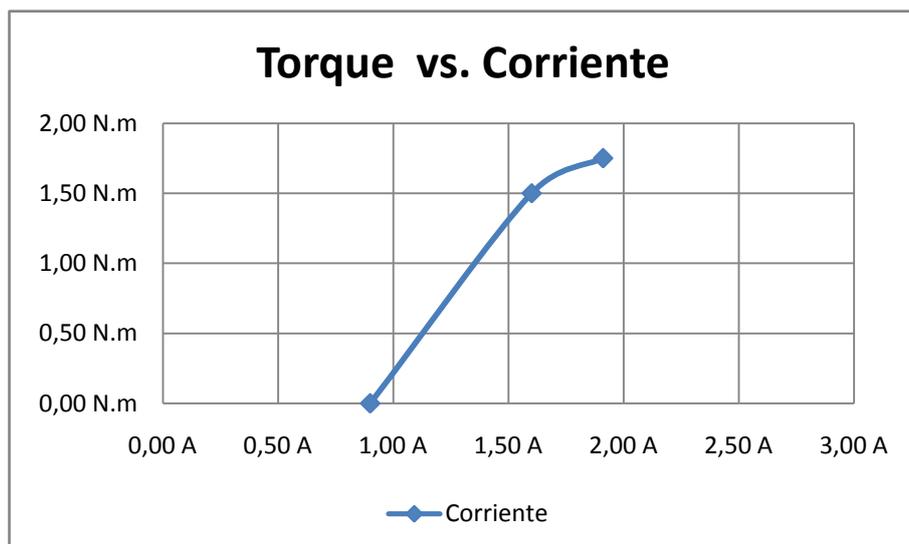


Figura 4.14 Torque vs Corriente a 70 Hz.

- En la figura 4.14, la corriente llega a su valor de placa a 1,67 N.m luego de lo cual permanece lineal hasta 1,7 N.m donde el motor se limita y se pierde el control.

Frecuencia	V. Sincrónica	V. Real	% de variación
45hz	1350rpm	1360,0rpm	0,74
60hz	1800rpm	1810,0rpm	0,55
70hz	2100rpm	2113,0rpm	0,62

**Tabla 4.10 Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 0 N.m.**

Frecuencia	V. Sincrónica	V. Real	% de variación
45hz	1350rpm	1370,0rpm	1,48
60hz	1800rpm	1815,3rpm	0,85
70hz	2100rpm	2117,0rpm	0,81

**Tabla 4.11 Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 1,5 N.m.**

Frecuencia	V. Sincrónica	V. Real	% de variación
45hz	1350rpm	1367,5rpm	1,29
60hz	1800rpm	1814,2rpm	0,78
70hz	2100rpm	2002,0rpm	4,66

**Tabla 4.12 Variación entre valores ideales y reales de velocidad a 1,75 N.m.**

- Las tablas 4.10, 4.11 y 4.12, como se esperaba que el control vectorial sin sensor, es mucho más eficiente que el control V/f, ya que como se indico el variador modela el motor, pero a pesar de esto, sigue siendo un proceso en lazo abierto lo cual no presenta una gran eficiencia.

#### **4.4 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO MOTOR - VARIADOR EN LAZO CERRADO.**

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de

realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales) a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentando para reducir el error del sistema, en el diagrama de bloques de la figura 4.15 se muestra un sistema de control a lazo cerrado, y se relacionan los elementos con el sistema propuesto.

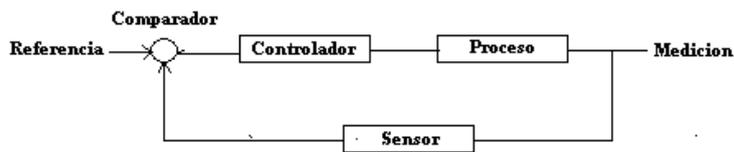
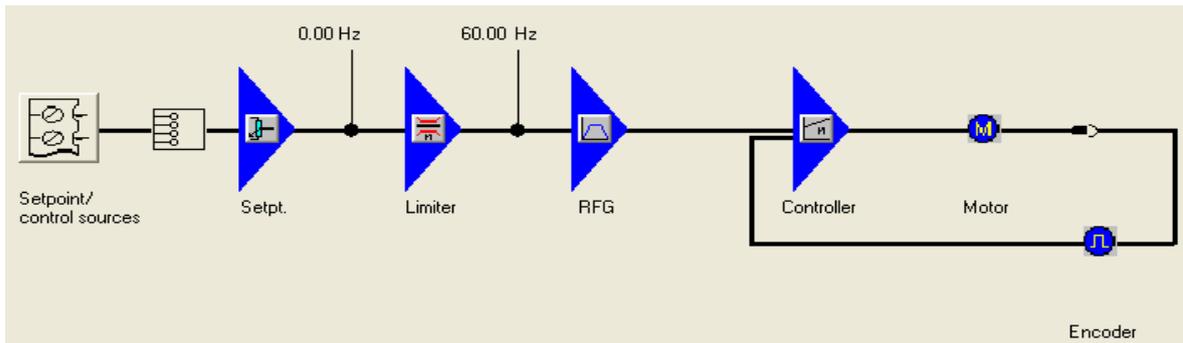


Figura 4.15 Sistema de control en lazo cerrado.

ELEMENTO	RELACIÓN
Referencia	Set point
Comparador	Variador de frecuencia
Controlador	Variador de frecuencia
Proceso	Motor eléctrico
Medición	Velocidad
Sensor	Encoder

Tabla 4.13 Relación entre elementos teóricos y reales.

#### 4.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN LA VARIABLE VELOCIDAD.

El objetivo del presente trabajo es lograr mantener al motor eléctrico funcionando a velocidad constante independientemente de las variaciones de carga que se pudieren presentar y tomando en cuenta los límites y restricciones de los anteriores ensayos.

Se analizara la estabilidad de la variable velocidad a tres frecuencias fijas y variaremos la carga en cada una de ellas.

Los resultados y análisis se presentan a continuación:

<b>Carga</b>	0,00 N.m	1,50 N.m	1,75 N.m
<b>Set Point</b>	45,00 Hz	45,00 Hz	45,00 Hz
<b>F. Variador</b>	45,1 Hz	50,29 Hz	51,52 Hz
<b>Voltaje</b>	175,00 V	191,00 V	190,00 V
<b>Corriente</b>	0,53 A	1,66 A	1,70 A
<b>Velocidad</b>	1.350,00 rpm	1.349,80 rpm	1.350,10 rpm

**Tabla 4.14 Prueba a 45 Hz.**

Como se observa tanto en la tabla 4.14, como en la figura 4.16, la variación de velocidad esta por debajo de 1 RPM, lo que representa un porcentaje de error menor al 1%, permitiendo concluir que el control tiene una alta efectividad.

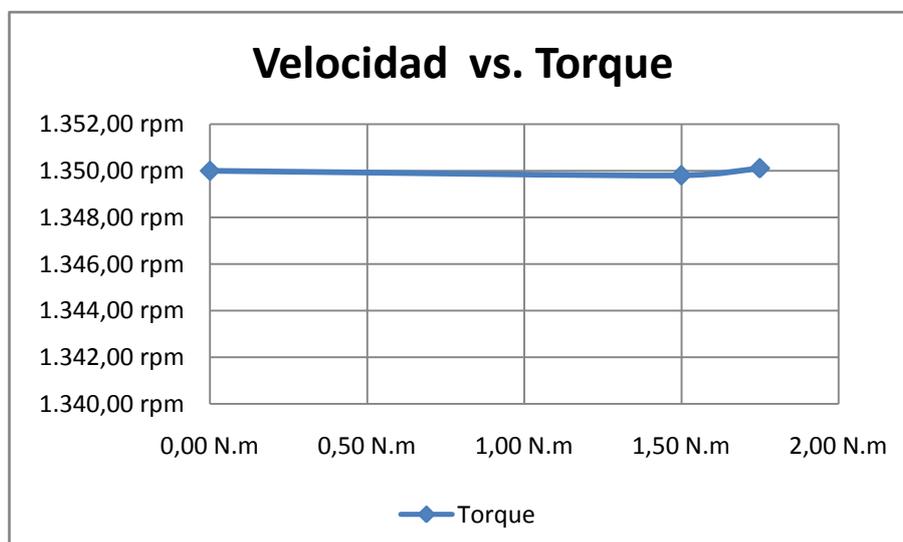


Figura 4.16 Velocidad vs Torque a 45 Hz.

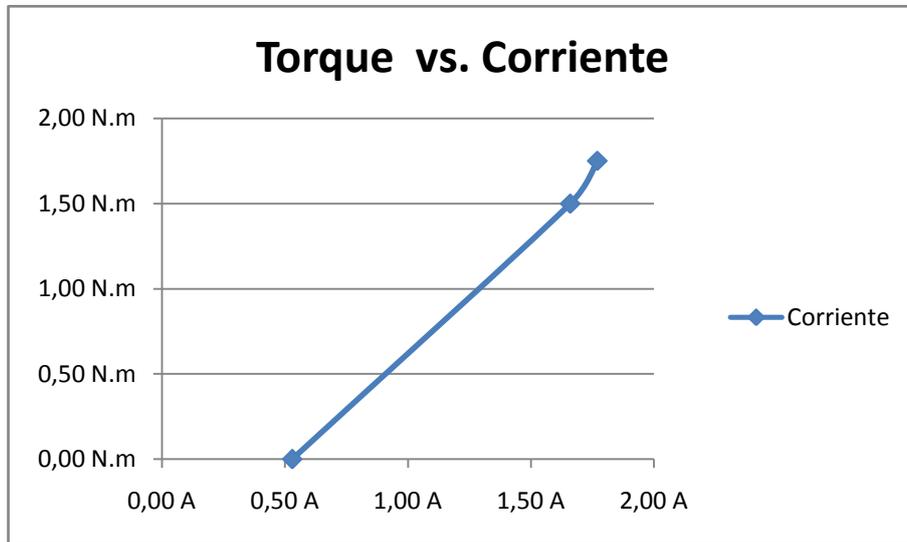


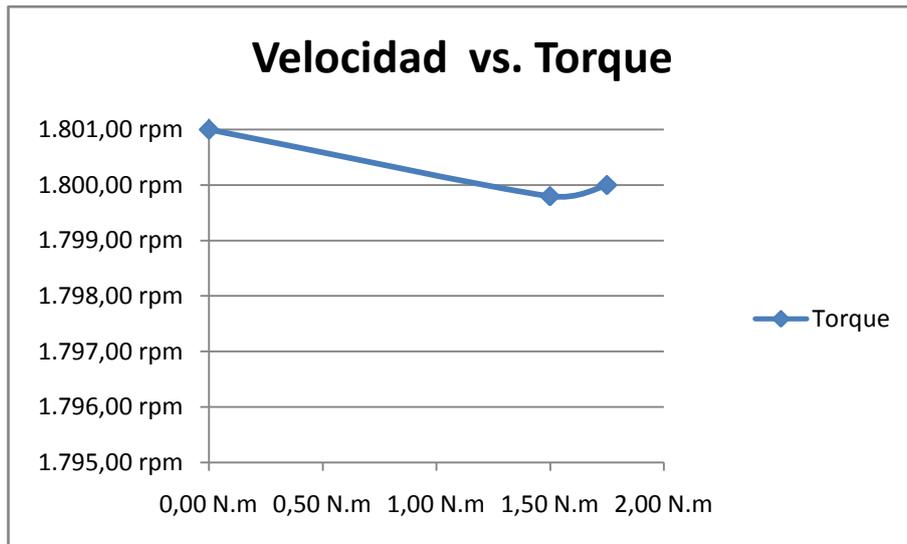
Figura 4.17 Torque vs Corriente a 45 Hz.

- En la grafica 4.17, que muestra que en 1.7 Nm de carga la corriente alcanza su límite de placa.

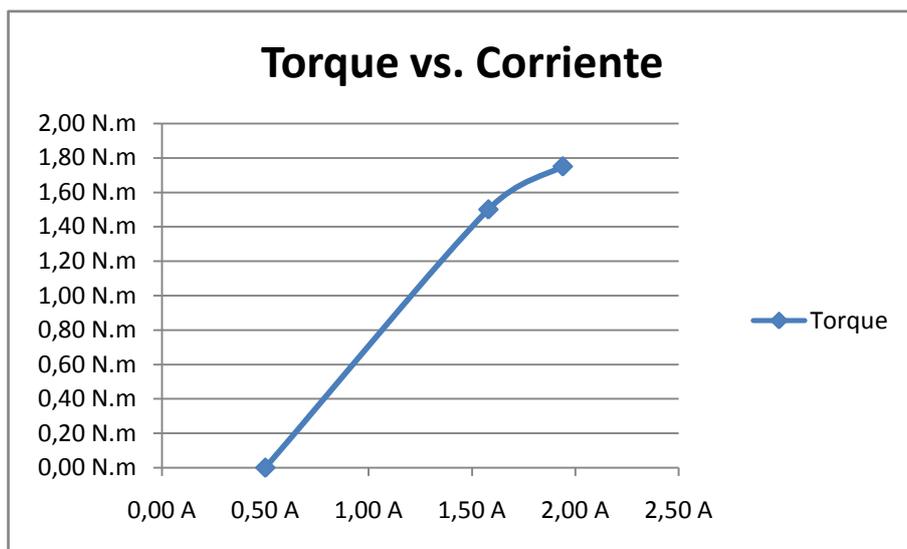
<b>Carga</b>	0,00 N.m	1,50 N.m	1,75 N.m
<b>Set Point</b>	60,00 Hz	60,00 Hz	60,00 Hz
<b>F. Variador</b>	60,10 Hz	66,81 Hz	68,93 Hz
<b>Voltaje</b>	186,10 V	189,00 V	191,00 V
<b>Corriente</b>	0,50 A	1,58 A	1,94 A
<b>Velocidad</b>	1.801,00 rpm	1.799,80 rpm	1.800,00 rpm

Tabla 4.15 Prueba a 60 Hz.

Como se esperaba el sistema responde con una alta efectividad que lo mantiene bajo el 1% de error.



**Figura 4.18 Velocidad vs Torque a 60 Hz.**



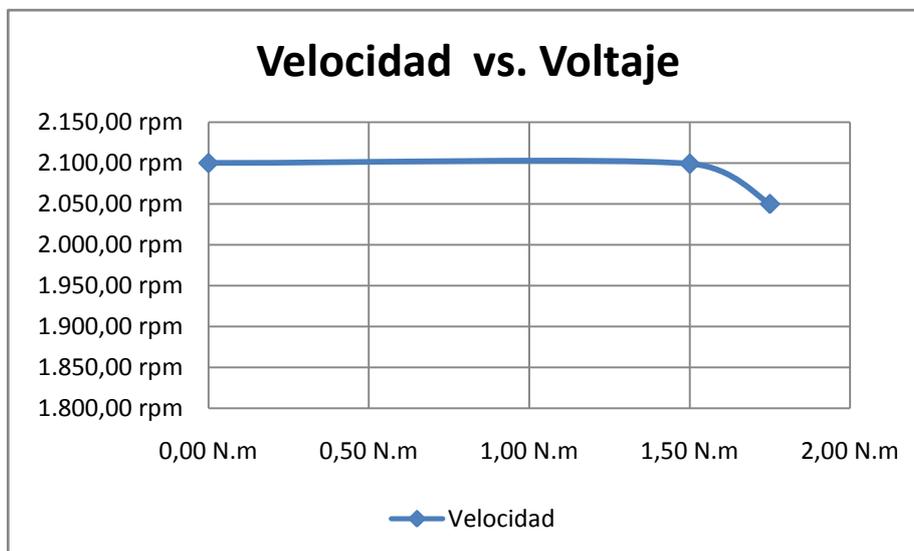
**Figura 4.19 Torque vs Corriente a 60 Hz.**

- La grafica 4.19, muestra que en 1.4 Nm de carga la corriente alcanza su límite de placa.

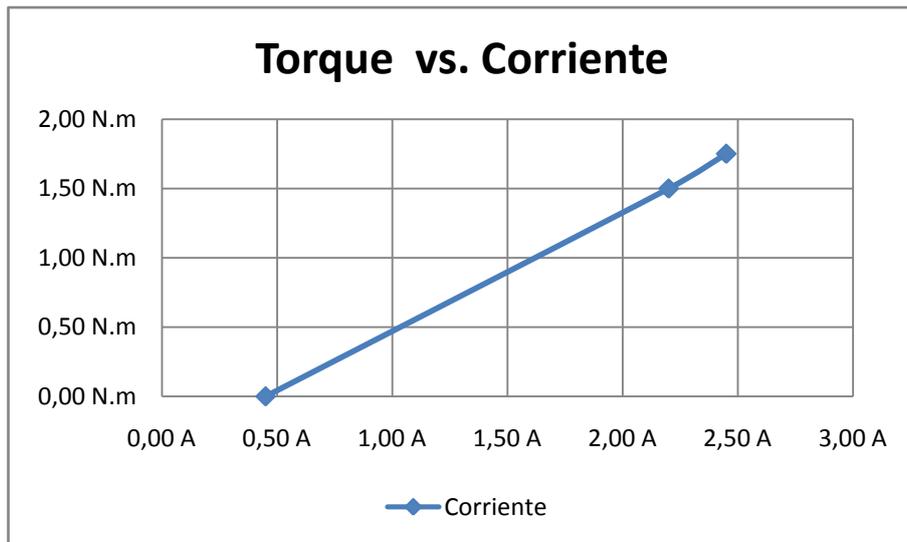
<b>Carga</b>	0,00 N.m	1,50 N.m	1,75 N.m
<b>Set Point</b>	70,00 Hz	70,00 Hz	70,00 Hz
<b>F. Variador</b>	70,10 Hz	80,22 Hz	72,48 Hz
<b>Voltaje</b>	187,60 V	189,00 V	190,00 V
<b>Corriente</b>	0,45 A	1,69 A	1,95 A
<b>Velocidad</b>	2.100,00 rpm	2.099,00 rpm	2.050,00 rpm

**Tabla 4.16 Prueba a 70 Hz.**

Se observa en la tabla 4.16 que a 70Hz y 1,75Nm el motor eléctrico pierde la capacidad de recuperarse aun cuando el variador le inyecta más voltaje y por lo tanto más corriente, sin embargo el error en velocidad antes de tocar este limite sigue siendo menor al 1%, confirmando así que la efectividad del controlador es lo suficientemente alta como para lograr el objetivo trazado.



**Figura 4.20 Carga vs Velocidad a 70 hz.**



**Figura 4.21 Carga vs Corriente a 70 Hz.**

- La grafica 4.21, muestra que en 1.1 Nm de carga la corriente alcanza su límite de placa.

## 4.6 INFLUENCIA DEL SENTIDO DE GIRO.

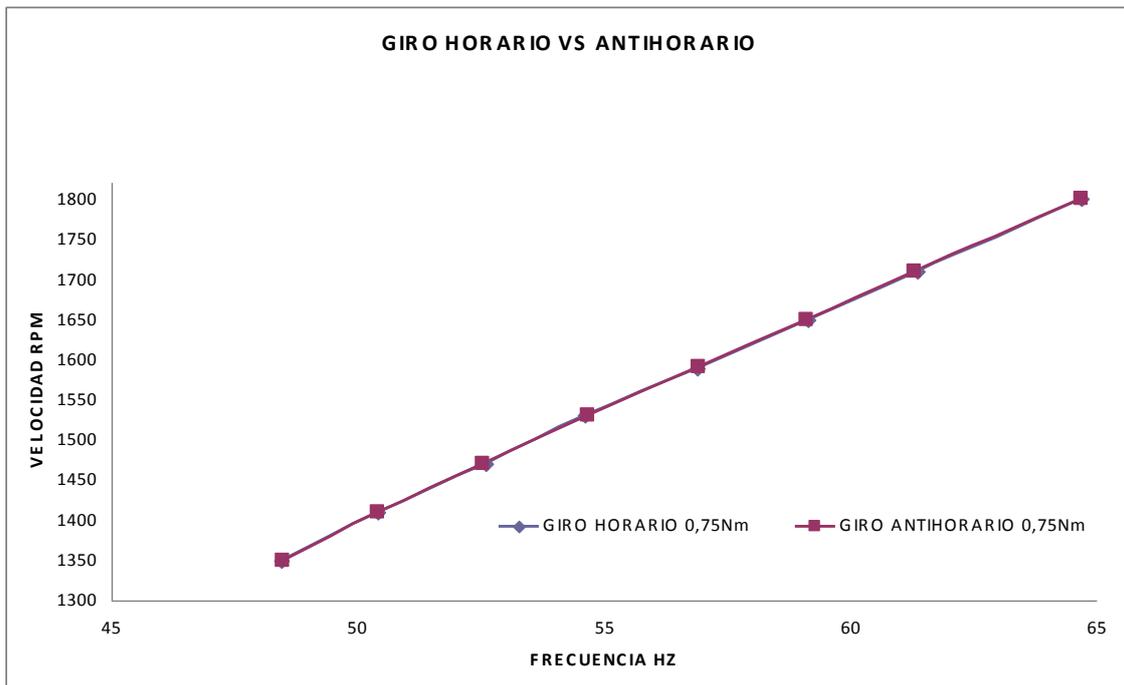


Figura 4.22 Comparación entre la funcionalidad horaria y anti horaria.

La figura 4.22 muestra la curva de variación de la velocidad respecto a la frecuencia para los dos sentidos de giro posibles. Las dos curvas se observan sobrepuestas, y con muy leves variaciones, ya que en los dos casos los parámetros electromecánicos del motor siguen siendo los mismos.

## 4.7 ANÁLISIS DE EFECTIVIDAD DEL CONJUNTO MOTOR - VARIADOR.

Finalmente manteniendo una carga de 0,5 Nm ahora variamos la frecuencia en rangos más cortos con el fin de analizar la estabilidad de la respuesta ante cambios mínimos.

Frecuencia Set Point	Frecuencia Real (medida)	R.P.M. Set Point	R.P.M. Reales (medido)	% DE ERROR
45	47,03	1350	1350,3	0,02
47	49,02	1410	1410,2	0,01
49	51,02	1470	1470,3	0,02
51	52,88	1530	1529,9	0,01
53	54,91	1590	1590,2	0,01
55	57,04	1650	1649,6	0,02
57	59,18	1710	1710,1	0,01
60	62,55	1800	1799,8	0,01

**Tabla 4.17 Eficiencia del sistema.**

Según la tabla 4.17 y los resultados anteriormente obtenidos, el error no supera el 0,5% permitiéndonos determinar una vez más, la extremada eficacia del conjunto montado<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> En el anexo A4 se incluye las guías de práctica.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- Los resultados obtenidos en la aplicación, permiten afirmar que el sistema de control en lazo cerrado empleado en un motor asincrónico, presenta gran efectividad y confiabilidad al mantener constante velocidad.
- Las pruebas de velocidad realizadas reflejan valores de error prácticamente despreciables que se encuentran bajo el 0,5%; teniendo en cuenta que para poder afirmar que un controlador es eficaz, el valor de error tiene que estar entre 0 y 3%.
- Tomando en cuenta que los elementos usados en el laboratorio de Control Electrónico de Motores son de montaje rápido, se construyó un acople de iguales características para no diferir la maniobrabilidad de los equipos.
- Luego del análisis y pruebas que se han realizado a lo largo del proyecto se pudo comprobar que el método de control mas efectivo es CONTROL LAZO CERRADO, ya que los resultados reflejan un error leve con relación al lazo abierto.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Los equipos eléctricos y electrónicos que manejan un nivel considerable de complejidad en su estructura, ameritan ser conocidos y reconocidos por el operador antes de su manipulación o montaje, es importante entonces revisar de manera detallada la información disponible.
- Es recomendable que este tipo de sistemas sean utilizados ya que al observar los resultados son satisfactorios y en la realidad se verían plasmados en más eficientes procesos productivos.
- La potencialidad del variador de frecuencia utilizado nos permite apreciar todos los parámetros eléctricos de operación, sin embargo es importante tener apoyo de elementos de medida y protección externa.
- En cuanto al montaje de los mecanismos que conforman el conjunto, es importante tener en cuenta parámetros como balance, sujeción, posición.
- Está comprobado que el nivel de eficiencia del sistema es elevado, sin embargo, es necesaria una adecuada interpretación de los datos que este arroja, con el fin de no tener inconvenientes en las posibles calibraciones de parámetros a darse.

## **BIBLIOGRAFIA:**

- AE Fitzgerald, Máquinas Eléctricas, 5ª Edición, México DF., McGraw Hill, 1992.
- Stephen Chapman, Máquinas Eléctricas, 4ª Edición, México DF., McGraw Hill, 2005.
- Guillermo Ramos, Curso Práctico de Electrónica Industrial y Automatización, Pereira, CEKIT SA., 2002.
- Joseph Distéfano, Retroalimentación y Sistemas de Control, 2ª Edición, México DF., McGraw Hill, 1992.
- S.A. Nasar y LE Unnewehr, Electromecánica y Máquinas Eléctricas, México DF, Limusa, 1997.
- Donald V. Richardson, Maquinas Eléctricas y Transformadores, 4ª Edición, México DF., Prentice-Hall, 1997.
- Benavent García José Manuel, Electrónica de Potencia: teoría y aplicaciones, México DF, Alfaomega-Universidad Politécnica de Valencia, 2000.
- Mohan Ned, Power Electronic: Converters, applications and design, 2ª Edición, New York, John Wiley, 1995.

## **Enlaces.**

- [http://www.distribuidor-oficial-siemes-productos-electricos.control-technics.com.ar/pdf/CTRL\\_vectorial.pdf](http://www.distribuidor-oficial-siemes-productos-electricos.control-technics.com.ar/pdf/CTRL_vectorial.pdf)
- [http://torio.unileon.es/~diejfu/SEA/PRACTICAS/VARIADOR/440\\_OPI\\_sp\\_1202.pdf](http://torio.unileon.es/~diejfu/SEA/PRACTICAS/VARIADOR/440_OPI_sp_1202.pdf)
- <http://www.elel.pl/grafika/specjal/DRS61.pdf>
- <http://www.engineeringtalk.com/news/ste/ste114.html>
- <http://www.des.udc.es/~luis/ControlIndustrial/CI.pdf>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-with\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-with_modulation)

**ANEXOS**

# **ANEXO A1**

**Always**

Núm. Par	ParText	Default
P0003	Nivel de acceso de usuario	1
P0004	Filtro de parámetro	0
P0010	Filtro parámetros para la puesta	0

**Mise en service rapide**

Núm. Par	ParText	Default
P0100	Europa / America del Norte	0
P3900	Fin de la puesta en servicio rápi	0

**Parameter Reset**

Núm. Par	ParText	Default
P0970	Reposición a los valores de fabri	0

**Convertidor (P0004 = 2)**

Núm. Par	ParText	Default
r0018	Versión del firmware	-
r0026[1]	CO: Tensión cic.interm.	-
r0037[2]	CO: Temperatura del convertidor [	-
r0039	CO: Contador de consumo de energía	-
P0040	Reset contador de consumo energía	0
r0070	CO: Tensión cic.interm.	-
r0200	Número código Power stack real	-
P0201	Número código Power stack	0
r0203	Tipo real de convertidor	-
r0204	Características del Power stack	-
P0205	Aplicación del convertidor	0
r0206	Potencia nominal del convertidor	-
r0207	Corriente nominal del convertidor	-
r0208	Tensión nominal del convertidor	-

r0209	Corriente máxima del convertidor	-
P0210	Tensión de alimentación	230
r0231[2]	Long. Máx. de cable	-
P0290	Reacción del convertidor ante una	2
P0292	Alarma de sobrecarga del converti	15
P1800	Frecuencia pulsación	4
<b>Núm. Par</b>	<b>ParText</b>	<b>Default</b>
r1801	CO: Frecuencia modulación real	-
P1802	Modo modulador	0
P1820[3]	Secuencia de fases de salida inve	0
P1911	N°. de fase a ser identificada	1
r1925	CO: Identidad tensión en estado-o	-
r1926	CO: Ident. tiempo muerto unidad d	-

### Datos del motor (P0004 = 3)

Núm. Par	ParText
r0035[3]	CO: Act. motor temperature
P0300[3]	Selección del tipo de motor
P0304[3]	Tensión nominal del motor
P0305[3]	Corriente nominal del motor
P0307[3]	Potencia nominal del motor
P0308[3]	cosPhi nominal del motor
P0309[3]	Rendimiento nominal del motor
P0310[3]	Frecuencia nominal del motor
P0311[3]	Velocidad nominal del motor
r0313[3]	Pares de polos del motor
P0320[3]	Corriente de magnetización del mo
r0330[3]	Deslizamiento nominal
r0331[3]	Corriente de magnetización nomina
r0332[3]	Factor de potencia nominal
r0333[3]	Par motor nominal
P0335[3]	Refrigeración del motor
P0340[3]	Cálculo de parámetros del motor
P0341[3]	Inercia del motor [kg*m^2]
P0342[3]	Relación de Inercia total/motor
P0344[3]	Peso del motor
r0345[3]	Tiempo de inicialización del moto
P0346[3]	Tiempo de magnetización
P0347[3]	Tiempo de desmagnetización
P0350[3]	Resistencia del estator (fase-a-f

P0350[3]	Resistencia del estator (fase-a-f	4.0
P0352[3]	Resistencia del cable	0.0
r0384[3]	Constante de tiempo del rotor	-
r0395	CO: Resistencia total estator [%]	-
r0396	CO: Resistencia rotor actual	-
P0601[3]	Sensor de temperatura del motor	0
P0604[3]	Umbral de temperatura del motor	130.0
P0610[3]		2
P0625[3]	Temperatura ambiente del motor	20.0
P0640[3]	Factor sobrecarga motor [%]	150.0
P1910		0
r1912[3]	Identificar resistencia estator	-
r1913[3]	Identificar constante tiempo roto	-
r1914[3]	Ident. reactancia total de fuga	-
r1915[3]	Ident. reactancia nom. estator	-
r1916[3]	Identificar reactancia estator 1	-
r1917[3]	Identificar reactancia estator 2	-
r1918[3]	Identificar reactancia estator 3	-
r1919[3]	Identificar reactancia estator 4	-

### Ordenes y I/O digitales (P0004 = 7)

Núm. Par	ParText
r0002	Estado del accionamiento
r0019	CO/BO: BOP palabra de mando
r0050	CO: Juego activo de datos de coma
r0051[2]	CO: Juego activo de datos de acci
r0052	CO/BO: Valor real Palabra de esta
r0053	CO/BO: Valor real Palabra de est
r0054	CO/BO: Valor real Palabra de mand
r0055	CO/BO: Palabra de control real ad
P0700[3]	Selección fuente de ordenes
P0701[3]	Función de la entrada digital 1
P0702[3]	Función de la entrada digital 2
P0703[3]	Función de la entrada digital 3
P0704[3]	Función de la entrada digital 4
P0705[3]	Función de la entrada digital 5
P0706[3]	Función de la entrada digital 6
P0707[3]	Función de la entrada digital 7
P0708[3]	Función de la entrada digital 8

P0708[3]	Función de la entrada digital 8	0
P0719[3]	Selección de comandos & frec. cna	0
r0720	Número de entradas digitales	-
r0722	CO/BO: Valor de las entradas digi	-
P0724	Tiempo de eliminación de rebote p	3
P0725	Entradas digitales PNP / NPN	1
r0730	Número de salidas digitales	-
P0731[3]	BI: Función de la entrada digital	52:3
P0732[3]	BI: Función de la entrada digital	52:7
P0733[3]	BI: Función de la entrada digital	0:0
r0747	CO/BO: Estado de las salidas digi	-
P0748	Invertir las salidas digitales	0
P0800[3]	BI: Descarga del juego de parámet	0:0
P0801[3]	BI: Descarga del juego de parámet	0:0
P0809[3]	Copiar el Command Data Set	0
P0810	BI: CDS bit 0 (Local / Remote)	0:0
P0811	BI: CDS bit 1	0:0
P0819[3]	Copiar Drive Data Set	0
P0820[3]	BI: DDS bit 0	0:0
P0821[3]	BI: DDS bit 1	0:0
P0840[3]	BI: ON/OFF1	722:0
P0842[3]	BI: ON/OFF1 inversión	0:0
P0844[3]	BI: 1. OFF2	1:0
P0845[3]	BI: 2. OFF2	19:1
P0848[3]	BI: 1. OFF3	1:0
P0849[3]	BI: 2. OFF3	1:0
P0852[3]	BI: Impulsos habilitados	1:0
P1020[3]	BI: Selección Frec. fija Bit 0	0:0
P1021[3]	BI: Selección Frec. fija Bit 1	0:0
P1022[3]	BI: Selección Frec. fija Bit 2	0:0
P1023[3]	BI: Selección Frec. fija Bit 3	722:3
P1026[3]	BI: Selección Frec. fija Bit 4	722:4
P1028[3]	BI: Selección Frec. fija Bit 5	722:5
P1035[3]	BI: Habilitar MOP (comando-ARRIBA)	19:13
P1036[3]	BI: Habilitar MOP (comando-ABAJO)	19:14
P1055[3]	BI: Habilitar JOG derecha	0:0
P1056[3]	BI: Habilitar JOGizquierda	0:0
P1074[3]	BI: Deshabilitar la consigna adic	0:0
P1110[3]	BI: Inibición de las frecuencias	0:0
P1113[3]	BI: Inversión	722:1

P1124[3]	BI: Habilitar los tiempos del JOG	0:0
P1230[3]	BI: Habilitación freno inyecc. co	0:0
P2103[3]	BI: 1.Acuse de fallos	722:2
P2104[3]	BI: 2. Acuse de fallos	0:0
P2106[3]	BI: Fallo externo	1:0
P2220[3]	BI: Selecc. Cna.fija.PID Bit 0	0:0
P2221[3]	BI: Selecc. Cna.fija.PID Bit 1	0:0
P2222[3]	BI: Selecc. Cna.fija.PID Bit 2	0:0
P2223[3]	BI: Selecc. Cna.fija.PID Bit 3	722:3
P2226[3]	BI: Selecc. Cna.fija.PID Bit 4	722:4
P2228[3]	BI: Selecc. Cna.fija.PID Bit 5	722:5
P2235[3]	BI: Habilitar PID-MOP (UP-cmd)	19:13
P2236[3]	BI: Habilitar PID-MOP (DOWN-cmd)	19:14

### I/O analógicas (P0004 = 8)

Núm. Par	ParText	Default
P0295	Tiempo de retardo a la desconexió	0
r0750	Número de ADCs	-
r0752[2]	Valor real ent. ADC [V] or [mA]	-
P0753[2]	Tiempo de filtrado de la ADC	3
r0754[2]	Valor real ADC escalada [%]	-
r0755[2]	CO: Valor real ADC escalada [4000	-
P0756[2]	Tipo de ADC	0
P0757[2]	Valor x1 escalado de la ADC [V /	0
P0758[2]	Valor y1 escalado de la ADC	0.0
P0759[2]	Valor x2 escalado de la ADC [V /	10
P0760[2]	Valor y2 of ADC escalado	100.0
P0761[2]	Ancho de la banda muerta de la AD	0
P0762[2]	Retardo a la pérdida de señal act	10
P0763[2]	Pérdida de la señal de consigna d	0
r0770	Número de DACs	-
P0771[2]	CI: DAC	21:0
P0773[2]	Tiempo de filtrado DAC	2
r0774[2]	Valor real DAC [V] o [mA]	-
P0777[2]	Valor x1 escalado de la DAC	0.0
P0778[2]	Valor y1 escalado de la DAC	0
P0779[2]	Valor x2 escalado de la DAC	100.0
P0780[2]	Valor y2 escalado de la DAC	20
P0781[2]	Ancho de la banda muerta de la DA	0

**Canal de consigna & Generador Rampa (P0004 = 10)**

Núm. Par	ParText	Default
P1000[3]	Selección de la consigna de frecu	2
P1001[3]	Frecuencia fija 1	0.00
P1002[3]	Frecuencia fija 2	5.00
P1003[3]	Frecuencia fija 3	10.00
P1004[3]	Frecuencia fija 4	15.00
P1005[3]	Frecuencia fija 5	20.00
P1006[3]	Frecuencia fija 6	25.00
P1007[3]	Frecuencia fija 7	30.00
P1008[3]	Frecuencia fija 8	35.00
P1009[3]	Frecuencia fija 9	40.00
P1010[3]	Frecuencia fija 10	45.00
P1011[3]	Frecuencia fija 11	50.00
P1012[3]	Frecuencia fija 12	55.00
P1013[3]	Frecuencia fija 13	60.00
P1014[3]	Frecuencia fija 14	65.00
P1015[3]	Frecuencia fija 15	65.00
P1016	Modo Frecuencia fija - Bit 0	1
P1017	Moda Frecuencia fija - Bit 1	1
P1018	Modo Frecuencia fija - Bit 2	1
P1019	Modo Frecuencia fija - Bit 3	1
r1024	CO: Frecuencia fija real	-
P1025	Modo Frecuencia fija - Bit 4	1
P1027	Modo Frecuencia fija - Bit 5	1
P1031[3]	Memorización de la consigna del M	0
P1032	Inhibir la inversión de sentido d	1
P1040[3]	Consigna del MOP	5.00
r1050	CO: Frecuencia real de salida del	-
P1058[3]	Frecuencia JOG derecha	5.00
P1059[3]	Frecuencia JOG izquierda	5.00
P1060[3]	Tiempo de aceleración JOG	10.00
P1061[3]	Tiempo de deceleración JOG	10.00
P1070[3]	CI:Consigna principal	755:0
P1071[3]	CI: Consigna principal escalada	1:0
P1075[3]	CI: Consigna adicional	0:0
P1076[3]	CI: Consigna adicional escalada	1:0
r1078	CO: Frecuencia total de consigna	-
r1079	CO: Consigna de frecuencia selecc	-

P1080[3]	Frec. mínima	0.00
P1082[3]	Frecuencia máx.	50.00
P1091[3]	Frecuencia inhibida 1	0.00
P1092[3]	Frecuencia inhibida 2	0.00
P1093[3]	Frecuencia inhibida 3	0.00
P1094[3]	Frecuencia inhibida 4	0.00
P1101[3]	Ancho de banda para las frecuenci	2.00
r1114	CO: Cna. freq. después del ctrl.	-
r1119	CO: Cna. freq. después del RFG	-
P1120[3]	Tiempo de aceleración	10.00
P1121[3]	Tiempo de deceleración	10.00
P1130[3]	T. redondeo inicial aceleración	0.00
P1131[3]	T. redondeo final aceleración	0.00
P1132[3]	T. redondeo inicial deceleración	0.00
P1133[3]	T. redondeo final deceleración	0.00
P1134[3]	Tipo de redondeo	0
P1135[3]	Tiempo deceleración OFF3	5.00
r1170	CO: Consigna de frecuencia despué	-

### Características convertidor (P0004 = 12)

Núm. Par	ParText	Default
P0005[3]	Selección de la indicación	21
P0006	Modo indicador	2
P0007	Tiempo de retardo a la desconexió	0
P0011	Cerrar con candado la lista de pa	0
P0012	Llave para la lista de parámetros	0
P0013[20]	Lista de parámetros definida por	0
P1200	Rearranque al vuelo	0
P1202[3]	Corriente-motor: Rearranque al vu	100
P1203[3]	Búsqueda velocidad: Rearranque al	100
r1205	Estado rearmque al vuelo en el	-
P1210	Rearranque automático	1
P1211	Número de intentos de arranque	3
P1215	Habilitación del freno mantenimie	0
P1216	Retardo apertura del freno de man	1.0
P1217	Tiempo cierre tras deceleración	1.0
P1232[3]	Corriente frenado c.continua	100
P1233[3]	Duración del frenado c.continua	0
P1234[3]	Frecuencia inicio freno corriente	0

**Control del motor (P0004 = 13)**

<b>Núm. Par</b>	<b>ParText</b>	<b>Default</b>
r0020	CO: Consigna de frec. valor real	-
r0021	CO: Frecuencia real	-
r0022	Veloc. rotor real	-
r0024	CO: Frecuencia de salida real	-
r0025	CO: Tensión de salida real	-
r0027	CO: Corriente de salida real	-
r0029	CO: Corriente gen. Flujo	-
r0030	CO: Corriente gen. Par	-
r0031	CO: Par real	-
r0032	CO: Potencia real	-
r0038	CO: Factor de potencia real	-
r0056	CO/BO: Estado del control del mot	-
r0061	CO: Velocidad del rotor	-
r0062	CO: Veloc. consigna	-
r0063	CO: Veloc. real	-
r0064	CO: Desv.regulador de frecuencia	-
r0065	CO: Deslizamiento	-
r0066	CO: Frecuencia de salida real	-
r0067	CO: Límite de corriente real de s	-
r0068	CO: Corriente de salida	-
r0071	CO: Tensión Max. de salida	-
r0072	CO: Tensión de salida real	-
r0075	CO: Consigna de corriente Isd	-
r0076	CO: Corriente real Isd	-
r0077	CO: Consigna de corriente Isq	-

r0078	CO: Corriente real Isq	-
r0079	CO: Consigna de par (total)	-
r0086	CO: Corriente activa real	-
r0090	CO: Ángulo del rotor	-
P0095[10]	CI: Indicador de señales PZD	0:0
r0096[10]	Señales PZD	-
r1084	Consigna frecuencia máx.	-
P1300[3]	Modo de control	0
P1310[3]	Elevación continua	50.0
P1311[3]	Elevación para aceleración	0.0
P1312[3]	Elevación en arranque	0.0
P1316[3]	Frecuencia final de elevación	20.0
P1320[3]	Coord. 1 frecuencia programable c	0.00
P1321[3]	Coord. 1 tensión programable curv	0.0
P1322[3]	Coord. 2 frecuencia programable c	0.00
P1323[3]	Coord. 2 tensión programable curv	0.0
P1324[3]	Coord. 3 frecuencia programable c	0.00
P1325[3]	Coord. 3 tensión programable curv	0.0
P1330[3]	CI: V(Consigna)	0:0
P1333[3]	Frecuencia de inicio para el FCC	10.0
P1335[3]	Compensación del deslizamiento	0.0
P1336[3]	Límite de deslizamiento	250
r1337	CO: V/f slip freq.	-
P1338[3]	Amortiguamiento resonancia ganaci	0.00
P1340[3]	Ganancia proporcional del regulad	0.000
P1341[3]	Tiempo integral regulador Imáx	0.300
r1343	CO:Frec. sal. regulador Imáx	-
r1344	CO: Tensión sal. regulador Imáx	-
P1345[3]	Ganancia proporcional del regulad	0.250
P1346[3]	Tiempo integral regulador Imáx	0.300
P1350[3]	Tensión de arranque suave	0
P1400[3]	Config. speed control	0
r1407	CO/BO: Estado 2 del control del m	-
r1438	CO: Consigna freq. para el regula	-
P1442[3]	Tiempo filtrado velocidad real	4
P1452[3]	Tiempo filtrado velocidad real (S	4
P1460[3]	Ganancia del regulador de velocid	3.0
P1462[3]	Tiempo integral regulador de velo	400

P1462[3]	Tiempo integral regulador de velo	400
P1470[3]	Ganancia del regulador de velocidad	3.0
P1472[3]	Tiempo integral del regul-n. (SLV	400
P1477[3]	BI: Ajuste integrador del regul.-	0:0
P1478[3]	CI: Ajuste valor integrador del r	0:0
r1482	CO: Salida integral del regul.-n.	-
P1488[3]	Fuente entrada caida	0
P1489[3]	Caida escalada	0.05
r1490	CO: Frecuencia de caida	-
P1492[3]	Habilitar caida	0
P1496[3]	Escalado del precontrol de acel.	0.0
P1499[3]	Escalado del control de par acel.	100.0
P1500[3]	Selección consigna de par	0
P1501[3]	BI: Cambio a control de par	0:0
P1503[3]	CI: Consigna par	0:0
r1508	CO: Consigna par	-
P1511[3]	CI: Consigna de par adicional	0:0
r1515	CO: Consigna de par adicional	-
r1518	CO: Par aceleración	-
P1520[3]	CO: Límite superior par	5.13
P1521[3]	CO: Límite inferior par	-5.13
P1522[3]	CI: Límite superior par	1520:0
P1523[3]	CI: Límite inferior par	1521:0
P1525[3]	Límite inferior par escalada	100.0
r1526	CO: Limitación superior par	-
r1527	CO: Limitación inferior par	-
P1530[3]	CO: Valor fijo límite potencia mo	0.75
P1531[3]	CO: Valor fijo límite potencia ge	-0.75
r1538	CO: Límite superior par(total)	-
r1539	CO: Límite inferior par(total)	-
P1570[3]	CO: Valor fijo consigna par	110.0
P1574[3]	Valor máx. tensión dinámica	10
P1580[3]	Optimización rendimiento	0
P1582[3]	Tiempo de alisamiento para la con	15
P1596[3]	Tiempo int. regulador de debilita	50
r1598	CO: Consigna flujo (total)	-
P1610[3]	Elevación continua (SLVC)	50.0
P1611[3]	Elevación para aceleración (SLVC)	0.0
P1740	Ganancia para el regulador de osc	0.060
r1770	CO: Sal. prop. de la adaptación-n	-

**Alarmas, avisos & Monitorización (P0004 = 21)**

Núm. Par	ParText	Default
r0947[8]	Último código de fallo	-
r0948[12]	Hora del Fallo	-
P0952	Número total de fallos	0
P2100[3]	Selección del número de alarma	0
P2101[3]	Valor reacción al paro	0
r2110[4]	Número de alarma	-
P2111	Número total de alarmas	0
r2114[2]	Contador de horas de funcionamiento	-
P2115[3]	Reloj tiempo real AOP	0
P2150[3]		3.00
P2151[3]	CI: Consigna velocidad para Msg	0:0
P2152[3]	CI:Veloc. real para Msg	0:0
P2153[3]	Constante tiempo filtro velocidad	5
P2155[3]		30.00
P2156[3]		10
P2157[3]	Frecuencia umbral f_2	30.00
P2158[3]	Tiempo de retardo de la frec. umb	10
P2159[3]	Frecuencia umbral f_3	30.00
P2160[3]	Tiempo de retardo de la frec. umb	10
P2161[3]	Umbral mín. para la cna. frec.	3.00
P2162[3]	Frec. histéresis para sobreveloci	20.00
P2163[3]	Frec. entrada para desviación per	3.00
P2164[3]		3.00
P2165[3]	Tiempo de retardo permitido para	10
P2166[3]	Tiempo retardo para completar la	10
P2167[3]		1.00
P2168[3]	Toff retardo (desconexión convert	10
r2169	CO: Frecuencia real filtrada	-
P2170[3]		100.0
P2171[3]	Corriente de retardo	10
P2172[3]		800
P2173[3]	Tiempo retardo Vdc	10
P2174[3]	Umbral superior par 1	5.13
P2175[3]	Umbral inferior par 1	5.13
P2176[3]	Tiempo de retardo para el umbral	10
P2177[3]	Tiempo de retardo si el motor se	10
P2178[3]	Tiempo de retardo si el motor se	10

Los ajustes por defecto usando el panel SDP se muestran en el siguiente cuadro:

	Bornes	Parámetro	Funcionamiento por defecto
Entrada digital 1	5	P0701 = '1'	ON a derechas
Entrada digital 2	6	P0702 = '12'	Invertir
Entrada digital 3	7	P0703 = '9'	Acuse de fallo
Entrada digital 4	8	P0704 = '15'	Frecuencia fijada
Entrada digital 5	16	P0705 = '15'	Frecuencia fijada
Entrada digital 6	17	P0706 = '15'	Frecuencia fijada
Entrada digital 7	Mediante AIN1	P0707 = '0'	Inactiva
Entrada digital 8	Mediante AIN2	P0708 = '0'	Inactiva

Los ajustes por defecto usando el panel BOP se muestran en el siguiente cuadro:

Parámetro	Significado	Por defecto Europa (Norteamérica)
P0100	Modo operación Europa/USA	50 Hz, kW (60Hz, hp)
P0307	Potencia nominal del motor	Las unidades (kW o Hp) dependen del ajuste de P0100. [valor dependiente de la variante.]
P0310	Frecuencia nominal del motor	50 Hz (60 Hz)
P0311	Velocidad nominal del motor	1395 (1680) rpm [dependiendo de la variante]
P1082	Frecuencia máxima del motor	50 Hz (60 Hz)

A continuación se describe cómo cambiar los parámetros con el panel BOP que es el más común de entre los tres paneles para ajustes del convertidor.

### Cambiar P0004 – función de filtro de parámetros

Paso

Resultado en pantalla

1 Pulsar  para acceder a parámetros

P11  
r 0000  
Hz

2 Pulsar  hasta que se visualice P0004

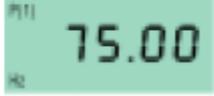
P11  
P0004  
Hz

A continuación se describe cómo cambiar los parámetros con el panel BOP que es el más común de entre los tres paneles para ajustes del convertidor.

### Cambiar P0004 – función de filtro de parámetros

Paso	Resultado en pantalla
1 Pulsar  para acceder a parámetros	
2 Pulsar  hasta que se visualice P0004	

### Cambiar P1082 un parámetro indexado – ajustar la frecuencia máxima del motor

Paso	Resultado en pantalla
1 Pulsar  para acceder a parámetros	
2 Pulsar  hasta que se visualice P1082	
3 Pulsar  para acceder al nivel del valor del parámetro	
4 Pulsar  para visualizar el valor actual ajustado	
5 Pulsar  o  hasta el valor requerido	
6 Pulsar  para confirmar y guardar el valor	
7 Pulsar  hasta que se visualice r0000	
8 Pulsar  para que la pantalla vuelva a su forma estándar (tal y como se definió por el cliente)	

**Nota - mensaje de ocupado**

En algunos casos - al cambiar valores de parámetros - la pantalla del BOP muestra **P----**

Esto significa que el convertidor está ocupado con tareas de mayor prioridad.

**Cambiar dígitos individuales en valores de parámetro**

Para cambiar rápidamente un valor de parámetro, sus dígitos en pantalla pueden modificarse usando las acciones siguientes:

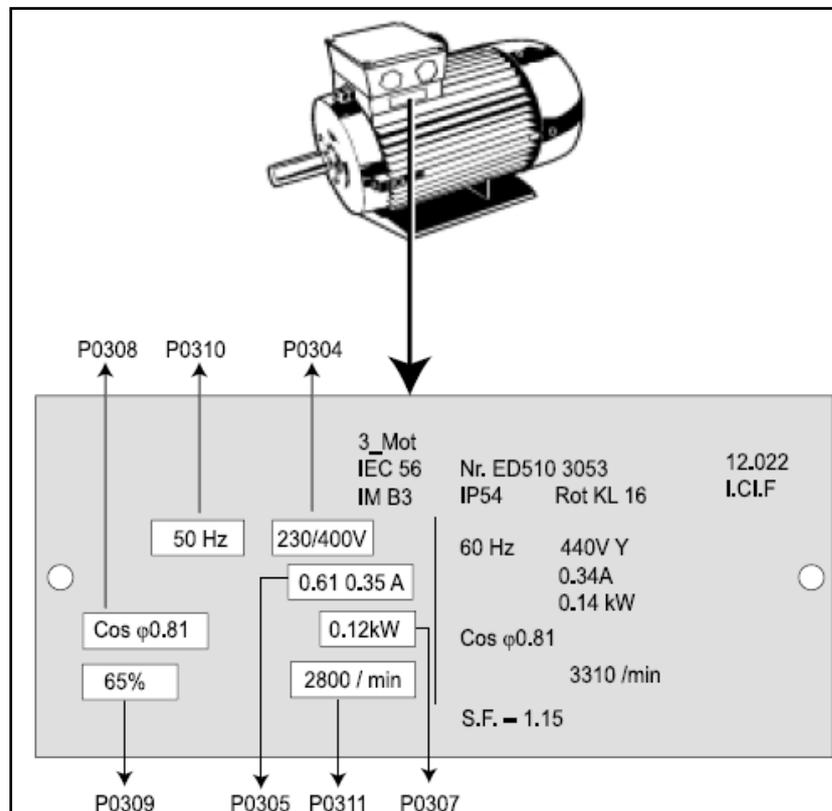
Asegurarse de que se esté en el nivel de cambio de valor de parámetro (ver "Cambiar parámetros con el panel BOP").

1. Pulsar  (botón de funciones), lo que hace que parpadee el dígito derecho.
2. Cambiar el valor de dicho dígito pulsando  / .
3. Pulsar  (botón de funciones), lo que hace que parpadee el siguiente dígito.
4. Ejecutar las etapas 2 a 4 hasta que se visualice el valor requerido.
5. Pulsar  para salir del nivel de cambio de valor de parámetro.

**Nota**

El botón de función también puede utilizarse para acusar una condición de fallo

De los datos de placa del motor se extraen algunas referencias para ajustar algunos parámetros, así:



Para reajustar todos los parámetros a los valores de fábrica se requiere ajustar los parámetros P0010 = 30 y P097 = 1, esto se lo debe realizar con los paneles BOP o AOP.

# ANEXO A2

**Technical Data acc. to DIN 32878** DRS 60/DRS 61 face mount flange

<b>Solid shaft</b>	10 mm
<b>Number of lines per revolution</b>	00001 up to 08192, see order info
<b>Electrical Interface</b>	TTL/RS 422, 6-channel
	HTL/push-pull, 6-channel
<b>Mass <sup>1)</sup></b>	Approx. 0.3 kg
<b>Moment of inertia of the rotor</b>	54 gcm <sup>2</sup>
<b>Measuring step</b>	90°/number of lines
<b>Reference signal</b>	
Number	1
Position <sup>2)</sup>	90° or 180°
<b>Error limits</b>	
binary number of lines	0.035°
non-binary number of lines	0.046°
<b>Measuring step deviation</b>	
binary number of lines	0.005°
non-binary number of lines	0.016°
<b>Max. output frequency</b>	
TTL	820 kHz
HTL	200 kHz
<b>Operating torque max.</b>	
with shaft seal	6,000 min <sup>-1</sup>
without shaft seal <sup>3)</sup>	10,000 min <sup>-1</sup>
<b>Max. angular acceleration</b>	5 x 10 <sup>5</sup> rad/s <sup>2</sup>
<b>Operating torque</b>	Typ. 0.3 Ncm
<b>Start up torque</b>	Typ. 0.4 Ncm
<b>Permissible shaft loading</b>	
radial	20 N
axial	10 N
<b>Bearing lifetime</b>	3.6 x 10 <sup>9</sup> revolutions
<b>Working temperature range</b>	- 20 ... + 85 °C
<b>Storage temperature range</b>	- 40 ... + 100 °C
<b>Permissible relative humidity <sup>4)</sup></b>	90 %
<b>EMC <sup>5)</sup></b>	
<b>Resistance</b>	
to shocks <sup>6)</sup>	50/11 g/ms
to vibration <sup>7)</sup>	20/10 ... 2000 g/Hz
<b>Protection class IEC 60529</b>	
Connector outlet <sup>8)</sup>	IP 65
Cable outlet	IP 66
<b>Operating voltage range</b>	
Load current TTL/RS 422, 4.5 ... 5.5 V	Max. 20 mA
TTL/RS 422, 10 ... 32 V	Max. 20 mA
HTL/push-pull, 10 ... 32 V	Max. 60 mA
<b>No-load operating current</b>	
at 10 ... 32 V	Typ. 100 mA
at 5 V	Typ. 120 mA
<b>Operation of zero-set <sup>9)</sup></b>	≥ 100 ms
<b>Initialisation time after power on</b>	40 ms

<sup>1)</sup> Concerning encoder with connector

<sup>2)</sup> Electrical, logically linked to A and B

<sup>3)</sup> In case, that shaft seal has been removed by customer

<sup>4)</sup> Condensation of the optical scanning not permitted

<sup>5)</sup> To DIN EN 61000-6-2 and DIN EN 61000-6-3

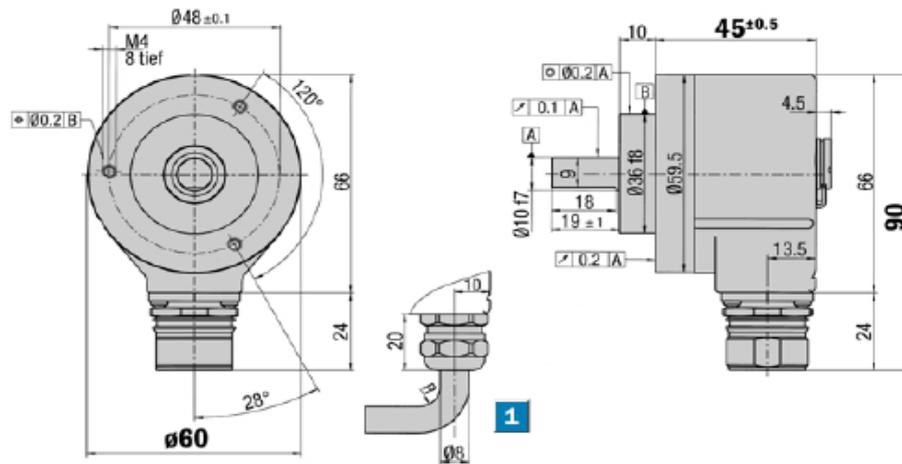
<sup>6)</sup> To DIN EN 60068-2-27

<sup>7)</sup> To DIN EN 60068-2-6

<sup>8)</sup> With mating connector fitted

<sup>9)</sup> Only with shaft stationary

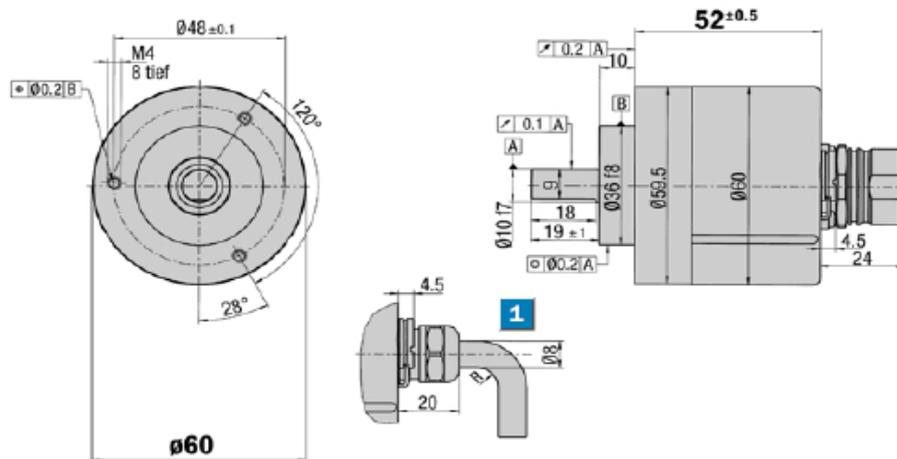
**Dimensional drawing face mount flange radial**



**1** R = bending radius min. 40 mm

General tolerances according to DIN ISO 2768-mk

**Dimensional drawing face mount flange axial**



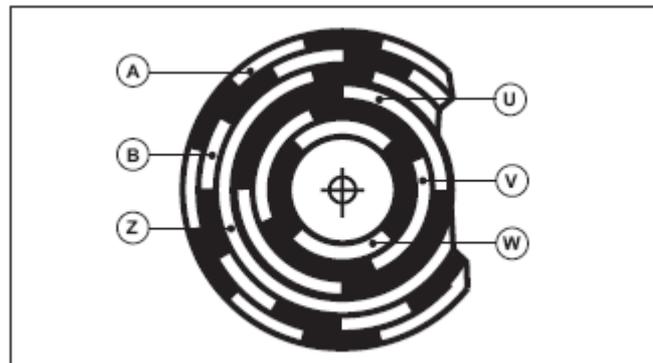
**1** R = bending radius min. 40 mm

General tolerances according to DIN ISO 2768-mk

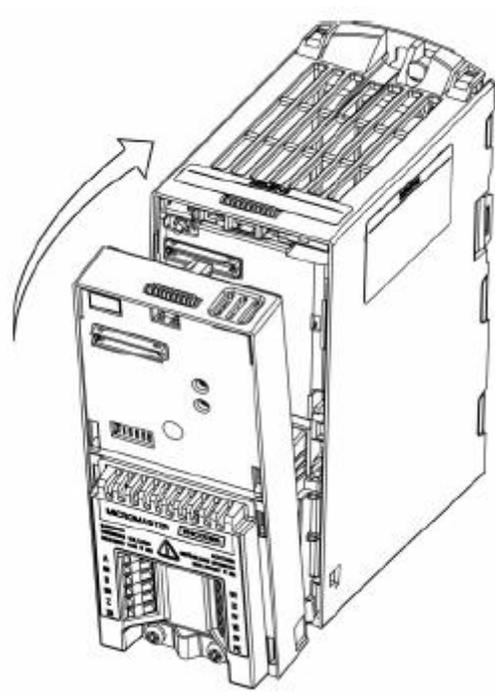
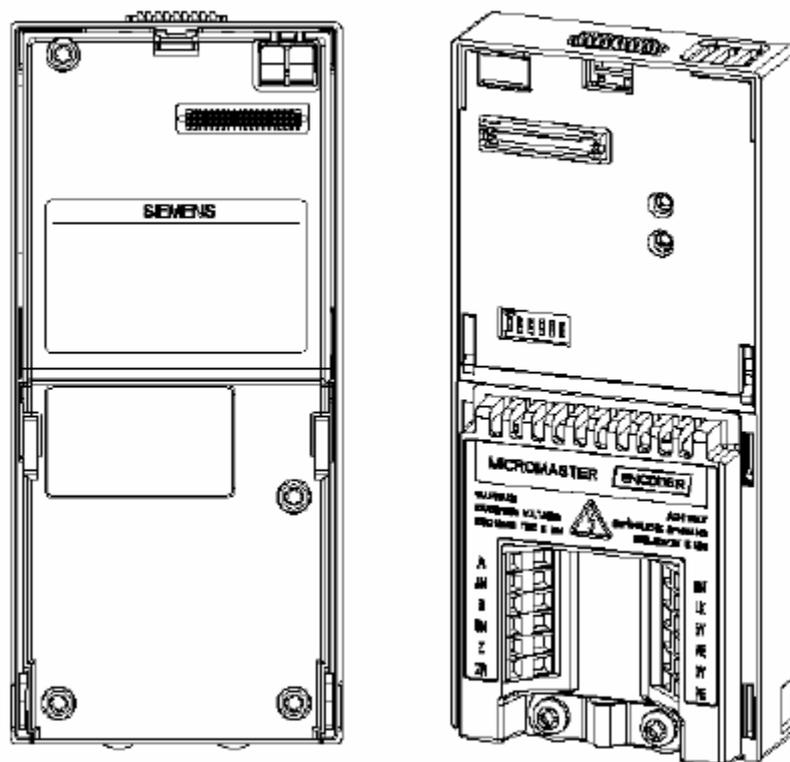
**PIN and wire allocation/cable 11 core**

PIN	Signal	Wire colour (Cable outlet)	Explanation
1	$\bar{B}$	black	Signal line
2	Sense +	grey	Connected internally to $U_s$
3	Z	lilac	Signal line
4	$\bar{Z}$	yellow	Signal line
5	A	white	Signal line
6	$\bar{A}$	brown	Signal line
7	N. C.	orange	Not connected
8	B	pink	Signal line
9	Screen		Housing potential
10	GND	blue	Zero volt connected to the encoder
11	Sense -	green	Connected internally to GND
12	$U_s$	red	Supply voltage <sup>1)</sup>

**Tabla de distribución de terminales**



# ANEXO A3

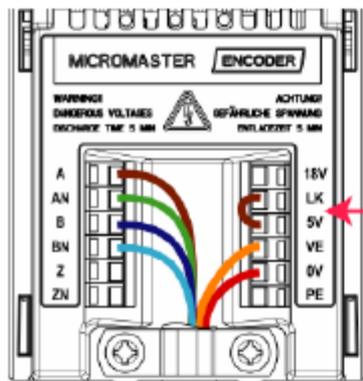




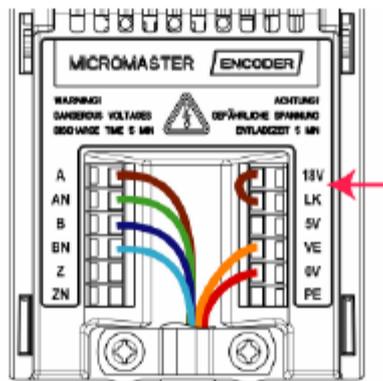
Canal A: A y AN  
 Canal B: B y BN  
 Canal Z: Z y ZN  
 Alimentación 18V (Encoder HTL) y 5V (Encoder TTL)  
 Terminal de masa PE

**Tabla de distribución de terminales**

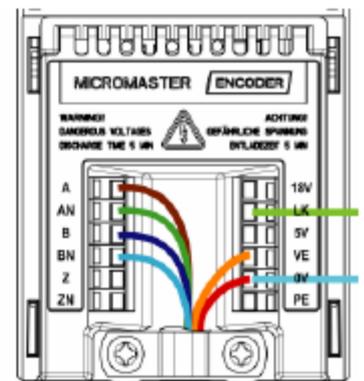
**Ejemplos de conexión**



Encoder TTL



Encoder HTL



Fuente de alimentación externa

5V CC (TTL) y 24V CC (HTL)

Parametro	Terminal	Señal	Tipo de encoder
P0400 = 1	A		Single ended
	A AN		Differential
P0400 = 2	A		Single ended
	B		
	A AN		Differential
	B BN		

DIP-Switch	1	2	3	4	5	6
<b>Tipo de Encoder</b>						
TTL 120Ω (motor->MM440>50m)	ON	ON	ON	ON	ON	ON
TTL	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
HTL>5 kΩ(motor->MM440>50m)	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
HTL	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF



**Latacunga 2007**

Realizado por:

---

Sr. JULIO STALIN NÚÑEZ PÉREZ

---

Ing. WASHINGTON FREIRE  
COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
ELECTROMECAÁNICA

---

Dr. EDUARDO VÁSQUEZ  
SECRETARIO ACADÉMICO