

# AUTORÍA

Latacunga, Febrero del 2007

## Elaborado por:

---

Edgar C. Jiménez

---

Willam M. Sinchiguano

EL COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
EN ELECTROMECAÁNICA

---

Ing. Washington Freire

EL SECRETARIO DE LA ESPE – LATACUNGA

---

Ab. Eduardo Vásquez Alcázar



Escuela Politécnica del Ejército

**ESPE – LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**Proyecto de Grado para la obtención del Título de  
Ingeniero de Ejecución en Electromecánica.**

*“Diseño y construcción de un sistema de  
entrenamiento para variadores de frecuencia de 3hp  
para el laboratorio de Control Electrónico.”*

**Edgar Christian Jiménez Gonzales  
Willam Marcelo Sinchiguano Cadena**

**Latacunga – Ecuador**

**2007**

# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente documento fue elaborado por los señores Edgar Chrisitan Jiménez Gonzales y Willam Marcelo Sinchiguano Cadena Bajo nuestra dirección, como un requisito para la obtención del título de Ingeniero de Ejecución en Electromecánica.

---

Ing. Mario Jiménez  
DIRECTOR DEL PROYECTO

---

Ing. Vicente Hallo.  
CODIRECTOR DEL PROYECTO

# DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado con todo el esfuerzo y amor para mi Dios que desde las alturas guía el rumbo de mi vida, a mis padres Edgar y Julia quienes desde que me dieron la vida supieron llenarme de cariño, confianza y valores para ser un hombre de bien, y así, tanto en momentos de felicidad como de profunda tristeza ser el apoyo incondicional para derribar obstáculos, a mi hermano Jonathan que siempre como un amigo está a mi lado y a mi nena Deyanira, motivo de vida para seguir con entrega y esfuerzo cosechando éxitos.

Christian Jiménez

Este trabajo va dedicado con toda la entrega para el señor que desde el cielo siempre me protege, a mis padres Marcelo y Elvia que son el soporte para seguir adelante, tanto en momentos felices como en momentos de dolor, siendo el pilar fundamental para nunca dejar de luchar y siempre seguir adelante enfrentando las diversas pruebas que la vida nos da día a día, a mis hermanos Kléber, Héctor, y Edison los mejores amigos que con sus consejos levantan mi espíritu para no decaer y siempre como un apoyo están a mi lado.

William Sinchiguano

# AGRADECIMIENTO

Nuestro más profundo y sincero agradecimiento a la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO que nos acogió para formarnos humana y científicamente a lo largo de nuestra carrera.

A nuestro director Ing. Mario Jiménez, codirector Ing. Vicente Hallo y a nuestros profesores que con su desinteresada amistad y valiosos conocimientos impartidos a lo largo de nuestra vida estudiantil y desarrollo de nuestro proyecto lograron encaminarnos por el sendero del éxito.

Christian Jiménez  
William Sinchiguano

## **ÍNDICE GENERAL**

CERTIFICACIÓN .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	v
ÍNDICE TABLAS .....	x
ÍNDICE FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xiv

<b>CAPITULO I</b>	<b>Pag.</b>
1. Motores de Inducción .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Producción del campo magnético rotatorio.....	1
1.2.1 Desarrollo del par inducido .....	3
1.2.2 Deslizamiento de la máquina de inducción .....	4
1.2.3 Circuito equivalente de la máquina de inducción.....	4
1.2.4 El modelo transformador de un motor de inducción.....	5
1.2.5 Características par – velocidad del motor de inducción .....	5
1.3 Tipos de Motores de Inducción ..	7
1.3.1 De acuerdo con el enfriamiento y ambiente de trabajo.....	7
1.4 Clases de diseño de motores de inducción .....	9
1.4.1 Diseño clase A .....	10
1.4.1 Diseño clase B .....	11
1.4.1 Diseño clase C .....	11
1.4.1 Diseño clase D .....	12

1.5 Principios de básicos de operación del motor de inducción .....	12
1.5.1 Caso sin carga y vacío .....	12
1.5.2 Caso de media carga .....	13
1.5.3 Condición de plena carga .....	13
1.5.4 Más allá de plena carga .....	13
1.6 Características del motor de inducción .....	14
1.7 Rangos de frecuencia y voltaje .....	16
1.8 Control de velocidad del motor por frecuencia variando el voltaje del estator...	19
1.9 Frenado de motores de inducción .....	21
1.10 Tipos de frenado de motores de inducción .....	22
1.10.1 Frenado por inversión .....	22
1.10.2 Frenado dinámico .....	23
1.10.3 Frenado regenerativo .....	24
1.11 Control de velocidad en los motores de inducción .....	24
1.11.1 Cambio del número de polos .....	25
1.11.2 Control de la resistencia del secundario .....	26
1.11.3 Control de voltaje de línea .....	28
1.11.4 Control de la frecuencia de línea .....	29
1.12 Velocidad ajustable con manejo de PWM .....	29
1.13 Técnicas de control para motores de inducción trifásicos .....	30
1.13.1 Concatenación .....	30
1.13.2 El sistema de Leblanc .....	31
1.13.3 El sistema de control de Kramer .....	32
1.13.4 Sistema de Scherbius .....	33
1.14 Control de velocidad por procedimientos mecánicos .....	34

## CAPITULO II

2. Inversores y variadores de frecuencia .....	34
2.1 Introducción .....	34
2.2 Tipos de inversores .....	35
2.2.1 Inversores monofásicos .....	36
2.2.2 Inversores trifásicos .....	39
2.2.3 Inversores con control PWM .....	48
2.2.3.1 Alta frecuencia .....	48
2.2.3.2 Dos niveles .....	49
2.3 El variador Power Flex 70 .....	51
2.3.1 Especificaciones y dimensiones .....	51
2.3.1.1 Características técnicas .....	52
2.3.2 Detalles de programación .....	53
2.3.2.1 Funcionamiento automático / manual .....	55
2.3.2.2 Entradas y salidas analógicas / digitales .....	57
2.3.2.3 Modos de arranque .....	58
2.3.2.4 Modos de frenado .....	59
2.3.2.5 Tipos de alarmas y protecciones .....	62
2.3.2.6 Control local y remoto .....	62
2.4 El variador ABB .....	64
2.4.1 Especificaciones y dimensiones .....	64
2.4.1.1 Características técnicas .....	65
2.4.2 Detalles de programación .....	65
2.4.2.1 Funcionamiento del variador ACS 300 .....	69
2.4.2.2 Entradas y salidas analógicas / digitales .....	70
2.4.2.3 Modos de arranque .....	71



2.4.2.4 Modos de frenado .....	72
2.4.2.5 Tipos de alarmas y protecciones .....	73
2.4.2.6 Control local y remoto .....	75

### **CAPITULO III**

3. Diseño del sistema de entrenamiento .....	77
3.1 Electrodinamómetro .....	77
3.1.1 Frenado de Foucault .....	78
3.1.2 Diseño y cálculos .....	83
3.1.3 Construcción .....	89
3.2 Sistema de fuerza .....	90
3.3 Sistema de control del campo del Electrodinamómetro .....	90
3.4 Estructura mecánica del módulo .....	95
3.5 Sistema de acoplamiento .....	100
3.5.1 Tipos de acoples .....	101
3.5.2 Selección .....	105
3.6 Sistema de medición .....	107
3.6.1 Magnitudes eléctricas .....	107
3.6.2 Magnitudes mecánicas .....	108
3.7 Montaje .....	110
3.8 Costos .....	112

### **CAPITULO IV**

4. Pruebas del Sistema .....	114
Pruebas del electrodinamómetro .....	114
Pruebas con el variador de frecuencia Power Flex 70 .....	118

Pruebas locales .....	121
Pruebas remotas .....	122
Pruebas con el variador de frecuencia ABB .....	124
Pruebas locales .....	127
Pruebas remotas .....	128
Guías prácticas .....	130

## **CAPITULO V**

5. Conclusiones y Recomendaciones .....	157
Conclusiones .....	157
Recomendaciones.....	158

<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	160
---------------------------	-----

## **ANEXOS**

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de los motores de inducción de jaula de ardilla de acuerdo con la clasificación en letras NEMA .....	16
Tabla 2.1 Especificaciones Archivo A .....	53
Tabla 2.2 Especificaciones Archivo B .....	54
Tabla 2.3 Especificaciones Archivo C .....	54
Tabla 2.4 Especificaciones Archivo D .....	55
Tabla 2.5 Señales digitales y análogas .....	58
Tabla 2.6 Alarmas y protecciones según manual variador Power Flex 70 .....	62
Tabla 2.7 Teclas direccionales panel de control ABB .....	66
Tabla 2.8 Parámetros de programación Page 1.....	68
Tabla 2.9 Parámetros de programación Page 2.....	68
Tabla 2.10 Entradas / salidas analógicas y digitales según manual ABB .....	70
Tabla 2.11 Alarmas de fallas al variador ABB según manual ACS 300 .....	74
Tabla 2.12 Protecciones del variador ABB según manual ACS 300 .....	75
Tabla 2.13 Entradas de señales digitales .....	76
Tabla 3.1 Características de acoplamiento Oldham .....	106
Tabla 3.2 Parámetros de torque y corriente .....	109
Tabla 4.1 Datos de programación para nuestra aplicación .....	121
Tabla 4.2 Parámetros de pruebas de funcionamiento con Power Flex 70 .....	122
Tablas 4.3 Programación del variador ABB .....	126
Tabla 4.4 Parámetros obtenidos en pruebas de funcionamiento, variador ABB ..	127
Tablas 4.5 Control remoto con señales digitales .....	129

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución senoidal del campo magnético rotatorio .....	2
Figura 1.2 Modelo de un transformador de un motor de inducción con el rotor y el estator conectados por un transformador ideal de relación de vueltas $a_{eff}$ .....	5
Figura 1.3 Curva típica de un motor de inducción .....	6
Figura 1.4 Curva característica par-velocidad de un motor de inducción, que muestra los rangos extendidos de operación .....	6
Figura 1.5 Curvas características típicas para diferentes diseños de motores .....	10
Figura 1.6 Voltaje nominal vs frecuencia, a y b .....	18
Figura 1.7 Voltaje nominal vs frecuencia, a y b .....	18
Figura 1.8 Voltaje nominal vs frecuencia, a y b .....	19
Figura 1.9 Curvas par-velocidad para velocidades por debajo de la velocidad base, suponiendo que el voltaje disminuye linealmente .....	20
Figura 1.10 Familia de curvas características par-velocidad para velocidades por encima de la velocidad base y voltaje constante .....	21
Figura 1.11 Control de velocidad mediante variación de la resistencia del rotor ...	27
Figura 1.12 Control de velocidad por relación de voltaje de línea .....	28
Figura 1.13 Curvas características par-velocidad para todas las frecuencias .....	29
Figura 2.1 Inversor Monofásico .....	36
Figura 2.2 Puente inversor monofásico .....	37
Figura 2.3 Curvas carga R-L .....	38
Figura 2.4 Inversor trifásico 12 transistores 12 diodos .....	39
Figura 2.5 Inversor trifásico 6 transistores 6 diodos .....	40
Figura 2.6 Formas de onda para conducción a $180^\circ$ .....	41
Figura 2.7 Voltaje para conducción de $180^\circ$ .....	43
Figura 2.8 Inversor trifásico carga RL .....	45
Figura 2.9 Señales de compuerta para conducción a $120^\circ$ .....	46

Figura 2.10 Circuitos equivalentes carga conectada en estrella .....	46
Figura 2.11 Modulación de anchura de pulso senoidal .....	48
Figura 2.12 Onda senoidal y su equivalente PWM a alta frecuencia .....	49
Figura 2.13 Vectores de estado definidos en el sistema y tensión de entrada de filtro pasabajos .....	50
Figura 2.14 Distancia mínima en montaje .....	52
Figura 2.15 Frenado de motor COAST .....	59
Figura 2.16 Frenado por BRAKE .....	60
Figura 2.17 Frenado por RAMP .....	61
Figura 2.18 Frenado por RAMP TO HOLD .....	61
Figura 2.19 Dimensiones de variadores ACS 300 .....	64
Figura 2.20 Páginas disponibles para programación variador ABB .....	67
Figura 2.21 Tarjeta de control .....	69
Figura 2.22 Rampas de aceleración / desaceleración .....	71
Figura 3.1 Fuerza de frenado en pieza metálica .....	79
Figura 3.2 Fuerza de campo magnético .....	81
Figura 3.3 Campo magnético sobre hoja metálica .....	82
Figura 3.4 Equivalente de fem .....	82
Figura 3.5 Esquema Mosfet .....	91
Figura 3.6 Características internas del LM555 .....	92
Figura 3.7 Diagrama de control para circuito de campo del electrodinamómetro ...	94
Figura 3.8 Tarjeta de control PWM .....	94
Figura 3.9 Tarjeta de potencia del sistema de entrenamiento .....	95
Figura 3.10 Cargas que soporta base mecánica .....	96
Figura 3.11 Diagrama de cuerpo libre .....	97
Figura 3.12 Diagrama de fuerzas .....	98

Figura 3.13 Diagrama de momentos .....	98
Figura 3.14 Acoplamiento Oldham .....	105
Figura 3.15 Acoplamiento mecánico del sistema de entrenamiento .....	106
Figura 3.16 Curvas Torque vs Corriente .....	109
Figura 3.17 Lectura de torque en sistema de entrenamiento .....	110
Figura 3.18 Sistema de entrenamiento para motores de 3hp .....	111
Figura 3.19 Sistema de alimentación de potencia .....	111
Figura 3.20 Tarjetas electrónicas de control y potencia .....	112
Figura 3.21 Variadores de frecuencia ABB y Power Flex 70 .....	112
Figura 4.1 Conexiones Placa N° 2 .....	115
Figura 4.2 Conexiones placa N° 3 y N° 4 .....	116
Figura 4.3 Conexiones placa N° 2 y N° 3 .....	116
Figura 4.4 Placa N° 4, Mando de freno .....	117
Figura 4.5 Montaje de ventilador enfriador .....	118
Figura 4.6 Conexión placa N° 2 y variador Power Flex 70 .....	119
Figura 4.7 Potenciómetro para control remoto de Power Flex 70 .....	123
Figura 4.8 Conexión remota del variador Power Flex 70 .....	123
Figura 4.9 Conexión placa N° 2 y variador ABB .....	124
Figura 4.10 Potenciómetro y tarjeta de señales digitales de mando remoto para variador ABB .....	128
Figura 4.11 Conexión para control remoto .....	129

# RESUMEN

En la actualidad el laboratorio de control electrónico de motores cuenta con variadores de frecuencia de 3hp, ABB y Power Flex 70 que por su magnitud no pueden ser utilizados para realizar pruebas de gran capacidad, ya que no existe el equipo adecuado para realizarlo

El presente proyecto está orientado a realizar el diseño y construcción de un sistema de entrenamiento para variadores de 3hp y así poder efectuar mediante guías técnicas diferentes pruebas para aprovechar la capacidad operativa de los variadores de frecuencia y motores a prueba.

En el Capítulo I Se realiza un estudio de los motores de inducción tanto en su parte constructiva como en su parte operacional tomando en cuenta las diferentes clasificaciones y técnicas de control de velocidad, así como también los diferentes métodos de frenado.

En el Capítulo II Se detalla los tipos de inversores y se estudia los variadores de frecuencia Power Flex 70 y ABB en sus especificaciones técnicas y en sus detalles de programación para las diferentes aplicaciones según nuestras necesidades.

En el capítulo III Se realiza el diseño y construcción del sistema de entrenamiento para variadores de frecuencia, partiendo de la selección de un motor de inducción para diseñar un electrodinamómetro que nos sirve como simulador de carga y freno para motores de 3hp, seleccionando de igual manera los dispositivos y accesorios necesarios para su funcionamiento.

El Capítulo IV Se realiza pruebas del sistema con los variadores de frecuencia tanto en vacío como a plena carga, creando guías prácticas para la operación del sistema y así poder verificar los diferentes parámetros de operación.

El Capítulo V Se detalla las conclusiones a las que se han llegado, las recomendaciones para una mejor optimización del sistema, la bibliografía y enlaces utilizados para la culminación del proyecto.



# CAPITULO I

## 1. MOTORES DE INDUCCIÓN

### 1.1 Introducción.

Los motores asíncronos o de inducción, son prácticamente motores trifásicos. Están basados en el accionamiento de una masa metálica por acción de un campo giratorio. Están formados por dos armaduras con campos giratorios coaxiales: una es fija, y la otra móvil. También se les llama estator y rotor respectivamente.

El devanado del rotor, que conduce la corriente alterna que se produce por inducción desde el devanado del estator conectado directamente, consiste de conductores de cobre ó aluminio vaciados en un rotor de laminaciones de acero. Se instalan anillos terminales de cortocircuito en ambos extremos de la “jaula de ardilla” o bien en el uno de los extremos en el caso de rotor devanado. Los motores de inducción de rotor devanado son medios utilizados, debido a su mayor costo, ya que requieren de más mantenimiento que los de jaula de ardilla.

### 1.2 Producción del campo magnético rotatorio.

Debido a que el sistema eléctrico industrial utiliza fuentes trifásicas de energía, la máquina de inducción se construye normalmente con tres devanados, distribuidos y desfasados espacialmente  $120^\circ$ . En cada una de las bobinas desfasadas espacialmente, se inyectan corrientes alternas senoidales desfasadas en el tiempo  $120^\circ$  unas de otras.

Cada bobina produce campo magnético estático en el espacio. La amplitud de este campo se encuentra en la dirección del eje magnético de la bobina y varía senoidalmente en el tiempo. La combinación de los campos pulsantes

producidos por las tres corrientes desfasadas temporalmente, circulando por las tres bobinas desfasadas espacialmente, se traduce en un campo magnético distribuido senoidalmente en el espacio, que rota a la velocidad de variación de las corrientes en el tiempo (figura 1.1).

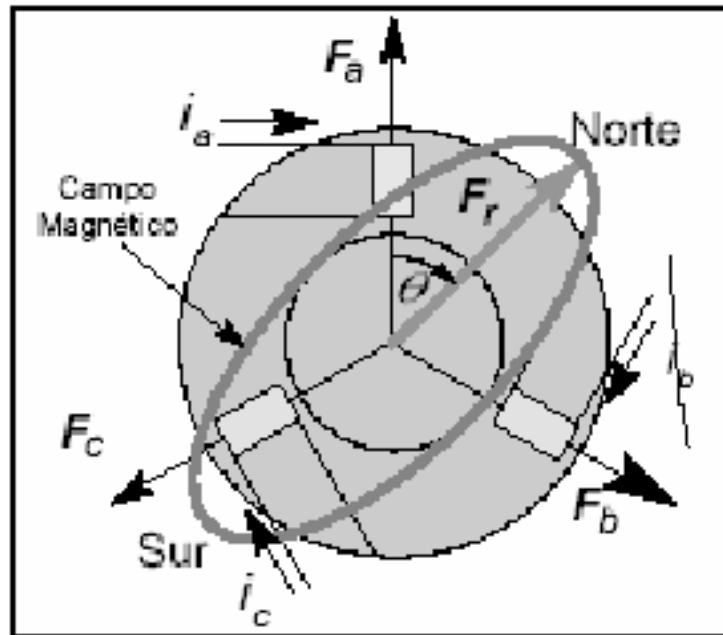


Figura 1.1 Distribución senoidal del campo magnético rotatorio

Puesto que el periodo o intervalo de tiempo de la variación senoidal de la corriente es el mismo en los conductores, la velocidad del campo magnético rotatorio (S), varía directamente con la frecuencia (f), pero inversamente con el número de par de polos (P):

$$S = 120 * f / P \quad (1.1)$$

### 1.2.1 Desarrollo del par inducido

Cuando se aplican al estator un conjunto trifásico de voltajes, se genera un conjunto de corrientes trifásicas que producen un campo magnético  $B_s$  que rota

en dirección contraria a las manecillas del reloj. Éste induce voltaje en las barras del rotor, y este voltaje está dado por la ecuación:

$$e = (v * B) * l \quad (1.2)$$

en donde  $v$  es la velocidad de la barra, relativa el campo magnético;  $B$  es el vector de densidad de flujo magnético; y  $l$ , la longitud del conductor en el campo magnético.

El movimiento relativo del motor con respecto al campo magnético del estator ( $B_s$ ) induce voltaje en la barra del rotor. El flujo magnético del rotor produce un campo magnético del rotor  $B_R$ . El par de la máquina,  $T_{ind}$ , está dado por<sup>1)</sup>

$$T_{ind} = k B_R * B_s \quad (1.3)$$

y la dirección es en sentido contrario a las manecillas del reloj, por lo tanto el rotor se acelera en esta dirección. En operación normal, los campos magnéticos del estator y del rotor giran a la velocidad sincrónica, mientras que el rotor gira una velocidad menor.

---

1) [www.140.148.3.250/u\\_dl\\_a/servlet/mx.udlap.ict.com](http://www.140.148.3.250/u_dl_a/servlet/mx.udlap.ict.com)

### **1.2.2 Deslizamiento de la máquina de inducción**

El deslizamiento de una máquina, se define como la velocidad relativa entre el campo magnético producido por las corrientes inyectadas en el estator y la velocidad mecánica del rotor, por unidad de la velocidad del campo:

$$s = \frac{(S - S_r) * 100}{S} \quad (1.4)$$

siendo  $s$  el porcentaje de deslizamiento para fines de cálculo.  $S$  es la velocidad sincrónica ( $120f/P$ ) en rpm del campo magnético rotatorio producida por el estator; y  $S_r$  es la velocidad del rotor en rpm.

En general, a la velocidad del campo se le denomina velocidad sincrónica de la máquina, y el deslizamiento indica que tan cerca se encuentra la máquina de esta velocidad. Si el rotor de la máquina gira a una velocidad mayor que la sincrónica, el deslizamiento se hace negativo. Cuando se conocen todos los parámetros del modelo de una máquina de inducción y la fuente de alimentación, el deslizamiento determina el punto de operación. Por esta razón se utiliza esta variable para definir el estado de la máquina.

### **1.2.3 Circuito equivalente de la máquina de inducción**

El circuito equivalente de un motor de inducción es muy similar al de un transformador, debido a la acción de transformación que ocurre al inducirse corrientes en el rotor, desde el estator.

### **1.2.4 El modelo transformador de un motor de inducción**

En la figura 1.3 se muestra un circuito equivalente transformador, por fase, de un motor de inducción. La resistencia del estator es  $R_1$  y la reactancia de dispersión es  $X_1$ .  $E_1$  es el voltaje primario del estator, acoplado al secundario  $E_R$  mediante un transformador ideal con relación de vueltas  $a_{eff}$ .

El voltaje  $E_R$  producido en el rotor ocasiona un flujo de corriente en el rotor.  $R_c$  es el componente de pérdidas en el núcleo y  $J_{XM}$  se refiere a la reactancia de magnetización,  $R_R$  y  $jX_R$  son las impedancias del rotor. Asimismo,  $I_1$  constituye la corriente de línea,  $I_M$  la corriente de magnetización.  $I_R$  es el flujo de corriente en el rotor e  $I_2$  es la corriente rotórica.

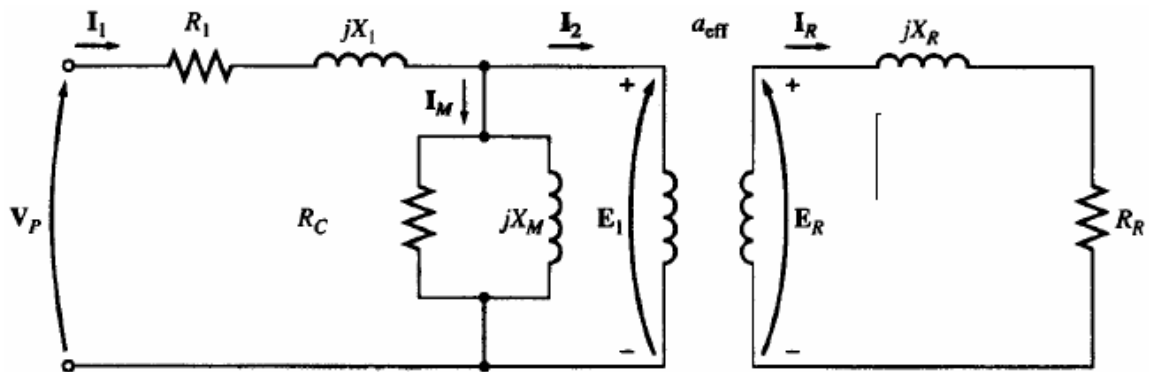


Figura 1.2 Modelo transformador de un motor de inducción con el rotor y el estator conectados por un transformador ideal de relación de vueltas  $a_{eff}$

### 1.2.5 Características par-velocidad del motor de inducción

En las figuras 1.4 y 1.5 se presentan las curvas características par-velocidad del motor de inducción. La información que proveen se resume a continuación:

1. El par inducido del motor es cero a la velocidad sincrónica
2. La curva par-velocidad es aproximadamente lineal entre vacío y plena carga; ya que cuando crece el deslizamiento, crecen linealmente: la corriente rotórica, el campo magnético del rotor, y el par inducido.

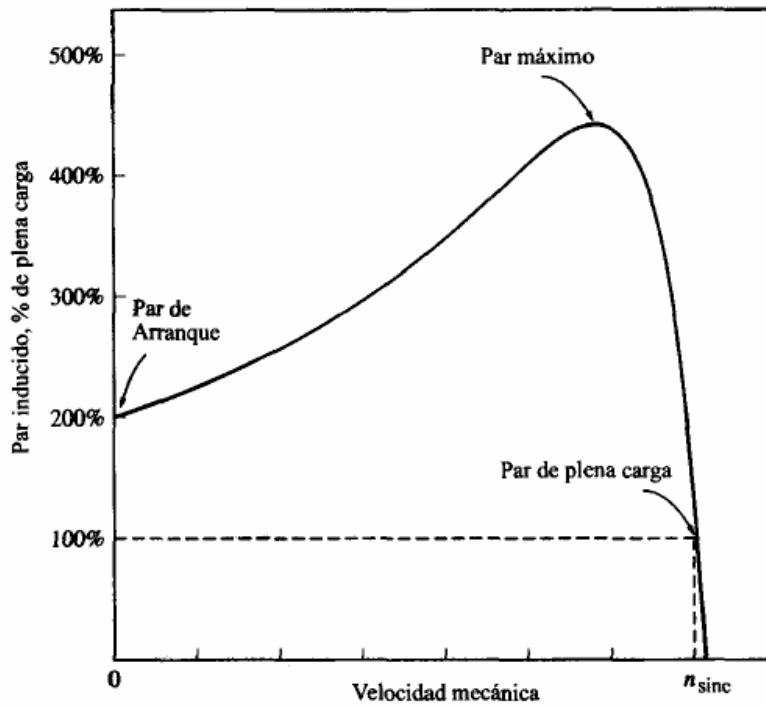


Figura 1.3 Curva típica característica de un motor de inducción

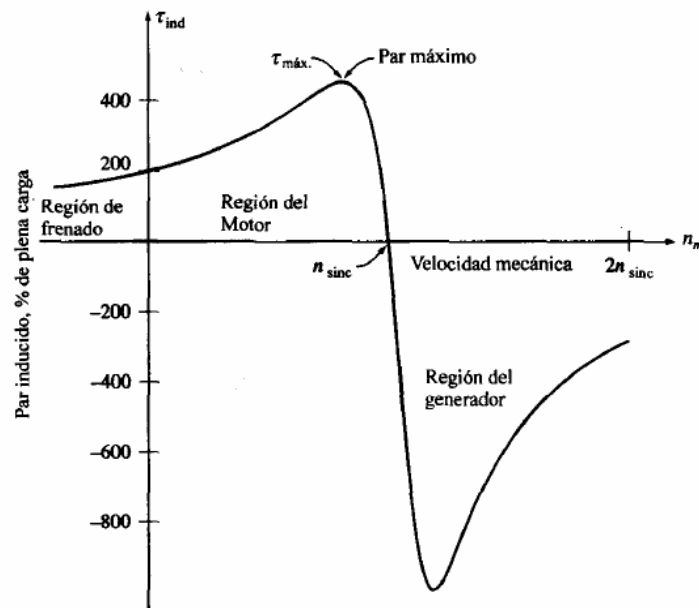


Figura 14 Curva característica par-velocidad de un motor de inducción, que muestra los rangos extendidos de operación (región de frenado y región de regeneración)

3. El par máximo o de desviación, equivale a 2 o 3 veces el par nominal y no puede ser excedido.
4. El par de arranque es ligeramente mayor al par de plena carga.
5. Para un deslizamiento dado, el par inducido varía con el cuadrado del voltaje aplicado.

6. La máquina de inducción opera como generador cuando la velocidad del rotor es mayor que la sincrónica. Entonces la dirección del par inducido se invierte, convirtiendo potencia mecánica en potencia eléctrica.
7. Para frenar con rapidez el motor, se conmutan dos fases, que significa invertir la dirección de rotación del campo magnético.

### **1.3 Tipos de Motores de Inducción**

Los motores de inducción se clasifican según las letras NEMA en varias clases y también de acuerdo al enfriamiento y ambiente de trabajo.

#### **1.3.1 De acuerdo con el enfriamiento y el ambiente de trabajo**

Los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla, y en general todos los motores eléctricos, se pueden clasificar también de acuerdo con el ambiente en que funcionan, sí también como en los métodos de enfriamiento.

La temperatura ambiente juega un papel importante en la capacidad y selección del tamaño de armazón, parte importante del motivo es que la temperatura ambiente influye en la elevación permisible de temperatura por sobre los 40° C normales

También se hace notar que la hermeticidad de la máquina afecta a su capacidad. Una máquina con una armazón totalmente abierta con un ventilador interno en su eje, permite un fácil paso de aire succionado y arrojado. Esta caja origina una temperatura final de trabajo en los devanados, menor en comparación que la de una máquina totalmente cerrada que evita el intercambio de aire con el exterior.

Esto da como resultado que existe una clasificación de los motores por el tipo de carcaza.

La NEMA reconoce los siguientes:

1. Carcaza a prueba de agua. Envoltente totalmente cerrada para impedir que entre agua aplicada en forma de un chorro o manguera, al recipiente de aceite y con medios de drenar agua al interior.
2. Carcaza a prueba de ignición de polvos. Envoltente totalmente cerrada diseñada y fabricada para evitar que entren cantidades de polvo que puedan encender o afectar desempeño.
3. Carcaza a prueba de explosión. Envoltente totalmente cerrada diseñada y construida para resistir una explosión de un determinado gas o vapor que pueda estar dentro de un motor.
4. Carcaza totalmente cerrada envoltente que evita el intercambio de aire entre el interior y el exterior de ella pero que no es lo suficientemente cerrada para poderla considerar hermética al aire.
5. Carcaza protegida al temporal. Envoltente abierta cuyos conductos de ventilación están diseñados para reducir al mínimo la entrada de lluvia o nieve y partículas suspendidas en el aire.
6. Carcaza protegida. Envoltente abierta en la cual todas las aberturas conducen directamente a partes vivas o giratorias, exceptuando los ejes lisos del motor, tienen tamaño limitado mediante el diseño de partes estructurales o parrillas coladeras o metal desplegado etc. Para evitar el contacto accidental con las parte vivas
7. Carcaza a prueba de salpicaduras. Envoltente abierta en la que las aberturas de ventilación están fabricadas de tal modo que si caen partículas de sólidos o gotas de líquidos a cualquier ángulo no mayor de 100° con la vertical no puedan entrar en forma directa o por choque de flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.



8. Carcaza a prueba de goteo envolvente abierta en que las aberturas de ventilación se construye de tal modo que si caen partículas sólidas o gotas de líquido a cualquier ángulo no mayor de  $15^\circ$  con la vertical no pueda entrar ya sea en forma directa o por choque y flujo por una superficie horizontal o inclinada hacia adentro.
9. Carcaza abierta envolvente que tiene agujeros de ventilación que permiten el flujo de aire externo de enfriamiento sobre y alrededor de los devanados de la máquina.

#### 1.4 Clases de diseño de motores de inducción

La National Electric Manufactures Association (NEMA) y la International Electrotechnical Comision (IEC), han desarrollado un sistema de identificación mediante letras para los motores comerciales, según las curvas características par-velocidad para cada diseño:

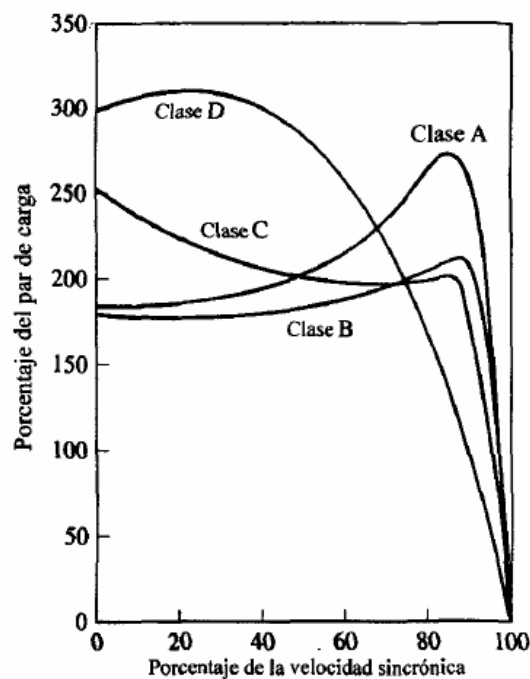


Figura 1.5 Curvas características típicas para diferentes diseños de motores

**1.4.1 Diseño clase A** Es un motor de jaula de ardilla para usarse a velocidad constante. Sus principales características son:

- Buena capacidad de disipación de calor.
- Alta resistencia y baja reactancia al arranque.
- El par máximo está entre 200% y 300% del par de plena carga y ocurre a un bajo deslizamiento.
- Aceleración bastante rápida hacia la velocidad nominal.
- Presenta la mejor regulación de velocidad, entre el 2 y 4%.
- Desafortunadamente su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces la corriente nominal.
- Han sido reemplazados por los motores de diseño clase B en los últimos años.
- Se utilizan en ventiladores, sopladores, bombas, tornos, etc.

**1.4.2 Diseño clase B.** Se les llama de propósito general y a este tipo pertenecen la mayoría de los motores con rotor de jaula de ardilla. A continuación se resumen sus características:

- Par de arranque normal, baja corriente de arranque y bajo deslizamiento.
- Produce casi el mismo par de arranque que el diseño anterior.
- El par máximo es mayor o igual al 200% el par de carga nominal.
- Deslizamiento bajo (menor del 5%).
- Se prefieren sobre los diseños de clase A por requerir poca corriente de arranque.

**1.4.3 Diseño clase C.**

- Alto par de arranque (entre 2 y 2.5 veces el nominal) con bajas corrientes de arranque (de 3.5 a 5 veces la nominal).
- Son construidos con un rotor de doble jaula (más costosos).
- Bajo deslizamiento (menos del 5%) a plena carga.
- Debido a su alto par de arranque, acelera rápidamente.
- Cuando se emplea con cargas pesadas, se limita la disipación térmica del motor, ya que la mayor parte de la corriente se concentra en el devanado superior.
- Tiende a sobrecalentarse con arranques frecuentes.
- Se utilizan para cargas con alto par de arranque, como, bombas, compresores y transportadores.

#### **1.4.4 Diseño clase D.**

- También conocidos como de alto par y alta resistencia.
- Alto par de arranque (275% o más del nominal) y baja corriente de arranque.
- Alto deslizamiento a plena carga.
- La alta resistencia del rotor desplaza el par máximo hacia una velocidad muy baja.
- Diseñado para servicio pesado de arranque, en especial grandes volantes utilizados en troqueladoras o cortadoras.

También existen las clases E y F, llamados motores de inducción de arranque suave, pero obsoletos hoy en día.

### **1.5 Principios básicos de operación del motor de inducción**

El funcionamiento normal del motor se tiene en la figura 1.3, vemos el comportamiento del par y la velocidad hasta plena carga.

### **1.5.1 Caso sin carga y vacío**

Sin carga, el deslizamiento es muy pequeño y la frecuencia, la reactancia del rotor, y la FEM inducida en éste son muy pequeñas. Por lo tanto la corriente en el rotor es muy pequeña y solo la suficiente para producir el par sin carga y con el factor de potencia que es extremadamente pequeña<sup>1)</sup>.

---

1) [www.140.148.3.250/u\\_dl\\_a/servlet/mx.udlap.ict.com](http://www.140.148.3.250/u_dl_a/servlet/mx.udlap.ict.com)

### **1.5.2 Caso de media carga**

Al aplicar la carga mecánica al rotor, la velocidad disminuye un poco. La pequeña disminución de velocidad causa un aumento en el deslizamiento y en la frecuencia y reactancia del rotor, y en la FEM inducida en éste.

El aumento en la corriente inducida (secundaria) en el rotor se refleja con un aumento de corriente primaria en el estator.

### **1.5.3 Condición de plena carga**

El motor de inducción de jaula de ardilla girará un valor de deslizamiento que proporciona un equilibrio entre el par desarrollado y el par aplicado. De tal manera, conforme se aplica más carga, el deslizamiento aumenta porque el par aplicado excede al par desarrollado. Cuando se aplica el valor nominal al eje del motor de inducción, el componente de la corriente del estator primario en fase que toma el motor de inducción es grande en comparación con la

corriente sin carga casi de cuadratura, y el ángulo del factor de potencia es bastante pequeño. El factor de potencia a plena carga varía entre 0.8 en motores pequeños (1 HP) y 0.9 o 0.95, en los grandes motores de inducción (150 HP y superiores).

#### **1.5.4 Más allá de plena carga**

Se supondrá que el factor de potencia se aproxima a la unidad a mayores aumentos en la carga pero esto no es así porque:

Con mayor carga y deslizamiento, la frecuencia del rotor continúa aumentando y el aumento en la reactancia del rotor produce una disminución en el factor de potencia.

Considerando al motor de inducción como si fueran un transformador, se puede decir que el secundario del transformador tiene una carga en retraso, lo cual hace que el factor de potencia del primario se retrase por lo tanto cuando las cargas son mayores que la plena carga, el factor de potencia se aproxima a un máximo, para disminuir después rápidamente.

Después de la falla o punto crítico (par máximo) la corriente de línea aumenta, pero el par disminuye debido a que la rapidez de disminución del factor de potencia es mayor que la rapidez del aumento de corriente.

A cargas livianas, las pérdidas fijas relativamente grandes en proporción con la salida pequeña, producen una eficiencia baja. Con cargas grandes, las pérdidas variables relativamente grandes más las pérdidas fijas producen de nuevo baja eficiencia, no obstante la salida es alta. La eficiencia máxima se da en cargas moderadas, en las cuales las pérdidas fijas y variables son iguales y la potencia es aproximadamente igual al valor nominal.

El par máximo se presenta bastante más allá del doble de la potencia nominal, en donde el deslizamiento crítico o de falla es aquella frecuencia del rotor a la cual la reactancia variable del rotor es igual a la resistencia de este.

## **1.6 Características del motor de inducción**

Suponiendo que un motor de inducción comercial de jaula de ardilla se haga arrancar con el voltaje nominal de las terminales de línea de su estator desarrollará un par de arranque que hará que aumente la velocidad. Al aumentar la velocidad a partir del reposo (100% de deslizamiento) disminuye su deslizamiento y su par disminuye hasta que se desarrolla un par máximo. Esto hace que la velocidad aumente todavía más, reduciéndose en forma simultánea el deslizamiento y el par que desarrolla el motor de inducción<sup>1)</sup>.

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

La característica esencial que distingue a una máquina de inducción de los demás motores eléctricos es que las corrientes secundarias son creadas únicamente por inducción.

Cuando se desarrolló por primera vez el rotor de doble jaula de ardilla se creó tal variedad y adaptabilidad en el diseño de rotores para motores de inducción que ha llevado a diversas características de curva deslizamiento - par.

Al dar la proporción correcta al devanado de doble jaula de ardilla, los fabricantes han desarrollado numerosas variaciones del diseño del rotor de

vaciado o normal único. Estas variaciones tienen por consecuencia pares de arranque mayores o menores que el diseño normal y también menores corrientes de arranque.

1) Máquinas Eléctricas, Irwin Kosow

Clase NEMA	Par de arranque (# de veces el nominal)	Corriente de Arranque	Regulación de Velocidad (%)	Nombre de clase del motor
A	1.5-1.75	5-7	2-4	Normal
B	1.4-1.6	4.5-5	3.5	De propósito general
C	2-2.5	3.5-5	4-5	De doble jaula alto par
D	2.5-3.0	3-8	5-8 , 8-13	De alto par alta resistencia
F	1.25	2-4	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque (obsoletos hoy en día)

Tabla 1.1 Características de los motores de inducción de jaula de ardilla de acuerdo con la clasificación en letras NEMA.

## 1.7 Rangos de frecuencia y voltaje

Los tipos de cargas mecánicas que se le podrían acoplar a un motor de inducción varía significativamente. Algunas cargas tales como los ventiladores, necesitan muy escaso momento de torsión durante el arranque (o en marcha lenta) y tienen momentos de torsión que se incrementan proporcionalmente al cuadrado de la velocidad. Otras cargas podrían ser más difíciles de arrancar, porque necesitan más que el momento de torsión nominal de plana carga del motor solo para poner la carga en movimiento. Este accionamiento propulsor proporciona una variedad de patrones voltaje versus frecuencia, que pueden seleccionarse para hacer coincidir el momento de torsión del motor de inducción con el momento de torsión requerido por su carga. En la figura 1.6 se muestran 3 de estos patrones.

La figura 1.6 (a) muestra el patrón voltaje versus frecuencia normalizada o de propósito general descrito en la sección previa. Este patrón cambia el voltaje de

salida linealmente, con cambios en la frecuencia de salida para velocidades por debajo de la velocidad base y mantiene constante el voltaje de salida para velocidades por encima de la velocidad base. ( la pequeña zona de voltaje-constante a muy bajas frecuencias es necesaria para tener seguridad de que existirá algún momento de torsión de arranque a las velocidades más bajas).

La figura 1.6 (b) muestra las características resultantes, momento de torsión-velocidad, del motor de inducción para varias frecuencias de funcionamiento por debajo de la velocidad base.

La figura 1.7 (a) muestra el patrón voltaje versus frecuencia, que se usa para cargas con momentos de torsión de arranque altos. Este patrón también cambia el voltaje de salida linealmente, con cambios de frecuencia de salida, para velocidades por debajo de la velocidad base, pero tiene una pendiente menor para frecuencias por debajo de 30 Hz. Para cualquier frecuencia determinada por debajo de 30 Hz, el voltaje de salida será más alto de la que era con el patrón anterior. Este voltaje más alto producirá un momento de torsión más alto, pero al costo de aumentar la saturación magnética y de causar mayores corrientes de magnetización. Estos dos problemas son a menudo aceptables, por los cortos periodos de tiempo necesarios para arrancar cargas pesadas. La figura 1.7 (b) muestra la características momento de torsión-velocidad del motor de inducción, para varias frecuencias de funcionamiento, por debajo de la velocidad base. Obsérvese el incremento del momento de torsión disponible a bajas frecuencias en comparación con la figura 1.6.

La figura 1.8 (a) muestra el patrón voltaje versus frecuencia, usado para cargas con momentos de arranque bajos (llamadas cargas de arranque suave). Este patrón cambia el voltaje de salida parabólicamente con cambios en la frecuencia de salida para velocidades por debajo de la velocidad base. Para cualquier frecuencia determinada por debajo de 60 Hz, el voltaje de salida será más bajo de lo que fue con el patrón normalizado. Este menor voltaje producirá un momento de torsión más bajo, proporcionando un arranque suave, lento, para cargas de momento de torsión bajo. La figura 1.8 (b) muestra la características momento de torsión-velocidad del motor de inducción, para varias frecuencias de funcionamiento, por debajo de la velocidad base. Obsérvese la disminución en el momento de torsión disponible a bajas frecuencias en comparación con la figura 1.6



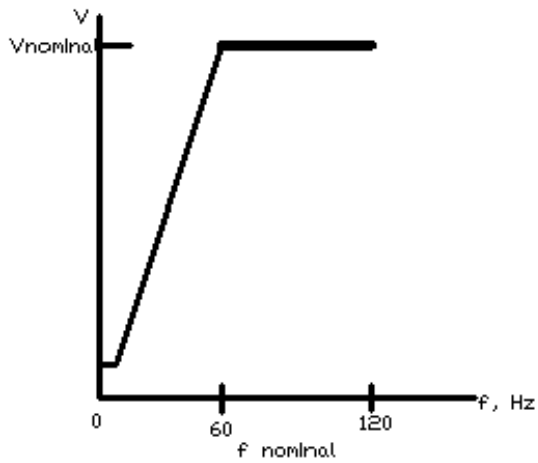
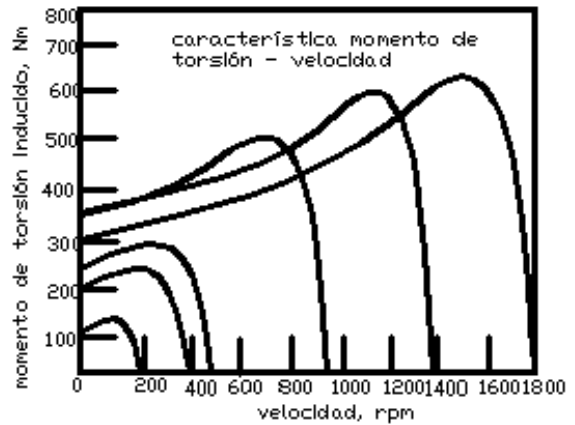


Figura 1.6 a.- V nominal vs Frecuencia



b.- Momento vs Velocidad

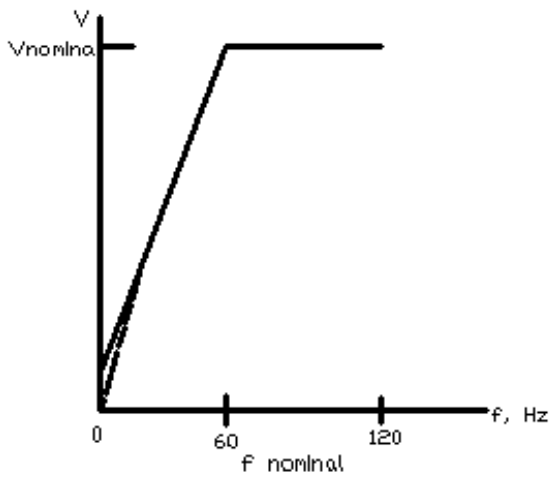
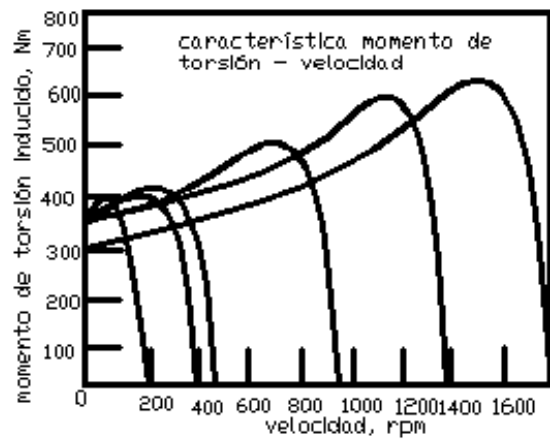


Figura 1.7 a.- V nominal vs Frecuencia



b.- Momento vs Velocidad

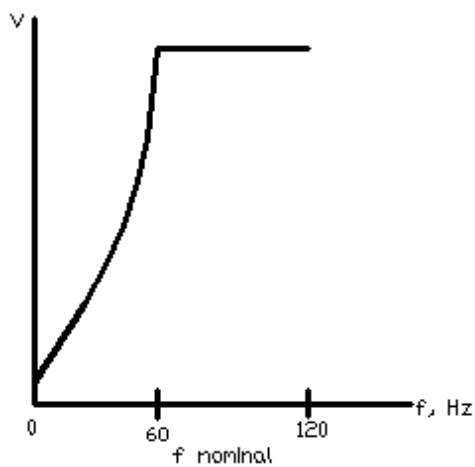
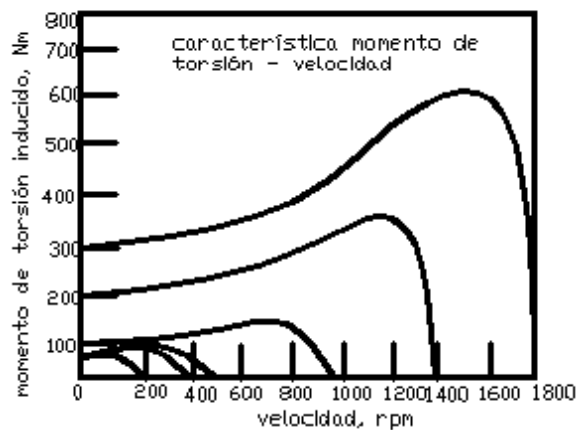


Figura 1.8 a.- V nominal vs Frecuencia



b.- Momento vs Velocidad

## 1.8 Control de velocidad del motor por frecuencia variando el voltaje del estator

Cuando se opera a velocidades inferiores a la velocidad base del motor es necesario reducir el voltaje aplicado a las terminales del estator para obtener una operación adecuada. El voltaje aplicado a las terminales del estator deberá disminuir linealmente con la disminución de la frecuencia en él. Este proceso se llama degradación (derating). Si esto no se hace, se saturará el acero del núcleo del motor de inducción y fluirán corrientes de magnetización excesivas en la máquina.

Para entender esto, recuérdese que el flujo en el núcleo de un motor de inducción se puede encontrar aplicando la ley de Faraday:

$$v(t) = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1.5)$$

Si se aplica un voltaje  $v(t) = V_M \text{sen} \omega t$  al núcleo, el flujo  $\phi$  resultante es:

$$\begin{aligned} \phi(t) &= \frac{1}{N_p} \int V(t) dt = \frac{1}{N_p} \int V_M \text{sen} \omega t dt \\ \phi(t) &= \frac{V_M}{\omega N_p} \cos \omega t \end{aligned} \quad (1.6)$$

Nótese que la frecuencia eléctrica aparece en el denominador de esta expresión. Entonces, si la frecuencia eléctrica aplicada al estator disminuye en 10%, mientras que la magnitud del voltaje aplicado al estator permanece constante, el flujo en el núcleo del motor se incrementará cerca del 10%, al igual que la corriente de magnetización.

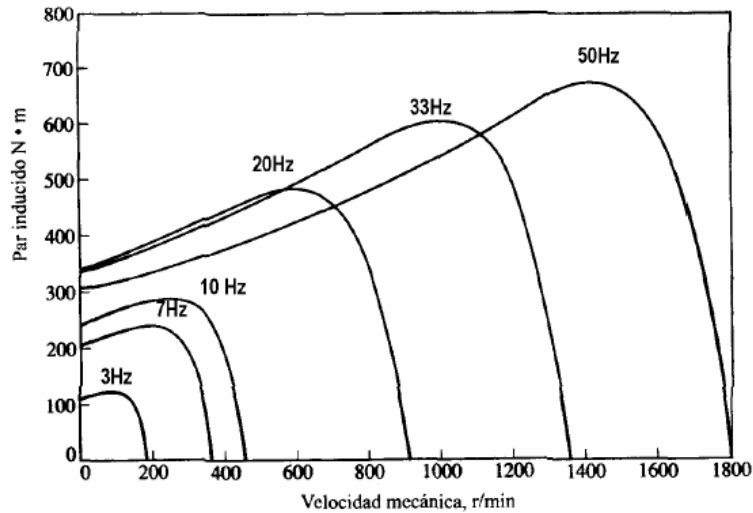


Figura 1.9 Curvas par – velocidad para velocidades por debajo de la velocidad base, suponiendo que el voltaje disminuye linealmente con la frecuencia

Quando el voltaje aplicado a un motor de inducción varía linealmente con la frecuencia por debajo de la velocidad base, el flujo en el motor permanece aproximadamente constante. La figura 1.9 muestra una familia de curvas características par- velocidad del motor de inducción para velocidades menores que la velocidad base suponiendo que la magnitud del voltaje del estator varía linealmente con la frecuencia.

Quando la frecuencia eléctrica aplicada al motor excede la frecuencia nominal del motor, el voltaje del estator es mantenido constante en el valor nominal. Cuando mayor sea la frecuencia eléctrica sobre la velocidad base, mayor será el denominador de la ecuación 1.6. Puesto que el término del numerador se mantiene constante cuando se opera sobre la frecuencia nominal, disminuyen el flujo resultante en la máquina y el par máximo.

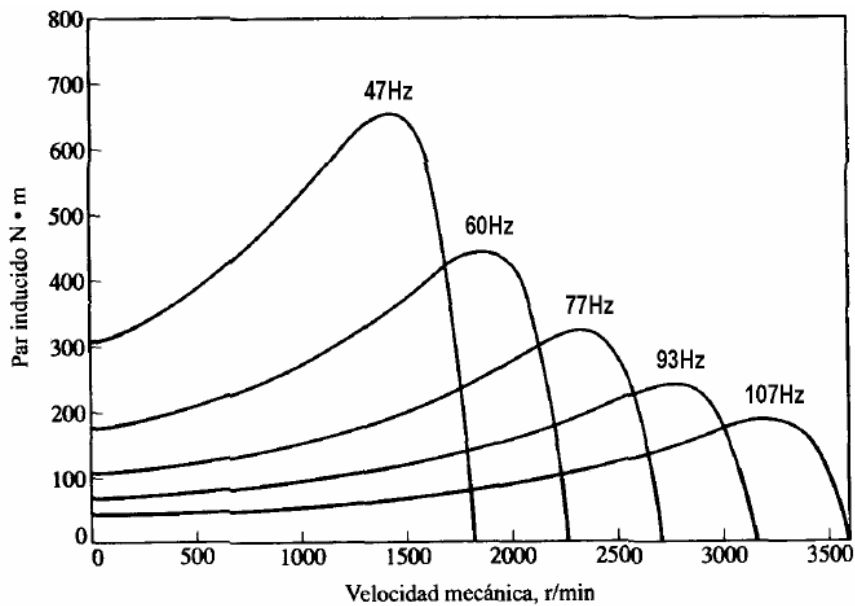


Figura 1.10 Familia de curvas características par – velocidad para velocidades por encima de la velocidad base y voltaje constante

La figura 1.10 muestra una familia de curvas características par- velocidad del motor de inducción para velocidades por encima de la nominal, si el voltaje del estator se mantiene constante.

## 1.9 Frenado en motores de inducción

<sup>1)</sup> En general el frenado para motores de inducción, polifásicos, monofásicos y sincrónicos se consigue de manera similar, por lo que a continuación se explicará los diferentes tipos de frenado, entre los que tenemos:

---

1) Máquinas Eléctricas, Kosow

- Frenado por Inversión
- Frenado Dinámico
- Frenado Regenerativo

## 1.10 Tipos de frenado en Motores de Inducción

### 1.10.1 Frenado por Inversión

Cualquier sistema de control capaz de invertir el motor también puede utilizarse para el frenado por inversión, tomando en cuenta que es necesario desconectar el motor de la red antes de que se invierta su sentido de giro.

El flujo de excitación del estator varía de máximo (en el instante antes de que se inicie la inversión de fase) a cero (en el instante en que las corrientes estatóricas se reducen a cero por inversión de la línea y están a punto de incrementarse en el sentido contrario). La magnitud de campo magnético giratorio resultante (ecuación 1.1), por tanto, disminuye rápidamente a medida que se invierten las conexiones de línea. Puesto que el par desarrollado por el rotor es  $k\phi I_r \cos\theta_r$ , y ya que la corriente retórica depende del flujo de excitación, el par desarrollado disminuye rápidamente a medida que lo hacen el flujo  $\Phi$ , y la corriente retórica,  $I_r$ . Puesto que el par de la carga aplicada sobrepasa al par motor desarrollado, la misma apoya el efecto de deceleración rápido del motor hasta el reposo. De esta forma, la inversión mediante el frenado por inversión a plana tensión no sobrepasará la corriente normal de arranque y no se

necesitarán providencias en la inversión o dispositivos de protección adicionales.

Debe tenerse presente que, cuando un motor de inducción se pone en marcha a plena tensión, puede invertirse mediante el frenado por inversión (invirtiendo las conexiones de la línea) de la misma manera y cuando se ponga en marcha por métodos de arranque auxiliares, manuales o automáticos, éstos también deben ser utilizados para la inversión.

### **1.10.2 Frenado Dinámico**

El frenado Dinámico se hace posible si se elimina la excitación polifásica de c.a. primaria y si, por contra, el estator se excita con corriente continua. La corriente continua unidireccional constante producirá polos electromagnéticos fijos en el estator. Los conductores del rotor de jaula poseerán una f.e.m. inducida alterna a medida que traspasen los polos fijos del estator N y S. La f.e.m. retórica alterna es cortocircuitada, produciendo elevadas corrientes y flujos rotóricos que reaccionarán (de acuerdo con la ley de Lenz) en contra del fuerte campo estatórico fijo de c.c. para llevar el motor rápidamente al reposo. Unas pérdidas elevadas por  $I^2R$ , producidas internamente en el rotor, disipan la energía rotacional en forma de calor. De hecho el motor actúa como generador que tiene el inducido cortocircuitado, traduciéndose en una corriente elevada en el rotor y produciéndose un frenado rápido.

La acción de frenado dinámico del motor de inducción aumenta de un valor bajo a máximas velocidades a un máximo a medida que la velocidad disminuye, pero desciende a un mínimo cerca del reposo. Cuando se inicia primero el frenado mediante aplicación de c.c. al estator, el deslizamiento del rotor es máximo, produciendo elevada reactancia y bajo factor de potencia rotórico. La elevada impedancia rotórica hace que quede limitada la corriente del mismo. Además el factor de potencia en retraso del rotor produce un flujo de reacción del inducido altamente desmagnetizante el cual reduce considerablemente el flujo neto del campo de c.c. A medida que la velocidad disminuye, sin embargo, el deslizamiento y la reactancia rotóricos disminuyen, incrementando la corriente retórica (mejorando el factor de potencia) y así mismo el flujo neto de campo de c.c. de forma que aumenta la acción de frenado. Sin embargo, a velocidades muy bajas, a pesar del pequeño deslizamiento y de la baja reactancia, la f.e.m. inducida en el rotor es pequeña y la acción de frenado tiende a decrecer otra vez. El empleo de c.c. en los estatores de motores de inducción es eficaz como medio de frenado dinámico para llevar estos motores al reposo.

### **1.10.3 Frenado Regenerativo**

Es posible el frenado regenerativo y se origina de forma automática siempre que la velocidad del motor sea excesiva, por ejemplo, en el caso de cargas acondicionadoras ( es decir, cuando la carga tiende arrastrar al motor primario en el mismo sentido a una velocidad excesiva). El motor de inducción, cuando es conducido a velocidades que sobrepasan la velocidad síncrona, funcionan automáticamente como generadores de inducción, produciendo una acción de frenado y tendiendo a restablecer la velocidad normal del motor. Al mismo tiempo, la energía de frenado se devuelve de una forma regenerativa a la línea de c.a., de forma que no existe ningún gasto de potencia. El frenado regenerativo no puede llevar al motor al reposo; pero sirve para limitar la excesiva velocidad del motor sin la necesidad de frenado mecánico y con pequeñas pérdidas de energía. Es particularmente aplicable a cargas tales como montacargas, grúas, elevadores, ascensores y aplicaciones de tracción, donde la inercia de la carga o la fuerza de la gravedad tiendan a aumentar excesivamente la velocidad del motor.

### **1.11 Control de velocidad en los motores de inducción**

Hasta la llegada de los modernos controladores de estado sólido, los motores de inducción no eran máquinas adecuadas para aplicaciones que requerían considerable control de velocidad.

Existen sólo dos técnicas para controlar velocidad de un motor de inducción, una de las cuales consiste en variar la velocidad síncrona (velocidad de los campos magnéticos del rotor y del estator) puesto que la velocidad del rotor siempre permanece cerca de sincronismo. La otra técnica consiste en variar el deslizamiento del motor para una carga dada.

La velocidad síncrona (S) de un motor de inducción según la ecuación 1.1, está dada por  $S = \frac{120 * f}{P}$ , por tanto la únicas formas en que se puede variar la velocidad síncrona de la máquina son: 1) cambiando la frecuencia eléctrica y 2) cambiando el número de polos de la máquina.

El control del deslizamiento puede ser llevado a cabo bien sea variando la resistencia del rotor o variando el voltaje en las terminales del motor.

#### **1.11.1 Cambio del número de polos**

Por medio de un interruptor se cambia la conexión en las bobinas muy fácilmente en lo que se cambia el número de polos, por lo que varía la velocidad de sincronismo del motor, y por lo tanto, la velocidad del rotor.

Este método es bueno en cuanto se puede regular la velocidad, pero debido a las complicaciones inherentes el cambio de conexión no es conveniente obtener más de dos velocidades por medio del cambio de número de polos.

Las ventajas de éste control son las siguientes:

- a. Sencillez de conexión en ciertos casos
- b. Se consigue buenas características de operación

### **1.11.2 Control de la resistencia del secundario**

La inserción de una resistencia rotórica suplementaria produce un incremento en el deslizamiento del rotor. Este método presenta las siguientes ventajas:

- Variación de la velocidad sobre una amplia gama por debajo de la velocidad síncrona del motor.
- Simplicidad de funcionamiento, tanto desde el punto de vista manual como automático.
- Costos iniciales y de mantenimiento bajos para los reguladores manuales y automáticos.

Sin embargo presenta los inconvenientes de:

- Bajo rendimiento, debido al aumento de las pérdidas de la resistencia del rotor (a grandes valores de deslizamiento, estas pérdidas son casi las totales (figura 1.11))
- Pobre regulación de velocidad

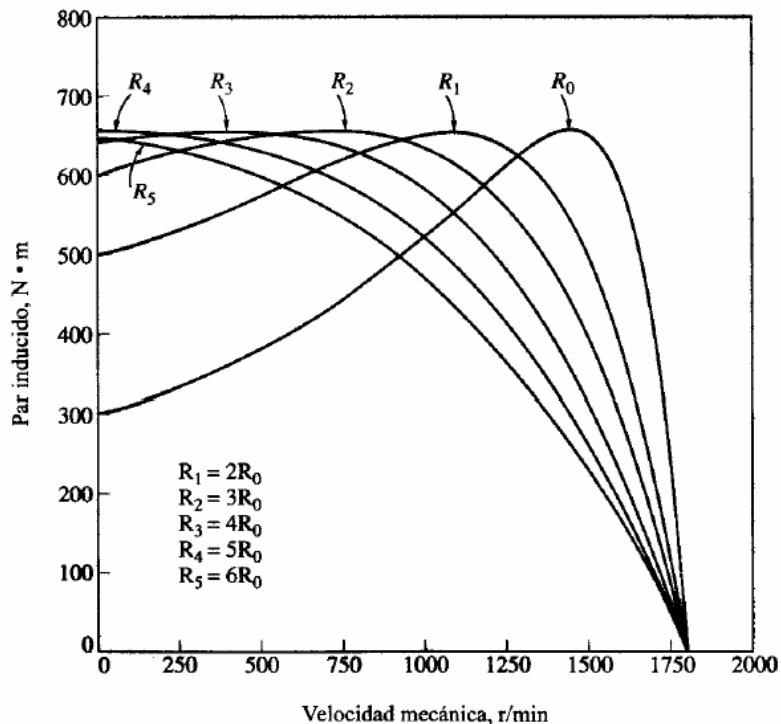


Figura 1.11 Control de velocidad mediante variación de la resistencia del rotor

El motor de inducción de rotor bobinado se emplea mucho con control de la resistencia secundaria para cargas de naturaleza intermitente, requiriendo par de arranque elevado y aceleración y desaceleración relativamente rápidas, tales como, grúas de fundiciones, siderúrgicas y donde una elevada corriente de arranque ocasione serias perturbaciones de la línea.

Ya que la velocidad y el deslizamiento de un motor de inducción de rotor bobinado son proporcionales a la resistencia del rotor, el método de control de la velocidad mediante la variación de la resistencia secundaria del rotor se denomina a veces control del deslizamiento.

### 1.11.3 Control del voltaje de línea

El par del motor de inducción bajo condiciones de arranque y de marcha varía con el cuadrado del voltaje aplicado al primario del estator. Par una carga determinada, reduciendo el voltaje de línea se reducirá el par con el cuadrado de la reducción del voltaje de línea, y la reducción del par producirá un incremento del deslizamiento. Aunque reducir el voltaje de línea y el par como método de incrementar el deslizamiento servirá para controlar la velocidad hasta cierto grado en motores de inducción pequeños, en general, resulta el método menos satisfactorio de control de la velocidad para motores polifásicos,



ya que el par máximo a la mitad del voltaje nominal es un cuarto del mismo a dicha tensión nominal. Por lo tanto, no es posible obtener el par nominal, ni siquiera la mitad del mismo, porque la velocidad del motor disminuye rápidamente y éste se para antes de que pueda desarrollar el par nominal. Entonces, para que este método funcione, es necesario que el par de carga se reduzca considerablemente a medida que se reducen el voltaje y la velocidad en el estator; por lo que funcionará de forma aceptable en un motor parcialmente cargado, éste método se utiliza a veces para pequeños motores de ventilación.

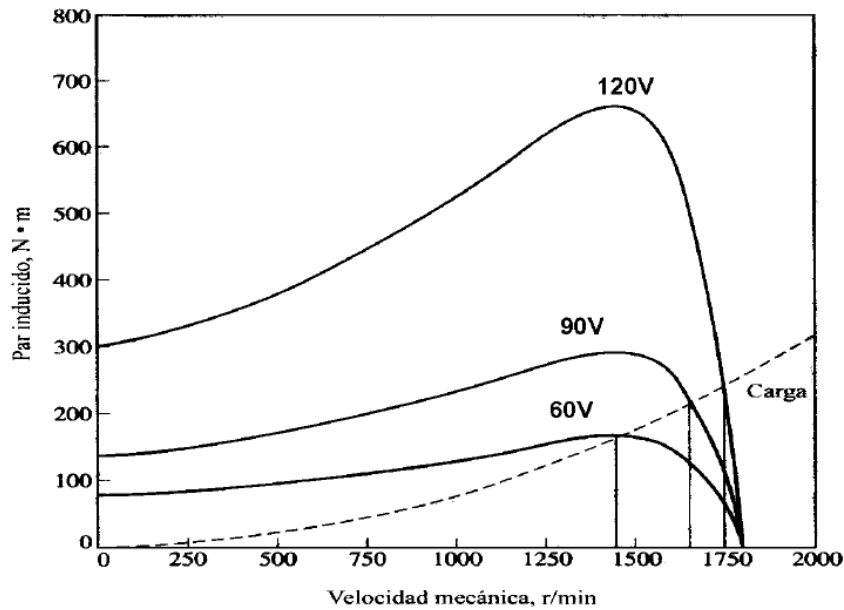


Figura 1.12 Control de velocidad por relación del voltaje de línea

#### 1.11.4 Control de la frecuencia de línea

Si se cambia la frecuencia eléctrica aplicada al estator de un motor de inducción, la velocidad de rotación de sus campos magnéticos  $S$  cambiará en proporción directa al cambio de frecuencia eléctrica, y el punto de vacío sobre la curva característica par – velocidad cambiará con ella. La velocidad sincrónica del motor en condiciones nominales se conoce como velocidad base. Utilizando control de frecuencia variable, es posible ajustar la velocidad del motor por encima o por debajo de la velocidad base, tal como se muestra en la figura 1.13, en donde la velocidad base es de 1800 rpm.

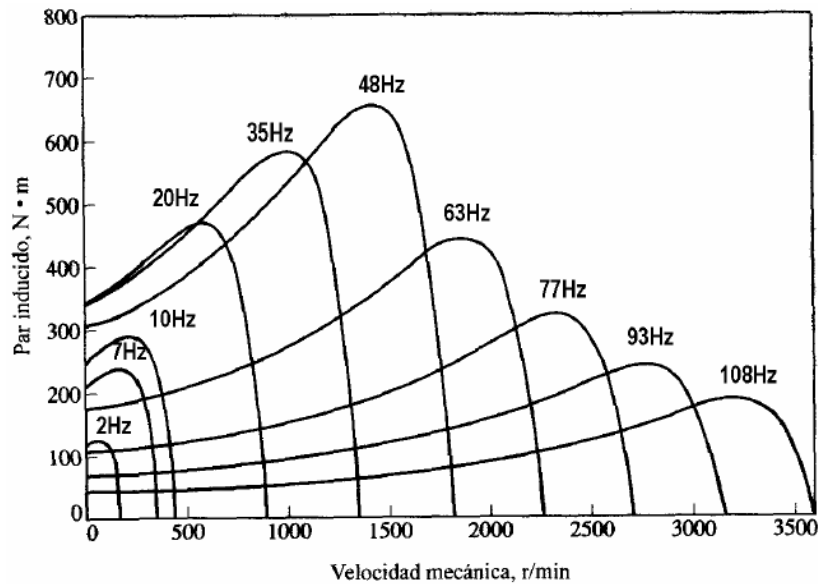


Figura 1.13 Curvas características par – velocidad para todas las frecuencias

## 1.12 Velocidad ajustable con manejo de PWM

El método preferido hoy en día para el control de la velocidad en los motores de inducción es utilizar accionamientos de estado sólido de frecuencia variable.

El voltaje de salida y el control de frecuencia se logra utilizando las técnicas de modulación por ancho de pulso (PWM), que se describirán más adelante (2.2). Tanto la frecuencia de salida como el voltaje de salida pueden controlarse independientemente por medio de la modulación de ancho de pulso.

Se puede controlar la frecuencia de salida mientras mantiene un nivel de voltaje efectivo constante, o viceversa se puede tener constante la frecuencia y controlar el nivel de voltaje efectivo, todo esto dependiendo de la aplicación en el proceso que tenga el motor de inducción.

## 1.13 Técnicas de control para motores de inducción trifásicos

### 1.13.1 Concatenación

Un motor de inducción de rotor devanado y uno de jaula de ardilla se acoplan mecánicamente al mismo eje y a la misma carga, y se conectan eléctricamente de forma que el segundo elemento reciba entrada de la excitación del estator desde el rotor en circuito abierto del primero. Si el primer motor tiene  $P_1$  polos,

y el segundo P2, la velocidad sincronía de los dos motores a la frecuencia  $f_1$  es:

$$S_1 = \frac{120 f_1}{P_1} \quad \text{y} \quad S_2 = \frac{120 f_2}{P_2}$$

y la velocidad para los dos motores concatenados en cascada directa es:

$$S = \frac{120 f_1}{P_1 + P_2} \quad (1.8)$$

La concatenación, como método de control de velocidad, posee la ventaja de variaciones de la velocidad más amplias y suaves de los motores de inducción por encima y por debajo de las velocidades síncronas, en comparación con la variación polar y el control de la resistencia secundaria. Los inconvenientes, sin embargo, son:

1. Bajo rendimiento durante el funcionamiento en cascada
2. Pobre regulación de la velocidad con resistencia de rotor añadida
3. Bajo par de arranque y de vacío

### 1.13.2 El Sistema De Leblanc

Este sistema es análogo a la concatenación de motores de rotor bobinado en cascada dual, con la sustitución de un motor de rotor bobinado por un convertidor de frecuencia de inducción y del control de la resistencia secundaria variable por un transformador regulable trifásico (variac).

Cuando el motor de inducción de rotor bobinado alcanza una velocidad síncrona (cero deslizamiento), el rotor del convertidor de frecuencia se conduce

a la velocidad síncrona en un sentido de rotación opuesto a su campo magnético giratorio.

Análogamente, cuando el rotor alcanza un valor inferior a la velocidad síncrona, se produce un campo magnético que gira a una velocidad que es la diferencia entre la velocidad síncrona,  $S$ , y la velocidad del motor de rotor devanado,  $S(1-s)$ . De esta forma, a un deslizamiento  $s$ , la frecuencia del motor  $f_2$  igual a  $sf_1$  y la frecuencia del campo giratorio del convertidor de frecuencia a este deslizamiento  $s$  es la diferencia entre la frecuencia de línea  $f_1$  y la frecuencia del inducido  $f_1(1-s)$ .

$$f_2 = f_1 - f_1(1-s) = sf_1 \quad (1.9)$$

El significado de esta ecuación es que la frecuencia del convertidor de frecuencia es siempre la misma que la frecuencia del rotor devanado. En el sistema Leblanc de velocidad del motor es proporcional al voltaje exterior secundario (ajustado por el autotransformador variable que alimenta al convertidor de frecuencia por medio de los anillos colectores) y a la posición de la escobilla que controla la fase del voltaje secundario con respecto al voltaje inducido en el rotor devanado mediante su flujo de excitación primario.

El sistema Leblanc, es por tanto, un método de control de voltaje exterior mucho más eficaz para motores de elevados valores de potencia.

### 1.13.3 El Sistema De Control De Kramer

Basado en el principio de Leblanc, este método difiere en que el transformador variable va conectado a los anillos colectores del motor bobinado en vez de la línea. Como en el caso del sistema de Leblanc, la frecuencia del rotor bobinado  $f_2$  es también la frecuencia del voltaje en el conmutador. Decalando la posición de fase de las escobillas se alterará el factor de potencia del motor de rotor devanado, e incrementando el voltaje aplicado al rotor del convertidor se incrementará la velocidad. Se pueden conseguir velocidades superiores e inferiores a la síncrona. Además, el convertidor de frecuencia también actúa como motor al convertir la potencia que se le suministra a través del autotransformador en potencia mecánica disponible en el eje.

Las mayores aplicaciones de los sistemas de Leblanc y de Kramer son para grandes motores de rotor bobinado de 500CV hasta unos 3000 CV. Las ventajas de devolver la energía al sistema, además de las bajas pérdidas en la línea del convertidor y el autotransformador (el aparato eléctrico de mayor rendimiento desarrollado hasta el momento), combinado con la ventaja de corrección del factor de potencia, hace que el sistema de Kramer sea particularmente útil en aplicaciones de control de la velocidad de elevada potencia. Su mayor inconveniente reside en su elevado costo inicial <sup>1)</sup>.

#### **1.13.4 Sistema De Scherbius**

Este sistema, fruto del sistema de Leblanc y análogo al de Kramer, es totalmente de c.a. y emplea un convertidor de frecuencia variable directamente acoplado al motor de rotor bobinado. La salida de las tres escobillas del convertidor de frecuencia variable va a un convertidor de regulación de frecuencia acoplado a un motor de inducción de jaula cuyo estator se conecta a la fuente de alimentación de ca polifásica. Las escobillas del convertidor de regulación de frecuencia ( $f_1$ ) están conectadas directamente a los anillos colectores de la máquina de rotor bobinado ( $f_2 = sf_1$ ) y también a la excitación de transformador de control de velocidad.

Los inconvenientes son, que no tiene ajuste del factor de potencia y requiere máquinas especiales no comerciales. Como en los sistemas anteriores de control de deslizamiento de tensión exterior la energía se devuelve a la línea (regeneración).

#### **1.14 Control de velocidad por procedimientos mecánicos**

Estos motores se construyen en grupos montados que accionan dispositivos mecánicos variadores de velocidad, de engranajes, poleas cilíndricas y cónicas e incluso bombas hidráulicas para producir una salida de velocidad variable.

---

1) [www.140.148.3.250/u\\_dl\\_a/servlet/mx.udlap.ict.com](http://www.140.148.3.250/u_dl_a/servlet/mx.udlap.ict.com)

## CAPITULO II

### 2. INVERSORES Y VARIADORES DE FRECUENCIA

#### 2.1 Introducción

Los convertidores de cd a ca se conocen como inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada en cd a un voltaje simétrico de salida en ca, con la magnitud y frecuencias deseadas. Tanto el voltaje de salida como la frecuencia pueden ser fijos o variables.

Si se modifica el voltaje de entrada de cd y la ganancia del inversor se mantiene constante, es posible obtener un voltaje variable de salida. Por otra parte, si el voltaje de entrada en cd es fijo y no es controlable, se puede obtener un voltaje variable de salida si se varía la ganancia del inversor, esto por lo general se hace controlando la modulación del ancho de pulso (PWM) dentro del inversor. La ganancia del inversor se puede definir como la relación entre el voltaje de salida en ca y el voltaje de entrada en cd.

En los inversores ideales, las formas de onda del voltaje de salida deberían ser senoidales. Sin embargo, en los inversores reales no son senoidales y contienen ciertas armónicas. Para aplicaciones de mediana y baja potencia, son necesarias las formas de onda senoidales de baja distorsión.

Dada la disponibilidad de los dispositivos semiconductores de potencia de alta velocidad, es posible minimizar significativamente el contenido armónico del voltaje de salida mediante las técnicas de conmutación.

El uso de los inversores es muy común en aplicaciones industriales tales como la propulsión de motores de ca de velocidad variable, la calefacción por inducción, las fuentes de respaldo y las de poder. La entrada puede ser una batería, una celda de combustible, una celda solar u otra fuente de cd.

Los inversores se pueden clasificar básicamente en dos tipos:

1. Inversores monofásicos, y
2. Inversores trifásicos.

Cada tipo puede utilizar dispositivos con activación y desactivación controlada (BJT, MOSFET, IGBT, MCT, SIT, GTO) o tiristores de conmutación forzada, según la aplicación. Estos inversores utilizan por lo general señales de control PWM, para producir un voltaje de salida en ca.

Un inversor se llama inversor alimentado por voltaje (VFI) si el voltaje de entrada se conserva constante; inversor alimentado por corriente (CFI) si la corriente de entrada se conserva constante, e inversor enlazado en cd variable si el voltaje de entrada es controlable.<sup>1)</sup>

## **2.2 Tipos de Inversores**

Como se detalla anteriormente existen dos tipos de inversores que a continuación detallaremos cada uno de estos y además entraremos a un análisis de inversores por medio de un control PWM.

---

1) Electrónica de Potencia, Rashid Muhammad

### **2.2.1 Inversores Monofásicos.**

Como se puede observar la figura 2.1. de un circuito típico monofásico. La entrada  $V_i$  es una onda cuadrada entre 0 y 5 V de 1kHz que se obtendrá del generador de señales (que ha de ser ajustado previamente, regulando la amplitud y el nivel de OFFSET). Las resistencias  $R_B$ ,  $R_C$  y  $R_D$  sirven para que los transistores funcionen entre corte y saturación el bipolar ( $V_T=200$ ).

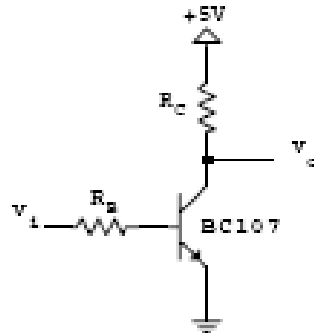


Figura 2.1: Inversor monofásico

La conducción se establece en forma diagonal, los transistores Q1 y Q2 conducen al mismo tiempo durante un semiciclo y luego en el otro semiciclo conducen Q3 y Q4. Siempre y sin excepción la conducción, cualquiera sea los elementos utilizados se realiza en conmutación, es decir los estados son corte y saturación, nunca quedan operando en zona activa, salvo el momento en que se produce la conmutación. Dichos transistores operan de acuerdo a la señal que reciben en sus bases según la figura 2.2, para el caso de que la salida aplicada a la carga se pretenda de onda cuadrada, la señal será también cuadrada.

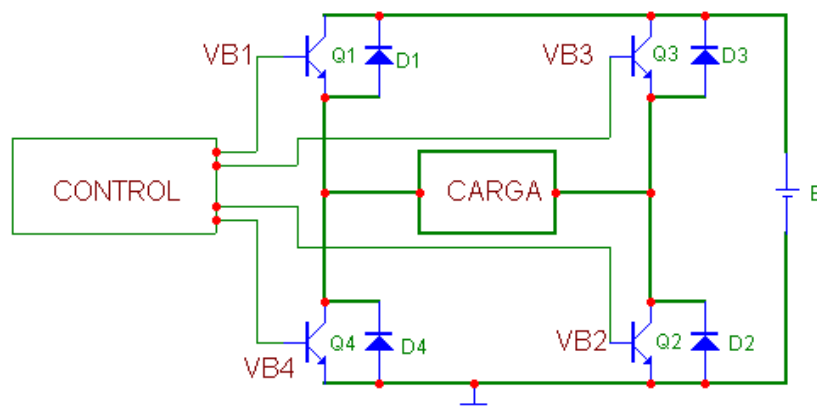


Figura 2.2: Puente Inversor Monofásico



La corriente de carga es un parámetro dependiente y por tanto adoptará una forma de onda impuesta por dicha carga.

La tensión de salida aplicada sobre la carga. Para una carga R pura la corriente tendrá esta misma forma de onda, mientras que para una carga inductiva L pura, la corriente será lineal por tramos y atrasada en  $90^\circ$  de la tensión como se ve en la figura 2.3.

Puede apreciarse aquí la intervención de los diodos que conducen durante un tiempo de  $T/4$ , de manera que los transistores en este caso han reducido su tiempo de conducción que para carga R pura es de  $T/2$ , a tan solo  $T/4$ .

En efecto cuando conducen los transistores Q1 y Q2 tenemos tensión en la carga positiva y corriente positiva, por tanto la potencia entregada a la carga es positiva, la fuente entrega energía a la carga, mientras que cuando conducen los diodos D3 y D4, la tensión es negativa y la corriente sigue siendo positiva, resultando una potencia negativa, la carga devuelve energía a la fuente. Como la carga es L pura, la energía puesta en juego es puramente reactiva, no hay consumo de energía y en consecuencia toda la energía recibida por la inductancia es devuelta a la fuente.

Los dos casos vistos de carga R pura y L pura en la práctica solo pueden aproximarse a casos particulares, por ejemplo cuando la carga se acopla a través de un transformador de salida, cabe hacer el estudio para el caso de que dicho transformador se encuentre en vacío, siendo entonces los resultados muy similares al de carga inductiva pura.

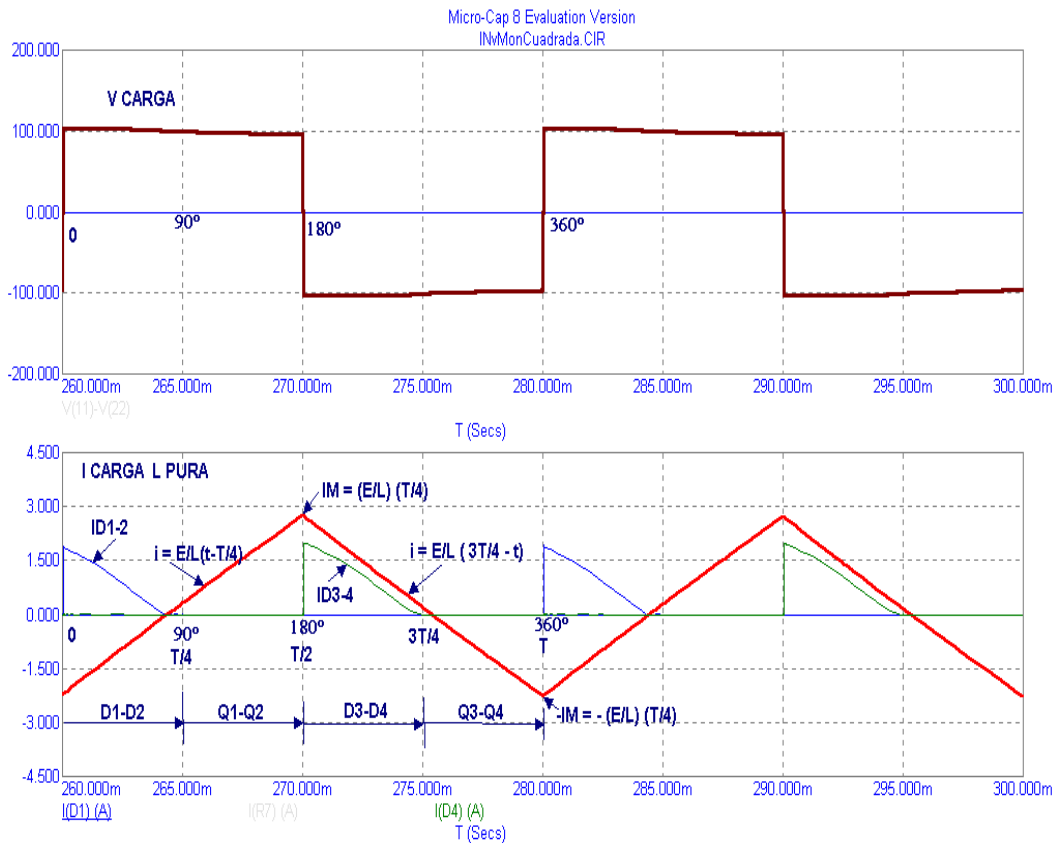


Figura 2.3: Curvas Carga R - L

Los casos reales en general son de una carga RL, como el analizado en la figura 2.3. Después, nótese aquí como se ha reducido el tiempo de conducción de los diodos y ha mejorado el defasaje entre corriente y tensión.

### 2.2.2 Inversores Trifásicos.

Los inversores trifásicos se utilizan normalmente en aplicaciones de alta potencia. Tres inversores que pueden ser de medio puente ó puente completo, se pueden conectar en paralelo para formar la configuración de un inversor trifásico. Las señales de compuerta de los inversores monofásicos deben adelantarse o retrasarse  $120^\circ$  uno con respecto al otro con el fin de obtener voltajes trifásicos balanceados<sup>1)</sup>.

Los embobinados primarios del transformador deben aislarse uno al otro, en tanto que los embobinados secundarios pueden quedar conectados en estrella o delta. Por lo general, el secundario del transformador se conecta en estrella, con el fin de eliminar armónicos múltiples de 3 ( $n = 3, 6, 9, \dots$ ) que aparecen en los voltajes de salida como se muestra en la figura 2.4.

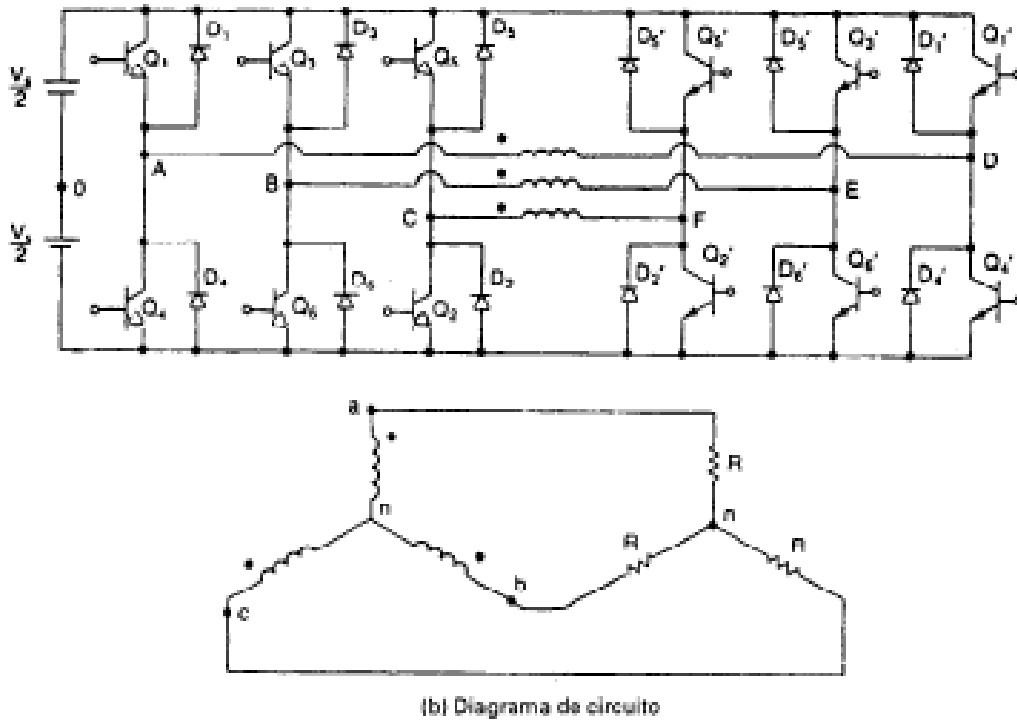


Figura 2.4: Inversor Trifásico 12 transistores 12 diodos

1) Electrónica Rashid pag.364

Este dispositivo requiere de tres transformadores monofásicos, 12 transistores y 12 diodos, si los voltajes de salida de los inversores monofásicos no están perfectamente equilibrados en magnitud y en fase, los voltajes de salida trifásicos tampoco estarán equilibrados, se puede obtener una salida trifásica a partir de una configuración de seis transistores y seis diodos, como se muestra en la Figura 2.5:

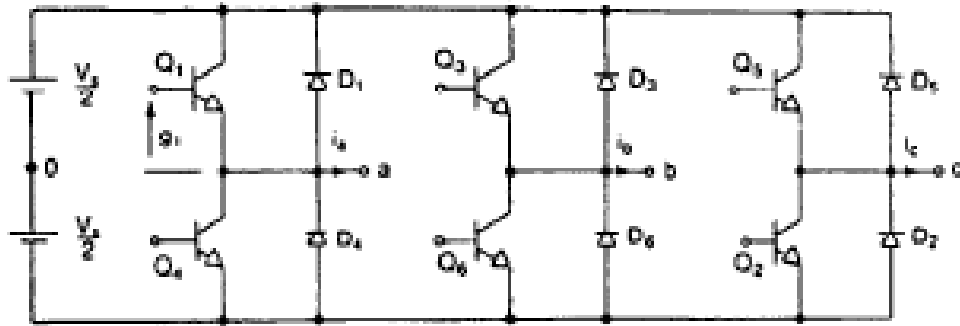


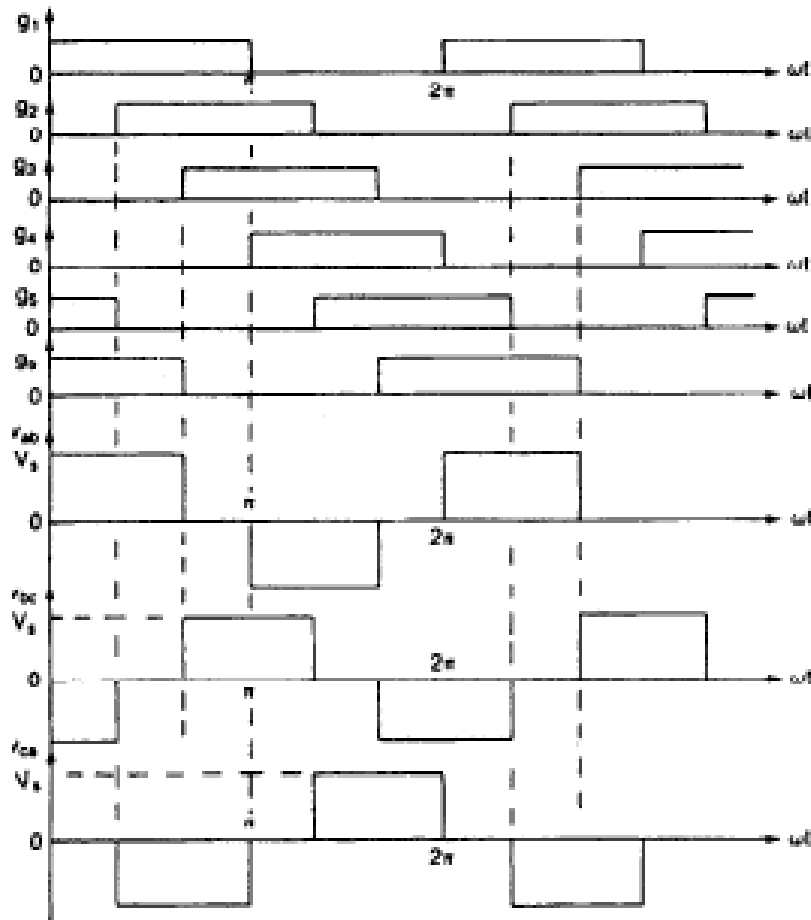
Figura 2.5: Inversor Trifásico 6 transistores 6 diodos

A los transistores se les puede aplicar dos tipos de señales de control: conducción a  $180^\circ$  ó conducción a  $120^\circ$ .

- **Conducción a  $180^\circ$**

Cada transistor conducirá durante  $180^\circ$  según la figura 2.6. Tres transistores se mantienen activos durante cada instante del tiempo.

Cuando el transistor  $Q_1$  está activa, la terminal a se conectaron la terminal positiva de entrada. Cuando se activa el transistor  $Q_4$  la Terminal a se lleva a la terminal de negativa de la fuente de DC, en cada ciclo existe seis modos de operación, cuya duración es de  $60^\circ$ . Los transistores se numeran según su secuencia de operación.



(b) Formas de onda para conducción a 180°

Figura 2.6: Formas de onda para conducción a 180°

Las cargas pueden conectarse en estrella o delta, En el caso de una carga conectada en delta, las corrientes de fase se obtiene directamente de los voltajes línea a línea. Una vez que se conecta la corriente de fase, pueden determinarse las corrientes de línea.

Ahora analizaremos el caso de una carga conectada en estrella. Los voltajes de línea a neutro deben determinarse a fin de encontrar las corrientes de línea o de fase. Existen tres modos de operación en un medio ciclo <sup>1)</sup> de la figura 2.4 tenemos:

1) Electrónica de Rashid, pag 364

Durante el modo 1 para  $0 \leq \omega t < \pi/3$

$$R_{eq} = R + \frac{R}{2} - \frac{3R}{2} \quad (2.1)$$

$$i_1 = \frac{V_s}{R_{eq}} - \frac{2V_s}{3R} \quad (2.2)$$

$$V_{an} = V_{cn} = \frac{R i_1}{2} = \frac{V_s}{3} \quad (2.3)$$

$$V_{bn} = -i_1 * R = -\frac{2V_s}{3} \quad (2.4)$$

Durante el modo 2 para  $\pi/3 \leq \omega t < 2\pi/3$

$$R_{eq} = R + \frac{R}{2} - \frac{3R}{2} \quad (2.5)$$

$$i_2 = \frac{V_s}{R_{eq}} - \frac{2V_s}{3R} \quad (2.6)$$

$$V_{an} = i_2 * R = \frac{2V_s}{3} \quad (2.7)$$

$$V_{bn} = V_{cn} = -\frac{R i_2}{2} = -\frac{V_s}{3} \quad (2.8)$$

Durante el modo 3 para  $2\pi/3 \leq \omega t < \pi$

$$R_{eq} = R + \frac{R}{2} - \frac{3R}{2} \quad (2.9)$$

$$i_3 = \frac{V_s}{R_{eq}} - \frac{2V_s}{3R} \quad (2.10)$$

$$V_{cn} = -i_3 * R = -\frac{2V_s}{3} \quad (2.11)$$

$$V_{an}=V_{bn}=\frac{Ri_3}{2}=\frac{V_s}{3} \quad (2.11)$$

Como se muestra en la figura 2.7 podemos observar, los voltajes línea a neutro.

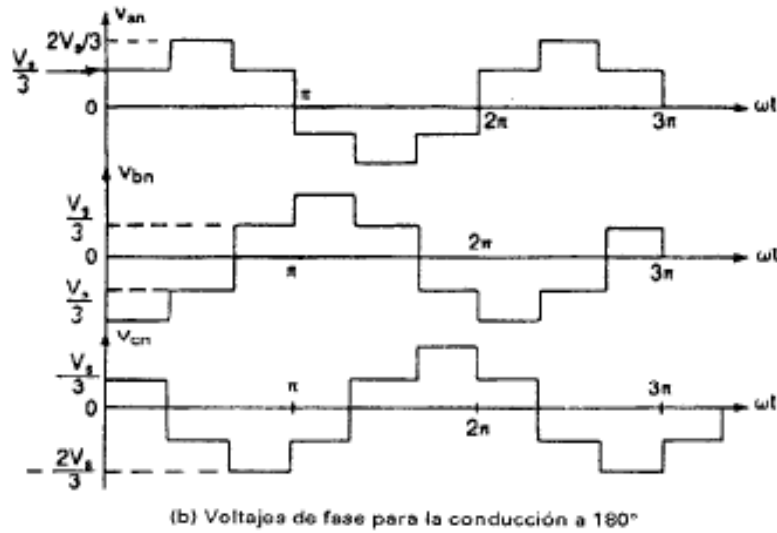


Figura 2.7: Voltaje para conducción de 180°

El voltaje instantáneo línea a línea  $V_{ab}$ , se lo puede expresar en una serie de Fourier. Reconociendo que  $V_{ab}$  esta desplazada  $\pi/6$  y las armónicas pares son cero.

$$V_{ab} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \text{sen} \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right) \quad (2.12)$$

Los voltajes  $V_{bc}$  y  $V_{ca}$  pueden determinarse a partir de la ecuación anterior mediante el desplazamiento de fase de  $V_{ab}$  en  $120^\circ$  y  $240^\circ$ , respectivamente.

$$V_{bc} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \text{sen} \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.13)$$

$$V_{ca} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \text{sen} \left( \omega t - \frac{7\pi}{6} \right) \quad (2.14)$$

El voltaje rms línea a línea se puede determinar a partir de:

$$V_L = \sqrt{\left[ \frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi/3} V_s^2 d(\omega t) \right]} = \sqrt{\frac{2}{3}} V_s \quad (2.15)$$

El voltaje rms línea a neutro se puede determinar a partir de:

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2} V_s}{3} \quad (2.16)$$

Con cargas resistivas, los diodos a través de los transistores no tienen función. Si la carga es inductiva, la corriente de cada brazo de inversor se reemplazará en relación con su voltaje como se indica en la figura 2.8, cuando el transistor Q4 está desactivado, la única trayectoria para la corriente de línea negativa  $i_a$  es a través del Q1. De ahí que la terminal de la carga a esté conectado a la fuente de carga dc a través de Q1 hasta que se invierta la polaridad de la corriente de la carga en el tiempo  $t=t_1$  durante el periodo  $0 \leq t \leq t_1$ , el transistor Q1 no conduce en forma similar, la conducción del transistor Q4 sólo arrancará en  $t=t_2$ . Los transistores deben ser disparados continuamente, dado que el tiempo de conducción de los transistores y de los diodos depende del factor de potencia de la carga.

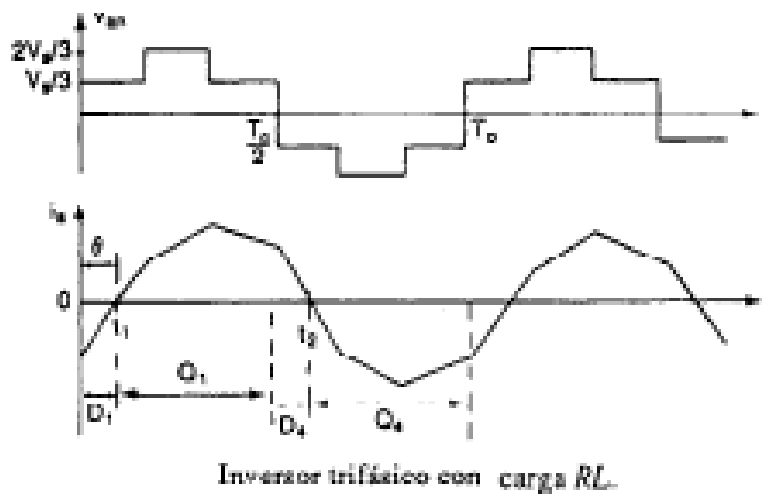


Figura 2.8: Inversor Trifásico carga RL



En el caso de una carga conectada en estrella, el voltaje de fase es  $v_{an} / \sqrt{3}$  con un retraso de  $30^\circ$ . La corriente de línea  $i_a$  para una carga  $RL$  está dada por:

$$i_a = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left[ \frac{4V_s}{\sqrt{3}n\pi\sqrt{K^2 + (n\omega L)^2}} \cos \frac{n\pi}{6} \right] \text{sen}(n\omega t - \theta_n) \quad (2.17)$$

Donde  $\theta_n = \tan^{-1}(n\omega L / R)$

- **Conducción a  $120^\circ$**

En este tipo de control, cada transistor conduce durante  $120^\circ$ . En cualquier instante de tiempo, solo conduce dos transistores. La secuencia de conducción de las transistores es Q6, Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6. Existen tres modos de operación en un medio ciclo como se indica en la figura 2.9.

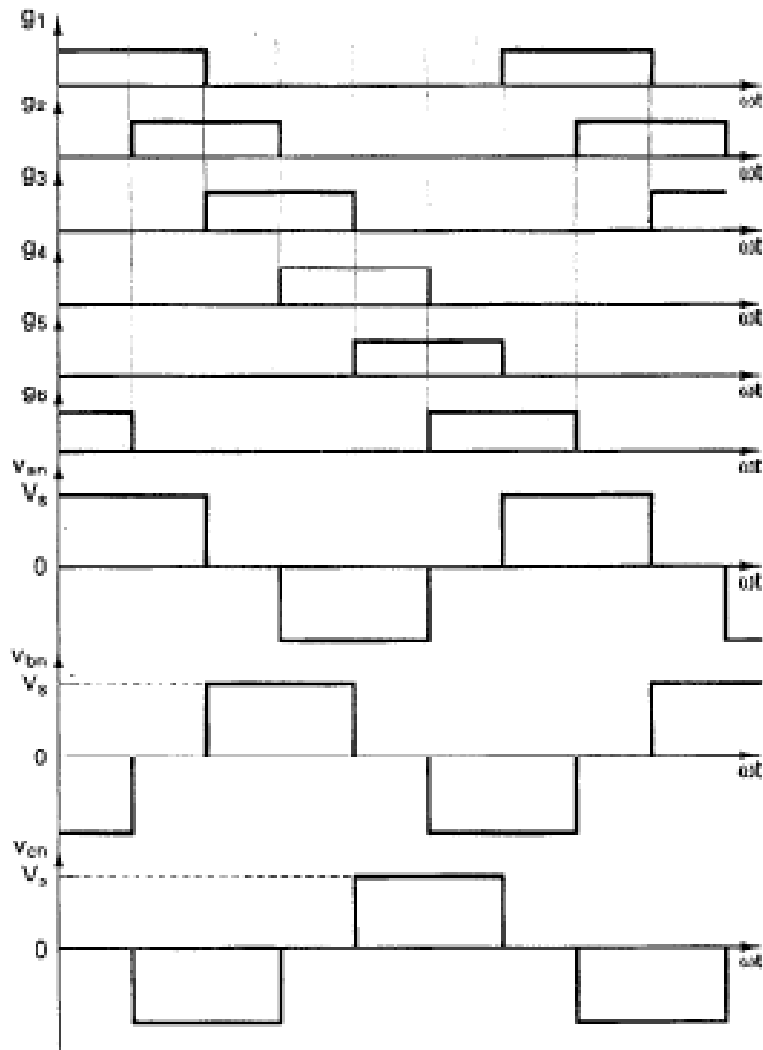
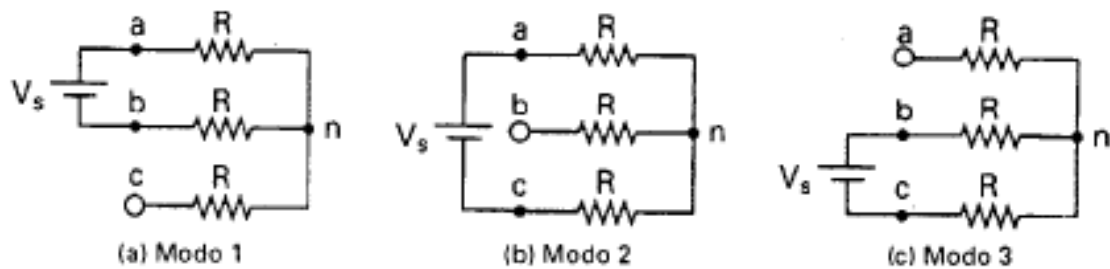


Figura 2.9: Señales de compuerta para conducción a 120°

Los circuitos equivalentes para una carga conectada en estrella se muestra en la figuras 2.10 (a,b,c) de abajo.



Figuras 2.10 (a,b,c)

Durante el modo 1 para  $0 \leq \omega t \leq \pi/3$ , conduce los transistores 1 y 6.

$$v_{an} = \frac{V_s}{2} \quad v_{bn} = -\frac{V_s}{2} \quad v_{cn} = 0$$

Durante el modo 2 para  $\pi/3 \leq \omega t \leq 2\pi/3$ , conduce los transistores 1 y 2.

$$v_{an} = \frac{V_s}{2} \quad v_{bn} = 0 \quad v_{cn} = -\frac{V_s}{2}$$

Durante el modo 3 para  $2\pi/3 \leq \omega t \leq \pi$ , conduce los transistores 2 y 3.

$$v_{an} = 0 \quad v_{bn} = \frac{V_s}{2} \quad v_{cn} = -\frac{V_s}{2}$$

Los voltajes de línea a neutro se puede expresar en una serie de Fourier como:

$$v_{an} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \operatorname{sen} \left( \omega t + \frac{\pi}{6} \right) \quad (2.18)$$

$$v_{bn} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \operatorname{sen} \left( \omega t - \frac{\pi}{6} \right) \quad (2.19)$$

$$v_{cn} = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \cos \frac{n\pi}{6} \operatorname{sen} \left( \omega t - \frac{7\pi}{6} \right) \quad (2.20)$$

El voltaje de línea  $a$  y  $b$  es  $v_{ab} = \sqrt{3}V_{an}$  con un adelanto de fase de  $30^\circ$ .<sup>1)</sup> Existe un retraso de  $\pi/6$  entre la desactivación de  $Q_1$  y la activación de  $Q_4$ . Por lo tanto, no debe existir un corto circuito en la alimentación de cd a través de un transistor superior y uno inferior. En cualquier momento, dos terminales de la carga están conectadas con la alimentación de cd y la tercera se conserva abierta. El potencial de esta terminal abierta depende de las características de la carga y es impredecible. Dado que un transistor conduce  $120^\circ$ , para una misma condición de la carga los transistores se utilizan menos que en la conducción a  $180^\circ$ .

---

1) Electrónica Rashid, pag 372

### 2.2.3 Inversores con control PWM.

Las técnicas de control PWM han sido ampliamente estudiadas. Con el objetivo de obtener una señal con magnitud y frecuencia controlada, se aplica una señal moduladora con la frecuencia deseada y se compara con una señal portadora triangular como se muestra en la figura 2.11.

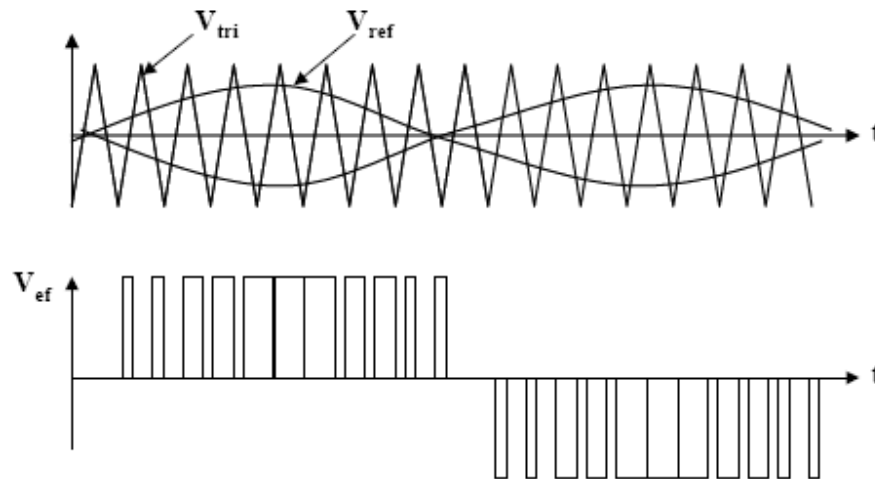


figura 2.2.6. Estrategia utilizando modulación de anchura de pulso sinusoidal

Figura 2.11 : Modulación de anchura de pulso sinusoidal

Para generar una tensión multinivel es necesaria una extensión de la estrategia que se muestra en la figura anterior.

### 2.2.3.1. Alta frecuencia.

Consiste en la obtención de una onda sinusoidal a base de sumar una serie de impulsos de misma amplitud y diferente ancho, y cuyo valor medio instantáneo coincida con el de una senoide.

En la figura 2.12 se puede apreciar una onda sinusoidal y su equivalente PWM a alta frecuencia.

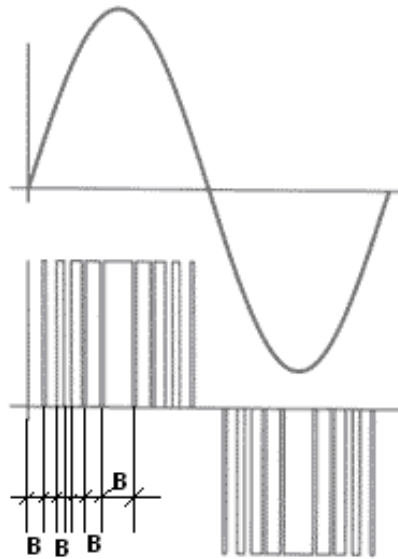


Figura 2.12 : onda senoidal y su equivalente PWM a alta frecuencia.

Como interesa que el troceado de la senoide sea alto, implica que la frecuencia de conmutación sea elevada. Por tanto los dispositivos electrónicos de conmutación han de responder a alta frecuencia, por ejemplo los transistores MOS o los IGBT.

### 2.2.3.2. Dos niveles.

La figura 2.13 describe como los vectores de estado están definidos en el sistema. El objetivo es representar magnitudes senoidales mediante fasores. El eje real  $\alpha$  coincide con el valor de la tensión de entrada del filtro pasabajos. El eje imaginario  $\beta$  es ortogonal. La proyección de los fasores sobre el eje real proporciona el valor instantáneo de la variable. Los vectores de estado representan los valores de tensión fija que proporciona el convertidor. Adecuadamente promediados, permiten generar la tensión de salida. Los vectores de estado que se pueden aplicar a la entrada del filtro pasabajos son tres:  $V_2 = rtVi + j0$ ,  $V_0 = 0 + j0$  y  $V_1 = -rtVi + j0$ , donde  $rt$  es la relación de transformación, de tal forma que la posición relativa del vector de referencia en el semiplano derecho o izquierdo define que vector es el que se tiene que

utilizar. La proyección del vector de referencia sobre el eje horizontal define el ciclo de trabajo del vector de estado.

Los vectores de estado se pueden generar utilizando de forma conjunta al convertidor del lado del primario y al convertidor del lado del secundario. A las diferentes combinaciones que se pueden utilizar para generar los vectores de estado les llamaremos vectores de estado de conmutación.

El vector de referencia se define como:

$$\mathbf{V}_{\text{ref}} = m e^{j\theta} \begin{cases} \theta = \omega t \\ \omega = 2\pi f_o \end{cases} \quad (2.22)$$

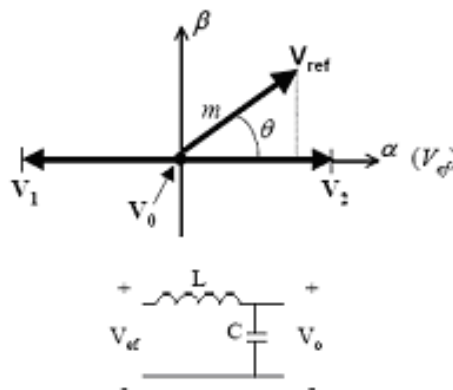


Figura 2.13: Vectores de estado están definidos en el sistema y tensión de entrada del filtro pasabajos

### 2.3 El Variador PowerFlex 70

El variador como equipo de estado sólido tiene características operacionales diferentes a los equipos electromecánicos, nos permite tener facilidad para la

aplicación, instalación y mantenimiento, permitiéndonos controlar y proteger equipos de gran capacidad.

A causa de las muchas variables y requisitos en cualquier instalación particular, el PowerFLex 70 es un equipo que nos permite una fácil manipulación a través de un panel de programación o de un PC ya que posee una interfase de comunicación y un software de fácil manejo.

### **2.3.1 Especificaciones y Dimensiones**

Se ha pensado en la comodidad para el montaje y mantenimiento en cualquier parte en la que se requiera el servicio de este variador.

El lugar donde se instale el variador debe poseer una ventilación adecuada lo cual ayudará a prolongar la vida útil del equipo, se ha pensado en otros objetos que trabajaran acorde a nuestro equipo, para lo cual el espacio necesario debe ser acorde con el tamaño del equipo.

Las especificaciones de este tipo de variador se indican en el Anexo A1, donde se detalla con más claridad sus dimensiones y características, en la figura 2.14 se muestra el espaciado mínimo que debe poseer el variador con respecto a otros elementos instalados:

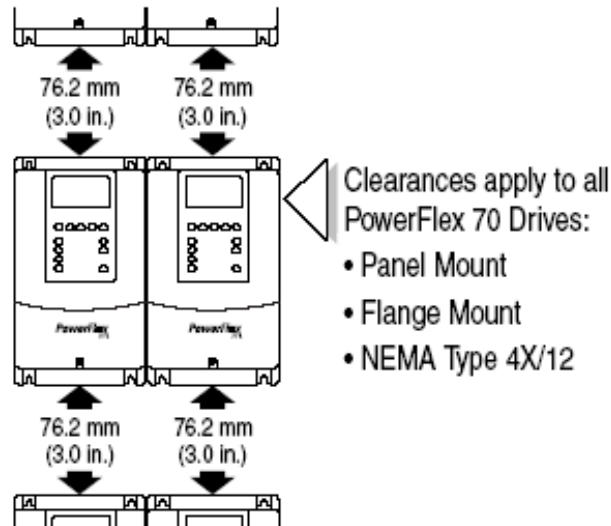


Figura 2.14: Distancia mínima en montaje

### 2.3.1.1 Características técnicas

Los datos y características técnicas vienen dados en los datos de placa del variador con su respectivo código y número de serie.

En el laboratorio de control electrónico se tiene disponible el variador Power Flex 70 con las siguientes características:

- Máxima altura de trabajo.....1000m(\*)
- Temperatura ambiente.....0 – 50 °C
- Tolerancia de frecuencia..... 47 – 63 Hz
- Eficiencia..... 97.5%
- Voltaje de trabajo..... 220/480v

---

\* Sobre ésta altura la capacidad del variador se reduce

### 2.3.2. Detalles de programación.



A continuación se detalla los parámetros de programación que se puede manejar en cada archivo del variador de frecuencia Power Flex 70 de los cuales los más importantes y los de mayor utilidad para nuestra aplicación se muestran en cada archivo.

Al navegar en el variador encontramos parámetros de visualización y programación que se puede setear para controlar y proteger al motor.

#### ARCHIVO A

<b>MONITOR</b>			
<b>GRUPO DE MEDICION</b>			
<b>Nº</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR</b>
001	Frecuencia de salida	frecuencia de trabajo	Visualización
003	Corriente de salida	corriente al motor	Visualización
006	Voltaje de salida	Voltaje hacia el motor	Visualización
007	Potencia de salida	Potencia salida	Visualización
008	Factor de Potencia	Factor de potencia salida	Visualización
<b>DATOS DE VARIADOR</b>			
027	Rango de voltaje	Voltaje de entrada	visualización/208-600V
028	Rango de corriente	Corriente admisible	Visualización/1,1-32,2A

Tabla 2.1: Especificaciones Archivo A\*

Existen más valores disponibles en este archivo (ver anexo A2).

---

\* Manual de funcionamiento Power Flex 70

#### ARCHIVO B

<b>CONTROL DEL MOTOR -</b>			
<b>DATOS DEL MOTOR</b>			
<b>Nº</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR</b>
040	Tipo de motor	seleccionar tipo de motor	Inducción Synchr Reluc

			Synchr PM
041	Voltaje del motor	Según rango de voltaje	Basado en rango motor
042	Corriente del motor	Según rango de corriente	Basado en rango motor
043	Frecuencia del motor	Frecuencia de trabajo	Basado en rango motor
044	RPM del motor	RPM	1750 rpm
045	Potencia del motor	Potencia	Basado en rango motor
046	Unidad Potencia	Potencia del Motor	Basado en rango motor
047	Frecuencia al motor	Selección de frecuencias de trabajo	Motor Hz
048	Factor del motor	nivel de sobrecarga	1
<b>ATRIBUTOS DE TORQUE</b>			
053	Modo de torque	Método de producción del torque	Sensrls Vect
055	Frecuencia Max.	Max. Frecuencia de salida	110/130Hz
062	IR Voltaje	Voltaje de compensación	Basado en rango motor

Tabla 2.2: Especificaciones Archivo B\*

Existen más valores disponibles en este archivo (ver anexo A3)

#### ARCHIVO C

<b>COMANDO DE VELOCIDAD -</b>			
<b>MODO DE VELOCIDAD Y LÍMITES</b>			
Nº	PARAMETRO	DESCRIPCION	VALOR
080	Modo de velocidad	Selección método de regul./velc.	Open Loop
081	Velocidad mínima	Límite mínimo	0Hz
082	Velocidda Max.	Maáxima velocidad	50/60Hz
083	Límite sobrevelocidad	Incremento de la salida de frecuencia	10Hz

Tabla 2.3: Especificaciones Archivo C\*

Existen más valores disponibles en este archivo (ver anexo A4).

#### ARCHIVO D

<b>CONTROL DINÁMICO</b>			
<b>RAMPAS</b>			
Nº	PARAMETRO	DESCRIPCION	VALOR
140	Tiempo de Aceleración	Incrementos Aceleración	10s
142	Tiempo de Desaceleración	reducción de velocidad	10s
<b>LIMITES DE CARGA</b>			
147	Corriente imite	Fuente de ajuste	valor de corriente límite/Análoga In 1/Análoga In 2

148	Valor de corriente límite	Valor	10 <sup>a</sup>
<b>PARADA/MODO DE FRENADO</b>			
155	Modo de parada	selección tipo de parada	Coast/ramp/ramp to hold/dc brake

Tabla 2.4: Especificaciones Archivo D\*

Existen más valores disponibles en este archivo (ver anexo A5).

## Archivos E, H y J

En estos archivos existen esquemas de programación que vienen seteados de fábrica los cuales no se hará mucha referencia por sus características.

### 2.3.2.1 Funcionamiento Automático/ Manual

Un proceso es mando por PC cuando en modo automático requiere control HIM durante el sep-up. La velocidad y control se por PC. Este es un módulo de comunicación que ha sido instalado en el variador.

---

\* Manual de funcionamiento Power Flex 70

La comunicación interna esta designada desde el Port 5, aquí es donde nosotros podremos comunicarnos automáticamente, por lo cual tendremos que setear "DIP Port 5"

#### Control manual:

- Presione ALT entonces se le visualizará Auto/Man en el HIM. Cuando el HIM se encuentre en control manual, el comando de manejo de velocidad

se visualiza para un control de velocidad HIM en el cual se podrá utilizar una llave o un potenciómetro analógico.

- Para la realización de un control automático se debe seguir los siguientes pasos:

- Cierre la entrada digital.

- Con la entrada cerrada, el comando de velocidad ahora se lo realizará mediante un potenciómetro.

### **Control Automático:**

- Para lograr un mando automático presione ALT seleccione Auto/Man. Nuevamente en HIM. Cuando el HIM realiza un control manual, el manejo de control regresa al PC.

La control automático se refiere al manejo de un PC a través del módulo de comunicación instalado. La comunicación interna esta designada desde el puerto Port 5, al cual se le colocara en "DPI Port 5" para el cual utilizaremos un switch que nos permitirá realizar la comunicación mediante el mando automático o manual.

Para la realización de un mando automático se debe seguir los siguientes pasos que son muy importantes

- Abra la entrada digital.
- Con la entrada abierta, el comando de velocidad regresa a funcionar por medio de un PC.

## Notas importantes del modo automático y manual.

1. El control manual es exclusivo. Si HIM o bloque de terminales tocan un control manual, sin otro comando puede tomar un control manual únicamente controlando por medio de un potenciómetro.
2. Si un HIM tiene un control manual y la energía puede ser removido del variador se puede regresar a un modo automático cuando esta energía pueda ser remplazada.

### 2.3.2.2 Entradas y Salidas analógicas/ digitales

El variador posee entradas/salidas análogas y digitales para su funcionamiento. En la tabla 2.5 se detalla las entradas y salidas digitales que posee este variador y que se pueden conectar dependiendo de la aplicación que se requiera.

Nº	SEÑAL	DATOS
1	Entrada Digital 1	Parada
2	Entrada Digital 2	Arranque
3	Entrada Digital 3	Auto/Man
4	Entrada Digital 4	Velocidad 1
5	Entrada Digital 5	Velocidad 2
6	Entrada Digital 6	Velocidad 3
7	+24v Común	--
8	Entrada Digital Común	--
9	+24v DC	--
10	+10v Potenciómetro Referencia	--
11	Salida Digital 1 - N.O.	No falla
12	Salida Digital 1 - común	
13	Salida Digital 1 - N.C.	Falla
14	Entrada Análoga 1(- voltios)	
15	Entrada Análoga 1(+ voltios)	
16	Entrada Análoga 1(- corriente)	
17	Entrada Análoga 1(+ corriente)	

18	Entrada Análoga 2(- voltios)	
19	Entrada Análoga 2(+ voltios)	
20	Entrada Análoga 2(- corriente)	
21	Entrada Análoga 2(+ corriente)	
22	Salida Analógica (-voltios) +10v Potenciómetro Común	Frecuencia de Salida
23	Salida Analógica (+voltios)	
24	Salida Digital 2 - N.O.	Run
25	Salida Digital 2 - común	
26	Salida Digital 2 - N.C.	No Run

Tabla 2.5: Señales digitales y análogas\*

### 2.3.2.3 Modos de Arranque

El variador de frecuencia Power Flex 70 nos da una opción para el arranque del equipo a controlar que se indica a continuación:

---

\* Manual de funcionamiento Power Flex 70

#### Arranque Acc Boost (\*)

Este tipo de arranque que utiliza el variador es para vencer rápidamente la inercia del motor con una inyección automática de voltaje. El voltaje puede variar desde 0 a  $V_n \cdot 0.25$

### 2.3.2.4 Modos de Frenado

El variador Power Flex 70 nos permite tener diferentes tipos de frenado de acuerdo a la protección y control que se desee dar al equipo.

#### Coast to Stop

En este método de frenado reduce el voltaje de alimentación inmediatamente a cero con lo que el motor se frenará de acuerdo a la condición mecánica (inercia, fricción, etc.). En la figura 2.15 se indica el comportamiento de este frenado.

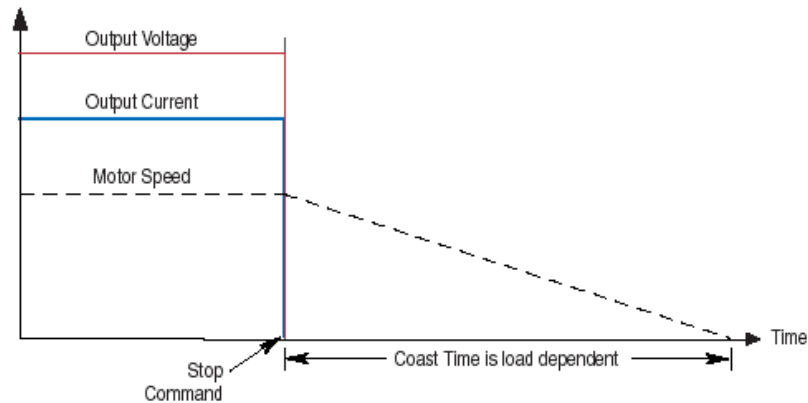


Figura 2.15: Frenado de motor COAST

---

\* Manual de funcionamiento Power Flex 70

### **Brake to Stop**

Este tipo de frenado detiene el motor por inyección de corriente continua. El voltaje DC es aplicado a las fases del motor y va a depender del DC Brake Time (Nº 159-Archivo D) para su demora en el frenado. En la figura 2.16 se indica el comportamiento del frenado.

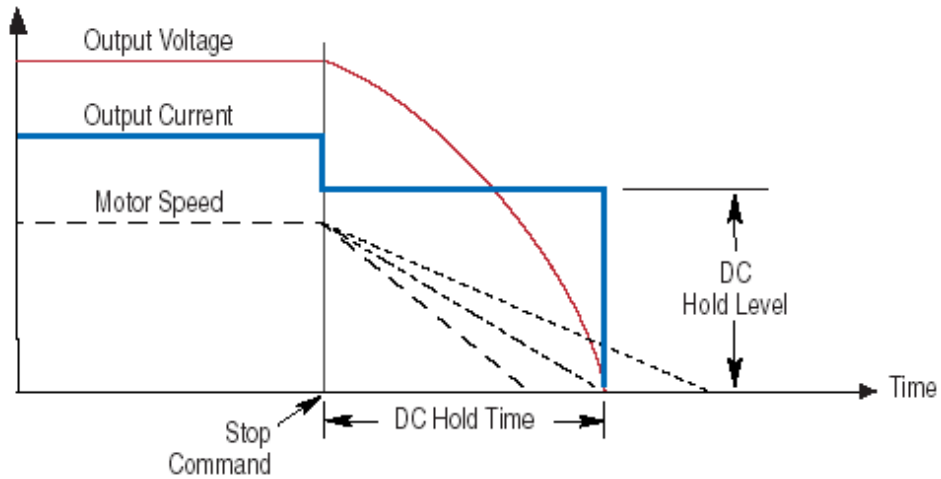


Figura 2.16: Frenado por BRAKE

### Ramp to Stop

El motor puede ser frenado de manera lineal o cuadrática dependiendo de los parámetros programados de "Maximun Freq" y de "Decel Time 1" en una rampa suave de frenado. En la figura 2.17 se indica el comportamiento del frenado.

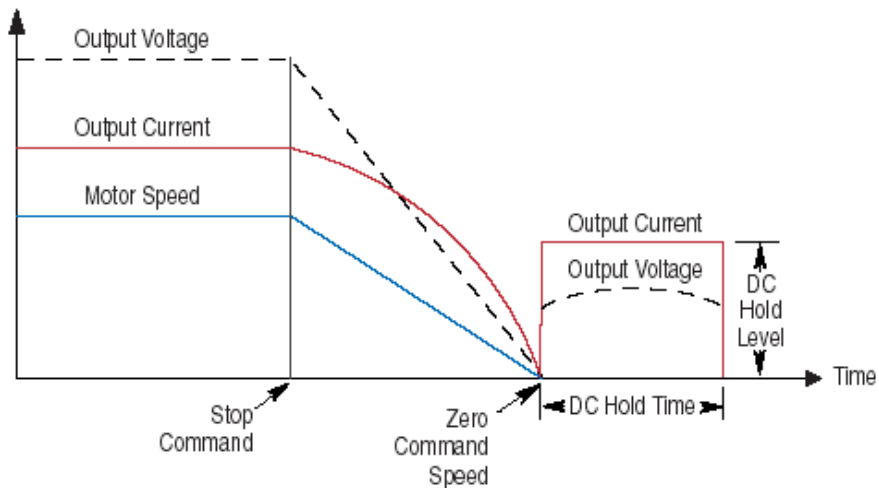


Figura 2.17: Frenado por RAMP

### Ramp to Hold

Este frenado combina los dos métodos anteriores con una inyección de corriente continua y al mismo tiempo con una rampa de desaceleración, lo que



hace que este frenado sea más delicado y suave. En la figura 2.18 se indica el comportamiento del frenado.

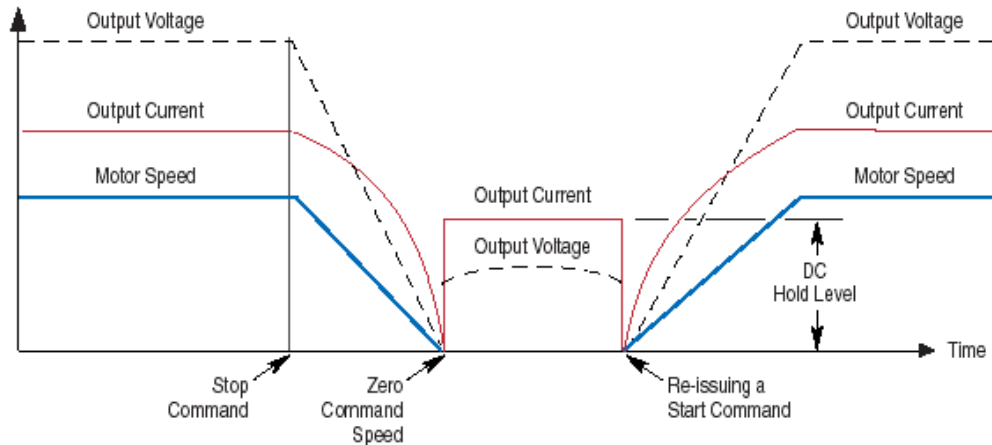


Figura 2.18: Frenado por RAMP TO HOLD

### 2.3.2.5 Tipos de alarmas y protecciones

Una falla es una condición de parada para el variador, en la tabla 2.6 describiremos tipos de alarmas y protecciones con el número de alarma que se presenta en el display, con su respectiva causa y posible solución.

Falla	Nº	Causa	Solución
Auxiliary Input	2	Entradas auxiliares abiertas	Revise cableado remoto
Power Loss	3	Voltaje menor con el 85% de $V_n$	Interrupción en línea/fuente de alimentación
UnderVoltage	4	Pérdida de voltaje de alimentación	Interrupción en línea de alimentación
OverVoltage	5	Voltaje excede el máximo valor	Línea de alimentación con sobrevoltaje. Extender el tiempo de desaceleración.
Motor Overload	7	Trip en control electrónico sobrecarga	Existe una excesiva carga a motor. Reducir la carga.
Heatsink OvrTemp	8	Se excede la temperatura en un	Revise la temperatura ambiente. Revisar ventilador

		100%	
--	--	------	--

Tabla 2.6: Alarmas y protecciones según manual Variador Power Flex 70

Se tiene un sin número de fallas más, que son poco comunes y se detallan en el anexo A6 del manual de funcionamiento.

### 2.3.2.6 Control Local y Remoto

El variador Power Flex 70 tiene la factibilidad de proporcionar al operador la capacidad de controlar al motor de forma local o remota, como se describe a continuación.

**Control Local:** Este variador tiene la facilidad de que al momento de conectar al sistema sin ningún otro dispositivo ya que tenemos el control desde el panel principal solamente utilizando la programación adecuada.

**Control Remoto:** Tenemos dos formas de tener un control remoto; la primera ya sea para nuestra aplicación de laboratorio, a través de un potenciómetro de mando de frecuencia conectado a las salidas analógicas 22 descritas en la sección 2.3.2.2. la cual nos permite tener una variación de velocidad del motor desde el mínimo valor al máximo; y la segunda un control neto desde un PC conectado por medio de una interfase de comunicación al puerto DPI del variador que nos permite realizar las actividades de programación directamente desde el software del Pc y así tener el control para los diferentes comandos sin necesidad de utilizar el panel de control, tomando en cuenta que para este cambio de local a automático sólo de debe conectar la comunicación al PC y energizar el variador una vez conectada la señal.

## 2.4 El Variador ABB

El variador ABB es un dispositivo de control y protección el cual nos permite obtener un mejor control debido a su amplio rango de programación

La información necesaria para su instalación, arranque y servicios se encuentra detallada en el manual de funcionamiento para el variador ABB ACS300. El manual también describe rasgos y funciones de el AC drive, además los requerimientos para las conexiones exteriores al mismo, cableado, calibre de cables y su asignación.

#### **2.4.1 Especificaciones y Dimensiones**

Para asegurar y colocar el variador para su funcionamiento, verifique que el montaje y la superficie sean relativos, el lugar debe ser abierto capaz que este tenga una buena ventilación. La dimensión máxima para el montaje para el ACS 300 es de ¼" (M6), excepto para un variador R2 que requiere ½" (M5).

Si múltiples unidades van a ser instaladas adyacentemente una continuación de otra la distancia mínima que deben tener entre ellas son:

- Unidades una continuación de otra, distancia mínima ½" (12mm)
- Unidades una sobre otra, la distancia será de 12" (300 mm)

Las dimensiones que posee este variador se muestran en la figura 2.19.

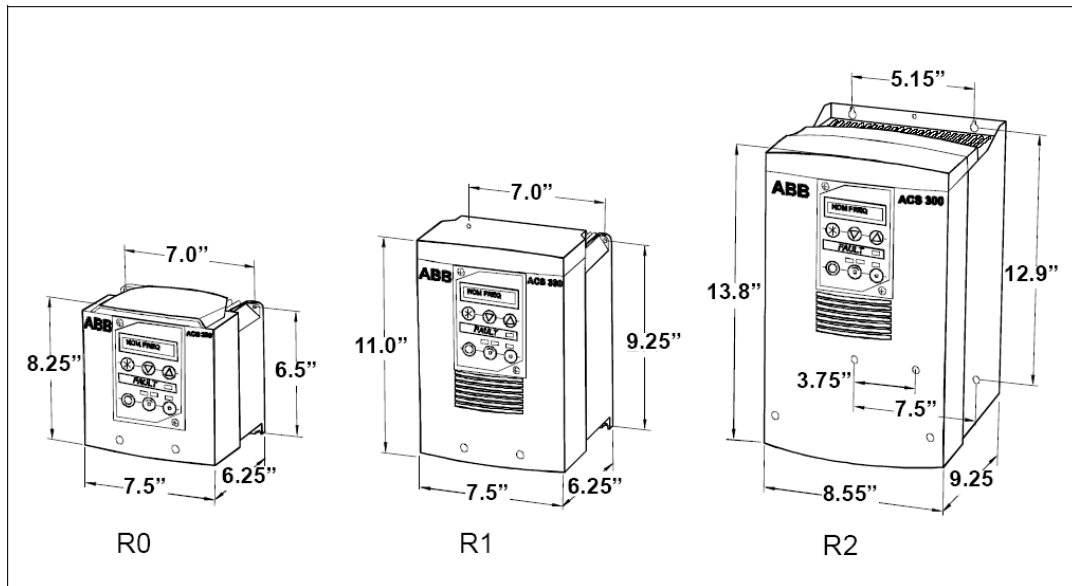


Figura 2.19: Dimensiones de variadores ACS 300

### 2.4.1.1 Características técnicas

Los datos y características técnicas vienen dados en los datos de placa del variador con su respectivo código y número de serie.

En el laboratorio se tiene disponible el variador ABB ACS 3\_1-4P9-3 con las siguientes características:

- Rango de corriente de entrada a las 3 fases....9.1 A
- Rango de corriente de salida nominal .....7.5 A
- Rango de sobrecorriente de salida.....11 A
- Potencia del variador..... 3 kw
- Voltaje de trabajo..... 220/480v
- Frecuencia ..... 0 – 500 Hz
- Máxima altura de trabajo.....1000m (\*)

## 2.4.2 Detalles de programación

Antes de navegar en la programación del variador es necesario conocer la manipulación correcta y la función que cumplen las teclas del display de control, tal como se muestra en la tabla 2.7:

\* Sobre ésta altura la capacidad del variador se reduce







Tecla del panel de control	Función
1 	Presione para cambiar entre el modo de visualización a modo de seteador. También para navegar entre páginas
2 	Presione para desplazar hacia arriba o para cambiar un valor de set de forma ascendente
3 	Presione para desplazar hacia abajo o para cambiar un valor de set de forma descendente
4 	Presionar para Encender /apagar en forma local, y también como reset de falla
5 	Presione para cambiar la dirección del motor. Este procedimiento solamente cuando el equipo trabaja de modo local
6 	Presione por 2seg. Para cambiar de modo local a modo remoto.

Tabla 2.7: Teclas direccionales panel de control ABB

Los parámetros de programación están divididos dentro de cuatro páginas, las cuales se muestran en la figura 2.20:

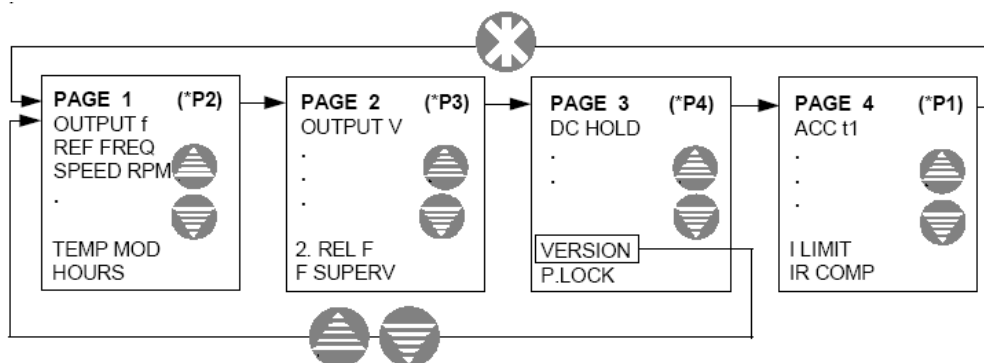


Figura 2.20: Páginas disponibles para programación variador ABB

A continuación se detalla los parámetros de programación que se puede manejar en cada pagina del variador de frecuencia ABB ACS300 de los cuales los más importantes y los de mayor utilidad para nuestra aplicación se muestran página a página. Al navegar en el variador encontramos parámetros de visualización y programación que se puede setear para controlar y proteger al motor.

## Página 1

COD.	PARAMETRO	RANGO	VALOR FABRICA	DESCRIPCION
101	Frecuencia salida	Visualización	----	Frecuencia del motor
102	Frecuencia remota / local	fmin – fmax	0hz	Frecuencia local o remota
103	Velocidad	Visualización	-----	RPM del motor
104	Salida de Corriente	Visualización	-----	Corriente del motor
106	Frecuencia mínima	0,0 - 200/500Hz	0hz	Frecuencia de entrada mínima de referencia
107	Frecuencia máxima	0,0 - 200/500Hz	50hz	Frecuencia de salida máxima
108	Tiempo de aceleración 1	0,1 – 1800 segundos	3 s	Tiempo de rampa de aceleración
109	Tiempo de desaceleración 1	0,1 – 1800 segundos	3 s	Tiempo de rampa de desaceleración
110	Tiempo de aceleración 2	0,1 – 1800 segundos	3 s	Tiempo de rampa de aceleración
111	Tiempo de desaceleración 2	0,1 – 1800 segundos	3 s	Tiempo de rampa de desaceleración
112	Falla de memoria	Visualización	-----	Indicación de las 3 últimas fallas
113	RPM nominales	0 - 19999	1500 rmp	Velocidad nominal del motor

114	Frecuencia nominal	50 - 400 hz	50hz	Frecuencia nominal del motor
115	Voltaje nominal	200 - 240v ó 360 - 500v	220v/480V	Voltaje nominal del motor
116	Factor de potencia	0,4 - 0,99	0,75	Factor de potencia del motor

Tabla 2.8: Parámetros de programación Page 1\*

Existen más valores disponibles en esta página (ver anexo A7).

## Página 2

CO D.	PARAMETRO	RANGO	VALOR FABRICA	DESCRIPCION
201	Voltaje de salida	Visualización	-----	Voltaje de salida al motor
202	Frecuencia 1	0,0 – 200/500 hz	5hz	Velocidad seteada 1
203	Frecuencia 2	0,0 – 200/500 hz	25hz	Velocidad seteada 2
204	Frecuencia 3	0,0 – 200/500 hz	50hz	Velocidad seteada 3
205	Corriente Limite	0,5 – 1,5*In	1.5*InA	Salida de corriente límite
206	Arranque	Acc ramp / Flying / Auto Boost / Fly+Boost	Acc ramp	Selección del modo de arranque
207	Parada	Coasting / Dec ramp / Dc Brake / Dec+Brake / Dec+Hold	Coasting	Selección del modo de parada
208	Rampa	Linear / Rápida / Mediana / Suave	Linear	Selección de rampa de aceleración/desaceleración
217	IR compensación	Off / 0,1 - 60v / Auto	OFF	Valor de compensación para arranque suave con torque
218	DC - freno	0 - 250 segundos	3seg	Duración de frenado con DC
222	Corriente de motor	0,5 – 1,5In	In A	Protección térmica para corriente de motor
223	Dirección	FWD / REV, FWD solo	FWD / REV	Sentido de giro de motor
224	AI - Fallas	Habilitado / Deshabilitado	Habilitado	AI fallas si AI<2v/4mA

Tabla 2.9: Parámetros de programación Page 2\*

Existen más valores disponibles en esta página (ver anexo A8).

---

\* Manual de funcionamiento ABB ACS 300

En estas páginas existen esquemas de programación que vienen seteados de fábrica los cuales no se hará mucha referencia pero sus características. Se detallan en el Anexo (A9)

### 2.4.2.1 Funcionamiento del variador ACS 300

El variador de frecuencia ABB ACS 300 puede ser controlado por panel de control o por el control de señales digitales conectado al terminal de bloques (block X1) de la tarjeta de control.

En la figura 2.21 se identifica el terminal de control (blok X1) y la configuración en la tarjeta de control de interruptores y jumpers del ACS 300.

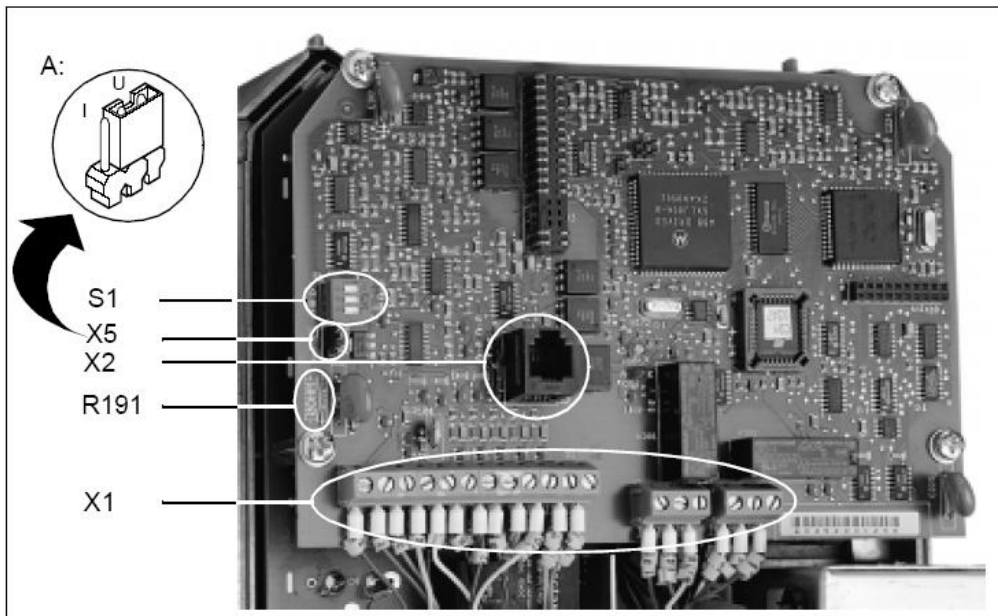


Figura 2.21: Tarjeta de control

**Detalles de figura:**



X1: Bloque de terminales para conexiones para control remoto y alimentación de entrada al variador y salida al motor.

X2: Plug de conexión para el panel de control.

X5: Jumper para selección de entrada de señal análoga. (Corriente 0/4 – 20 mA ó voltaje de 0/2 – 10v)

S1: Opción I/O para seleccionar la función de las entradas digitales (DI1 a DI5).

R191: Resistencia de 0 ohms común para aterrizar carcasa.

### 2.4.2.2 Entradas y Salidas analógicas/ digitales

Este variador posee entradas/salidas análogas y digitales con las que nos permite tener un control local y remoto dependiendo la aplicación y requerimiento. En la tabla 2.10 se detalla las entradas y salidas digitales que posee este variador:

Bloque de terminales		Funciones
1	REF	Para control mediante Potenciómetro +10Vdc con 10mA, y una resistencia entre 1-10Kohmios
2	GND	
3	AI+	Entrada análoga, referencia de 0 - 10 V (o 0 -10mA) o 2 - 10V 4 - 20mA. R=200Kohmios (señal de Voltaje y )R=250ohmios (señal de corriente)
4	GND	
5	+24v	Salida de voltaje auxiliar de 24Vdc con Max. 50mA Entrada Digitales 1 - 5
6	DI1	
7	DI2	
8	DI3	
9	DI4	
10	DI5	
11	AO+	Salida Análoga, señal de de 0 - 20mA o 4 -20mA (Seleccionado en la Página2 parámetro A. OUT OFFS). R<500Ohmios
12	GND	
13	RO 11	Salida de relay Programable (set de fábrica en FOULT)
14	RO 12	
15	RO 13	
16	RO 21	Salida de relay Programable (set de fábrica en RUN)
17/18	RO 22/23	

Tabla 2.10: Entradas/Salidas analógicas y digitales según manual ABB

### 2.4.2.3 Modos de Arranque

El variador nos permite tener diferentes tipos de arranque de acuerdo a las características de equipo a prueba.

- **ACC Ramp**

Nos permite tener control en el arranque del motor, existen diferentes tipos de aceleración como puede ser: arranque lineal al motor, un arranque rápido en menos de 1 segundo, un arranque medio en 1.5 segundos aproximadamente y un arranque suave de hasta 15 segundos, tal como se muestra en la figura 2.22:

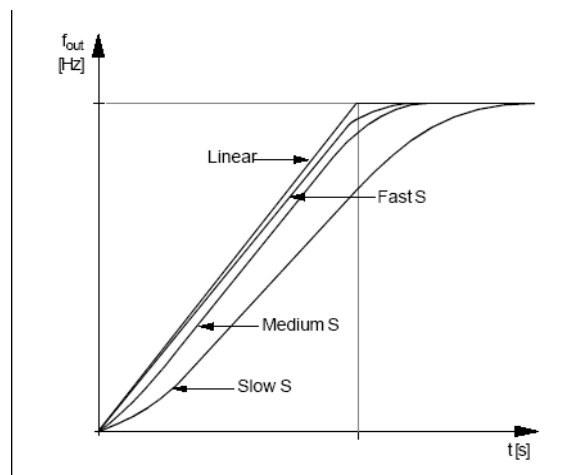


Figura 2.22: Rampas de aceleración / desaceleración

- **Flying**

Este tipo de arranque es usado en motores que están rotando por inercia. Este arranque es aplicado en equipos que poseen un bajo torque de carga.

- **Auto Boost**

Este tipo de arranque es utilizado en motores con alto torque de arranque en los cuales se necesita una inyección automática de voltaje.

- **Fly+Boost**

Es una aplicación de los dos tipos de arranque descritos anteriormente.

#### **2.4.2.4 Modos de Frenado**

El variador ABB nos permite tener diferentes tipos de frenado de acuerdo a la protección y control que se desee dar al equipo.

- **Coasting**

El ACS 300 quita el voltaje de suministro al motor cuando se da la señal de parada

- **Dec Ramp**

Permite tener control en el frenado del motor, existen diferentes tipos de desaceleración como puede ser: frenado lineal, frenado rápido en menos 1 segundo, frenado medio en 1.5 segundos aproximadamente y frenado suave de hasta 15 segundos, tal como se muestra en la figura 2.22.

- **Dc Brake**

Para detener a un motor se lo puede realizar por inyección de DC. El voltaje DC es aplicado a las bobinas del estator, el motor será detenido en el más corto tiempo posible.

- **Dec+Brake**

Este puede ser usado únicamente cuando una Resistencia de corte es conectada.

- **Dec+HOLA**

Al ser seteada la rampa de desaceleración, el DC HOLD provoca una rampa de frenado definido por el parámetro de DC Brake.

#### 2.4.2.5 Tipos de alarmas y protecciones:

- **Alarmas**

Cuando ocurre una falla en el ACS 300 al estar operando se encenderán los LED's de señal, además de esto se verá desplegado en la pantalla con la causa de la falla lo que se grabará en la memoria de falla con los tres últimos eventos y no permitirá el arranque hasta ser solucionado el problema.

En la tabla 2.11 se indican posibles fallas que se pueden presentar con las soluciones respectivas.

Falla	Posible Causa	Solución
NO FAULT	Solamente en falla de memoria	
OVER VOLTAGE	Voltaje DC excedido el 130% Del Vn. Esto puede ocurrir por Mala programación de la Variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En caso de una fuente resetee y arranque</li> <li>• Use un tiempo largo de desaceleración</li> <li>• Use parada Coasting si la aplicación es compatible</li> </ul>
OVER CURRENT	Alta carga de inercia y pequeña carga de tiempo Falla en cable del motor Distancia de cable motor (>100m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar rampas de tiempo</li> <li>• problema mecánico que produce alto torque</li> <li>• Revisar cables y motor</li> </ul>
LOW AI-SIGNAL	Entradas análogas menores a 2Vdc/4mA o entradas análogas menores que las seleccionadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La referencia es errónea o el cable de control esta roto, revise el circuito de referencia</li> </ul>

PANEL COM ERR	El panel de control fue removido cuando el mando esta en modo local	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coloque el panel de control y resetee la falla, luego cambie a modo remoto y quite el panel</li> <li>• Revisar entradas principales</li> </ul>
UNIT FAULT	Alta temperatura del disipador del ACS300	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revise disipador de calor, suciedad, flujo de aire, ventilador, temperatura ambiente, corriente de carga</li> </ul>
	Falla a tierra o corto circuito	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revise terminales, motor y cables</li> </ul>
MOTOR TEMP	El variador calcula una sobre temperatura en el motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revise las temperatura del motor, si este es aceptable, ajuste TEM LIM y I LIMIT y restaure</li> </ul>
UNIT FAULT	Defecto del circuito de variador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contactar al proveedor del ASC300</li> </ul>
	Falla en lectura de entradas análogas/digitales	
	Error de modulación	
UNIT FAULT	Error de EEPROM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconecte el variador y espere 30seg.</li> </ul>
	Identificación de error	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contactar al proveedor del ASC300</li> </ul>
NO SE PUEDE CAMBIAR A REMOTO		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revise la polaridad de las señales y la posición del switch S1.</li> </ul>

Tabla 2.11: Alarmas de fallas al variador ABB según manual ACS 300

• **Protecciones:**

Este dispositivo posee protecciones las cuales actuarán en caso de detectar alguna falla en el sistema, protegiendo el equipo y aislándolo de cualquier daño, tal como se muestra en la tabla 2.12.

PARÁMETRO	VALOR
Limite de sobrecorriente en cortocircuito	$3.5 * I_n$
Limite de regulación de corriente de salida	$0.5 - 1.5 * I_n$

Límite de sobre voltaje	$1.35 * V(240)$ o $1.3 * v(480)$
Límite de bajo voltaje	$0.65 * V_n$
Límite de Sobre temperatura	90°C
Voltaje auxiliar	Protección de cortocircuito
Protección falla a tierra	Solamente cuando la falla es a la salida del motor

Tabla 2.12: Protecciones del variador ABB según manual ACS 300

#### 2.4.2.6 Control Local y remoto

Este variador tiene la factibilidad de proporciona al operador la capacidad de controlar al motor de forma local o remota.

**Control Local.-** Para un control local se debe verificar que el led indicador del modo remoto del panel de control del variador no este activado, y adicionalmente se comprueba verificando en el código de la página 1 (LOC FREQ). De esta manera el control se realiza netamente desde el panel de control del variador.

**Control Remoto.-** Para control remoto se debe verificar que el led indicador del modo remoto del panel de control del variador este activado, y adicionalmente se comprueba verificando en el código de la página 1 (REF FREQ).

Para el control remoto se utiliza las señales digitales descritas en la sección 2.4.2.2 y de esta manera tenemos un control tal como se indica en la tabla 2.13, como una alternativa que puede variar de acuerdo con las necesidades:

Entrada Digital	Función	Notas

<b>DI1</b>	Arranque / Parada	Conectar +24Vdc
<b>DI2</b>	Reversa	
<b>DI3</b>	CS1	Velocidad constante
<b>DI4</b>	CS2	
<b>DI5</b>	Parámetro para selección	0v = set 1 y +24v = set 2

Tabla 2.13.: Entradas de señales digitales

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO

El diseño del sistema de entrenamiento se basa en la selección de elementos para su optimización y adecuación tales como motores, acoples, materiales, etc., basándose en las normas y cálculos establecidos para su realización.

#### Electrodinamómetro

El electrodinamómetro es un dispositivo que se usa para simular carga y el par desarrollado por motores de todos los tipos. En realidad, se trata de un freno eléctrico en el cual la fuerza de frenado se hace variar eléctricamente sin necesidad de usar fricción mecánica. El electrodinamómetro es un dispositivo más estable y fácil de ajustar que los frenos de fricción mecánica.

Se compone de un estator y un rotor de jaula de ardilla. A diferencia de otros dispositivos electromecánicos, en éste el estator puede girar, aunque su movimiento está restringido mediante un resorte helicoidal.

En condiciones de operación normales, se aplica una corriente directa al devanado del estator y esto crea un campo magnético que pasa tanto por el estator, como el rotor. (que está unido al motor mediante un sistema de acople mecánico), se induce un voltaje en las barras del rotor y las corrientes resultantes reaccionan con el campo magnético haciendo que el estator gire en el mismo sentido que el rotor.

El contrapeso pone límite a la rotación del estator y una escala fija en la carcasa de éste indica la magnitud de su giro.



La potencia de salida de un motor depende de su velocidad y el par que desarrolla. Esta relación está dada por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{(r / \text{min})(\text{lbf} * \text{pulg})(1.59)}{100000} \quad \text{[W]} \quad (3.1)$$

En donde:

Hp = potencia nominal en caballos de fuerza

r/min = velocidad en revoluciones por minuto

lbf.pulg = par en libras-fuerza pulgadas

1.59= una constante

O también:

$$P = T * w \quad \text{[watts]} \quad (3.2)$$

Donde:

T= Torque en Nm

w= velocidad angular rad/seg

### 3.1.1 Frenado de Foucault

Los equipos eléctricos están formados por piezas, trozos de conductor que se mueven en un campo magnético o están situadas en un campo magnético variable, dando lugar a corrientes inducidas que circulan por el volumen del conductor. Estas corrientes se denominan de Foucault<sup>1)</sup>.

---

1) [www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/induccio/foucault/foucault.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/induccio/foucault/foucault.htm)

Cuando se coloca una pieza de metal en un campo magnético variable con el tiempo  $\mathbf{B}(t)$ , se genera un campo eléctrico que produce un movimiento de las cargas libres en el conductor metálico, generando corrientes.

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (3.3)$$

Cuando una pieza de metal se mueve en una región en la que existe un campo magnético no uniforme pero constante en el tiempo  $\mathbf{B}(r)$  se generan corrientes y la energía se disipa en el conductor metálico. Este fenómeno se puede explicar por medio de la fuerza de Lorentz. A causa de la disipación de la energía se produce una fuerza de frenado que disminuye la velocidad de la pieza metálica como se indica en la figura 3.1

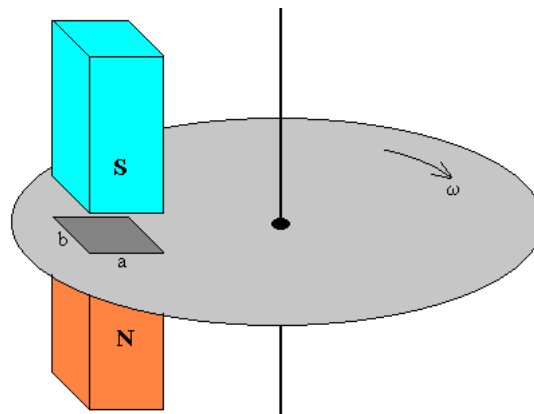


Figura 3.1: Fuerza de frenado en pieza metálica

- **Movimiento de una pieza conductora hacia y desde un campo magnético uniforme**

El efecto de las corrientes de Foucault es una disipación de la energía por efecto Joule. Estas pérdidas se intentarán reducir al máximo posible en los núcleos de un transformador, pero puede ser interesante aumentarlas para realizar un frenado electromagnético (amortiguamiento, freno eléctrico).

Cuando se introduce la pieza rectangular en la región donde existe un campo magnético uniforme, el flujo aumenta y las corrientes en torbellino se oponen al incremento de flujo.

Las ranuras del rotor producen variación de la reluctancia y por lo tanto variación del flujo. Esta ondulación produce corrientes de Foucault en la superficie o cara del polo con una frecuencia de valor:

$$f_d = Q \frac{n}{60} \quad (3.4)$$

Donde:

Q: Número de ranuras del polo

n: Velocidad del motor (rpm)

La fuerza que ejerce el campo magnético sobre cada una de las corrientes inducidas da una resultante que se opone a la fuerza aplicada.

El campo magnético es perpendicular al plano del dibujo y está dirigido hacia el lector, como se muestra en la figura. El sentido de la corriente inducida en la región donde existe campo magnético está indicada por el vector unitario  $u_t$  como se muestra en la figura 3.2.

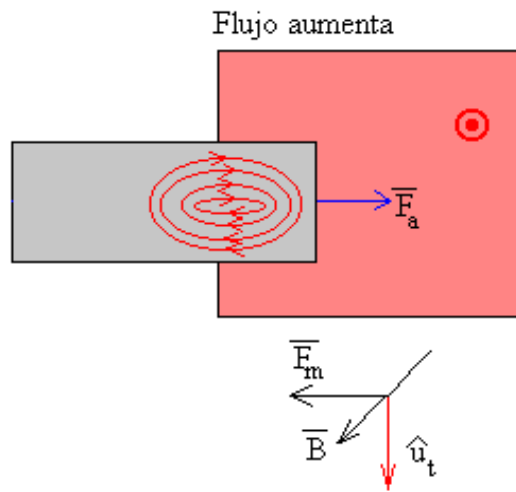


Figura 3.2: Fuerza de campo magnético

- **Modelo simple que calcula la fuerza de frenado.**

Sea una pieza metálica larga y ancha y de pequeño espesor que se mueve con velocidad constante  $v$ . Un campo magnético  $B$  uniforme perpendicular al plano de la hoja metálica se aplica a una pequeña porción rectangular de dimensiones  $a$  y  $b$ .

Se supondrá que el campo magnético producido por las corrientes inducidas es suficientemente pequeño, para considerar que la fuerza de frenado proviene únicamente de la acción del campo magnético externo sobre las corrientes inducidas. Esto se produce si la velocidad  $v$  de la pieza metálica es inferior a una velocidad característica  $v_c$ , que depende de la conductividad del metal y del espesor de la pieza como se muestra en la figura 3.3.

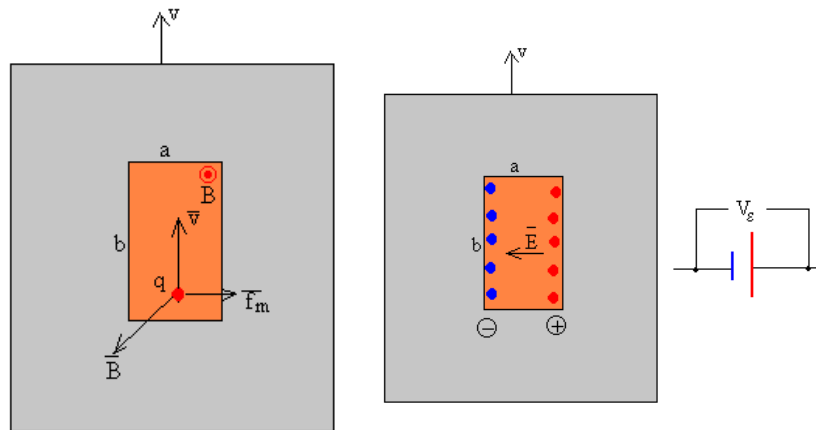


Figura 3.3: Campo magnético sobre hoja metálica

Supongamos que el campo magnético  $B$  es perpendicular al plano de la hoja metálica, al moverse la pieza metálica con velocidad  $v$ , los portadores de carga  $q$  existentes en la pequeña región rectangular de dimensiones  $a$  y  $b$  experimentan una fuerza  $f_m = q(v \times B)$ , tal como se muestra en la figura. Los portadores de carga son impulsados por la fuerza magnética hacia la derecha.

La separación de cargas produce un campo eléctrico  $E = -v \times B$ , dirigido hacia la izquierda. Como se indica en la figura 3.4 tenemos el equivalente a una batería cuya fem es igual a la diferencia de potencial  $V_\epsilon = VBa$  medida en circuito abierto.

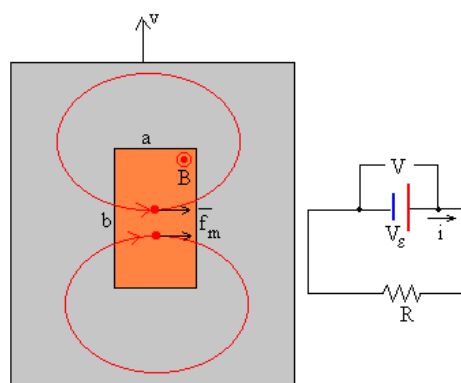


Figura 3.4: Equivalente de fem

La pequeña región rectangular no está aislada del resto de la hoja metálica, que proporciona la conexión entre los dos terminales de la imaginaria batería por el que circula una corriente de intensidad  $i$ . El resto de la pieza metálica opone una resistencia  $R$  al paso de la corriente eléctrica. Mientras que la pequeña región rectangular presenta una resistencia interna  $r$  que podemos calcular aplicando la ley de Ohm.

$$r = \frac{a}{\sigma \delta b} \quad (3.5)$$

siendo  $\delta$  el espesor de la pieza metálica y  $\sigma$  la conductividad del metal. La ecuación del circuito se escribe  $i(r+R)=V_{\varepsilon}$

$$i = \frac{VBa}{R+r} = \frac{\sigma \delta b B}{(1+R/r)} V \quad (3.6)$$

### 3.1.2 Diseño y cálculos

A continuación se detalla los parámetros necesarios para la selección de un motor el cual funcionara como electrodinamómetro simulando carga para nuestro sistema de entrenamiento<sup>1)</sup>:

- El motor de inducción que se va a utilizar para construir el electrodinamómetro se especifica como sigue:

220V    60Hz    3Hp    1725rpm  
Código NEMA Tipo B    Armazón Tipo 182T

---

1) Maquinas Eléctricas Jimmy Cathey pag 375

Según tabla N° 6.6 del Anexo B1:

$$P = Df = 7,05 \text{ pulg.}$$

Por lo general se considera:  $GrosorArma\zeta on = 0,5 pu lg ..$

El diámetro exterior de apilamiento de laminaciones es:

$$\begin{aligned} D_o &= D_f - 2t_f \\ D_o &= 7,05 - 2(0,5) \\ D_o &= 6,05 pu lg \end{aligned} \quad (3.7)$$

- El par nominal para el motor se determina como:

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{5250 (P_s)}{n_m} \\ T_s &= \frac{5250 (3)}{1725} \\ T_s &= 9,13 lb.ft \end{aligned} \quad (3.8)$$

- Para el tipo abierto\*, los motores con diseño NEMA Tipo B con potencia nominal de 10Hp o más, un valor razonable para la constante de volumen normalizado es de  $V_T = 5 - 6 pu lg^3 / lb.ft$ . Para motores de menos de 10Hp, el aislamiento con respecto a tierra entre capas y la cuña de la ranura se convierten en un porcentaje mayor de la sección transversal de la ranura forzando a un aumento de la constante de volumen normalizado que deberá aumentar a un valor de  $V_T = 9 - 10 pu lg^3 / lb.ft$ .

$$V_T = 9 pu lg^3 / lb.ft \quad (3.9)$$

Por lo tanto:

$$D^2 l_a = V_T T_s = (9)(9,13) = 82,17 pu lg^3 \quad (3.9)$$

---

\* Diseño Máquinas Eléctricas, Jimmy Cathey, pag 378

Donde:

D: Diámetro interior del estator

l: Longitud de apilamiento de laminaciones del estator

- Con el valor tentativo de  $D_o$  seleccionado, la especificación del diámetro interior del stator debe conciliar con el número de polos magnéticos. Para máquinas con una cantidad menor de polos, el camino circunferencial de flujo a lo largo del núcleo magnético del estator entre el fondo de la ranura del estator y el diámetro exterior de laminación del estator es más largo. Para evitar un requerimiento excesivo de fmm de magnetización la densidad de flujo en el núcleo del estator para máquinas con un número menor de polos debe ser menor que para máquinas con números mayores de polos. Una fórmula empírica de referencia para el dimensionamiento tentativo del diámetro interior del estator es:

$$D = \frac{D_o - 0,647}{1,175 + 1,03 / p}$$

$$D = \frac{6,05 - 0,647}{1,175 + 1,03 / 4} \quad (3.10)$$

$$D = 3,77 \text{ pu lg}$$

Por tanto:

$$l_a = \frac{D^2 - l_a}{D^2}$$

$$l_a = \frac{82,17}{(3,77)^2} \quad (3.11)$$

$$l_a = 5,78 \cong 6 \text{ pu lg}$$

- Según tabla N° 6.7 del Anexo B2:

$$S_1 = 36$$

Se selecciona este valor ya que en nuestro diseño se necesita la mayor cantidad de ranuras disponibles ya que necesitamos la mayor cantidad de flujo para lograr una mejor acción de frenado.

- El valor máximo de flujo por polo se estima por medio de la ecuación:



$$\Phi_m = \left( 0,00145 + \frac{0,00300}{p} \right) \left[ \frac{60}{f} P_s \right]^{1/2}$$

$$\Phi_m = \left( 0,00145 + \frac{0,00300}{4} \right) \left[ \frac{60}{60} * 3 \right]^{1/2} \quad (3.12)$$

$$\Phi_m = 0,0038 \text{ Wb}$$

Ps= Potencia en hp

- Para determinar el numero de ranuras por polo por fase se aplica:

$$N_{s1} = \frac{S_1}{pm}$$

$$N_{s1} = \frac{36}{(4)(3)} \quad (3.13)$$

$$N_{s1} = 3 \text{ Ranuras} * \text{ Polo}$$

Donde:

Ns1: Numero de ranuras por polo

m: Factor de devanado Apéndice A, Anexo B3

- Hay  $S_1 / p = 36 / 4 = 9 \text{ ranuras} * \text{ polo}$ . Se elige un paso de 8 ranuras del estator:

$$\rho = \frac{8}{9} (180^\circ)$$

$$\rho = 160^\circ$$

$$k_p = \text{sen}(\rho / 2)$$

$$k_p = \text{sen}(160^\circ / 2)$$

$$k_p = 0,9848$$

$$\gamma_1 = \frac{\rho 180^\circ}{S_1}$$

$$\gamma_1 = \frac{4 * 180^\circ}{36}$$

$$\gamma_1 = 20^\circ$$

$$kd = \frac{\text{Sen}(N_{s1}\gamma_1 / 2)}{N_{s1}\text{sen}(\gamma_1 / 2)}$$

$$kd = \frac{\text{sen}(3 * 20^\circ / 2)}{3\text{sen}(20^\circ / 2)}$$

$$kd = 0,9598$$

$$k_{w1} = k_p k_d$$

$$k_{w1} = (0,9848)(0,9598)$$

$$k_{w1} = 0,9452$$

- Eligiendo un solo devanado de circuito se tiene que los conductores por ranura se determinan por la ecuación:

$$C_s = \frac{0,97aV_1}{2,22k_{w1}pN_{s1}f\Phi_m} \tag{3.14}$$

$$C_s = \frac{0,97 * 1 * (220 / \sqrt{3})}{2,22(0,9452)(4)(3)(60)(0,0038)}$$

$$C_s = 21,5 \cong 22 \text{conductores} * \text{ranura}$$

- El valor real del flujo máximo por polo puede calcularse ahora a partir de la ecuación:

$$\Phi_m = \frac{0,97aV_1 * 10^8}{2,22k_{w1}pN_{s1}fC_s}$$

$$\Phi_m = \frac{0,97 * 1 * (220 / \sqrt{3}) * 10^8}{2,22(0,9452)(4)(3)(60)(22)} \tag{3.15}$$

$$\Phi_m = 3,7 * 10^5 \text{ lineas}$$

- La corriente a plena carga puede estimarse de la ecuación:

$$I_{(1)} = \frac{P_s * 746}{\sqrt{3} * V_L * 0,85 * \eta}$$

$$I_{(1)} = \frac{(3) * 746}{\sqrt{3} * 220 * 0,85 * 0,83} \tag{3.16}$$

$$I_{(1)} = 8,34 A$$

De donde el factor de potencia se considera 0.85 con una eficiencia de 0.83

- Los valores típicos de densidad permisible de corriente en el estator  $\Delta_1$  está en el rango:

$$3200 \leq \Delta_1 \leq 5160 \text{ A/in}^2$$

Para una densidad de corriente de  $4000 \text{ A/in}^2$ , el tamaño del conductor del estator es dado por:

$$\begin{aligned} s_{a1} &= \frac{I_s}{a * \Delta_1} \\ s_{a1} &= \frac{8.32}{1 * 4000} \\ s_{a1} &= 0.0021 \text{ pu lg.}^2 \end{aligned} \quad (3.17)$$

- Con el valor de  $s_{a1}$ , calculamos el diámetro del conductor y seleccionamos el alambre para dicho diseño, Anexo B4

### 3.1.3 Construcción

- **Datos de Diseño:**

De acuerdo al diseño realizado se obtiene los siguientes datos:

$$Ts = 9,13 \text{ lb.ft}$$

$$D = 3,77 \text{ pu lg}$$

$$S_1 = 36 \text{ ranuras}$$

$$S_1 / p = 36 / 4 = 9 \text{ ranuras} * \text{ polo}$$

$$C_s = 21,5 \cong 22 \text{ conductores} * \text{ ranura}$$

$$\Phi_m = 3.7 * 10^5 \text{ lineas}$$

$$I_{(1)} = 8.34 \text{ A}$$

$s_{al} = 0.0021 \text{ pu lg.}^2$  de área, con lo que elegimos el diámetro del alambre, que corresponde al calibre # 22

De acuerdo ha estos valores se realiza el diagrama esquemático de conexión eléctrica en el estator. Ver Anexo B5

- **Selección del Motor**

De acuerdo a los datos obtenidos en el diseño y cálculos expuestos anteriormente, se selecciona el motor cuyas características son:

**Datos de placa**

Motor Weg, NBR 7094, 6R86582

60 Hz, 3hp, 1800 rpm

8.7/5.04/4.35A

220/380/440 V

Rendimiento 83%

Factor de potencia 0.8

Especificaciones técnicas que corresponden al modelo 90L del anexo B6

### **3.2 Sistema de Fuerza.**

Para el sistema de fuerza y el control se necesita un voltaje disponible de 220 Vac y 110 Vac respectivamente, para lo cual se ha diseñado un circuito de alimentación al módulo tal como se muestra en el Anexo B7

### **3.3 Sistema de Control del campo del Electro dinamómetro**

El sistema de control está diseñado para controlar un motor de hasta 3Hp, 30A, y se ha considerado como mejor opción utilizar un transistor MOSFET, ya que por sus características nos permite tener un mejor rango de control.

- **Transistor MOSFET**

Básicamente un MOSFET (*metal oxide semiconductor*) está formado por una placa de metal y un semiconductor, que hace las veces de soporte físico, separados por una zona de óxido del semiconductor - por ejemplo  $SiO_2$  - de unos 100 nm de espesor. En este sistema se disponen cuatro electrodos que se indican en la figura 3.5.

- Compuerta, gate en inglés, simbolizado con G; que se conecta a la plaquita metálica.
- Fuente (Source) y drenador (Drain), ambos simétricos, que se internan en el sustrato gracias a las zonas sobresaturadas (semimetal).
- Sustrato (Body), generalmente conectado eléctricamente con la fuente.

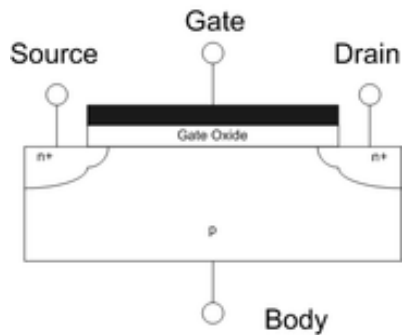


Figura 3.5: Esquema Mossfet

Para el control de nuestro motor se utilizó el MOSFET IRFP 240 (ECG 2376) los datos técnicos se pueden observar en el Anexo B8.

Se diseñó un conversor AC/DC (9 Vdc), para la alimentación al circuito generador de pulsos el cual está constituido por un semiconductor LM555 que permite el control de corriente de campo hacia el electrodinamómetro.

- **LM555 Timer**

El circuito integrado LM555 es el encargado de enviar el tren de pulsos, de acuerdo a un tiempo determinado escogido. En su forma astable, el pulsador u oscilador auto-reinicia el conteo gracias a que siempre se encuentra generando pulsos.

La constitución interna del LM555 puede verse en la figura 3.6. Está constituido por una combinación de comparadores lineales, Flip-Flops, un transistor de descarga y el excitador de salida. Las tensiones de referencia de los comparadores se establecen en  $2/3 V$  para el primer comparador C1 y en  $1/3 V$  para el segundo comparador C2, por medio del divisor de tensión compuesto por 3 resistencias iguales R.

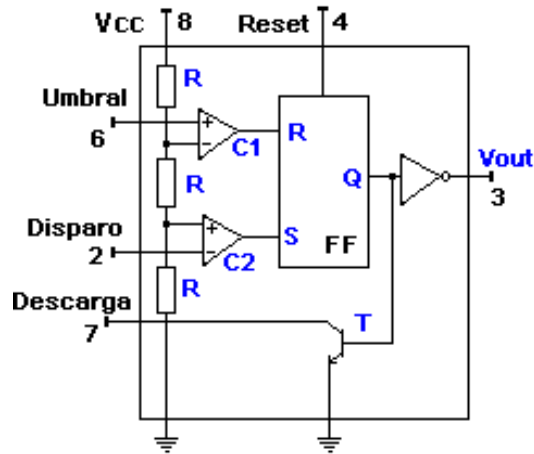


Figura 3.6: Características internas del LM555

Las características técnicas se pueden observar en el Anexo B9.

- **Control del Campo del Electrodinómetro**

Como hemos visto anteriormente podemos generar con el LM555 un pulso de forma que la relación entre el tiempo que permanece en alto y el tiempo que está en bajo. Este control se conoce como PWM (Pulse Width Modulation) ó modulación del ancho del pulso.

Configurando el LM555 como oscilador Astable podemos generar un tren de pulsos que actuando sobre el potenciómetro R1 podemos variar la relación HIGH-LOW del pulso.

El pin 4 del Reset lo conectamos directamente a Vcc para que no interfiera en nuestro circuito, D1 y D2 hacen que nuestro condensador C1 se cargue solo mediante la parte derecha del cursor del potenciómetro R1, y se descargue solo a través de la parte izquierda de dicho potenciómetro. Por ello la relación entre altos y bajos será siempre complementaria. Con el potenciómetro en su punto central ambos semi-periodos serán iguales y tendremos un Duty Cycle del 50%.

Como sea cual sea la relación entre ambas partes del potenciómetro la suma de ellas será siempre la misma e igual al valor R1 podemos calcular la frecuencia de oscilación como  $f = 1.44 / (R1 * C1)$  y serán solo los semiperiodos los variables, permaneciendo la frecuencia estable.

El pin 3 Salida (output) y 7 Descarga (discharge) están altos o bajos al mismo tiempo siguiendo el estado de oscilación. Así el pin 3 Salida (output) que tiene una configuración interna totem-pole puede actuar como fuente o como sumidero de corriente la cual usamos para cargar y descargar el condensador C1. Y utilizamos en cambio el pin 7 Descarga (discharge), que es del tipo Open-Collector, conectada a Vcc mediante la resistencia pull-up R2 para actuar de Driver del transistor de potencia MOSFET Q1. En la figura 3.7 se muestra la conexión de control.

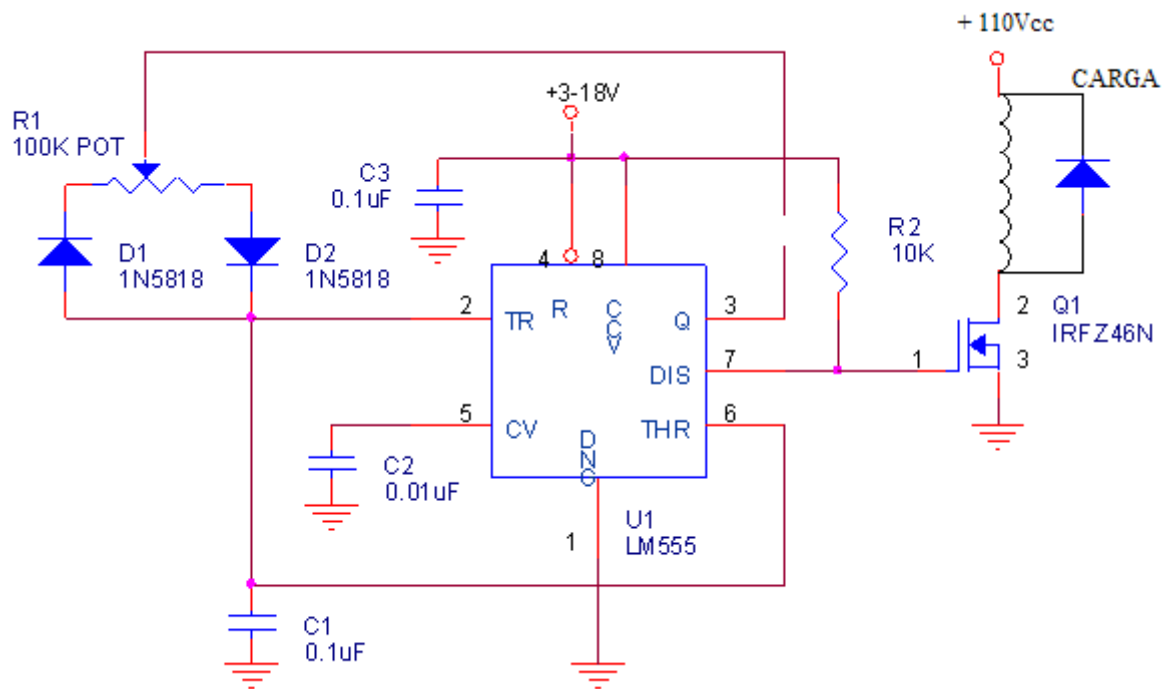


Figura 3.7: Diagrama de control para el circuito de campo del electrodinamómetro

De acuerdo al diagrama de la figura 3.7 se procedió a realizar las tarjetas de control y de potencia como se muestra en la figura 3.8 y 3.9.



También se realizó la tarjeta de control de disparo del Mossfet tal como se indica en la figura 3.9.



Figura 3.8: Tarjeta de control PWM



Figura 3.9: Tarjeta de potencia del sistema de entrenamiento

### 3.4 Estructura Mecánica del Módulo

El sistema de entrenamiento para motores de 3Hp estará sometido a esfuerzos, para lo cual es necesario la selección adecuada del material con la que se construirá la base que sea capaz de soportar las fuerzas y momentos generadas por el trabajo de este sistema; y así, también la selección adecuada de chumaceras las cuales nos permitan tener un mejor funcionamiento del simulador de carga (electrodinamómetro).

- **Cálculo del contrapeso del electrodinamómetro**

Se adapta un contrapeso al electrodinamómetro para lograr el torque necesario de frenado.

De la sección 3.1.2 (diseño y cálculos), se obtiene un Torque de  $9.3lb * ft$ , y la distancia del peso aplicado al electrodinamómetro  $d = 0.37 ft$ , por lo tanto:

$$\begin{aligned}T &= F * d \\F &= P \\P &= \frac{9.3lb * ft}{0.37 ft} && (3.17) \\P &= 25.1lb \cong 25lb\end{aligned}$$

Donde

P = Valor del contrapeso (lb)

- **Diseño y selección de material para base mecánica**

Para el diseño de la base mecánica se necesita los datos técnicos del motor a ser probado que es un Siemes 3 hp (provisto por el laboratorio), y cuyas especificaciones se detallan en el anexo B10

Como se ilustra en la Figura 3.10 y 3.11 los motores generan cargas distribuidas  $q_1$  y  $q_2$  y estas a su vez provocan reacciones A y B en la base mecánica .

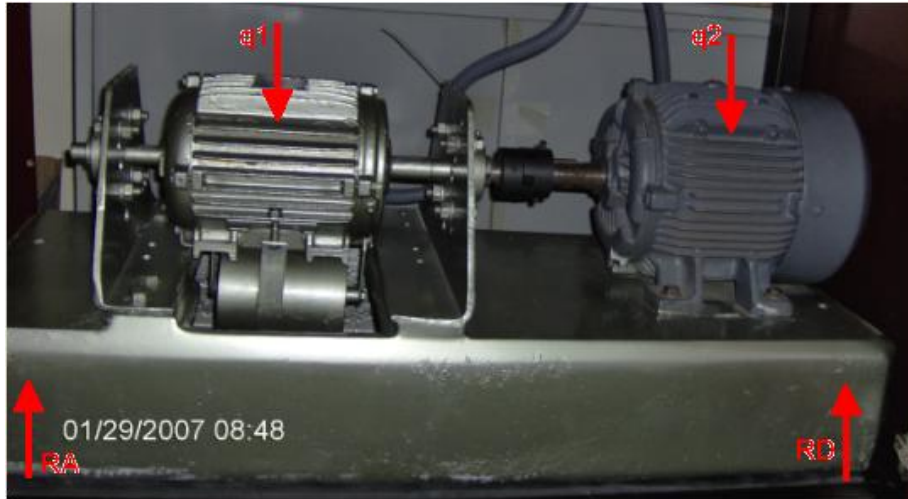


Figura 3.10: Cargas que soporta base mecánica

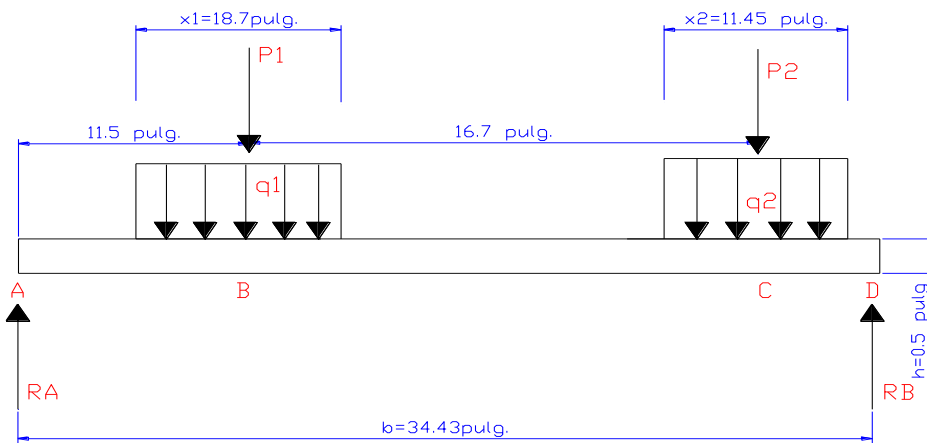


Figura 3.11: Diagrama de cuerpo libre

$q1 = c \text{ arg } a / \text{ distribuida}$

$q1 = 22(\text{electrodinámometro}) + 11(\text{contrapeso})$

$q1 = 33 \text{ kg} / \text{ pulg.}$

$q2 = c \text{ arg } a / \text{ distribuida} / \text{ motor}$

$q2 = 26 \text{ kg} / \text{ pulg.}$

$$P1 = q1 * x1$$

$$P1 = 33 * 18.7$$

$$P1 = 617.1 \text{ Kg}$$

$$P2 = q2 * x2$$

$$P2 = 26 * 11.45$$

$$P2 = 297.7 \text{ Kg}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_D = P_1 + P_2$$

$$R_A + R_D = 914.8 \text{Kg} \dots \curvearrowleft$$

$$\sum M_A = 0$$

$$617.1 * 11.5 + 297.7 * 28.2 - R_D * 35.4 = 0$$

$$R_D = 437.6 \text{Kg} \dots \dots \dots (\text{Reemplazo en 1})$$

$$R_D = 477.1 \text{Kg}$$

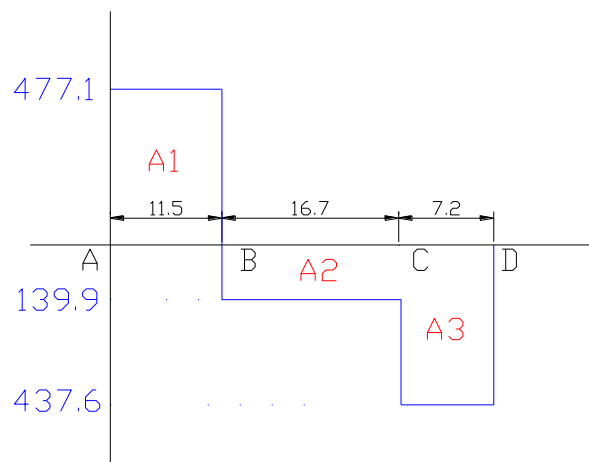


Figura 3.12: Diagrama de fuerzas

$$A_1 = 477.1 * 11.5 = 5486.6$$

$$A_2 = 139.9 * 16.7 = 2336.3$$

$$A_3 = 437.6 * 7.2 = 3150.7$$

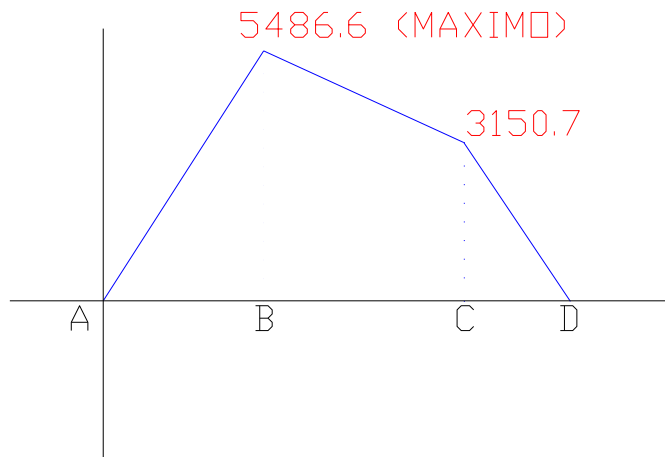


Figura 3.13: Diagrama de momentos

Como se nota el momento máximo de la figura 3.13 es de 5486.6 kg pulg, el cual tomamos como referencia para el cálculo del esfuerzo  $\delta$

$$\delta = \frac{M}{I}$$

$$\delta = \frac{M}{b * h^3 / 12}$$

$$\delta = \frac{5486.6}{35.4 * 05^3 / 12}$$

$$\delta = 14828.6 \text{ kg} / \text{pulg}^2$$

Con lo que tenemos:

$$n = \frac{S_y}{\delta}$$

De donde:

n= factor de seguridad

1.5 – 2 (Aceros)

2 – 3 (Hierro Fundido)

Sy= Resistencia a la fluencia

$$S_y = n * \delta$$

$$S_y = 2 * 14828.6$$

$$S_y = 29656 \text{ kg / pulg}$$

$$S_y = 4596.6 \text{ kg / cm}^2$$

El material seleccionado para dicha aplicación es un HIERRO FUNDIDO NODULAR 100-70-03 (Tabla A1-6, anexo B11), cuya resistencia a la fluencia  $S_y$  es  $5624 \text{ kg/cm}^2$ , valor el cual es sobredimensionado y correcta para nuestra aplicación. (\*)

- **Selección de chumaceras para electrodinómetro:**

El electrodinómetro (Motor Weg) fue sometido a modificaciones de alargamiento en su eje tanto delantero como trasero con 2 pulg respectivamente a la misma medida de los diámetros originales, es así que basándonos en los diámetros de los ejes se selecciona las chumaceras para esta aplicación.

- Eje delantero 24 mm de diámetro ( Ver anexo B12)

Chumacera NTN F-205T

- Eje trasero 16 mm de diámetro ( Ver anexo B12)

Chumacera NTN F-204T

### 3.5 Sistema de Acoplamiento

Los acoplamientos son sistemas de transmisión de movimiento entre dos ejes o árboles, cuyas misiones son asegurar la transmisión del movimiento y absorber las vibraciones en la unión entre los dos elementos.

---

\* Diseño de Resistencia de Materiales de Shigley

Las vibraciones son debidas a que los ejes no son exactamente coaxiales. Hay desalineaciones angulares o radiales, aunque lo normal es que se presente una combinación de ambas. Idealmente la relación de transmisión es 1, pero a veces un eje puede tener más velocidad en un intervalo del ciclo que en otro.

Algunos tipos de acoplamientos pueden funcionar como "fusible mecánico", permitiendo su rotura cuando se sobrepase cierto valor de par, salvaguardando así partes delicadas de la instalación que son más caras. Esto se consigue fabricando el acoplamiento o parte de él con materiales menos resistentes o con secciones calculadas para romper con un determinado esfuerzo.

### **3.5.1 Tipos de Acoples**

Los acoplamientos se clasifican en función de la posición del eje geométrico de los árboles que se han de conectar. Los principales tipos de acoplamiento son: los *rígidos*, los *flexibles*, los *hidráulicos* y los *magnéticos*.

- **Acoplamientos rígidos**

No permite desalineaciones. Distinguimos 3 tipos:

- **De manguito:** Los ejes se unen mediante una pieza cilíndrica hueca. No admiten desalineaciones. Se suelen usar para ejes muy largos que no se pueden hacer de una pieza.
  
- **De manguito partido:** Parecidos a los anteriores, pero el acoplamiento está hecho en 2 piezas, que aseguran la transmisión con la presión de los tornillos.
  
- **De brida o de plato:** Consta de dos platos forjados con el eje o encajados en ambos árboles y asegurados por pernos embutidos. Se utiliza por ejemplo para unir una turbina y su alternador, conexión que exige una perfecta alineación

- **Acoplamientos flexibles**

Admite desalineaciones. Se puede clasificar en dos grandes grupos:

- a. **Rígidos a torsión:** No amortiguan vibraciones a torsión. Dentro de este grupo encontramos otros subgrupos:
  - **Junta Cardan:** Permiten elevados desalineamientos, tanto angulares como radiales. De hecho, se suelen usar para transmitir movimiento entre ejes paralelos. El problema que presentan es que hay oscilación en la velocidad de salida. Para evitarlo se recurre al sistema con doble junta Cardan, que consta de un eje intermedio. Para asegurar que se mantenga la velocidad.
  
  - **Juntas homocinéticas:** Poseen una pieza intermedia con bolas, lo cual permite elevadas desalineaciones. Son típicas en automoción (caja de cambios-rueda).



- **Junta Oldham:** Como en el caso anterior, presenta una pieza intermedia. En este caso se trata de una pieza cilíndrica con dos salientes prismáticos perpendiculares. Admite desalineaciones radiales.
  
- **Flexible dentado:** Unos dientes son los que se encargan de transmitir el movimiento. No llevan la evolvente normal, sino que están redondeados en la cabeza para permitir desalineaciones angulares (elevadas) y radiales (pocas).; también permite desalineaciones axiales.
  
- **De cadena:** Consta de dos bridas unidas a los ejes mediante prisioneros y de una cadena doble, que engrana sobre unos dientes; fácilmente desalineable.
  
- **De barriletes:** Parecido al dentado, sólo que los dientes son abombados. Permite desalineaciones. Usado en sistemas de elevación (polipastos).

**b. Acoplamientos elásticos.** Absorben vibraciones a torsión. La transmisión del par no es instantánea. Se clasifican en:

- **De diafragma elástico:** Se caracteriza por presentar los platos provistos de pernos de arrastre, cuyo movimiento se produce a través de una conexión elástica. Admite desalineaciones.
  
- **De resorte serpentiforme:** Formado por dos bridas con almenas por las que pasa un fleje en zig-zag.

- **De manguito elástico:** Es cilíndrico pero con muchos cortes radiales, dando la apariencia de un muelle. Permite mucha desalineación y es de reducido tamaño, si bien no permite la transmisión de elevados pares.
  
- **Semielástico de tetones:** Formado por dos bridas unidas por pernos, pero separadas por un material elástico.
  
- **De banda elástica:** Formado por dos bridas unidas por una banda de caucho.
  
- **De elastómero:** Formados por dos bridas almenadas separadas por una pieza intermedia elástica. Muy usados para baja y media potencia (cerámica).
  
- **De eje flexible:** El eje es de una aleación de bronce y permite desalineamientos.

- **Acoplamiento hidráulico**

Se distingue por la presencia de un cárter que se llena con aceite especial, dentro del cual hay un rotor solidario del árbol que es móvil y rige la rotación del mecanismo. La fuerza centrífuga generada por la rotación impulsa al aceite al exterior accionando un segundo rotor que, a su vez, pone en marcha el árbol de transmisión.

- **Acoplamiento magnético**

La unión se consigue de modo suave y de fácil regulación a través de la acción magnética, para lo cual se dispone una mezcla de aceite y limaduras de

hierro (en proporción 1:10) entre las superficies paralelas de dos platos; al pasar a través de esa mezcla una corriente de intensidad débil, las limaduras se magnetizan y accionan los platos. El desacoplamiento se consigue mediante la desmagnetización de las limaduras.

### 3.5.2 Selección

El sistema mecánico que deseamos acoplar son dos motores de 3Hp, por lo cual debemos tener un acoplamiento el cual nos permita tener una transmisión que soporte unidades elásticas en los sentidos torsionales, angulares, longitudinales y transversales, Por las características técnicas y de construcción se selecciona como mejor opción ***Junta tipo Oldham***:

Este tipo de junta amortigua ampliamente los golpes de arranque y los momentos de impulsos de momentos de rotación que se producen en el accionamiento y absorbe la energía vibratoria reduciendo así el peligro de resonancia, por lo que se hace necesario para este tipo de sistemas que están susceptibles a vibraciones

Estos elementos poseen una pieza cilíndrica intermedia con dos salientes prismáticos perpendiculares, como se muestra en la figura 3.14



Figura 3.14: Acoplamiento Oldham

Según la tabla 3.1 se selecciona el acoplamiento modelo M-19, ya que el torque nominal al cual van a estar sometidos los ejes es de 9.13 lb\*ft:

Modelo	Nº Parte	Torque nominal Kgm.	Torque máx. Kgm.	H.P. Nominal 1750 R.P.M.	H.P. Nominal 1140 R.P.M.	Máx R.P.M.
M-14*	6300	1	1.9	2.5	1.5	14000
M-19	6301	1.5	3	3.7	2.5	11800
M-24*	6302	1.9	3.4	4.5	3.2	10600
M-28	6303	4	8.5	10.5	7.0	8500
M-32	6304	5.5	11.5	14.5	9.5	7500
M-38	6305	9.5	15	22.0	12.5	6700
M-42	6306	9.5	19	24.0	16.0	6000
M-48	6307	13	27	30.0	22.0	5600
M-65	6308	36	72	90.0	60.0	4000

**NOTA:**

1- Niveles de torque nominal para ambientes de 100°C, máximo desalineamiento y/o máximo R.P.M.

2- Torque de arranque y carga de frenado no deben exceder los torques máximos indicados.

3- Cargas de tipo transitoria e intermitentes no deben exceder 3 veces la capacidad de torque nominal.

4- Aplicaciones con cargas uniformes, ejes bien alineados, y de velocidades bajas permitirán operar a niveles máximos de torque.

Tabla 3.1: Características técnicas de acoplamientos Oldham<sup>1)</sup>

Este tipo de acople permite una elevada desalineación angular cuyo valor puede llegar a 2º aproximadamente. Debido a la gran elasticidad de los casquillos de caucho, también permite grandes desalineaciones en sentido transversal cuyos valores están comprendidos entre 0.4 y 2.5 mm según los tamaños.

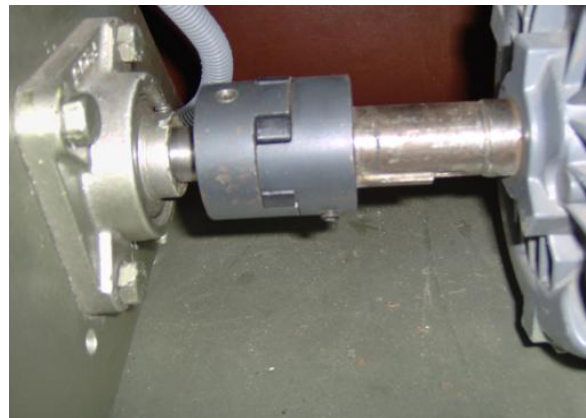


Figura 3.15: Acoplamiento mecánico del sistema de entrenamiento

---

1) <http://www.ruland.com/oldham.html>.

### **3.6 Sistema de Medición**

A continuación se detallará los valores críticos de voltajes y corrientes los cuales van a estar sujetos a medición, y con estos poder determinar el torque máximo como simulador de carga.

#### **3.6.1 Magnitudes Eléctricas**

Como se describió anteriormente el modulo de práctica esta diseñado para simular carga con un motor-electrodinómetro, a un motor Siemens cuyas características son:

##### **Placa de Datos:**

- Serie GOOT0014M366, 182T,  $\eta=81.5\%$
- 1725 RPM
- 3 HP
- 60 Hz
- 220/230v, 440/460v
- 8.4/8.2A, 4.2/4.2A

##### **• Corrientes**

- El motor Siemens soporta una  $I_{max}= 7.5A$  a torque máximo de diseño, esta corriente es suficiente para controlar y proteger el equipo a través de variadores de frecuencia (Capítulo II).

- El electrodinamómetro soportará una inyección de corriente continua de 8.3A según el diseño con un 20% de sobrecorriente por las características constructivas.

- **Voltajes**

- El motor siemens trabajará a 220Vac - 3ø en conexión bajo voltaje.
- El electrodinamómetro poseerá una fuente variable de voltaje continua desde 0-110Vcc, según la Sección 3.3 (Sistema de control)

### 3.6.2 Magnitudes Mecánicas

- **Par (Torque)**

- Como se hablo en la Sección 3.1.2 (Diseño y Cálculos), el Par nominal que va ser aplicado como carga al motor Siemens será variable desde 0 - 9.13lb\*ft. para lo cual la variable a considerar será la corriente tanto en el motor Siemens como en el electrodinamómetro (Weg). Se realiza el cálculo teórico para el desarrollo de las curvas Torque/corriente de los dos motores tomando los datos d la tabla 3.2.

TORQUE		CORRIENTES	
(N*m)	(lb*ft)	I (Acc) Weg	I (Aac) *Siemens
12,2	9,1	9,96	7,3
11,6	8,7	9,5	7,0
11,0	8,2	9	6,6
10,4	7,8	8,5	6,2
9,8	7,3	8	5,9
9,2	6,8	7,5	5,5
8,6	6,4	7	5,1
8,0	5,9	6,5	4,8
7,3	5,5	6	4,4
6,7	5,0	5,5	4,0
6,1	4,6	5	3,7
5,5	4,1	4,5	3,3
4,9	3,7	4	2,9
4,3	3,2	3,5	2,6
3,7	2,7	3	2,2

3,1	2,3	2,5	1,8
2,4	1,8	2	1,5
1,8	1,4	1,5	1,1
1,2	0,9	1	0,7
0,6	0,5	0,5	0,4
0,0	0,0	0	0,0

Tabla 3.2: Parámetros de torque y corriente

\*Corriente que se varió como constante para todos los demás valores calculados

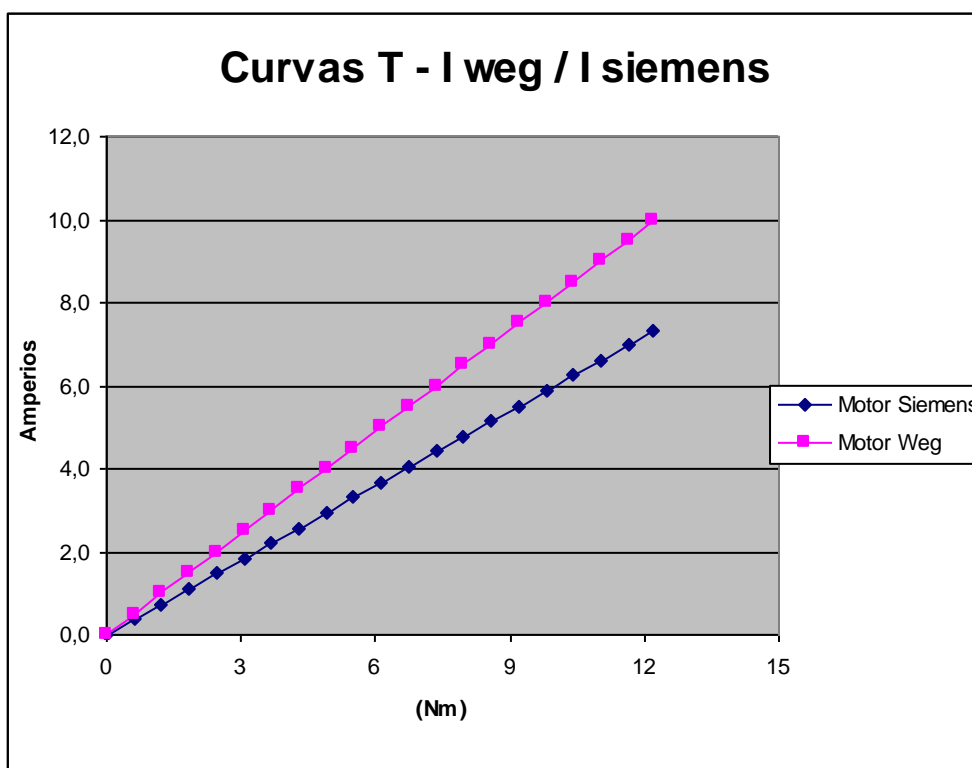


Figura 3.16: Curvas Torque vs Corrientes

En base a estos datos se construyó un sistema de medición físico para la correcta lectura del torque en aplicación del sistema.



Figura 3.17: Lectura de torque en sistema de entrenamiento

### 3.7 Montaje

El diseño y construcción de este modulo hace fácil su montaje o a su vez su desmontaje para su mantenimiento.

El modulo consta de partes fundamentales los cuales se puede identificar mas claramente en el Anexo B13, sin embargo se puede detallar los siguiente:

- Sistema Mecánico
  - Módulo o estructura general
  - Base para montaje de motores
  - Acople mecánico, chumaceras





Figura 3.18: Sistema de entrenamiento para motores de 3hp

- Sistema eléctrico de fuerza

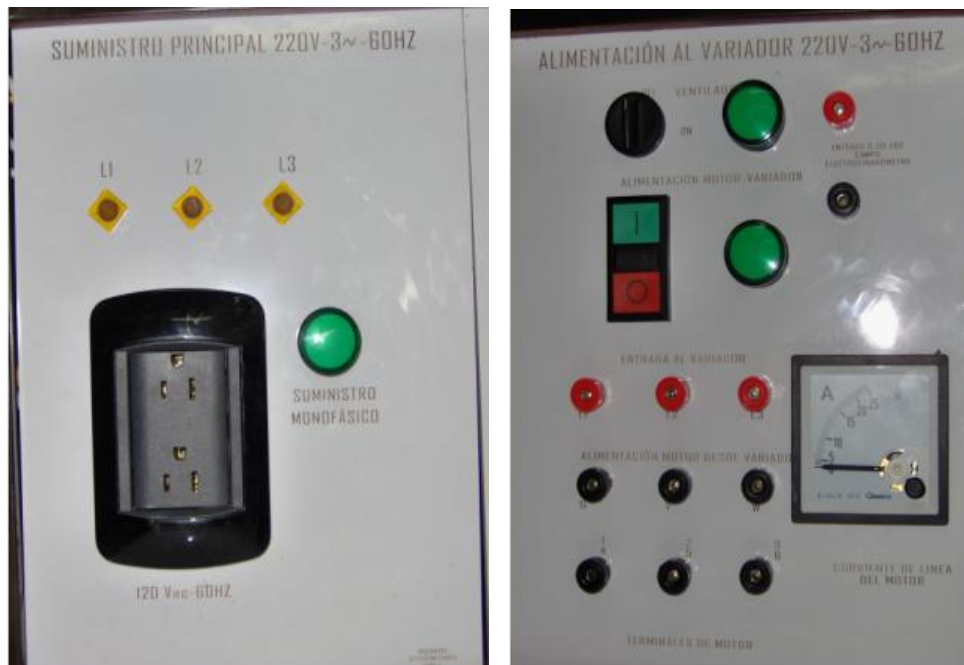


Figura 3.19: Sistema de alimentación de potencia

- Sistema electrónico de control



Figura 3.20: Tarjetas electrónicas de control y potencia

- Sistema de protección (variadores)



Figura 3.21: Variadores de frecuencia ABB y Power Flex 70

### 3.8 Costos

A continuación en la tabla 3.3 se detalla los valores de los elementos y materiales en la implementación del modulo del sistema de entrenamiento:

**COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULO DE PRÁCTICAS**

MATERIALES	PRECIO UNIT.	CANT.	VALOR TOTAL.
<b>Sistema Mecánico</b>			
Motor Siemens (M1), 3HP, 220Vac	\$ 290,00	1	\$ 290,00
Motor Weg (M2),3HP	\$ 120,00	1	\$ 120,00

Motor Ventilador 1/2HP, 110Vac	\$ 20,00	1	\$ 20,00
Chumacera F204 NTN	\$ 20,00	1	\$ 20,00
Chumacera F205 NTN	\$ 20,00	1	\$ 20,00
Acople Oldham	\$ 32,00	1	\$ 32,00
Construcción Base	\$ 100,00	1	\$ 100,00
Alineación de ejes	\$ 60,00	1	\$ 60,00
Alargamiento de ejes	\$ 12,50	2	\$ 25,00
<b>Sistema Eléctrico Fuerza</b>			
Contactador 220Vac, 40 <sup>a</sup>	\$ 25,00	1	\$ 25,00
Contacto Auxiliar	\$ 8,00	1	\$ 8,00
Breaker 220Vac, 40A, 3Ø	\$ 15,00	1	\$ 15,00
Breaker 110Vac, 20A,	\$ 10,00	1	\$ 10,00
Cable #12 AWG 4x1(mts.)	\$ 4,20	5	\$ 21,00
Enchufe trifásico 250Vac	\$ 4,00	1	\$ 4,00
Enchufe bifásico polarizado 220Vac	\$ 2,50	1	\$ 2,50
Tomacorriente 110Vac	\$ 8,00	1	\$ 8,00
Luces piloto 220Vac	\$ 0,50	3	\$ 1,50
Luz piloto 110Vac	\$ 2,50	3	\$ 7,50
Selector ON/OFF	\$ 3,50	1	\$ 3,50
Pulsador ON/OFF	\$ 4,00	1	\$ 4,00
Cables de conexión #16AWG (mts.)	\$ 0,25	6	\$ 1,50
Cables de conexión #16 antitemperatura (mts.)	\$ 1,20	5	\$ 6,00
<b>Sistema Eléctrico de control</b>			
Tarjeta de control Potencia	\$ 79,00	1	\$ 79,00
Tarjeta de control Disparo	\$ 20,00	1	\$ 20,00
Transformador 110Vac/9Vac	\$ 7,00	1	\$ 7,00
Tarjeta de capacitares	\$ 5,00	1	\$ 5,00
Cables de señal de control	\$ 3,00	2	\$ 6,00
Cajas para tarjetas	\$ 9,00	2	\$ 18,00
Amperimetro 0-25Acc	\$ 11,00	1	\$ 11,00
Amperimetro 0-50Aac	\$ 13,00	1	\$ 13,00
<b>Módulo</b>			
Estructura del módulo	\$ 200,00	1	\$ 200,00
Placa mica	\$ 5,00	1	\$ 5,00
Placas madera	\$ 15,00	4	\$ 60,00
Ruteo de placas	\$ 6,00	4	\$ 24,00
Formica (pliego)	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Cauchos (Pliego)	\$ 6,00	1	\$ 6,00
<b>TOTAL PROYECTO</b>			<b>\$ 1.266,00</b>

# CAPITULO IV

## 4. PRUEBAS DEL SISTEMA

### 4.1 Pruebas del electrodinamómetro

Después de realizar el diseño y el montaje del electrodinamómetro al sistema de entrenamiento, se procede a realizar las pruebas para verificar el buen funcionamiento del simulador de carga.

Las pruebas realizadas son:

- a. Pruebas de alineación
- b. Pruebas de voltaje y corriente
- c. Pruebas de temperatura

#### a. Pruebas de alineación

Un paso fundamental para el correcto funcionamiento del sistema es, reducir al máximo las vibraciones para evitar daños en los elementos electrónicos que posee el equipo, para lo cual se debe realizar una correcta alineación entre motor y electrodinamómetro realizando los siguientes pasos:

- Verificar que el acople de los ejes entre el electrodinamómetro y el motor Siemens se encuentre correctamente ajustado
- Observar que no exista cabeceo de los ejes, haciéndolos girar manualmente.
- Asegurarse que el motor Siemens se encuentre anclado correctamente a la base.

- Cerciorarse el apropiado alineamiento entre chumaceras y el ajuste de los pernos de anclaje.
- Energizar el módulo y dar arranque al motor Siemens 220Vac, conexión desde la placa N° 2, y observar que no exista vibración en todo el modulo de prueba.

## b. Pruebas de voltaje, corriente y torque

Para las pruebas de las variables del electrodinamómetro se procede de la siguiente manera:

- Para dar el arranque del motor Siemens, realizar la conexión de la figura 4.1 en la placa N° 2

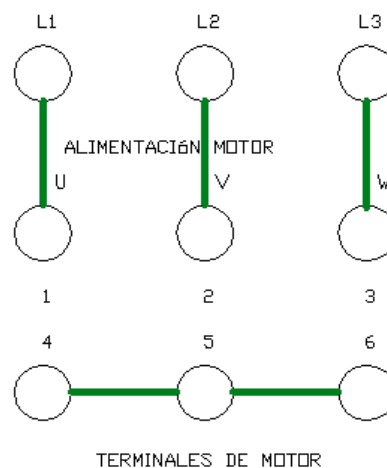


Figura 4.1: Conexiones Placa N° 2

- Conectar las tarjetas de control y potencia entre las placas N° 3 y N° 4 según la Figura 4.2:

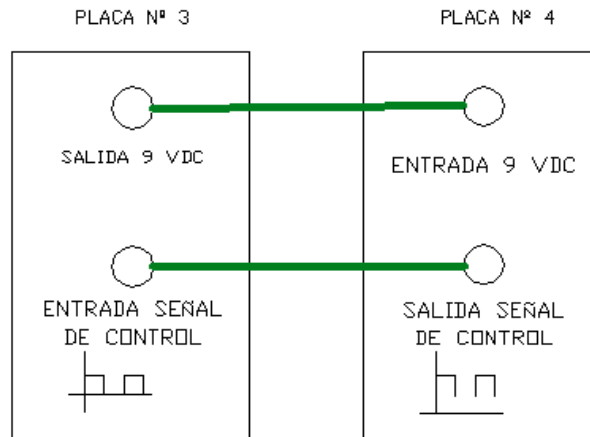


Figura 4.2: Conexiones Placa Nº 3 y Nº 4

- Alimentar al electrodinamómetro con el voltaje variable de control desde la placa Nº 3 a la placa Nº 2 según la figura 4.3:

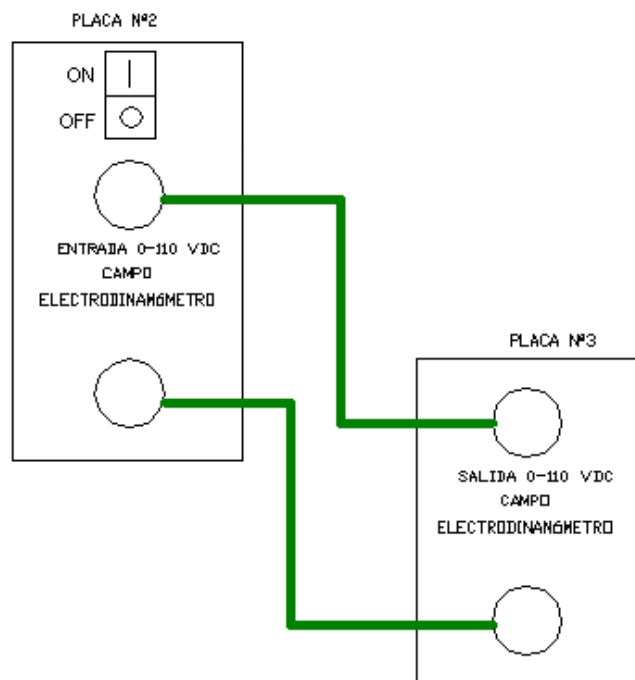


Figura 4.3: Conexiones Placa Nº 2 y Nº 3

- Energizar el modulo y dar arranque al motor Siemens a través del mando ON/OFF de la placa Nº 2, y así mismo energizar las tarjetas electrónicas con voltaje monofásico de la Placa Nº 1 con el enchufe de la placa Nº 3.

- Realizar las pruebas de funcionamiento con el control de mando de freno, variando el potenciómetro de la placa N° 4, Figura 4.4 hasta el máximo valor, y verificar los siguientes datos:
  - Voltaje variable ..... 0 – 123 Vcc
  - Torque Variable ..... 0 – 9.13 Lb\*ft
  - Corriente ..... 0 - 9.9 Acc

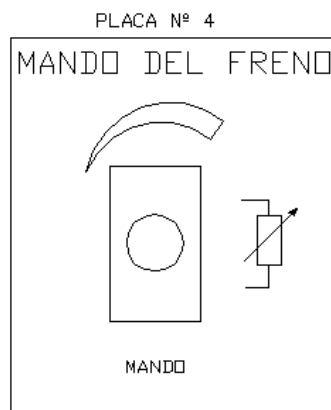


Figura 4.4: Placa N° 4, Mando de freno

### c. Pruebas de temperatura

Por seguridad y protección del equipo se debe tomar en cuenta la temperatura que podrá alcanzar al trabajar a máxima carga (Torque) por un lapso de tiempo.

Para lo cual se realizo:

- Se puso a funcionar el equipo a máxima carga con 9.13 Lb\*ft.
- Se cronometró el tiempo de trabajo continuo que fue de cuatro minutos, tiempo en el cual el motor alcanzo una temperatura de 50°C (temperatura máxima admisible).

- Del paso anterior se vio en la necesidad de implementar un sistema de enfriamiento forzado para lo cual se instaló un ventilador de 45wattios (Figura 4.5).



Figura 4.5: Montaje de ventilador enfriador

- De esta manera se determina que el equipo funcionará en ciclos de trabajo de 4 minutos de trabajo y 4 minutos de parada.

## 4.2 Pruebas con variador de frecuencia Power Flex 70

Como ya se describió en el Capítulo II sección 2.3 el variador de frecuencia Power Flex 70 en sus múltiples aplicaciones nos permite un control tanto local como remoto a través de una interfase de comunicación a un PC.

La programación del variador se puede realizar de dos métodos; el primero directamente en el display del variador y el segundo ingresando datos directamente al software del power flex 70 en el PC. Para realizar dicha programación por cualquiera de los métodos debe seguir los siguientes pasos:

- a. Se realiza la conexión de la figura 4.6 entre placa N° 2 y variador de frecuencia Power Flex 70.



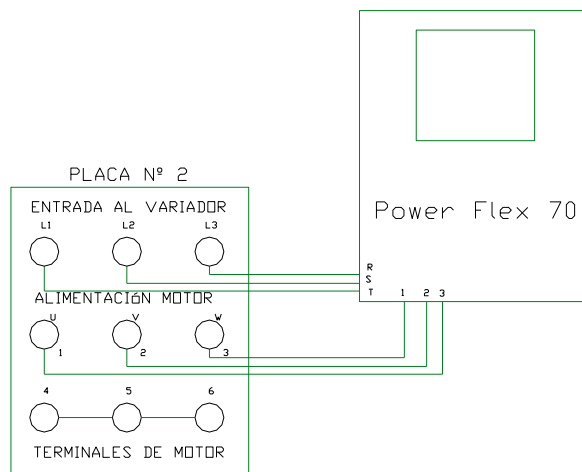


Figura 4.6 Conexión placa N° 2 y variador Power Flex 70

- b. Se energiza el modulo de entrenamiento y se verifica si el display del variador se enciende y no indica ninguna alarma de falla. Si no existe alarma presente el led del display STS se enciende de color verde, caso contrario si existe falla se pone de color amarillo.
- c. Se realiza la programación del variador de frecuencia Power flex 70, tomando en cuenta los datos de placa del motor Siemens.

Como ya se describió en el Capítulo 2 Sección 2.3.2, el variador tiene varios archivos (files) de programación, y para nuestra aplicación solamente se usa archivos de visualización y de control de parámetros.

- d. Se describe los valores de monitoreo y los valores seteados para nuestro sistema de entrenamiento de los datos de programación dados en la sección 2.3.2.

Hay que tomar en cuenta que estos valores pueden ser modificados y visualizados tanto desde el display del panel de control como desde el puerto, en el computador personal.

MONITOR - ARCHIVO A			
GRUPO DE MEDICION			
Nº	PARAMETRO	DESCRIPCION	VALOR
001	Frecuencia de salida	frecuencia de trabajo	Visualización

<b>003</b>	Corriente de salida	corriente al motor	Visualización
<b>006</b>	Voltaje de salida	Voltaje hacia el motor	Visualización
<b>007</b>	Potencia de salida	Potencia salida	Visualización
<b>008</b>	Factor de Potencia	Factor de potencia salida	Visualización
<b>DATOS DE VARIADOR</b>			
<b>027</b>	Rango de voltaje	Voltaje de entrada	visualización/208-600V
<b>028</b>	Rango de corriente	Corriente admisible	Visualización/1,1-32,2A

<b>CONTROL DEL MOTOR - ARCHIVO B</b>			
<b>DATOS DEL MOTOR</b>			
<b>Nº</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR</b>
<b>040</b>	Tipo de motor	seleccionar tipo de motor	Inducción
<b>041</b>	Voltaje del motor	Según rango de voltaje	220V
<b>042</b>	Corriente del motor	Según rango de corriente	8,4A
<b>043</b>	Frecuencia del motor	Frecuencia de trabajo	60Hz
<b>044</b>	RPM del motor	RPM	1725 rpm
<b>045</b>	Potencia del motor	Potencia	3Hp
<b>046</b>	Unidad Potencia	Potencia del Motor	Kilo watts
<b>047</b>	Frecuencia al motor	Selección de frecuencias de trabajo	50Hz
<b>048</b>	Factor del motor	nivel de sobrecarga	1
<b>ATRIBUTOS DE TORQUE</b>			
<b>053</b>	Modo de torque	Método de producción del torque	Sensrls Vect
<b>054</b>	Frecuencia Max.	Max. Frecuencia de salida	70Hz
<b>062</b>	IR Voltaje	Voltaje de compensación	10V

<b>COMANDO DE VELOCIDAD - ARCHIVO C</b>			
<b>MODO DE VELOCIDAD Y LÍMITES</b>			
<b>Nº</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR</b>
<b>080</b>	Modo de velocidad	Selección método de regul./velc.	Open Loop
<b>081</b>	Velocidad mínima	Límite mínimo	0Hz
<b>082</b>	Velocidad Max.	Máxima velocidad	60Hz
<b>083</b>	Límite sobrevelocidad	Incremento de la salida de frecuencia	10Hz

<b>CONTROL DINÁMICO - ARCHIVO D</b>			
<b>RAMPAS</b>			
<b>Nº</b>	<b>PARAMETRO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>VALOR</b>
<b>140</b>	Tiempos de Aceleración	Incrementos Aceleración	10s
<b>142</b>	Tiempo de Desaceleración	reducción de velocidad	10s
<b>LIMITES DE CARGA</b>			
<b>147</b>	Corriente imite	Fuente de ajuste	valor de corriente límite
<b>148</b>	Valor de corriente límite	Valor	10A
<b>PARADA/MODO DE FRENADO</b>			
<b>155</b>	Modo de parada	selección tipo de parada	"rampa"

Tablas4.1: Datos de programación para nuestra aplicación

- e. Una vez programado el variador de frecuencia se procede a realizar las pruebas de funcionamiento tanto locales como remotas.

#### 4.2.1 Pruebas locales

Una vez realizada las conexiones de todo el modulo de entrenamiento y la programación respectiva indicadas en las secciones anteriores, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento locales directamente desde el display del variador de frecuencia, de la siguiente manera:

1. Arrancar el motor Siemens directamente desde el variador
2. Simular carga paulatinamente, tomando en cuenta que la corriente de protección mínima del variador es de 2.2 A.
3. Con una frecuencia de 60Hz se verifica los valores de las variables a controlar. (Tabla 4.2)

<b>Icc (A)</b> <b>Electr.</b>	<b>Vcc (V)</b> <b>Electr.</b>	<b>Rpm</b> <b>M. Siemes</b>	<b>T(N.m)</b>	<b>Iac (A)</b> <b>M. Siemens</b>
<b>0</b>	0	1795	0	2.8
<b>1</b>	11.1	1795	0.7	2.8
<b>2</b>	23.2	1793	1	2.9
<b>3</b>	35.8	1792	1.8	3.0
<b>4</b>	48	1790	3.0	3.3
<b>5</b>	60.5	1789	3.2	3.6
<b>6</b>	74.3	1786	4.0	4.5
<b>7</b>	87.2	1781	5.6	4.9

<b>8</b>	103.6	1777	7.5	5.4
<b>9</b>	121.6	1771	9.4	6.5

Tabla 4.2: Parámetros de pruebas de funcionamiento con Power Flex 70

4. Se retira el torque aplicado y se realiza pruebas de inversión de giro desde el panel de control del variador.
5. Se da parada normal al motor Siemens desde el panel del variador y se comprueba la rampa de desaceleración

#### 4.2.2 Pruebas remotas

Para el procedimiento de control remoto se tiene dos opciones; la primera mediante el control de frecuencia a través de un potenciómetro de 4.7 k $\Omega$  y la segunda netamente desde el puerto DPI hacia el PC como indica en la figura 4.7.



Figura 4.7: Potenciómetro para control remoto de Power Flex 70

Para realizar el control mediante el potenciómetro se realiza la conexión de la figura 4.8.

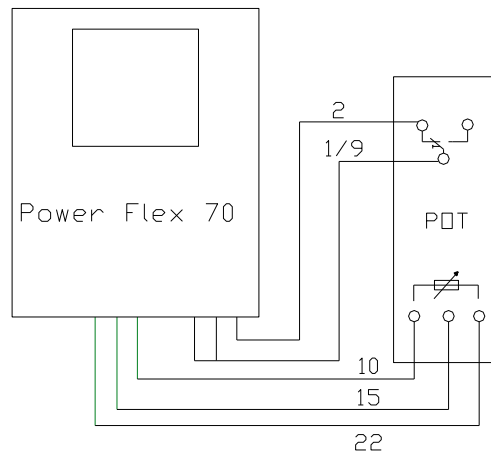


Figura 4.8: Conexión remota del variador Power Flex 70

Una vez establecido el control remoto del variador, se puede controlar el motor mediante el potenciómetro desde su mínima a máxima frecuencia. En caso de existir falla en el arranque del variador (revise falla 211 / 212), se puede eliminar dicha falla abriendo el contacto entre 1 y 9 de la figura 4.9.

Para realizar el control remoto mediante el PC se conecta el cable de interfase entre el PC y el puerto DPI del variador. Se da arranque el variador y al abrir el software de control se tiene acceso directo a todos archivos descrito en anteriormente y se puede variar de manera más fácil los parámetros requeridos tendiendo un control total desde el PC del motor siemens.

**Nota:** Esta programación realizada en el software nos permite guardar la aplicación directamente al drive del PC para cargarla en futuras aplicaciones ya sea al motor siemens como a diferentes motores.

### 4.3 Pruebas con variador de frecuencia ABB

Como ya se describió en el Capítulo II sección 2.4 el variador de frecuencia ABB nos permite trabajar en múltiples aplicaciones, para este caso será utilizado como protección y control de motores de 3Hp (motor Siemens).

Este dispositivo nos permite tener control con un mando local o un mando remoto para lo cual previamente se debe realizar los siguientes pasos:

- a. Se realiza la conexión Figura 4.10 entre placa N° 2 y variador de frecuencia ABB.

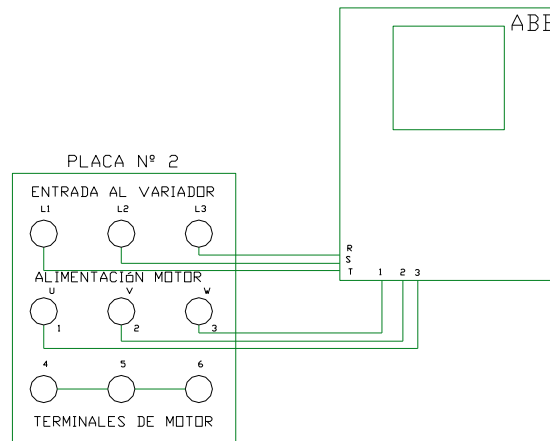


Figura 4.10: Conexión Placa N° 2 Y variador ABB

- b. Se energiza el modulo de entrenamiento y se verifica si el display del variador se enciende.
- c. Se realiza la programación del variador de frecuencia ABB, tomando en cuenta los datos de placa del motor Siemens.

Como ya se describió en el Capítulo 2 Sección 2.4.2, el variador consta de 4 páginas para programación de las cuales se usa las 2 paginas iniciales, ya que las restantes son para aplicaciones diferentes a la del sistema de entrenamiento.

- d. Ingresamos los siguientes datos de programación en las tablas 4.3 para nuestra aplicación:

### Página 1

COD.	PARAMETRO	RANGO	VALOR *	DESCRIPCION
	<b>Pagina 1</b>	Visualización		Presione Ø para cambiar de

				pagina
101	Frecuencia salida	Visualización		Frecuencia del motor
102	Frecuencia remota / local	fmin – fmax	60hz	Frecuencia local o remota
103	Velocidad	Visualización		RPM del motor
104	Salida de Corriente	Visualización		Corriente del motor
106	Frecuencia mínima	0,0 - 200/500Hz	0hz	Frecuencia de entrada mínima de referencia
107	Frecuencia máxima	0,0 - 200/500Hz	70hz	Frecuencia de salida máxima
108	Tiempo de aceleración 1	0,1 – 1800 segundos	5 s	Tiempo de rampa de aceleración
109	Tiempo de desaceleración 1	0,1 – 1800 segundos	5 s	Tiempo de rampa de desaceleración
110	Tiempo de aceleración 2	0,1 – 1800 segundos	3 s	Tiempo de rampa de aceleración
111	Tiempo de desaceleración 2	0,1 – 1800 segundos	3 s	Tiempo de rampa de desaceleración
112	Falla de memoria	Visualización		Indicación de las 3 últimas fallas
113	RPM nominales	0 - 19999	1725 rpm	Velocidad nominal del motor
114	Frecuencia nominal	50 - 400 hz	60hz	Frecuencia nominal del motor
115	Voltaje nominal	200 - 240v ó 360 - 500v	220v	Voltaje nominal del motor
116	Factor de potencia	0,4 - 0,99	0,82	Factor de potencia del motor

\* Valor programado en el variador ABB

## Página 2

CO D.	PARAM ETRO	RANGO	VALOR *	DESCRIPCION
	Pagina 2	Visualización		Presione Ø para cambiar de pagina
201	Voltaje de salida	Visualización		Voltaje de salida al motor
202	Frecuencia 1	0,0 - 200/500 hz	10hz	Velocidad seteada 1
203	Frecuencia 2	0,0 - 200/500 hz	300hz	Velocidad seteada 2
204	Frecuencia 3	0,0 - 200/500 hz	600hz	Velocidad seteada 3
205	Corriente Limite	0,5 - 1,5*In	10A	Salida de corriente límite
206	Arranque	Acc ramp / Flying / Auto Boost / Fly+Boost	Acc ramp	Selección del modo de arranque
207	Parada	Coasting / Dec ramp / Dc Brake / Dec+Brake / Dec+Hold	Dec ramp	Selección del modo de parada
208	Rampa	Linear / Rápida / Mediana / Suave	Linear	Selección de rampa de aceleración/desaceleración
217	IR compensación	Off / 0,1 - 60v / Auto	10v	Valor de compensación para arranque suave con torque
218	DC - freno	0 – 250 segundos	3segundos	Duración de frenado con DC

222	Corriente de motor	0,5 - 1,5In	10A	Protección térmica para corriente de motor
223	Dirección	FWD / REV, FWD solo	FWD / REV	Sentido de giro de motor
224	AI - Fallas	Habilitado / Deshabilitado	Habilitado	AI fallas si AI<2v/4mA

Tablas 4.3: Programación del variador ABB

\* Valor programado en el variador ABB

- e. Una vez programado el variador de frecuencia se procede a realizar las pruebas de funcionamiento tanto locales como remotas.

#### 4.3.1 Pruebas locales

Una vez realizada las conexiones de todo el modulo de entrenamiento y la programación respectiva indicadas en las secciones anteriores, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento locales directamente desde el display del variador de frecuencia, de esta manera:

1. Arrancar el motor Siemens directamente desde el variador
2. Simular carga paulatinamente, tomando en cuenta que la corriente de protección mínima del variador es de 5.3A.
3. Con una frecuencia de 45Hz se verifica los valores de las variables a controlar. (Tabla 4.4)

Icc (A) Electr.	Vcc (V) Electr.	Rpm M. Siemes	T(N*m)	Iac (A) M. Siemens
0	0	1345	0	3
1	10.1	1345	0.7	3.1
2	21.2	1343	1.4	3.2
3	31.5	1342	1.7	3.3



<b>4</b>	44.5	1340	2.9	3.5
<b>5</b>	55.5	1337	3.2	3.7
<b>6</b>	67.2	1336	4.5	4
<b>7</b>	81.6	1330	6.6	4.7
<b>8</b>	96.8	1325	8.2	5.2
<b>9</b>	111.9	1321	9.3	6
<b>9.5</b>	123.1	1319	11.4	6.4

Tabla 4.4: Parámetros obtenidos en pruebas de funcionamiento, variador ABB

4. Se retira el torque aplicado y se realiza pruebas de inversión de giro desde el panel de control del variador.
5. Se da parada normal al motor Siemens desde el panel del variador y se comprueba la rampa de desaceleración lineal

#### **4.3.2 Pruebas remotas**

Para realizar las pruebas remotas se presiona en el panel de control la tecla "Remote" y se verifica si el led indicador nos da la señal que el control es remoto, y adicionalmente se comprueba en el código 102 de la página 1 de programación que el display indique REF FREQ.

El variador es controlado por medio de una tarjeta de control de señales digitales a 24Vcc y por medio de un potenciómetro de 4.7 kΩ para controlar la frecuencia como se indica en la figura 4.11:



Figura 4.11: Potenciómetro y Tarjeta de señales digitales de mando remoto para variador ABB

Para realizar las pruebas de funcionamiento se debe realizar la conexión de la Figura 4.12:

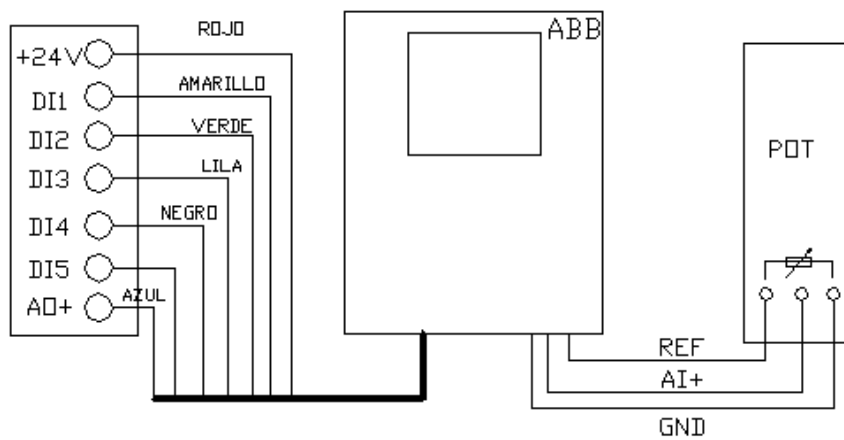


Figura 4.12: Conexión para control remoto

Una vez establecido el control remoto del variador, se puede controlar el motor mediante entradas digitales, las cuales se detallan en la tabla 4.5 y así mismo la frecuencia mediante el potenciómetro.

Entrada Digital	Función	Notas
DI1	Arranque / Parada	

<b>DI2</b>	Reversa	
<b>DI3</b>	Frecuencia 1 constante	f seteada en pagina 2 - 202
<b>DI4</b>	Frecuencia 2 constante	f seteada en pagina 2 - 203
<b>DI5</b>	Parámetro para set de selección	0v = set 1 y +24v = set 2

Tabla 4.5: Control remoto con señales digitales

Si se activan simultáneamente DI3 y DI4 entonces se tiene una frecuencia de salida constante seteada anteriormente y cuando se desactivan estas señales entonces se tiene control directo desde el potenciómetro desde el mínimo al máximo valor.

**ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**  
**LABORATORIO DE CONTROL ELECTRÓNICO DE MOTORES**

**PRACTICA Nº 1**

**A. TEMA: IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO PARA VARIADORES DE FRECUENCIA DE 3HP**

**B. OBJETIVOS**

- Familiarizarse e identificar los componentes del modulo de Sistema de entrenamiento para Variadores de frecuencia de 3hp.
- Analizar los componentes del sistema de Fuerza y de Control del módulo.

**C. MARCO TEÓRICO**

Este módulo de prueba esta constituido de cuatro partes fundamentales:

- Sistema de fuerza
- Sistema de control
- Sistema de protección (variadores)
- Sistema mecánico

**Sistema de fuerza.-** Para el sistema de fuerza esta constituido por una alimentación trifásica de 220v, para lo cual se empleo: un breaker trifásico 50A, como protección de cortocircuitos, al igual que un contactor el cual nos ayudará a obtener un voltaje disponible de 220Vac, 3 $\Phi$ , como se indica en la Figura N° 1 asi:

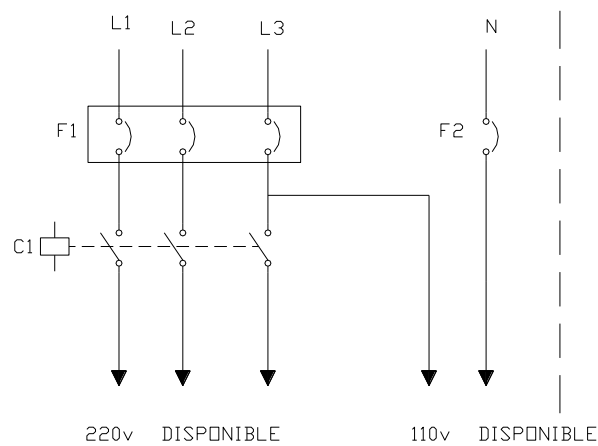


Figura N° 1: Sistema de Fuerza

**Sistema de control:** Este módulo posee dos tarjetas electrónicas, la de fuerza y la de control, la de fuerza esta constituido por un conversor AC/DC a 110Vdc , y por medio de un Mosfet de control se logrará variar la señal de salida de 0 – 120Vdc, con un potenciómetro de 250K $\Omega$ , además posee un sistema de control para la activación y conmutación del Mosfet a 9Vdc el cual se logra a través de un conversor AC/DC, como se indica en la Figura N°2:

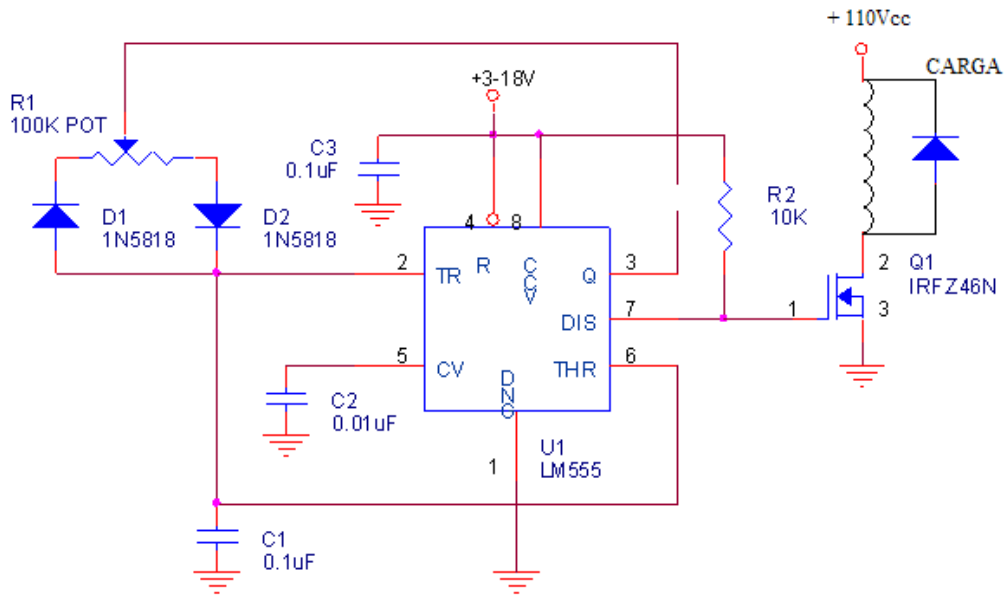


Figura N° 2: Sistema de Control

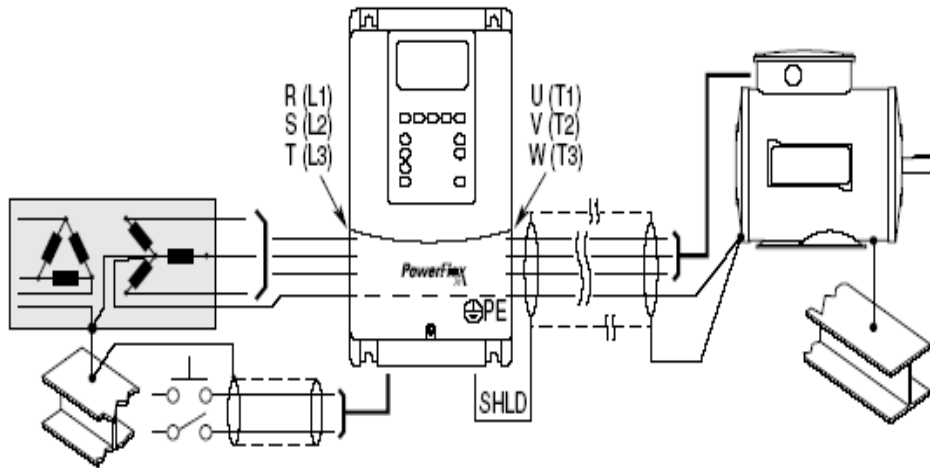
**Sistema de Protección (Variadores).-** Se utilizara dos tipos de variadores individualmente, los cuales nos servirán de protección para el motor:

- **POWER FLEX 70**

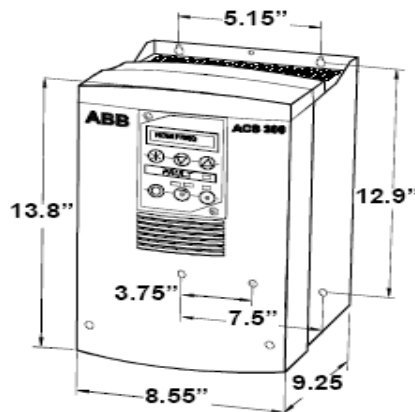


Output Power		Frame Size								
kW ND (HD)	HP ND (HD)	208-240V AC Input			400-480V AC Input			600V AC Input		
		Not Filtered	Filtered	IP66 (4X/12)	Not Filtered	Filtered	IP66 (4X/12)	Not Filtered	Filtered	IP66 (4X/12)
0.37 (0.25)	0.5 (0.33)	A	B	B	A	B	B	A	-	B
0.75 (0.55)	1 (0.75)	A	B	B	A	B	B	A	-	B
1.5 (1.1)	2 (1.5)	B	B	B	A	B	B	A	-	B
2.2 (1.5)	3 (2)	B	B	B	B	B	B	B	-	B
4 (3)	5 (3)	-	C	D	B	B	B	B	-	B
5.5 (4)	7.5 (5)	-	D	D	-	C	D	C	-	D
7.5 (5.5)	10 (7.5)	-	D	D	-	C	D	C	-	D
11 (7.5)	15 (10)	-	D	D	-	D	D	D	-	D
15 (11)	20 (15)	-	E	E	-	D	D	D	-	D
18.5 (15)	25 (20)	-	E	E	-	D	D	-	-	-
22 (18.5)	30 (25)	-	-	-	-	D	D	-	-	-
30 (22)	40 (30)	-	-	-	-	E	E	-	-	-
37 (30)	50 (40)	-	-	-	-	E	E	-	-	-


- **Conexión Típica:**



- **ABB ACS300:**



Wall mounted — Power — 3 = 380...480 V and 1 = 200...240 V

ABB Industry Oy						
0 = Internal RFI-filter 1 = No RFI-filter	Type	ACS300108P73DE	U1	3~ 380...480 V	U2	3~0- 380...480 V
			I1n	10.6 A	I2n	13.2 A
	Semo	*96010001*	f1	48...63 Hz	f2	0...500 Hz
	Year					
	Week					
	Internal number					

**Sistema Mecánico.-** Este módulo dispone de dos motores en el cual uno de ellos nos servirá como freno (electrodinamómetro) para el motor a prueba

(motor Siemens), los cuales están acoplados mediante un sistema mecánico llamado Oldham.

#### D. IMPLEMENTOS Y EQUIPOS

- Módulo de Circuito de fuerza AC/DC y DC/DC
- Módulo de Alimentación al variador 220Vac - 3~ - 60Hz
- Módulo de Mando de Freno
- Módulo de suministro principal de energía 220Vac - 3~ - 60Hz

#### E. PROCEDIMIENTO

1. Identifique visualmente el módulo y el área de trabajo
2. Observar y verificar que los elementos de protección principal se encuentren en optimas condiciones para el correcto funcionamiento del modulo.
3. Conectar el cable de alimentación principal del módulo, a la fuente de voltaje trifásica\*-
4. Observe que se prendan las luces piloto
5. Compruebe los voltajes disponibles de salida del modulo de suministro principal de energía y suministro monofásico:

Voltaje Trifásico:

L1 y L2      \_\_\_\_\_ Vac

L1 y L3      \_\_\_\_\_ Vac

L2 y L3      \_\_\_\_\_ Vac

Voltaje Monofásico

L1 y N      \_\_\_\_\_ Vac

6. Comprobar que los motores estén fijos a la base (pernos, chumaceras, acople mecánico)
7. Identificar las características técnicas del motor Siemens (datos de placa) y del electrodinamómetro (datos de diseño).

## **F. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- Analice si coinciden los valores medidos con los requeridos para el buen funcionamiento del módulo.
- En caso de encontrar alguna anomalía tanto el sistema eléctrico como en el sistema mecánico realizar un cuadro de fallas.

## **G. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

---

---

---



**ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**  
**LABORATORIO DE CONTROL ELECTRÓNICO DE MOTORES**

**PRACTICA Nº 2**

**A. TEMA: PRUEBAS DE CARGA CON EL VARIADOR DE FRECUENCIA  
ABB**

**B. OBJETIVOS**

- Programar el variador de frecuencia ABB para controlar un motor de 3Hp.
- Simular carga en un motor Siemens de 3Hp
- Realizar cuadros de comportamiento del motor a diferentes frecuencias.
- Realizar pruebas de protección al motor Siemens.

**C. MARCO TEÓRICO**

**Variador de frecuencia ABB**

El ACS 300 es un controlador PWM AC, que por la tecnología que posee hace referencia a las diferentes opciones de mando que se basa la unidad básica.

Este variador tiene capacidad de ser utilizado para diversas aplicaciones y así servir como un elemento de control y protección, por lo que su control puede ser de manera local o remota, las características y especificaciones técnicas varían de acuerdo al trabajo que va a realizar, tomando en cuenta que la corriente mínima de protección es de 5.3Aac.

Este dispositivo puede ser alimentado con un voltaje de 220Vac, y de la misma manera debe ser conectado a las tres fases del motor que va hacer controlado.

En nuestro caso la función principal del variador de velocidad será la de controlar la velocidad del motor a prueba y al mismo tiempo nos servirá como un elemento de protección contra sobrecargas, ya que este va estar expuesto a diferentes tipos de esfuerzos que se le aplicará por medio del electrodinamómetro.

### **Electrodinamómetro**

Es un dispositivo que se usa para medir el par desarrollado por motores de todos los tipos. Se trata de un freno eléctrico en el cual la fuerza de frenado se hace variar eléctricamente sin necesidad de usar fricción mecánica. El electrodinamómetro es un dispositivo más estable y fácil de ajustar que los frenos de fricción mecánica. El electrodinamómetro se compone de un estator y un rotor de jaula de ardilla.

En condiciones de operación normales, se aplica una corriente directa al devanado del estator y esto crea un campo magnético que pasa tanto por el estator, como el rotor. (que está unido al motor mediante un sistema de acople mecánico), se induce un voltaje en las barras del rotor y las corrientes resultantes reaccionan con el campo magnético haciendo que el estator gire en el mismo sentido que el rotor.

La potencia de salida de un motor depende de su velocidad y el par que desarrolla. Esta relación está dada por la siguiente ecuación:

$$Hp = \frac{(r/\text{min}) (\text{lb}\cdot\text{plg}) (1.59)}{100,000}$$

En donde:

Hp = potencia en caballos de fuerza

r/min = velocidad en revoluciones por minuto

lb·plg = par en libras-fuerza pulgadas

1.59= una constante

O también:

$$P = T * w \quad \|\text{watts}\|$$

Donde:

T= Torque en Nm

w= velocidad angular rad/seg

#### **D. IMPLEMENTOS Y EQUIPOS**

- Módulo de entrenamiento para variadores de frecuencia de 3Hp
- Manual de funcionamiento del variador ABB
- Variador de frecuencia ABB
- Cables de conexión.
- Multímetro
- Potenciómetro
- Tarjeta de control de señales digitales

#### **E. PROCEDIMIENTO**

1. Estudiar el manual de funcionamiento del variador ABB, en sus detalles de conexión y programación

2. Conecte el variador al módulo de entrenamiento y el motor Siemens tal como se indica en la figura N° 1

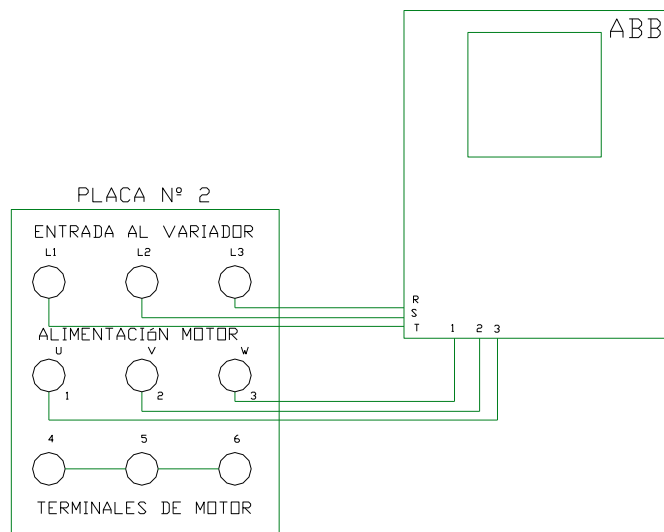


Figura N° 1

3. Alimentar con 220Vac - 3~ - 60Hz al módulo de entrenamiento y dar pulso de ON en la placa N° 2 y observar que se active la luz piloto interna del variador, y que el Display de pantalla líquida se encienda normalmente.
4. Ingrese datos de programación según las indicaciones del manual de funcionamiento. Los parámetros requeridos del motor Siemens se encuentran en la placa de datos.

Potencia: 3HP.

Voltaje: 220V-3~

Corriente: 8.4 Amp.

Velocidad: 1725 rpm.

Frecuencia: 60 Hz

5. Programar parámetros de protección, los cuales deben cumplir con las siguientes características.

1. ACC TIME 1..... 5 segundos
2. DEC TIME 1.....5 segundos
3. MIN FREQ..... 0 Hz
4. MAX FREQ..... 70 Hz
5. I LIMIT ..... 10 Amperios
6. MOTOR I ..... 10 Amperios
7. START..... Acc Ramp
8. STOP..... Dcc Ramp

### Control local del variador

6. Programar el variador para control local.
7. Conectar el sistema de entrenamiento tal como se indica en las figuras N° 2 y 3.

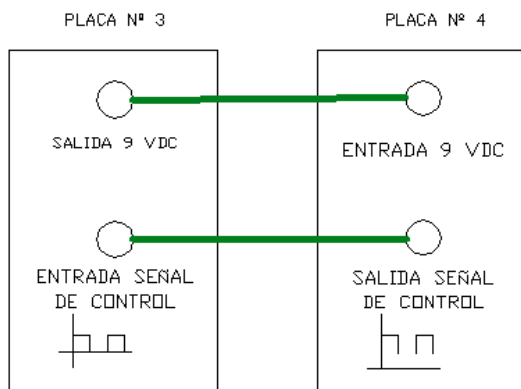


Figura N° 2

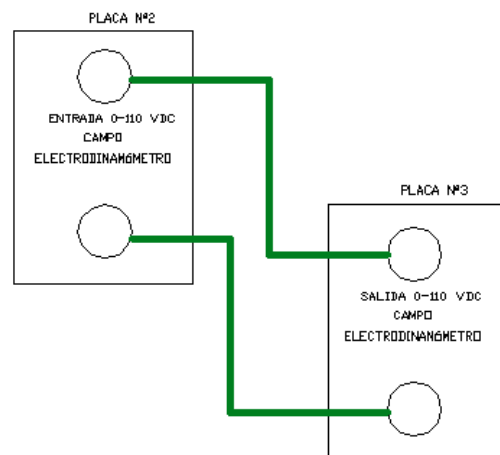


Figura N° 3

8. Dar arranque al motor desde el display del variador y simular carga variando el potenciómetro de la placa N° 4. Llenar la tabla N° 1.

Torque (lb*ft)	RPM Motor Siemens	Iac (A) Siemens	Icc (A) Electrodinómetro	Potencia de salida (w)
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Tabla N° 1

9. Bajar paulatinamente la carga a 0 lb\*ft y realizar inversión de giro desde el panel.
10. Dar parada al sistema.

### **Control remoto del variador**

11. Programar el variador para control remoto, presionando el botón "Remote" en el panel.
12. Realice la conexión de la figura N° 4.

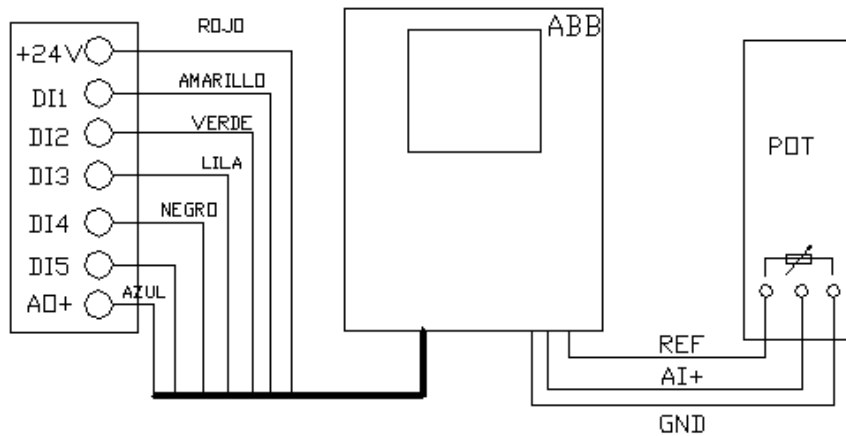


Figura N° 4

13. Dar arranque remoto al motor desde DI1.
14. Programar DI3 (cod 202) y DI4 (cod 203) para frecuencias constantes de 20 y 30 Hz respectivamente.
15. Realizar pruebas de funcionamiento a frecuencias constantes de 20 y 30 Hz.
16. Desde DI2 realizar inversión de giro.
17. Deshabilitar DI3 y DI4 para tener un control de frecuencia variable de 0 a 70 hz con el potenciómetro.
18. Simular Fallas con el variador, alterando parámetros de corriente protección a 6 A indicados en el paso 5.
19. A una frecuencia de 60 Hz ingresar carga hasta que actúe la protección al motor.
20. Quitar carga y dar parada al sistema de entrenamiento.

## F. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Realizar la curva  $T$  vs  $I_{ac}$ , y explique brevemente cual es el resultado.
- Varíe la frecuencia a 30 Hz y realice la tabla del paso 8. Explique resultados.
- Analizar como actúa el variador al momento de tener una falla simulada.

#### **G. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

---

---



**ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**  
**LABORATORIO DE CONTROL ELECTRÓNICO DE MOTORES**

**PRACTICA Nº 3**

**A. TEMA: PRUEBAS DE CARGA CON EL VARIADOR DE FRECUENCIA  
POWER FLEX 70**

**B. OBJETIVOS**

- Programar el variador de frecuencia Power Flex 70 para controlar un motor de 3Hp.
- Simular carga en un motor Siemens de 3Hp
- Realizar cuadros de comportamiento del motor a diferentes frecuencias.
- Realizar pruebas de protección al motor Siemens.

**C. MARCO TEÓRICO**

**Variador de frecuencia Power Flex 70**

El variador Power Flex 70 es un elemento de estado sólido que por sus características técnicas y su versatilidad en su programación nos permite tener un control fino y preciso de motores con capacidad desde 0 a 3kw.

Este dispositivo puede ser alimentado con un voltaje de 220Vac, y de la misma manera debe ser conectado a las tres fases del motor que va hacer controlado.

Este elemento por su tecnología puede darnos un control tanto local como remoto, en caso del control remoto se lo hace a través de un PC mediante una interfase de comunicación, facilitando el trabajo del operador.

Además este elemento nos permite tener un control en motores de pequeña capacidad ya que su corriente mínima de protección es de 2.2A, lo que lo hace un dispositivo muy utilizado en aplicaciones industriales o como en este caso en un prototipo de pruebas.

La función principal del variador de velocidad en esta práctica será la de controlar la velocidad del motor a prueba, y al mismo tiempo nos servirá como un elemento de protección contra sobrecargas, ya que va estar expuesto a simulación de carga.

#### **D. IMPLEMENTOS Y EQUIPOS**

- Módulo de entrenamiento para variadores de frecuencia de 3Hp
- Manual de funcionamiento del variador Power Flex 70
- Variador de frecuencia Power Flex 70
- Cables de conexión.
- Multímetro
- Potenciómetro
- Tarjeta de control (potenciómetro)
- PC

#### **E. PROCEDIMIENTO**

1. Estudiar el manual de funcionamiento del variador Power Flex 70, en sus detalles de conexión y programación
2. Conecte el variador al módulo de entrenamiento y el motor Siemens tal como se indica en la figura N° 1

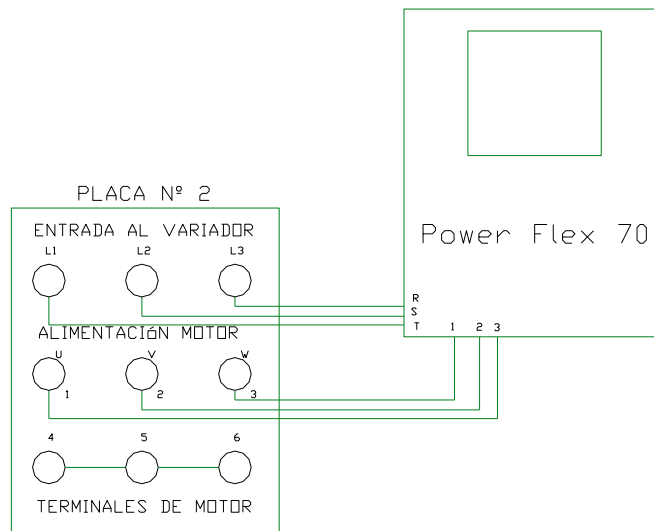


Figura N° 1

3. Alimentar con 220Vac - 3~ - 60Hz al módulo de entrenamiento y dar pulso de ON en la placa N° 2 y observar que se active la luz piloto interna del variador, y que el Display de pantalla líquida se encienda normalmente y no muestre ningún tipo de falla.
4. Ingrese datos de programación según las indicaciones del manual de funcionamiento. Los parámetros requeridos del motor Siemens se encuentran en la placa de datos.

Tipo motor Inducción

Potencia: 3HP.

Voltaje: 220V-3~

Corriente: 8.4 Amp.

Velocidad: 1725 rpm.

Frecuencia: 60 Hz

5. Programar parámetros de protección, los cuales deben cumplir con las siguientes características.

1. ACCEL TIME 1..... 3 segundos
2. DECEL TIME 1.....3 segundos
3. MIN FREQ..... 0 Hz
4. MAX FREQ..... 70 Hz
5. CURRENT LIMIT . 8 Amperios
6. START..... Acc Boost
7. STOP..... Ramp
8. Motor OL FACTOR ... 1

### Control local del variador

6. Conectar el sistema de entrenamiento tal como se indica en las figuras N° 2 y 3.

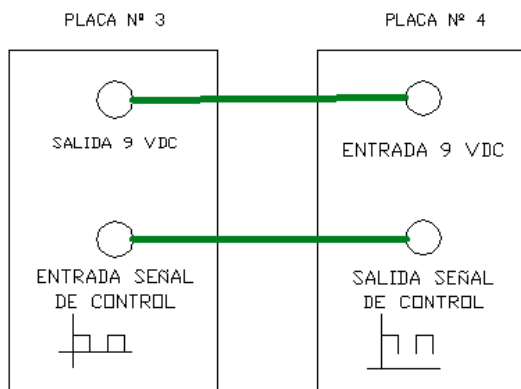


Figura N° 2

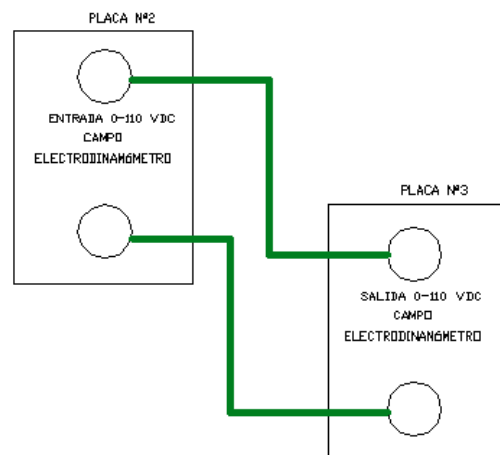


Figura N° 3

7. Dar arranque al motor desde el display del variador y simular carga variando el potenciómetro de la placa N° 4. Llenar la tabla N° 1.

Torque (lb*ft)	RPM Motor	Iac (A) Siemens	Icc (A) Electrodinamómetro	Vcc Electrodinamómetro

	Siemens			
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Tabla N° 1

8. Bajar paulatinamente la carga a 0 lb\*ft y realizar inversión de giro desde el panel.
9. Dar parada al sistema.

**Control remoto del variador con potenciómetro**

10. Realice la conexión de la figura N° 4.

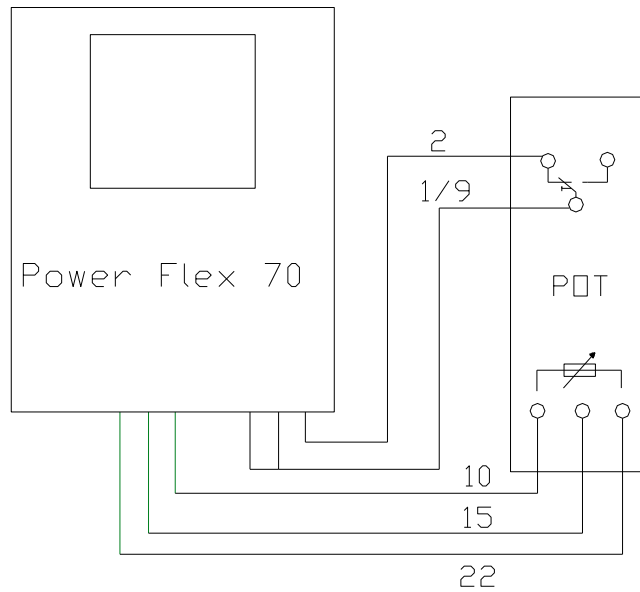


Figura N° 4

11. Dar arranque remoto al motor desde el variador y controlar la frecuencia variando el potenciómetro
12. Variar el potenciómetro desde el valor mínimo hasta el máximo valor y observar el comportamiento del equipo.
13. Dar parada al sistema desde el panel del variador y desconectar el potenciómetro.

### Control remoto del variador con PC

14. Conectar la interfase de comunicación entre el DPI del variador y el puerto del computador.
15. Iniciar el software del variador y comprobar todos los valores programados anteriormente, en caso de no coincidir, realizar la programación directamente desde el computador.
16. Dar arranque, inversión de giro y parada desde el PC
17. Dar arranque al sistema de entrenamiento y simular carga

18. Simular Fallas con el variador, alterando parámetros de corriente protección a 5 A indicados en el paso 5.
19. A una frecuencia de 60 Hz ingresar carga hasta que actúe la protección al motor.
20. Quitar carga y dar parada al sistema de entrenamiento.

#### **F. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- Realizar la curva T vs  $I_{ac}$ , explique la relación entre estos parámetros.
- Varíe la frecuencia a 45 Hz y realice la tabla del paso 7. Explique resultados.
- Analizar como actúa el variador al momento de tener una falla simulada.

#### **G. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

---

---

## **PRACTICA Nº 4**

### **A. TEMA: PRUEBAS DE VOLTAJE DE COMPENSACIÓN UTILIZANDO LOS VARIADORES POWER FLEX 70 Y ABB ACS300**

### **B. OBJETIVOS**

- Observar el comportamiento de los variadores de frecuencia al dar arranque al motor Siemens con carga
- Estudiar el IR de compensación de los variadores
- Realizar análisis comparativo en el arranque con IR de compensación de los dos variadores

### **C. MARCO TEÓRICO**

En el campo industrial los motores por el proceso que desarrollan tienden a perder su rendimiento por condiciones de trabajo o simplemente por su vida útil, de la misma manera existen motores de gran capacidad que por el diseño de construcción poseen grandes tamaños, debido a esto, al momento de arrancar requiere vencer un pequeño torque inicial, para lo cual los variadores de frecuencia, debido a sus múltiples aplicaciones nos ayuda a vencer este torque con un voltaje extra de compensación aplicado (IR voltaje), tal como se muestra en la figura 1:



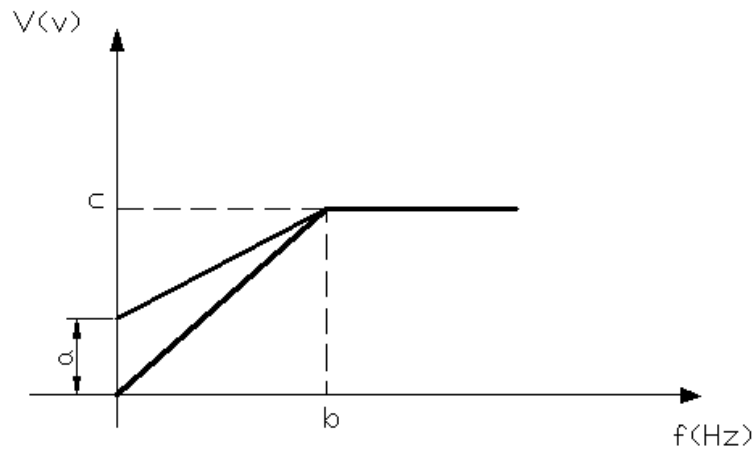


Figura 1: IR de compensación.  $a=IR$  voltaje,  $b=$  Frecuencia Nominal del motor,  $c= V_n$

Para los variadores de frecuencia Power Flex 70 y ABB ACS300 los valores de voltaje de compensación son siguientes:

- Power Flex 70 .....  $0 - V_{motor} * 0.25$
- ABB ACS300 .....  $0.1 - 60v$

#### D. IMPLEMENTOS Y EQUIPOS

- Módulo de entrenamiento para variadores de frecuencia de 3Hp
- Manual de funcionamiento del variador Power Flex 70
- Manual de funcionamiento del variador ABB
- Variador de frecuencia Power Flex 70
- Variador de frecuencia ABB
- Cables de conexión.
- Multímetro
- Tarjeta de control (potenciómetro)

## E. PROCEDIMIENTO

1. Estudiar el manual de funcionamiento del variador Power Flex 70 y ABB ACS300, en sus detalles de programación del IR de compensación.
2. Conecte cada variador al módulo de entrenamiento respectivamente y el motor Siemens tal como se indica en la figura N° 2

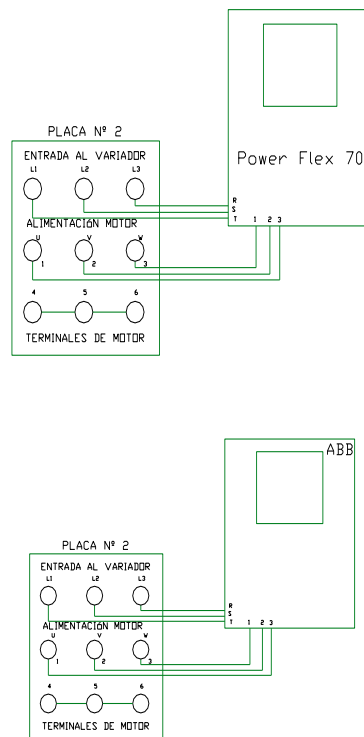


Figura N° 2

### Variador Power Flex 70

3. Alimentar con 220Vac - 3~ - 60Hz al módulo de entrenamiento y dar pulso de ON en la placa N° 2 y observar que se active la luz piloto interna del variador, y que el display de pantalla líquida se encienda normalmente y no muestre ningún tipo de falla.
4. Ingrese datos de programación según las indicaciones del manual de funcionamiento. Los parámetros requeridos del motor Siemens se encuentran en la placa de datos.

Tipo motor Inducción  
 Potencia: 3HP.  
 Voltaje: 220V-3~  
 Corriente: 8.4 Amp.  
 Velocidad: 1725 rpm.  
 Frecuencia: 60 Hz

5. Programar parámetros de protección, los cuales deben cumplir con las siguientes características.

1. ACCEL TIME 1..... 3 segundos
2. DECEL TIME 1.....3 segundos
3. MIN FREQ..... 0 Hz
4. MAX FREQ..... 70 Hz
5. CURRENT LIMIT..... 8 Amperios
6. START..... Acc Boost
7. STOP..... Ramp
8. IR Voltaje ..... 10v

6. Conectar el sistema de entrenamiento tal como se indica en las figuras N° 2 y 3.

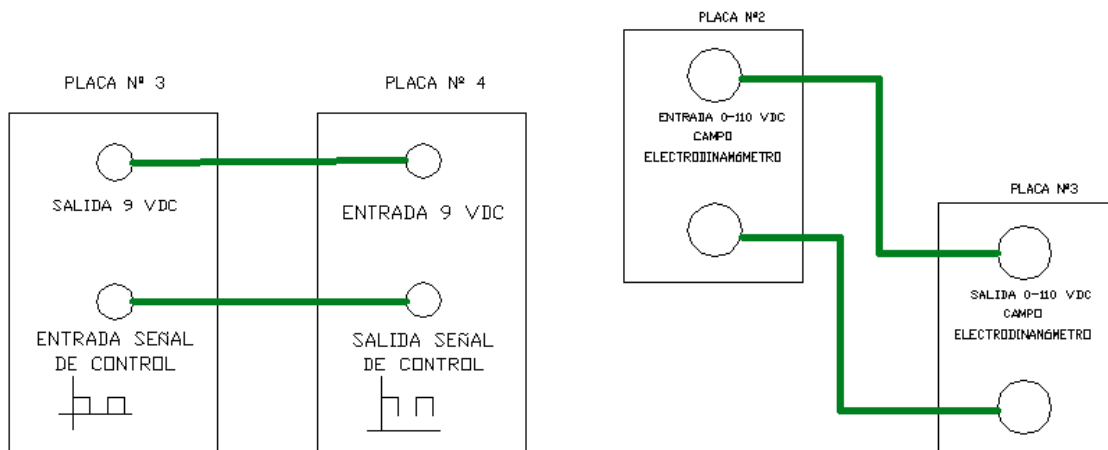


Figura N° 2

Figura N° 3

7. Simular carga variando el potenciómetro de la placa N° 4. hasta alcanzar un torque de 1Nm según el medidor de torque.
8. Dar arranque al motor desde el display del variador y observar si el motor empieza a trabajar, si el motor no vence la inercia y no trabaja, varíe el valor de IR de compensación a una cantidad superior hasta alcanzar el arranque del motor
9. Bajar paulatinamente la carga a 0 N-m y dar parada al sistema.

### **Variador ABB ACS300**

10. Alimentar con 220Vac - 3~ - 60Hz al módulo de entrenamiento y dar pulso de ON en la placa N° 2 y observar que se active la luz piloto interna del variador.
11. Programar parámetros de protección, los cuales deben cumplir con las siguientes características.
  1. ACC TIME 1..... 5 segundos
  2. DEC TIME 1.....5 segundos
  3. MIN FREQ..... 0 Hz
  4. MAX FREQ..... 70 Hz
  5. I LIMIT ..... 10 Amperios
  6. MOTOR I ..... 10 Amperios
  7. START..... Acc Ramp
  8. STOP..... Dcc Ramp
  9. IR Voltaje .....10v
12. Conecte el sistema como se indica en el paso N° 6
13. Repita el procedimiento N° 7 y 8, al igual que el variador Power Flex70

14. Quitar carga y dar parada al sistema de entrenamiento.

#### **F. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- Analice cual de los dos variadores da mejores resultados en el arranque con carga
- Analizar el comportamiento de los dos variadores al arrancar el motor Siemens a diferente carga.

#### **G. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

---

---

# CAPITULO V

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Se construyó un sistema de entrenamiento para los variadores de frecuencia Power Flex 70 y ABB existentes en laboratorio de control electrónico de motores de 3hp de potencia, diseñando el sistema mecánico del módulo y el sistema eléctrico de potencia y control.
- Se diseño y se construyó un sistema de freno como simulador de carga (electrodinómetro) que nos permite medir el torque aplicado aun motor a prueba, a partir de la selección de un motor de inducción trifásico de 3 hp que fue rediseñado el bobinado estático.
- Al analizar el trabajo que va a realizar el módulo de entrenamiento se determinó que el equipo va a desarrollar fuerzas de flexión y torsión para lo cual se diseño y construyó una base mecánica capaz de soportar dichos esfuerzos, y de esta manera con la selección del material adecuado se eligió los accesorios necesarios como chumaceras y acople para su montaje y funcionamiento.
- Se estudió los variadores de frecuencia Power Flex 70 y ABB existentes en el laboratorio de control electrónico, con los cuales se determinó que entre sus diferentes aplicaciones podemos realizar un preciso control en el arranque, parada y variación de velocidad a diferentes frecuencias dependiendo de la programación y la aplicación requerida.

- Dentro de sus múltiples aplicaciones, los variadores de frecuencia fueron utilizados como elementos de protección del motor a prueba de forma local y remota, a través de una sobrecarga simulada por el electrodinamómetro del sistema de entrenamiento.
- Después de realizar varias pruebas de control y protección al motor con los variadores de frecuencia en el módulo de entrenamiento se desarrollaron guías prácticas para que el sistema de entrenamiento sirva como una herramienta de estudio para las futuras generaciones.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda estudiar y hacer una revisión previa en los manuales de funcionamiento de la programación y conexión de los variadores de frecuencia, ya que la mala manipulación de estos elementos de control y protección pueden ocasionar daños en las tarjetas electrónicas y en el motor a prueba del sistema de entrenamiento.
- Al realizar mando remoto de los variadores de frecuencia se sugiere verificar las conexiones en el manual del usuario, tomando en cuenta las entradas / salidas analógicas y digitales para así evitar daños posibles a las tarjetas internas de los variadores.
- Antes de realizar prácticas de funcionamiento del módulo de entrenamiento se recomienda verificar la alineación entre ejes del electrodinamómetro y el motor a prueba, ya que esto puede provocar una vibración excesiva lo cual causará daños a elementos sensibles del sistema.

- Al realizar pruebas al electrodinamómetro se determinó un ciclo de trabajo y de parada para no saturar el equipo, por lo que se recomienda implementar un sistema de medición de temperatura para poder controlar el excesivo calentamiento que por el uso puede empezar a tener el simulador de carga.
- En caso de ser necesario la manipulación de tarjetas electrónicas se sugiere tener cuidado ya que existen elementos sensibles al contacto directo y pueden causar daño irreversible en su funcionamiento.



## **ANEXO A :**

**A1 .- ESPECIFICACIONES DE VARIADOR DE FRECUENCIA POWER FLEX 70**

**A2 .- ARCHIVO A DEL VARIADOR DE FRECUENCIA POWER FLEX 70**

**A3 .- ARCHIVO B DEL VARIADOR DE FRECUENCIA POWER FLEX 70**

**A4 .- ARCHIVO C DEL VARIADOR DE FRECUENCIA POWER FLEX 70**

**A5 .- ARCHIVO D DEL VARIADOR DE FRECUENCIA POWER FLEX 70**


**A6 .- ALARMAS Y PROTECCIONES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA POWER FLEX 70**

**A7 .- PÁGINA 1 DEL VARIADOR DE FRECUENCIA ABB**

**A8 .- PÁGINA 2 DEL VARIADOR DE FRECUENCIA ABB**


**A9 .- PÁGINA 3 Y 4 DEL VARIADOR DE FRECUENCIA ABB**

Table 7-1 Page 1 Drive parameters and their factory settings.

Code	Parameter	Range	Default	Customer	Page	Description
	PAGE 1 (*P2)	Display only	-	-	48	Press  to change to page 2
101	OUTPUT F	Display only	-	-	48	Frequency to motor
102	REF FREQ/ LOC FREQ (L)	$f_{MIN} - f_{MAX}$	0 Hz		49	Frequency reference from remote or control panel
103	SPEED	Display only	-	-	49	Calculated motor speed
104	OUTPUT I	Display only	-	-	49	Motor current
105	COPY	Exit/Read/Write/ Set Factory Def.	Exit	-	49	Transfers all settings to and from panel
106	MIN FREQ	0.0 - 200/500 Hz <sup>1)</sup>	0.0 Hz		49	Reference input minimum frequency
107	MAX FREQ	0.0 - 200/500 Hz <sup>1)</sup>	50 Hz		49	Maximum output frequency
108	ACC 1	0.1 - 1800 s <sup>2)</sup>	3 s		49	Time for Ref Min f - Ref Max f acceleration ramp
109	DEC 1	0.1 - 1800 s <sup>2)</sup>	3 s		49	Time for Ref Max f - Ref Min f deceleration ramp
110	ACC 2	0.1 - 1800 s <sup>2)</sup>	3 s		49	Time for Ref Min f - Ref Max f acceleration ramp
111	DEC 2	0.1 - 1800 s <sup>2)</sup>	3 s		49	Time for Ref Max f - Ref Min f deceleration ramp

Code	Parameter	Range	Default	Customer	Page	Description
112	FAULT MEMORY	Display only	-		50	The last three fault indications
113	NOM RPM (0)	0 - 19999	1500		50	Nominal motor speed
114	NOM FREQ (0)	50 - 400 Hz	50 Hz		51	Nominal motor frequency
115	NOM VOLT (0)	200 - 240V or 360 - 500 V <sup>3)</sup>	220V or 480 V <sup>3)</sup>		51	Nominal motor voltage
116	COS PHI (0)	0.40 - 0.99	0.75		51	Motor power factor
117	SUPPLY VOLT <sup>3)</sup> (0)	380 to 480 V	480 V		51	Supply voltage selection
118	LANGUAGE	GB,SF,S,D,I,F, E,NL,DK	English		51	Display language selection
119	TEMP MOD	Display only	-		51	Calculated motor temperature
120	HOURS	Display only	-		51	Operation timer


Table 7-2 Page 2 Drive parameters and their factory settings.

Code	Parameter	Range	Default	Customer	Page	Description
	PAGE 2 ( P3)	Display only	-	-	51	Press  to change to page 3
201	OUTPUT V	Display only	-	-	52	Output voltage to motor
202	CON F1	0.0 – 200/500 Hz <sup>1)</sup>	5.0 Hz		52	Preset speed 1
203	CON F2	0.0 – 200/500 Hz <sup>1)</sup>	25.0 Hz		52	Preset speed 2
204	CON F3	0.0 – 200/500 Hz <sup>1)</sup>	50.0 Hz		52	Preset speed 3
205	I LIMIT	0.5 – 1.5 x I <sub>N</sub>	1.5 x I <sub>N</sub>		52	Output current limit
206	START (0)	Acc Ramp/Flying/Auto Boost/ Fly+Boost	Acc Ramp		52	Starting mode selection
207	STOP (0)	Coasting/Dec Ramp/ DC Brake/Dec+Brake/ Dec+Hold	Coasting		53	Stopping mode selection
208	RAMP (0)	Linear/Fast S/ Medium S/Slow S	Linear		54	Acceleration/deceleration ramp shape selection
209	REF OFFSET (0)	0V 0mA/2V 4mA/ Joystk/Custom	0 V 0 mA		55	Analog input minimum and type selection

Code	Parameter	Range	Default	Customer	Page	Description
210	A. OUT	None/Out Freq/Ref Freq/Motor Curr	None		57	Analog output function selection
211	A. OUT OFFS	0 mA/4 mA	0 mA		57	Analog output minimum
212	SWITCH F	1.0 – 16.0 kHz	4 kHz		58	Switching frequency
213	CRIT F1L	0.0 – 200/500 Hz <sup>1)</sup>	0.0 Hz		58	Critical frequency 1 start
214	CRIT F1H	0.0 – 200/500 Hz <sup>1)</sup>	0.0 Hz		58	Critical frequency 1 end
215	CRIT F2L	0.0 – 200/500 Hz <sup>1)</sup>	0.0 Hz		58	Critical frequency 2 start
216	CRIT F2H	0.0 – 200/500 Hz <sup>1)</sup>	0.0 Hz		58	Critical frequency 2 end
217	IR-COMP	Off/0.1 – 60 V/ Auto	Off		60	Low speed torque boost value
218	DC BRAKE	0 – 250 s	3 s		61	Duration of DC braking/DC Hold
219	U/F RATIO (0)	Linear/Square/Optim	Linear		61	Voltage to frequency ratio
220	RESTART #	Off/1 – 10/Cont	Linear		62	Nr. of start attempts after fault
221	TEMP LIM	Off/1 to 500 Hz	Off		62	Motor Thermal Protection
222	Motor I	0.5 to 1.5* I <sub>N</sub>	I <sub>N</sub>		63	I <sub>LIMIT</sub> for thermal protection
223	DIR	FWD/REV: FWD only	FEW?REV		64	Reverse lock-out
224	AI-FAULT	Enable/Disable	Enable		64	AI fault if AI < 2 V/ 4 mA
225	1. RELAY	1 - 11	1		64	Relay 1 function selection
226	2. RELAY	1 - 11	7		64	Relay 2 function selection
227	F SUPERV	0.0 to 500 Hz			66	Relay function output freq. limit

### Página 3


Table 7-3 Page 3 Drive parameters and their factory settings.

Code	Parameter	Range	Default	Customer	Page	Description
	Page 3 (P4)	-	-	-	66	Press  to change to page 4
701	DC HOLD	0/ 1/ 2	0		66	None/ Normal/ Strong DC hold
702	PARAM SET	1/ 2	1		67	Enables/disables extended I/O configuration/ Parameter set 2
703	PI-GAIN (D)	0 - 800 %	0		68	PI-Controller Gain selection
704	PI-ITIME	0.0 - 320.0 s	0		68	PI-Controller I-time selection
705	PI-SCMIN	-999.9 - 999.9%	0		69	Minimum scaling factor of Actual value
706	PI-SCMAX	-999.9 - 999.9%	100		69	Maximum scaling factor of Actual value

Code	Parameter	Range	Default	Customer	Page	Description
707	PI-REF(L)	0.0 - 100.0	0		70	PI-Controller Reference value
717	VERSION	Display only			71	Displays program version
718	P. LOCK	Open/ Locked	Open		71	

## Página 4

Table 7-4 Page 4 Drive parameters and their factory settings.

Code	Parameter	Range	Default	Customer	Page	Description
	PAGE 4 (P1)	-	-	-	71	Press  to change to page 1
801	2ACC 1	0.1 - 1800 s	3		49	Parameter set 2 parameters are similar to the parameters in pages 1 and 2.
802	2DEC 1	0.1 - 1800 s	3		49	
803	2NOM RPM (0)	0 - 19999	1500		50	
804	2NOM FREQ (0)	50 - 400 Hz	50		51	
805	2NOM VOLT (0)	200 - 240 V or 360 - 480 V	220/480V		51	
806	2COS PHI (0)	0.40 - 0.90	0.75		51	
807	2CON F1	0.0-200/500Hz	5		52	
808	2CON F2	0.0-200/500Hz	25		52	
809	2CON F3	0.0-200/500Hz	50		52	
810	2LIMIT	0.5 - 1.5 x I <sub>N</sub>	1.5 I <sub>N</sub>		52	
811	2IR-COMP	Off/0.1 - 60 V/ Auto	Off		60	

# BIBLIOGRAFIA

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Irwin L. Kosow, Control de Máquinas Eléctricas, Ediciones Reverté, Barcelona
- Jimmy Cathey, Diseño de Máquinas Eléctricas, Tercera Edición
- Muhammad Rashid, Electrónica de Potencia, Segunda Edición
- Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Diseño de Ingeniería Mecánica, Sexta Edición.
- V. M. Faires, Diseño de Elementos de Máquinas, 1990, Novena Edición
- Manual de Funcionamiento, Power Flex 70, Allen-Bradley
- Manual de Funcionamiento ABB, ACS 300

## ENLACES DE INTERNET

- [http://140.148.3.250/udl\\_a/servlet/mx.udlap.ict.ales.html.Block?Thesis=989&Type=C&Chapter=1](http://140.148.3.250/udl_a/servlet/mx.udlap.ict.ales.html.Block?Thesis=989&Type=C&Chapter=1)
- [www.rincondelvago.com/maquinas-electricas.html](http://www.rincondelvago.com/maquinas-electricas.html)
- [www.gummi.com.ar/Catalogo.asp?IdCategoria=110](http://www.gummi.com.ar/Catalogo.asp?IdCategoria=110)
- [www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/inducccion/foucault/foucault.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/inducccion/foucault/foucault.htm)
- [www.weg.com.br](http://www.weg.com.br)
- [www.siemens.com](http://www.siemens.com)