

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO
Mención en gestión empresarial

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA DEMOSTRACIÓN PRÁCTICA EN EL
LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS UTILIZANDO EL VARIADOR
DE FRECUENCIA COMO FUENTE DE AHORRO DE ENERGÍA**

AUTOR

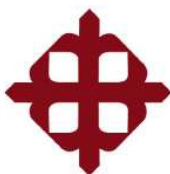
Tecnólogo: José Ángel Jacho Toapanta

director de Tesis

Ing. Rafael Hidalgo A.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2012



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

TESIS DE GRADO

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA DEMOSTRACIÓN PRÁCTICA EN EL
LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS UTILIZANDO EL VARIADOR
DE FRECUENCIA COMO FUENTE DE AHORRO DE ENERGÍA**

Presentada a la “ Facultad de Educación Técnica Para el Desarrollo “, de la Universidad
Católica de Santiago de Guayaquil, en la Carrera “Ingeniería Eléctrico-mecánica”

AUTOR

Tecnólogo: José Ángel Jacho Toapanta

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para obtener el Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO-MECÁNICO
Mención en Gestión Empresarial

Miembros del Tribunal

Ing. Manuel Romero Paz
Decano de la Facultad

Ing. Luis Córdova Rivadeneira
Director de carrera

Ing. Rafael Hidalgo A.
Director de Tesis

Econ. Gladys Contreras
Coordinadora Administrativa

Ing. Luis Vallejo
Coordinador Académico

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad de l contenido de ésta TESIS DE GRADO, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual a la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL”

(Reglamento de Graduación de la U.C.S.G.)

Tecnólogo: José Ángel Jacho Toapanta

AGRADECIMIENTO

A papá Dios, por ser la fuerza y luz divina para avanzar en el camino de mi vida.

Al Ing. Rafael Hidalgo A., mi Director de Tesis por su colaboración y sabios conocimientos los cuales me permitieron realizar esta tesis, cumpliendo con todos los requisitos exigidos por mi querida Institución.

A todos los Docentes que durante la carrera de Ingeniería Eléctrico mecánica impartieron sus conocimientos académicos y experiencias en la Industria Eléctrica, lo que nos ha dado el aval de estar convencidos que seremos unos excelentes profesionales, y que pondremos muy en alto el nombre de nuestra **Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**.

DEDICATORIA.

A mi esposa Rocío y mis hijos; Brigett, Katy y Josep que fueron mis pilares base, para motivarme y apoyarme a culminar la carrera de Ingeniería afines a la Electricidad Industrial.

A mis padres Antonia y Luis , por apoyarme moralmente y de diversas maneras a que culmine mis estudios de tercer nivel logrando en lo personal obtener el título de Ingeniero Eléctrico Mecánico , con lo cual me siento muy ufano y realizado profesionalmente .

Mi dedicatoria especial a la **Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**, institución que me ha dado la oportunidad de desarrollarme técnicamente, gracias a sus laboratorios y la guía de su personal docente idóneo en cada una de sus asignaturas académicas.

RESUMEN

El ahorro de energía hoy en día, es primordial para todo ser humano, ya que la reducción del consumo produce efectos beneficiosos a todos los niveles, como:

Reducción de emisiones de gases de anhídrido carbónico a la atmósfera (CO₂), con lo que preservamos la naturaleza para las generaciones venideras.

Disminución del calentamiento global del planeta., ya que parte de la energía eléctrica que se consume, se genera en Plantas Térmicas donde se quema combustible para producir electricidad.

Beneficio económico a corto plazo, con el ahorro en nuestros bolsillos cada mes, en las facturas de electricidad.

Un principio esencial para el ahorro de energía eléctrica consiste en conocer cómo funcionan los equipos y aparatos en el área doméstica, comercial e industrial.

Debido a la importancia de tener equipos didácticos dentro de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, encaminados a impartir conocimiento y técnicas para el ahorro de consumo de energía de un motor eléctrico cuando éste, trabaja en forma normal conectado a la red. El presente trabajo de graduación se basa en la implementación de un equipo demostrativo y práctico para ese fin; así, el laboratorio de máquinas eléctricas contará con una herramienta didáctica adicional que irá en beneficio de los nuevos estudiantes.

Actualmente a nivel Industrial y Comercial; el Ingeniero Eléctrico-mecánico está cumpliendo un rol muy importante buscando la optimización y el ahorro de los recursos

energéticos, instruyendo con normas y reglas tendientes a ese objetivo. Con esta visión, y con el fin de aportar con el desarrollo y al conocimiento técnico-práctico a nuestros próximos Ingenieros de nuestra especialidad, procedemos a sumar con un equipo encaminado a ese objetivo “aprender una técnica adicional para ahorrar energía eléctrica”.

El estudiante podrá acceder a esta tesis que he desarrollado y encontrará información que le será de mucha ayuda en su actividad profesional.

- ✓ En el capítulo 1 tenemos toda información relacionada a Generalidades: Introducción, Problema Planteado, Justificación, Alcance y las limitaciones de este proyecto, Objetivo General y Específicos
- ✓ En el capítulo 2 hablamos sobre el Marco Teórico de:
Motores Eléctricos Jaula de Ardilla, Principio de funcionamiento de un motor eléctrico, sus partes y formulas matemáticas a las que se sujetan; también se habla sobre detalles y características de un Variador de Frecuencia, su estructura electrónica, ventajas y desventajas de su uso , curvas de consumo energético en las cuales se aprecia el ahorro de energía cuando se utiliza éste equipo conjuntamente con un motor eléctrico, y por último su Programación Electrónica
- ✓ En el capítulo 3; se analiza los Requerimientos Planteados, el montaje del Equipo Demo Simulador al cual están relacionados levantamiento de planos de fuerza y control, estructura mecánica, materiales utilizados en este proyecto, y finalmente hemos desarrollado una práctica con el equipo DEMO, con la cual hemos obtenido una tabla de valores, observando claramente el objetivo de esta Tesis, adjuntando conclusiones y recomendaciones.

- ✓ En el capítulo 4 ; hablamos sobre las Razones para usar un Variador de Frecuencia, todo sobre sus curvas operativas cuando trabaja en conjunto con un motor eléctrico.
- ✓ En el capítulo 5; estudiamos la Operación del variador de frecuencia según el torque mecánico que presenta la carga, procesos industriales existentes, adicional se habla sobre aplicaciones en los procesos industriales existentes, sugerencias de precauciones tanto para su aplicación como para su montaje en el lugar de trabajo.
- ✓ En el capítulo 6 ; tratamos sobre los motores a utilizar con un variador de frecuencia, así como ventajas de los motores vectoriales que actualmente son recomendados para operar en conjunto con el variador de velocidad, finalmente hablamos conclusiones y recomendaciones en general sobre el uso de los variadores de frecuencia en el campo doméstico, industrial y comercial.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS	II
RESUMEN.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	V
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Problema planteado	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Alcance y limitaciones	5
1.5 Objetivo General.	5
1.6 Objetivos Específicos.	6
CAPITULO 2.....	7
2.1 MARCO TEORICO	7
2.1.1 El motor eléctrico Jaula de ardilla	7
2.1.2 Principio de funcionamiento de un motor eléctrico.	9
2.1.3 Campo magnético del motor asincrónico.....	10
2.1.4 Expresión matemática de la velocidad de un motor de inducción.....	12
2.1.5 El estator.....	15
2.1.6 El rotor Jaula de Ardilla	16
2.2 El Variador de Frecuencia.....	18

2.2.1	Concepto	18
2.2.2	Etapas operativas y control de un Variador de Velocidad	20
2.2.3	Etapa Rectificadora.....	20
2.2.4	Etapa de filtrado.....	21
2.2.5	Etapa onduladora o Inversor (Inverter)	21
2.2.6	Etapa de Control.....	22
2.3	Ventajas y Desventajas al usar un Inverter	24
2.3.1	Ventajas	24
2.3.2	Desventajas.....	24
2.4	Programaion de un Variador de Frecuencia	25
CAPITULO 3		26
	Análisis de los requerimientos planteados	26
3.1	Breve bosquejo sobre los requerimientos.....	26
3.2	Montaje del Demo Simulador	28
3.3	Práctica con el Demo Simulador	30
3.3.1	Objetivos	30
3.3.2	Instrucciones.....	31
3.3.3	Lista de materiales y equipo utilizado	33
3.3.4	Conclusiones sobre la práctica	34
3.3.5	Recomendaciones sobre la práctica.....	34

CAPITULO 4	39
4.1 Razones para usar un variador de frecuencia	39
4.1.2 Ahorro de energía eléctrica	39
4.1.3 Velocidad controlada en arranque y en parada	41
4.1.4 Dimensionamiento de la carga	41
4.1.5 Tiempo de trabajo.....	41
4.1.6 Variador para control de varios motores	42
4.1.7 Compensación del factor de Potencia	42
4.2 Curvas operativas de un motor Par vs velocidad	42
 CAPITULO 5	 46
5.1 Operación del Variador según el par mecánico.....	46
5.1.2 Par mecánico o Torque.....	46
5.2 Operación a Torque Constante	47
5.2.1 Aplicaciones a Torque Constante.....	47
5.3 Operación a Torque variable	49
5.3.1 Aplicaciones a torque variable	50
5.4 Funcionamiento a potencia constante.....	51
5.5 Aplicaciones adicionales	52
5.6 Algunas precauciones.....	53
 CAPITULO 6	 54
6.1 Motores a usarse con un Inverter	54
6.2 Motores Asincronos Vectoriales	54

6.3	Hipótesis de diseño del motor Asincrono Convencional	55
6.4	Problemas derivados del uso de motores convencionales con Inverter	56
6.5	Motores Vectoriales	57
6.5.1	Ventajas y características	58
6.5.2	Desventajas.....	59
6.6	Conclusiones y recomendaciones generales.....	60
	REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA	62
	ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Vista general de un motor jaula de ardilla	7
Figura 2.2	Vista en corte de un motor jaula de ardilla	7
Figura 2.3	Sistema magnetico de la máquina asincrónica.....	10
Figura 2.4	Fuerzas presente en un campo magnetico.....	11
Figura 2.5	Estator de un Motor de Inducción Asincrónico	15
Figura 2.6	Partes principales de un Rotor del Motor de Inducción.....	16
Figura 2.7	Rotor tipo jaula de Ardilla del Motor de Inducción.....	17
Figura 2.8	Variador de Frecuencia y Motor de Inducción AC.....	18
Figura 2.9	Diagrama Voltaje vs Frecuencia.....	19
Figura 2.10	Esquema de etapas de un Convertidor de Frecuencia.....	20
Figura 2.11	Esquema de un Rectificador Controlado	21
Figura 2.12	Conversión de Frecuencia Regulada.....	22

Figura 2.13	Diagrama electrónico general de un Variador de Frecuencia.....	23
Figura 2.14	Diagrama de etapas de operación de un variador de frecuencia.....	23
Figura 3.1	Vista general del Demo Simulador de ahorro de energía	29
Figura 3.2	Estacion de control del simulador.....	29
Figura 3.3	Simulador de carga de equipo Demo	30
Figura 3.4	Tabla comparativa de consumo de amperaje	32
Figura 3.5	Diagrama de fuerza de equipo Demo.....	34
Figura 3.6	Diagrama de control de equipo Demo	35
Figura 3.7	Diagrama de fuerza general de un variador de frecuencia.....	36
Figura 4.1	Curva de Corriente/Velocidad en arranque Directo.....	40
Figura 4.2	Curva de Corriente/Velocidad en arranque con Variador de Frecuen.	40
Figura 4.3	Curvas de Par/Velocidad de un motor a conexión directa	43
Figura 4.4	Curvas Par/velocidad de motor con un variador de frecuencia	44
Figura 4.5	Curva Voltaje /Frecuencia de salida de un Inverter.....	45
Figura 5.1	Ilustración de Torque mecánico.....	46
Figura 5.2	Curva de Funcionamiento a par constante	47
Figura 5.3	Curva de operación de Variador a Torque Constante	48
Figura 5.4	Proceso Industrial aplicando Par Constante.....	48
Figura 5.5	Curvas de funcionamiento a par Variable.....	49
Figura 5.6	Curva de operación de Variador de frecuencia a Par Variable.....	50
Figura 5.7	Proceso aplicando Par Creciente lineal con la velocidad.....	51
Figura 5.8	Curva de Funcionamiento a Potencia Constante	52
Figura 6.1	Motor vectorial.....	57

CAPITULO I

GENERALIDADES:

1.1.- Introducción

En la última década, el Ecuador se ha visto en la necesidad de ahorrar energía eléctrica, recurso básico para sustentar el desarrollo económico del ser humano y de nuestro país, pero lamentablemente la energía se ha visto afectado por racionamientos sea por fenómenos ambientales e incluso por acciones políticas y económicas. Partiendo de esa necesidad; es imprescindible buscar formas y maneras de obtener eficiencia en el consumo eléctrico; que no es mas que la **reducción del consumo energético** sin afectar con la comodidad y la calidad de vida de los usuarios. El ahorro de energía representa menos contaminación ambiental y tener recursos para las futuras generaciones. El Presidente Econ. Rafael Correa Delgado, consciente de esta necesidad en nuestro país ha establecido políticas de ahorro energético, por ejemplo:

- ✓ Utilizando los focos ahorradores.
- ✓ Levantando subsidios económicos por el consumo desde un valor determinado en kilowatts hora (KWH).
- ✓ Utilizando sistemas solares fotovoltaicos en las provincias de Esmeraldas y en algunas provincias del Oriente Ecuatoriano.
- ✓ También está ejecutando proyectos energéticos de generación de energía, para precautelar su consumo a futuro, sean éstos tipo generación Hidráulica (Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair), Generación Eólica (Galápagos, Loja e Imbabura).

La misión de ahorro energético , nace desde el mismo Gobierno Central, por lo tanto nosotros los nuevos Ingenieros (Eléctrico mecánico) de la **Facultad Técnica Para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**, nos sumamos a buscar alternativas con ese objetivo (ahorrar energía eléctrica).

Por lo expuesto anteriormente, mas adelante en un capítulo aparte trataremos exclusivamente sobre una alternativa de cómo ahorrar energía cuando utilizamos un motor eléctrico. La mayoría de nuestros Ingenieros actualmente en nuestro medio, utilizan el motor jaula de ardilla en el sector Industrial, tanto para uso normal de mover una carga, como para aplicaciones de variación de velocidad en un proceso.

Una manera eficaz de ahorrar energía eléctrica, cuando un motor eléctrico de corriente alterna opera en un proceso Industrial, es utilizando en conjunto con un variador de frecuencia.

Grandes empresas Industriales en ECUADOR como por ejemplo; TANASA, HOLCIM, ENVASES DEL LITORAL, AMANCO PLASTIGAMA, MABE ECUADOR por nombrar algunas, han desarrollado y mejorado la calidad de sus productos y consecuentemente han bajado considerablemente el consumo de energía eléctrica, y obviamente han ahorrado dinero en el pago de sus planillas a la Empresa Eléctrica del Ecuador, gracias al uso de los variadores de frecuencia en sus procesos de producción.

1.2 Problema planteado

Analizando la malla curricular de la carrera de Ingeniería Eléctrico mecánico que oferta la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, hemos notado que no hay una cátedra ni sistema práctico para aprender el “manejo y ahorro del consumo de la energía eléctrica en la Industria”, y a

su vez los estudiantes no tiene acceso a conocer el manejo y las técnicas para este propósito que sin lugar a duda será de suma importancia en el ejercicio de sus labores futuras como Ingeniero.

Consciente de la necesidad y carencia de un medio que permita la mejor enseñanza sobre formas de ahorrar energía eléctrica; hemos decidido implementar al Laboratorio de Máquinas Eléctricas, un equipo “Demo Simulador para el análisis de una de las formas de ahorrar energía eléctrica cuando un motor este funcionando en un proceso Industrial.

Este equipo permitirá que el conocimiento se transmita de manera más eficiente y práctico, lo cual traerá beneficio a los estudiantes de nuestra Universidad.

1.3 Justificación

Realizar esta demostración práctica del uso de un variador de frecuencia como una forma de ahorrar el consumo de energía que utiliza un motor de C.A. cuando se lo acopla a un variador de frecuencia; aporta a la **UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL** un material de apoyo en la educación de las Cátedra de Laboratorio de Maquinas Eléctricas, Instrumentación y Control Eléctrico , para la carrera **Eléctrico-Mecánica** , mención **Gestión Empresarial Industrial** y busca la actualización de mecanismos de Control de Motores de inducción utilizados frecuentemente en la industria que podrían ser mejorados en pro de la calidad del proceso y del producto procesado. El control de Motores de inducción trifásicos por medio de Variadores de velocidad tiene su importancia en los resultados de su aplicación en los procesos y las ganancias a corto, mediano y

largo plazo, dado que conservan la vida útil de las máquinas controladas por ellos y otorgan pleno control en cualquier momento de un proceso sea delicado o no.

La competitividad en el área técnica se hace más marcada a medida que avanza la tecnología de los controles y los procedimientos, por lo cual debemos crear el camino para que los estudiantes de la carrera Eléctrico-Mecánico de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil obtengan el conocimiento teórico y práctico suficiente como para competir en el área de su desempeño y así adaptarse más cómodamente a los sistemas reales aplicados a las empresas que buscan mejoras tecnológicas de forma continua.

El Variador de frecuencia **EATON**, tiene las condiciones necesarias para realizar el control de motores, ahorrando energía de consumo del motor, regulando la velocidad, controlando tiempos de arranque y parada del motor; también tiene control de cambios de velocidad, inversión de giro si es que requiere un proceso determinado. También en él se puede visualizar amperaje, voltaje, frecuencia, regulación de la frecuencia por medio de un potenciómetro en el panel frontal.

Estas configuraciones se utilizan de forma continua en procesos industriales actuales en los que el producto requiere precisión en las velocidades y arranque efectivo, además los controladores de motores basados en frecuencia alargan la vida útil de las máquinas eléctricas **y generan ganancias con respecto al consumo de energía eléctrica y calidad del producto terminado**; teniendo estos conocimientos se amplía la base de ideas necesarias para realizar rutinas de actualización en equipos de control aplicando las normas de seguridad necesarias dando valor agregado a las instalaciones.

1.4 Alcance y limitaciones

Es importante recalcar que como proyecto de tesis de incorporación se donará el equipo (Demo Simulador de ahorro de energía) a la UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL , el mismo que servirá para verificar el OBJETIVO GENERAL planteado; además servirá como material didáctico y fuente de aprendizaje para los estudiantes de Pregrado, catedráticos y profesionales sea de esta Institución u otras.

El presente proyecto está estudiado, analizado y evaluado en diferentes industrias de la provincia del Guayas, en las que (previo a su montaje y reemplazo de sistema de variación y control de velocidad del proceso de producción) se instaló estos variadores de frecuencia. En ellas se verificó prácticamente del ahorro de energía eléctrica y por supuesto el pago menor en la planilla de consumo; comprobándose que en poco tiempo el valor de ese equipo se amortizaba; y generando rentabilidad a la industria.

1.5 Objetivo general

Demostrar el ahorro de energía que consume un motor eléctrico tipo jaula de ardilla cuando se usa con un variador de frecuencia; en relación al valor de consumo de energía si se utiliza ese mismo motor pero en forma independiente.

Buscando este objetivo utilizaremos un equipo DEMO, el mismo que está formado por un variador de frecuencia, que controla a un motor eléctrico asincrónico AC, en conjunto a instrumentos de medida de parámetros eléctricos.

1.6 Objetivos específicos

- ✓ Para cumplir este objetivo se construirá un equipo Demo Simulador de ahorro de energía, el mismo que está formado por un variador de frecuencia que controla a un motor eléctrico asincrónico tipo jaula de ardilla, en conjunto a instrumentos de medida de parámetros eléctricos.
- ✓ Se realizará el levantamiento de planos eléctricos; desarrollaremos los planos de fuerza y control del Demo simulador de ahorro de energía.
- ✓ Seleccionaremos el equipo eléctrico, tanto de fuerza como de control así como la elección del variador de frecuencia y motor eléctrico a utilizar.
- ✓ Construiremos la consola metálica donde se alojarán los equipos para la simulación de ahorro de energía.
- ✓ Elegir las protecciones eléctricas adecuadas, elementos de mando como selectores, pulsadores, amperímetros etc.
- ✓ Realizaremos el montaje eléctrico-mecánico del sistema en mención así como sus pruebas necesarias para afinarlo a nuestro Objetivo General.
- ✓ Procederemos a elaborar una práctica, en la cual demostraremos con valores numéricos el ahorro de energía.
- ✓ En un capítulo ANEXOS, llevará un catálogo de manejo y programación del variador de frecuencia.

CAPITULO 2

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 El motor eléctrico jaula de ardilla



Fig. 2.1: vista general de un motor jaula de ardilla
Fuente: bravoandres.blogspot.com

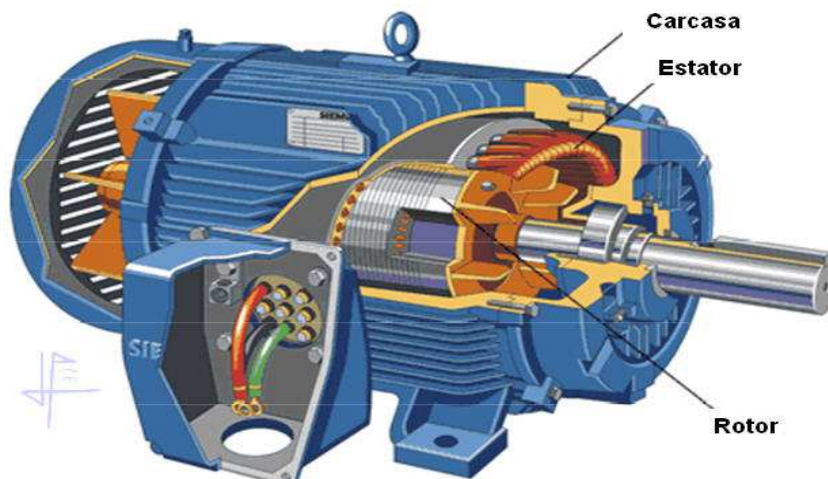


Fig. 2.2: Vista en corte de un motor jaula de ardilla
Fuente: bravoandres.blogspot.com

Dentro de los motores de corriente alterna, nos encontramos con la clasificación de los motores trifásicos, asíncronos y síncronos. No hay que olvidar que los motores bifásicos y monofásicos, también son de corriente alterna.

Los motores trifásicos tienen ciertas características comunes: En relación con su tensión, los tipos industriales suelen ser de 230 V y 460 Vac. considerados como de baja tensión y los motores de mayor tensión, de 500, hasta 15000 Vac; son considerados como motores de alta tensión. Los motores que admiten las conexiones estrella y triángulo, son alimentados por dos tensiones diferentes, 230 V y 400 V, siendo especificado en su placa de características.

Respecto a su frecuencia tenemos que decir que en Europa se utilizan los 50 Hz, mientras que en América o en nuestro Ecuador se utilizan los 60 Hz. Aunque la frecuencia de red tenga fluctuaciones, siempre que no superen el 1%, el motor rendirá perfectamente. Mayores fluctuaciones afectará directamente sobre el rendimiento de su potencia. Con respecto a la velocidad, estos motores trifásicos son construidos para velocidades fijas determinadas con las polaridades del bobinado y también se manipula directamente sobre la frecuencia suministrada desde la red principal de la empresa eléctrica.

Respecto a la intensidad, el motor trifásico absorbe de la red la intensidad que necesita, dependiendo siempre de la fase en que se encuentre. Por ésta razón existen diferentes modos de arranques, para ahorrar energía y preservar el motor. En sobrecarga pueden asumir un incremento de la intensidad de hasta 1.5 la intensidad nominal sin sufrir ningún daño durante dos minutos.

También se tienen que tener en cuenta las pérdidas que tienen los motores trifásicos, sus causas son varias. El rendimiento de los motores se calcula en sus valores

nominales, que son los indicados en las placas de características. Presentan pérdidas de entrehierro, por rozamiento, por temperatura y en el circuito magnético. Los rotores de jaula de ardilla (con rotor en cortocircuito) son los más usados por su precio y su arranque. En cambio, los motores de rotor bobinado o también llamados de anillos rozantes necesitan ser arrancados con resistencias rotóricas, lo que incrementa su precio y su complejidad.

Los motores de rotor cortocircuitado no llevan escobillas, pero si las llevan los que son de colector y de rotor bobinado.

2.1.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR

Se basa en el principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado flecha.

2.1.3 CAMPO MAGNETICO DEL MOTOR ASINCRONO

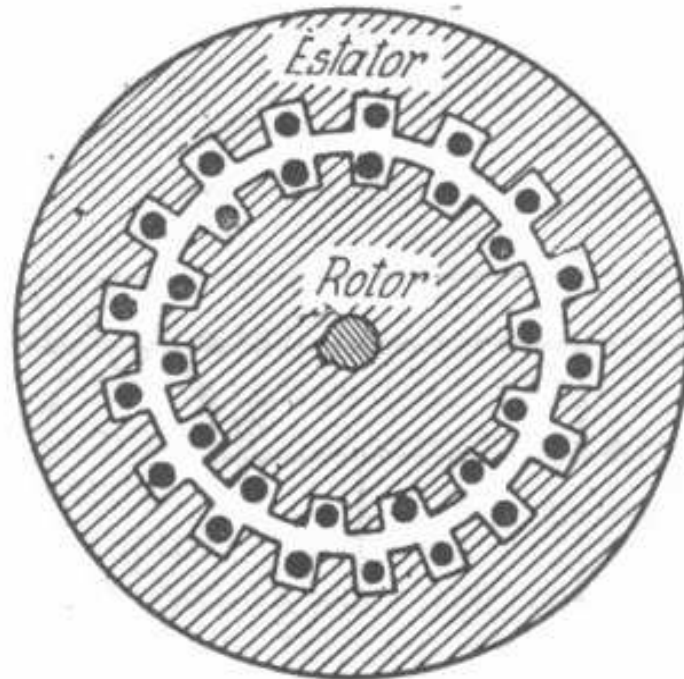


Fig.2.3 Sistema magnético de la máquina asíncrona

Fuente: <http://www.mimecanicapopular.com>

El sistema magnético de una máquina asíncrona consta de 2 núcleos: el núcleo exterior fijo que tiene la forma de un cilindro hueco y el núcleo cilíndrico interior giratorio.

La parte fija de la máquina se conoce como **estator** y la parte giratoria como **rotor**.

Cuando se aplican al estator un conjunto trifásico de voltajes, se genera un conjunto de corrientes trifásicas que generan un campo magnético **Bs** que rotan en sentido contrario a las manecillas del reloj. Éste, induce un voltaje en las barras del rotor y éste voltaje está dado por la ecuación:

$$e_{induc} = (v \times B).l$$

Donde \mathbf{v} es la velocidad de la barra, relativa al campo magnético; \mathbf{B} es el vector de densidad de flujo magnético; y \mathbf{l} la longitud del conductor en el campo magnético.

El movimiento relativo del rotor con respecto al campo magnético del estator (B_s) induce voltaje en una barra del rotor. El flujo magnético del rotor produce un campo magnético del rotor B_r .

El torque de la máquina está dado por:

$$\tau_{induc} = K B_r \times B_s$$

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

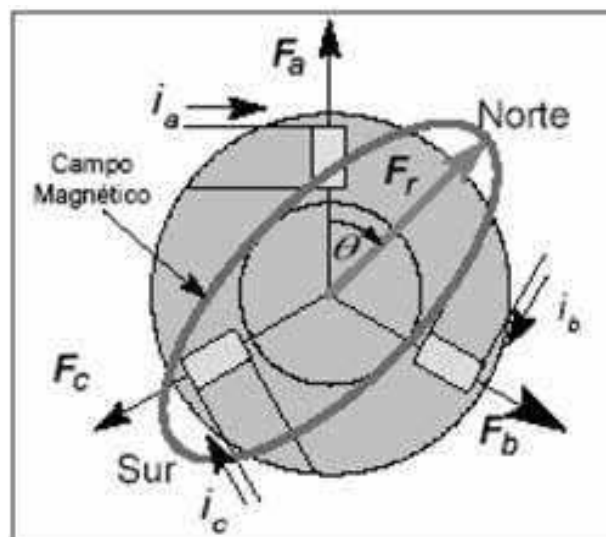


Fig. 2.4 fuerzas presente en un campo magnético
Fuente: <http://www.mimecanicapopular.com>

2.1.4 EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE LA VELOCIDAD DE UN MOTOR DE INDUCCION

Si en el interior del estator colocamos una espira en cortocircuito (rotor) que pueda girar alrededor de un eje, se tiene que:

* Al conectar el estator a la red se origina un campo giratorio que originará una fem inducida.

* Esta fem inducida, a su vez hace circular una corriente en la espira en cortocircuito (rotor), y por la acción del campo magnético creará cuplas distribuidas a lo largo de la espira haciendo que ésta trate de seguir al campo giratorio.

* Es obvio que la espira nunca podrá alcanzar al campo giratorio debido a la cupla resistente, que está compuesta en primer término por las pérdidas por rozamiento en los cojinetes, y en segundo término por la carga que mueve el eje del motor.

* Es decir que siempre habrá una diferencia entre la velocidad “ n_s ” del campo giratorio y la del rotor “ n ” (o la del eje del motor). Por ello, llamaremos velocidad relativa a la diferencia entre n_s y n , que para el caso de motores será positiva y para el caso de generadores será negativa.

$$n_{rel} = n_s - n$$

La magnitud característica que determina las condiciones de trabajo de la máquina asíncrona es el deslizamiento (s), definido como:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

El deslizamiento es positivo cuando la máquina trabaja como motor y negativo cuando ésta trabaja como generador.

EJEMPLO.

Para un motor de un par de polos con frecuencia de línea de 50 Hz, girando en régimen a 2866 rpm (n), se tendrán los siguientes valores:

- ✓ Si el motor está parado $n = 0$, entonces $s = 1$ (100% deslizamiento)
- ✓ Si el motor está en régimen $n = 2866$ rpm, entonces $s = 0,044$ (4,4% deslizamiento).
- ✓ En el hipotético caso (que no significa ideal) que el rotor estuviera síncrono con el campo magnético giratorio, se tendría tendría $n = n_s = 3000$ rpm, entonces: $s = 0$ (0% resbalamiento).

Además:

$$\mathbf{n = n_s - n_s (s) \quad \rightarrow \quad \mathbf{n = n_s (1 - s)}$$

Recordando que:

$$\mathbf{n_s = \frac{60 (f)}{p}}$$

Donde:

- ✓ f : Es la frecuencia de la línea (Hz).
- ✓ p : Es el número de pares de polos.

Luego, se tiene que:

$$\mathbf{n = \frac{60 (f)}{p} (1 - s)}$$

Conclusión:

Las rpm reales de un motor (n) son función del deslizamiento (s), de la cantidad de pares de polos (p) y de la frecuencia de línea (f).

Sobre ésta última, centraremos nuestra atención, ya que los variadores estáticos de frecuencia, tomando la tensión y la frecuencia de línea, podrán variarla a su salida entre 0,01 Hz y 350 Hz o más dependiendo del uso y tipo de motor a emplear.

Por lo tanto, los variadores de frecuencia operan también bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120 \times f}{p}$$

Donde:

RPM = Revoluciones por minuto (velocidad síncrona)

f = frecuencia de suministro desde la red eléctrica (Herz).

p = Número de polos del motor

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono en el Ecuador son: 2, 4, 6 y 8 polos.

En los motores asincrónicos las revoluciones por minuto son ligeramente menores por el propio asincronismo que indica su nombre. En estos se produce un desfase mínimo entre la velocidad de rotación (RPM) del rotor (velocidad "real" o "de salida") comparativamente con la cantidad de RPM's del campo magnético (las cuales si deberían cumplir la ecuación arriba mencionada tanto en Motores síncronos como en motores asíncronos) debido a que sólo es atraído por el campo magnético

exterior que lo aventaja siempre en velocidad (de lo contrario el motor dejaría de girar en los momentos en los que alcanzase al campo magnético)

El variador de frecuencia regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.

2.1.5 EL ESTATOR



Fig. 2.5.- Estator de un motor de inducción asincrónico

Fuente: www.mcgraw-hill.es

El estator se construye con acero perforado y montado como un cilindro hueco, la parte interior es un armazón de hierro fundido o aluminio. Unas bobinas distribuidas en tres fases se distribuyen en las ranuras del interior de la circunferencia. Cada una de las tres bobinas del estator tiene dos mitades, colocadas en posiciones diagonalmente opuestas respecto al estator.

Las bobinas estén desfasadas 120° entre sí, y el sentido de arrollamiento de las bobinas es tal que, cuando la corriente pasa a través de ellas, se induce un campo magnético a través del rotor. En este caso, cada bobina tiene dos polos, con lo que el motor será **bipolar**.

Por lo visto en campos giratorios, los efectos simultáneos de las 3 corrientes de una red trifásica originan un campo constante que gira a velocidad síncrona (ns).

2.1.6 EL ROTOR JAULA DE ARDILLA



Fig.2.6.- partes principales de un rotor del motor de inducción

Fuente: www.mcgraw-hill.es

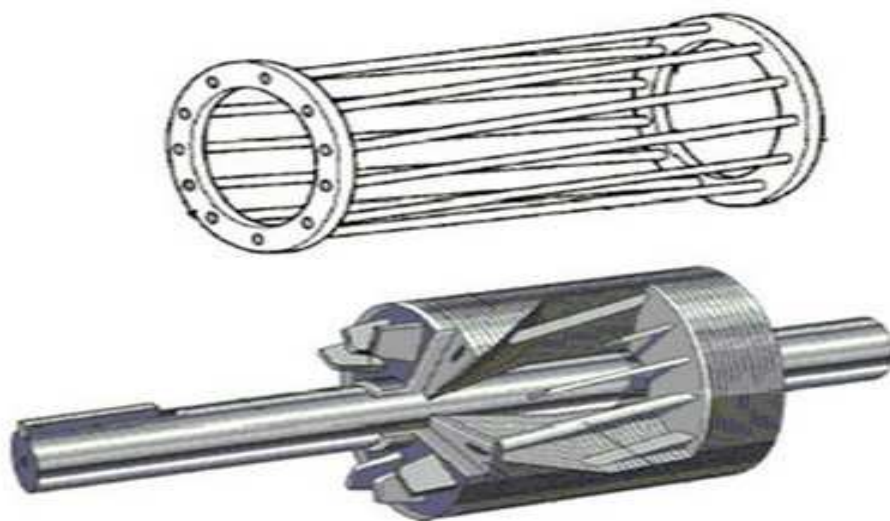


Fig.2.7.- Rotor tipo Jaula de ardilla del motor de inducción
Fuente: www.mcgraw-hill.es

Un rotor de jaula de ardilla es la parte que rota usada comúnmente en un motor de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster

Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado flecha.

2.2 EL VARIADOR DE FRECUENCIA

2.2.1 CONCEPTO

Antes de emitir el concepto sobre este equipo, es importante notar que esta tesis NO es un estudio detenido sobre el variador de frecuencia, sino sobre su beneficio en el ahorro de energía al usarlo con motor eléctrico AC.

“Es un equipo compuesto de elementos electrónicos de potencia, que acciona un motor jaula de ardilla y realiza su arranque y su parada de manera suave, varía de manera controlada la velocidad del motor, por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor desde la red eléctrica”.

Actualmente el sector Industrial ve como la mejor alternativa el uso de estos equipos en su producción debido a los múltiples beneficios que se obtiene con ellos.



Fig. 2.8.- Variador de frecuencia y motor de inducción AC
Fuente: www.eaton.com

La principal virtud del variador de frecuencia es regular la velocidad y ahorrar energía eléctrica, garantizando un proceso de fabricación de producto terminado de excelente calidad y ahorro económico para el usuario. El variador de frecuencia tiene

la característica de mantener la relación, voltaje/frecuencia = CTE. De ésta forma, se produce un desplazamiento de la curva de Torque versus RPM (en sentido del eje X de rpm). Al lograr $V / F = Cte.$ = Flujo (en el entrehierro), se logra el máximo torque de arranque con una corriente de arranque también controlada.

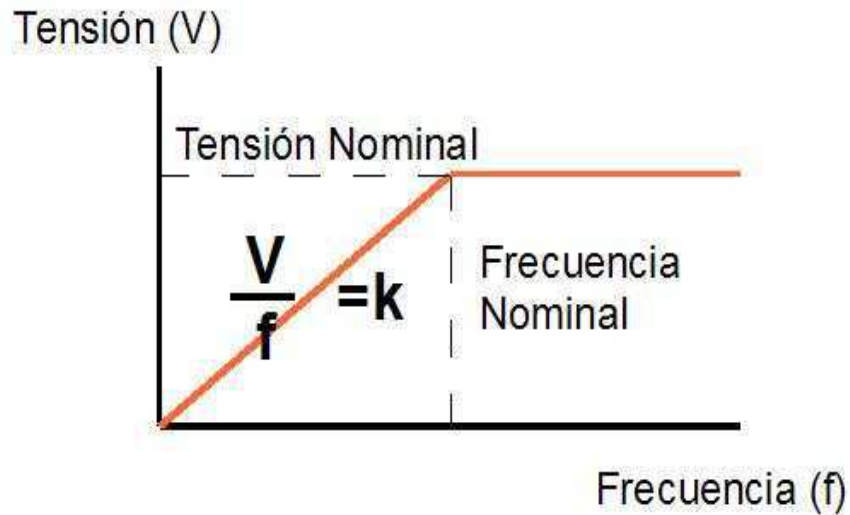


Fig.2.9 Diagrama voltaje Vs frecuencia
Fuente: <http://www.frioycalor.cl>

Esto no puede lograrlo un arrancador suave, que sólo puede controlar la tensión, evitando una gran corriente de arranque pero no al mejor torque.

La forma de variar la velocidad de un motor puede ser: **control por PWM (escalar)**, y por **control Vectorial** el cual logra el máximo torque poniendo perpendiculares los ejes de Flujo y Corriente (como sucede por naturaleza constructiva en un motor de Corriente continua).

2.2.2 ETAPAS OPERATIVAS Y CONTROL DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable.

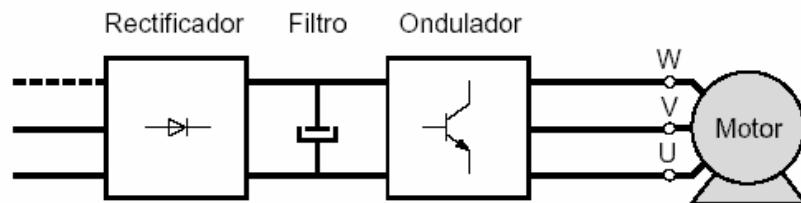


Fig. 2.10 Esquema de etapas de un convertidor de frecuencia
Fuente: <http://www.instrumentacionvcontrol.net>

Según el esquema tenemos tres etapas:

2.2.3 ETAPA RECTIFICADORA.

En esta etapa se convierte el voltaje alterno de la red en voltaje continuo, mediante bloque rectificador o puente rectificador, compuesto de diodos, tiristores, etc. Debido a que la energía alterna, es convertida en continua, muchas unidades aceptan entradas tanto monofásicas como trifásicas (actuando como un *convertidor de fase*, el variador de velocidad).

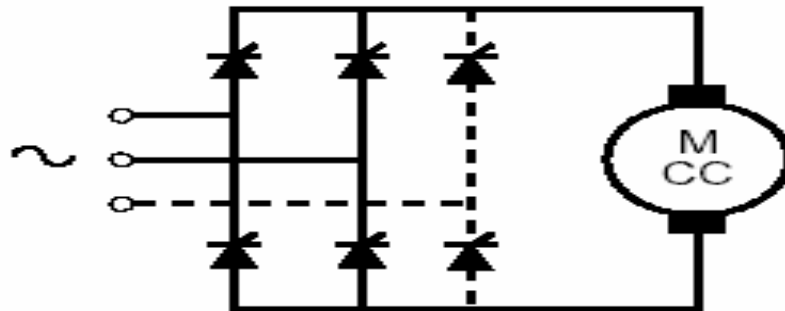


Fig.2.11 Esquema de un rectificador controlado
Fuente: <http://www.instrumentacionycontrol.net>

2.2.4 ETAPA DE FILTRADO.

En ésta etapa, la energía intermedia que tenemos es de corriente continua la misma que es filtrada para suavizar el voltaje rectificado, y usando condensadores y bobinas se disminuimos las armónicas, logrando así mejorar el factor de potencia, obteniendo un voltaje continuo y fijo (bloque filtrado).

2.2.5 ETAPA ONDULADORA O INVERSOR ("INVERTER").

Finalmente el Inversor o Inverter convierte la tensión continua de la etapa de filtrado en otra tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's para generar los pulsos controlados de tensión, Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobre corriente, sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobre temperaturas, etc. Los IGBT envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor.

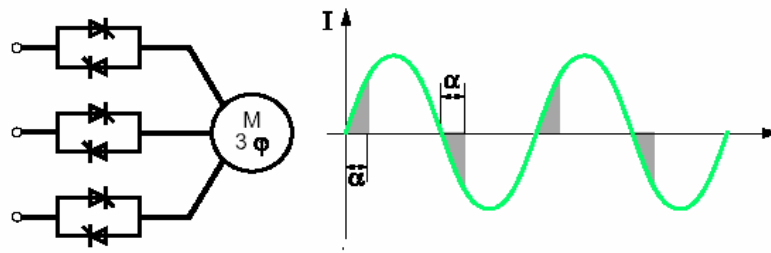


Fig. 2.12 conversión de frecuencia regulada
Fuente: www.epn.edu.ec

2.2.6 ETAPA DE CONTROL.

Esta etapa se controla a los IGBT que generan los pulsos variables de tensión y frecuencia que ingresaran al motor. Y además controla los parámetros externos en general. La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero también disminuye el rendimiento de éste. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor, por lo que será necesario incorporar un ventilador independiente únicamente dirigido al bloque donde se encuentran alojados en el equipo.

Las señales de control externa para arranque, parada y variación de velocidad (potenciómetro o señales externas de referencia) deben estar aisladas galvánicamente para evitar daños en sensores o controles y evitar ruidos en la etapa de control. Normalmente se los instala con cable apantallado, con el propósito de evitar que señales falsas ingresen al control.

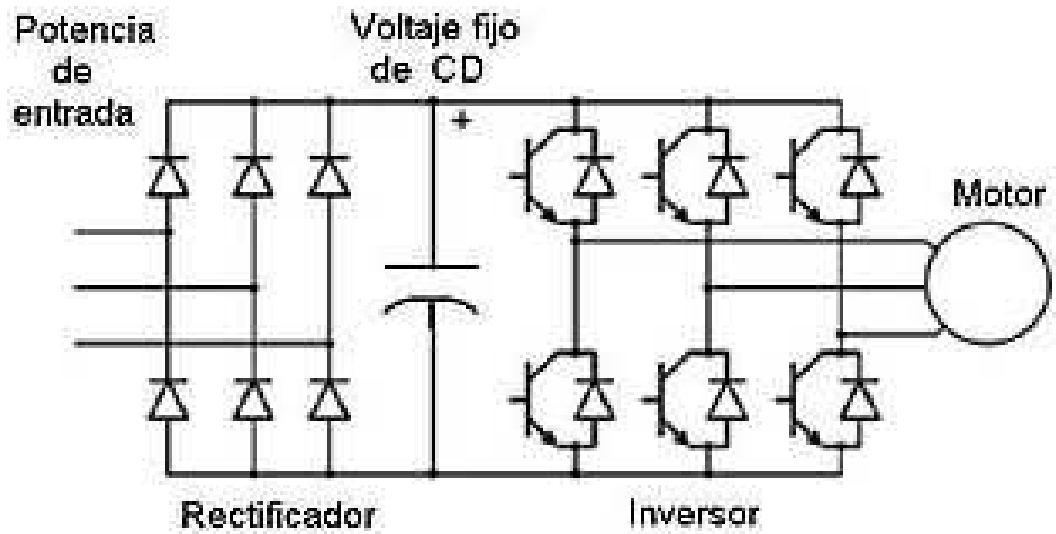


Fig.2.13 Diagrama electrónico general de un Variador de frecuencia
Fuente: www.epn.edu.ec

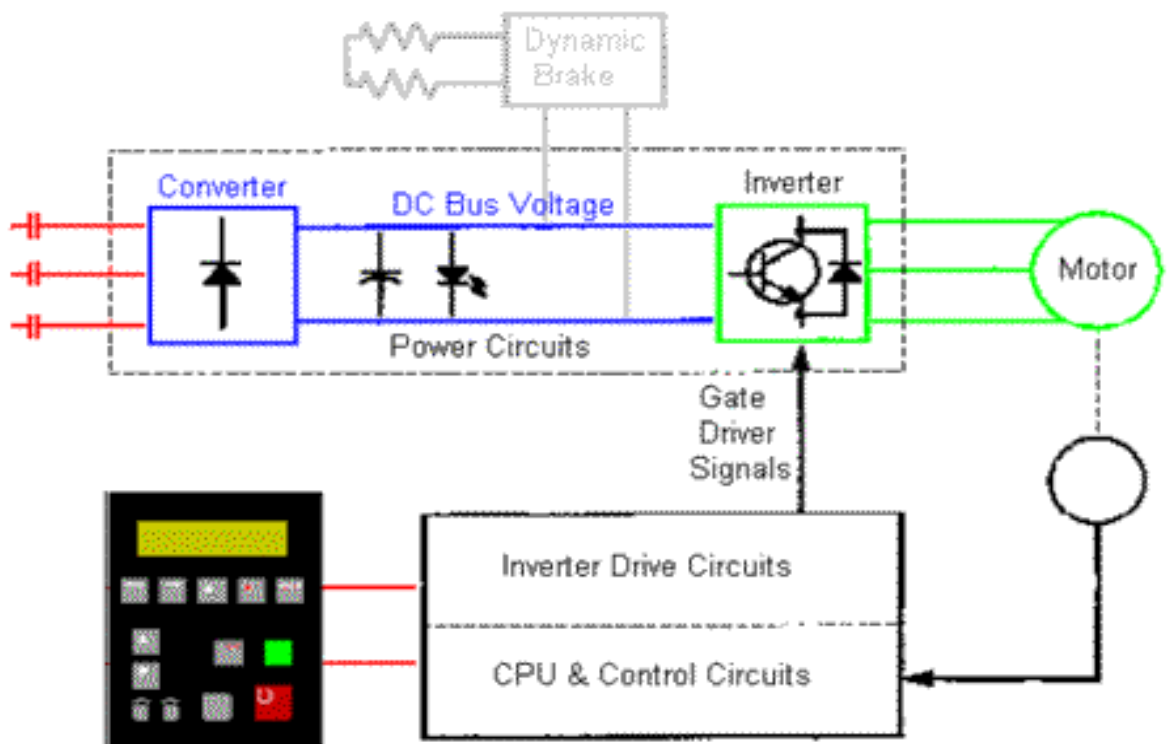


Fig. 2.14 Diagrama de etapas de operación de un variador de frecuencia
Fuente: www.epn.edu.ec

2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS AL USAR UN INVERTER

2.3.1 VENTAJAS

- ✓ Reducción del consumo de energía eléctrica, en el arranque y en operación.
- ✓ Reducción de pago en la planilla a la empresa eléctrica.
- ✓ Reducción de gastos en accesorios móviles adjuntos, sea en bandas, rodamientos, otros.
- ✓ Mejor control operativo, mejorando la rentabilidad y la productividad de los procesos.
- ✓ Maximiza la calidad del producto terminado.
- ✓ Ahorro en mantenimiento (el motor trabaja siempre en las condiciones óptimas de funcionamiento).
- ✓ No hay picos de corriente en el motor eléctrico en el momento del arranque
- ✓ No hay sobrecalentamiento del motor
- ✓ Factor de potencia siempre en torno al 0.95
- ✓ Ahorro de costes de cables y menor disipación de calor en los mismos

2.3.2 DESVENTAJAS

- ✓ Es un sistema caro, pero rentable a largo plazo.
- ✓ Requiere estudio de las especificaciones del fabricante.
- ✓ Requiere un tiempo para realizar la programación.
- ✓ Necesita de personal calificado para su montaje electro-mecánico
- ✓ Para montar un variador es necesario la existencia de un motor.

2.4 PROGRAMACION DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA

Respecto al tema, la mayoría de los variadores tienen un grupo de valores actuales donde se observa el comportamiento dinámico del equipo y parámetros de configuración, como:

- ✓ Límites de torque y velocidad.
- ✓ Entradas digitales para definir el arranque y parada
- ✓ Entradas digitales de giro a derecha o a izquierda
- ✓ Salidas digitales,
- ✓ Entradas analógicas por ejemplo para consigna de velocidad
- ✓ Salidas analógicas sea de corriente o de voltaje
- ✓ Ajuste de la rampa de aceleración y desaceleración.
- ✓ Selección de operación del equipo local y remoto, etc.

La forma más directa es utilizando un panel frontal donde seleccionamos valores y parámetros configurables, luego tendrían un submenú para, dentro de cada grupo, seleccionar los items en particular, dentro de éstos items aparecerían las distintas opciones disponibles en cada grupo de parámetros los cuales deberían darles una aceptación para ser tomados por el equipo, finalmente, en los equipos modernos, éstos valores quedan almacenados en una memoria no volátil (EEPROM), para que al apagar el equipo no se pierda la configuración.

Con algunos de estos parámetros indicados ponemos a consideración una programación básica de un variador de frecuencia marca EATON modelo MVX900

(DIRIGIRSE EN ANEXOS, PARA ENCONTRAR CATÁLOGO DE PARAMETRIZACIÓN O PROGRAMACIÓN DEL EQUIPO)

CAPITULO 3

ANALISIS DE LOS REQUERIMIENTOS PLANTEADOS

3.1 BREVE BOSQUEJO SOBRE LOS REQUERIMIENTOS

Sumándonos a buscar alternativas de ahorro energético, el presente proyecto de estudio se enfoca a una alternativa más , sobre este tema, utilizando el **Variador de Velocidad conjuntamente con un motor eléctrico de corriente alterna AC**, en los procesos industriales.

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

La máquina de inducción alimentada con corriente C.A., especialmente la que utiliza un rotor en jaula de ardilla, nuestros técnicos por economía han hecho el motor eléctrico más común en todo tipo de aplicaciones industriales y el que abarca un margen de potencias mayor, además necesita poco mantenimiento pues carece de colector, tienen una relación peso-potencia mucho menor que los de voltaje continuo, y por tanto un costo mucho más bajo. Por estas razones, dada su capacidad de soportar sobrecargas y su elevado rendimiento, es el motor más atractivo para la industria en general (aunque actualmente se ha demostrado que el mejor para este uso es el motor vectorial). Pero no basta conectar un motor a la red para utilizarlo correctamente, sino que existen diversos elementos que contribuyen a garantizar un funcionamiento seguro.

Sin duda alguna, los accionamientos y control de velocidad a base de motores eléctricos son los más numerosos en la mayoría de las aplicaciones, y dentro de ellos los basados en motores de corriente continua han gozado de una total hegemonía en el campo Industrial Ecuatoriano y mundial durante décadas.

La fase de arranque merece una especial atención. El par debe ser el necesario para mover la carga con una aceleración adecuada hasta que se alcanza la velocidad de funcionamiento en régimen permanente, procurando que no aparezcan problemas eléctricos o mecánicos capaces de perjudicar al motor, a la instalación eléctrica o a los elementos que hay que mover.

Cabe notar lo siguiente: El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a su velocidad.

La velocidad del motor asíncrono depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación. Como la frecuencia de alimentación que entregan las Empresas Distribuidoras de Energía es constante, la velocidad de los motores asíncronos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el resbalamiento (deslizamiento) o la frecuencia.

Desde hace aproximadamente 20 años, el elevado desarrollo de la electrónica de potencia y los microprocesadores ha permitido variar la velocidad de estos motores eléctricos, de una forma rápida, robusta y fiable, mediante los reguladores electrónicos de velocidad, conocidos en Ecuador por nuestros técnicos e Ingenieros como :

- ✓ “Variador de frecuencia”
- ✓ “Variador de velocidad”

- ✓ “Inverter “
- ✓ “Ajustable frequency driver”
- ✓ “Convertidor de frecuencia variable “

El variador de frecuencia permite el ahorro de energía en el arranque de un motor al inicio y durante su operación, además regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.

3.2 MONTAJE DEL DEMO SIMULADOR

Para lograr el objetivo general, procederemos al montaje del equipo Demo Simulador para apreciar prácticamente el ahorro de consumo de energía de un motor eléctrico trifásico asincrónico, cuando éste trabaja bajo el régimen de operación de un variador de frecuencia; en comparación cuando trabaja directo conectado a la red . Montamos el variador de frecuencia, motor y simulador de carga y todos los elementos principales de fuerza y control en la consola de operación, adicional elementos de mando y señalización.

A continuación observamos el equipo Demo y sus partes que lo conforman:



Fig.3.1: Vista general de Demo simulador de ahorro de energía
Fuente: Autor



Fig.3.2 Estación de control de simulador
Fuente: Autor



Fig.3.3 Simulador de carga de equipo Demo
Fuente: Autor

3.3 PRACTICA CON EL DEMO SIMULADOR

TEMA: Demostración práctica de ahorro de energía, utilizando el equipo Demo simulador de ahorro de energía.

3.3.1. OBJETIVOS:

3.3.1. a) Medir la corriente eléctrica de consumo por fase de un motor eléctrico trifásico AC, cuando éste es alimentado directamente desde la red principal.

3.3.1. b) Medir la corriente eléctrica de consumo por fase de un motor eléctrico trifásico AC, cuando éste es alimentado a través de un variador de frecuencia desde la red principal.

3.3.1. c) Tabular y comparar en una tabla, los valores de amperaje tomados en el objetivo a) y b).

3.3.2. INSTRUCCIONES

3.3.2 a) Antes de conectar el Equipo Demo, verificar el voltaje que sea el correcto entre las fases (240 Vac), seguidamente colocar todo el equipo de control en OFF. y/o poner en cero.

3.3.2 b) Ajustar en el simulador de carga un determinado valor de ésta (una sola vez).

3.3.2 c) Seleccionar “Arranque directo” en el Demo, y proceder a dar marcha el equipo; seguidamente tomar los valores de amperaje de cada fase (R,S,T).

3.3.2 d) Seleccionar “Arranque con variador de frecuencia” en el Demo, y proceder a dar marcha el equipo; seguidamente tomar los valores de amperaje de cada fase (R,S,T).

3.3.2 e) Comparar los valores de amperaje obtenidos en las dos maneras de operación y sacar conclusiones.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Desarrollamos la práctica siguiendo todas las instrucciones, y anotamos los valores de amperaje visualizados en cada uno de los casos, y formamos la siguiente tabla de valores:

DATOS TOMADOS EN LA PRACTICA					
Operación del motor AC trifásico 1 HP	AMPERAJES DE CONSUMO EN LAS FASES (Amperios)			porcentaje de ahorro de energía	carga aplicada
	R	S	T		
Directo	2.8	2.6	2.7	0.0%	valor determinado una sola vez
Con variador de frecuencia	1.5	1.6	1.7	28.0%	

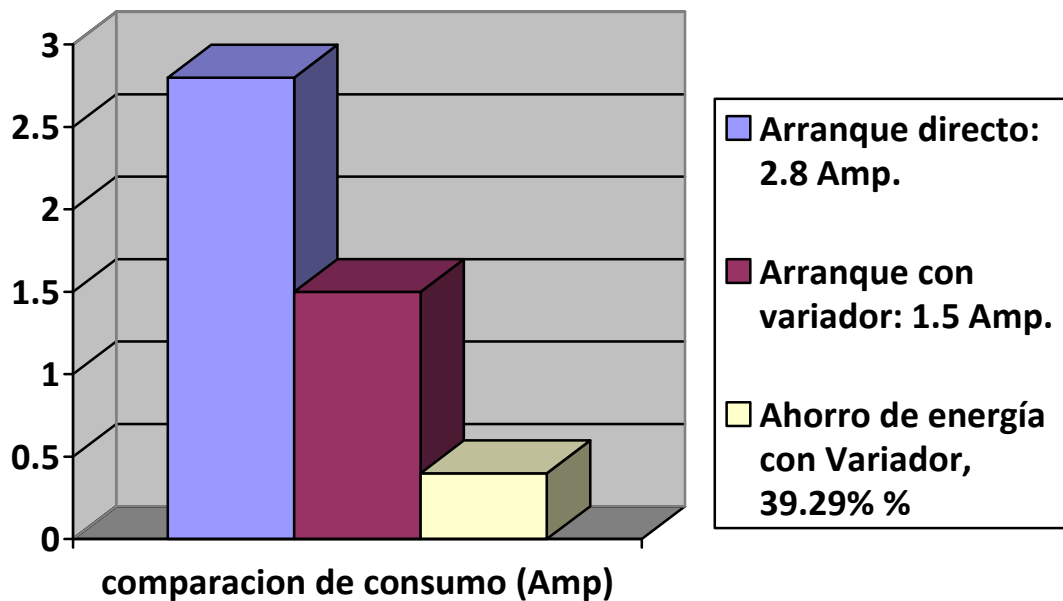


Fig. 3.4 Tabla comparativa de consumo de amperaje

Fuente: autor

3.3.3 LISTA DE MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADO

Para ello, realizamos primeramente un listado de equipo eléctrico necesario que normalmente se utiliza cuando se instala el conjunto de variador motor y carga en un proceso de fabricación. Luego realizamos el levantamiento de los planos de Fuerza y control respectivamente, con lo que tenemos claro de todos los elementos que necesitamos.

PRESUPUESTO Y LISTADO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO DEMO SIMULADOR

Item	DESCRIPCION	cant.	V./Unit	V/total
1	Variador de Frecuencia 1 hp, trifásico, 220vac marca EATON	1	320.00	320.00
2	Motor trifásico Siemes, tipo jaula de ardilla	1	105.00	105.00
3	Sistema de simulación de carga	1	80.00	80.00
4	Consola de control metálica para alojamiento de Equipo	1	240.00	240.00
5	Breaker 3 P, 10 Amp tipo riel din	1	12.00	12.00
6	Breaker 1 P, 10 Amp tipo riel din	1	6.00	6.00
7	Contactador 12 amp, 3 P, bobina 220vac, 1NO-1NC	3	12.00	36.00
8	Selector 3 posiciones mantenidas , 22mm ,2NO	1	9.00	9.00
9	Selector 2 posiciones mantenidas , 22mm ,1NO	1	7.00	7.00
10	Luz indicadora verde, 220vac, diámetro 12 mm	2	3.00	6.00
11	Pulsante de paro color rojo, diámetro 22 mm, 1NC	2	6.00	12.00
12	Pulsante de marcha color verde, diámetro 22 mm, 1NO	2	6.00	12.00
13	Potenciómetro de precisión 5kΩ,	1	28.00	28.00
14	Amperímetro directo 10A, 50x50 mm tipo análogo	3	8.00	24.00
15	Canaleta 35x35 mm con tapa	2	3.00	6.00
16	Metros cable flexible # 18 awg	30	0.30	9.00
17	Metros cable flexible # 14 awg	20	0.40	8.00
18	Accesorios varios	1	40.00	40.00
			suman	960.00
			IVA 12%	115.20
			total	1075.20

Son: un mil setenta y cinco 20/100 dólares americanos

fig. 3.5 Diagrama de fuerza de equipo demo

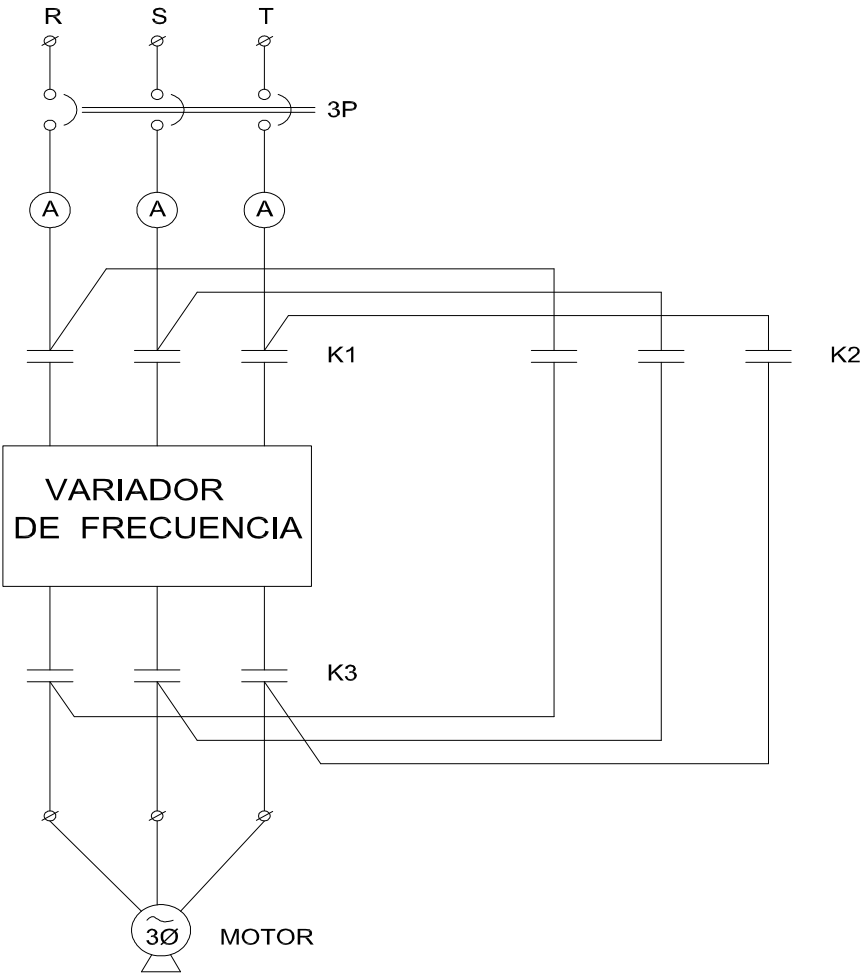


Diagrama de Fuerza de equipo simulado



Fig. 3.6 Diagrama de control de equipo demo

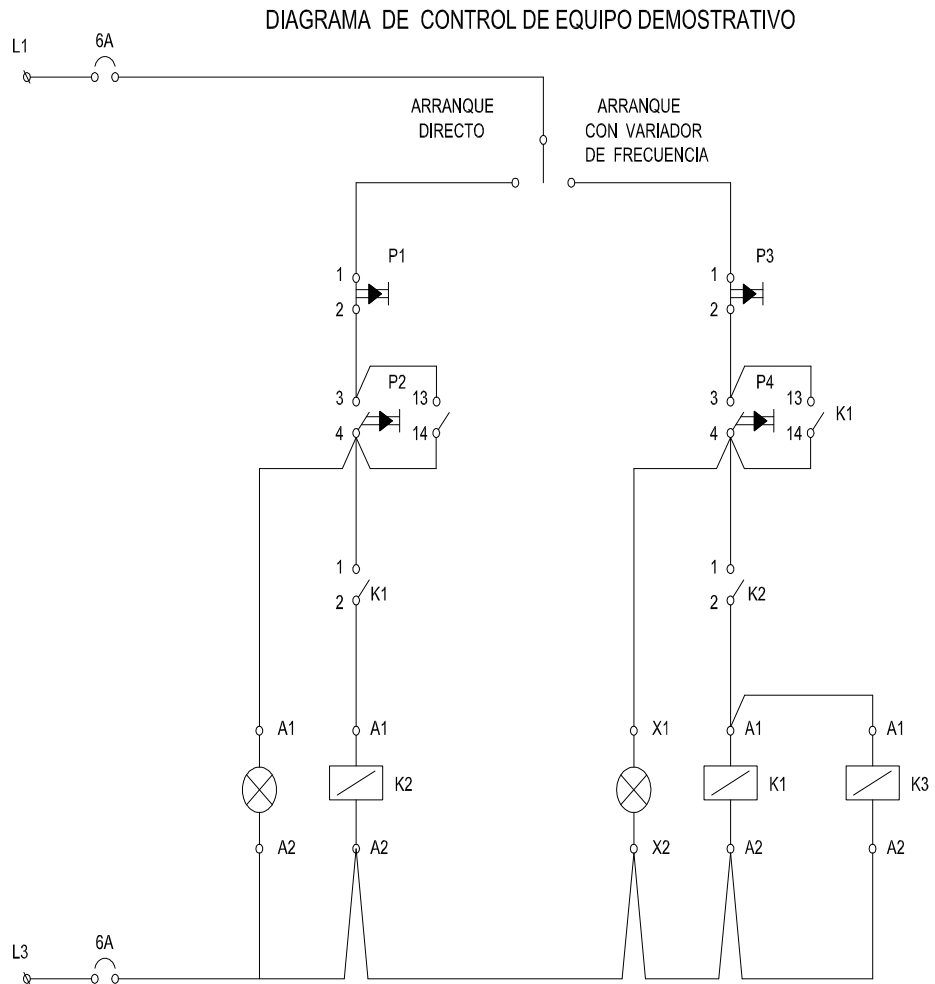


Fig.1.5: Diagrama de control de equipo simulador

Fuente : Autor

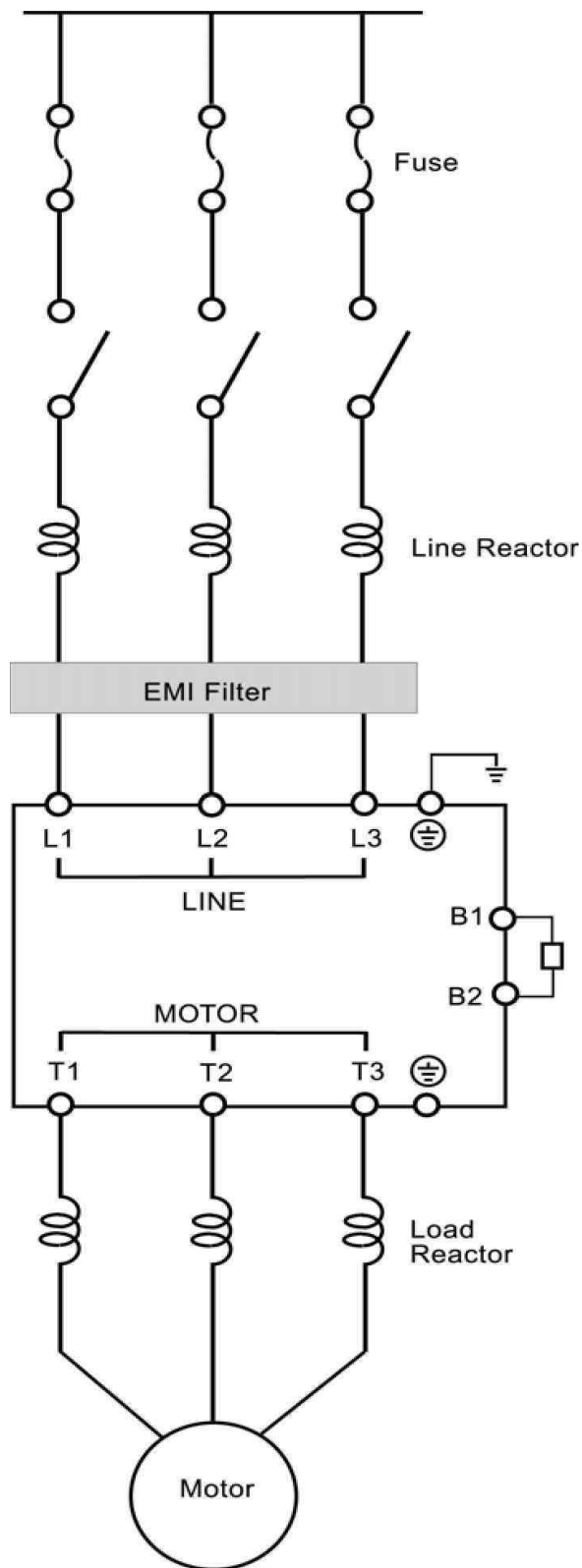


Fig.3.7.- Diagrama de fuerza general de un variador de frecuencia
 Fuente: manual del usuario EATON

3.3.4 CONCLUSIONES SOBRE LA PRÁCTICA

- Realizado las simulaciones respectivas, efectivamente observamos que existe reducción de consumo de energía eléctrica, cumpliéndose el objetivo de ésta tesis, además:
- Se reduce considerablemente en un 28% en el pago de la planilla a la empresa eléctrica.
- Reducción de gastos en accesorios móviles adjuntos, por ejemplo bandas, rodamientos, lubricantes, otros.
- Mejor control operativo, mejorando la rentabilidad y la productividad de los procesos.
- Maximiza la calidad de terminado de sus productos.
- Ahorro en mantenimiento (el motor trabaja siempre en las condiciones óptimas de funcionamiento).

3.3.5 RECOMENDACIONES SOBRE LA PRÁCTICA

- Antes de implementar un SISTEMA de control de velocidad en una aplicación sea tipo Industrial, Comercial o doméstica; es necesario que el Ingeniero, técnico o estudiante, estudie y conozca los tipos de variadores de frecuencia y sus fundamentos teóricos; esto le ayudará a elegir el equipo y el sistema más óptimo para ser aplicado en un proceso.
- Es importante que el motor tenga un ventilador de enfriamiento independiente, ya que a bajas velocidades, éste tiende a calentarse (el ventilador que trae acoplado el motor, a bajas velocidades resulta insuficiente).

- También es importante que cuando use un moto-reductor el motor trabaje entre 15Hz y 60 HZ, ya que en frecuencias menores puedes tener problemas de velocidad por deslizamiento ó variaciones de torque.
- En cuanto al inversor te recomiendo que sea un 20% más grande de capacidad que el motor, para que no trabaje al límite de capacidad y por lo tanto trabaje más ventilado.
- El Demo de comprobación es muy funcional y práctico que siendo manejado con responsabilidad, ayudará a tener un concepto claro como una alternativa muy eficaz para tener éxito en el ahorro de energía y en el proceso Industrial que en su momento pueda presentarse, transformándose en una herramienta muy eficaz para el Estudiante o Ingeniero Eléctrico mecánico.
- La tecnología cambia continuamente día a día, por ello recomendamos seguir estudiando alternativas nuevas en el ahorro de energía ya que es la única forma de optimizar los recursos a nivel empresarial, y ayudar de alguna manera a precautelar el consumo de energía Eléctrica y consecuentemente la ecología ambiental.
- El Ingeniero electromecánico que egresa de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, debe estar convencido y ser capaz de demostrar sus conocimientos en Electricidad, control y automatización sea a sus clientes, dueños de empresa o competencia técnica; pues será la única manera de ser digno de llevar un Título y la representación de una Institución muy emblemática como es nuestra U.C.S.G

CAPITULO 4

4.1.- RAZONES PARA USAR UN VARIADOR DE FRECUENCIA

El control de procesos y el ahorro de la energía son dos de las principales razones para el empleo de variadores de velocidad. Pero también existen otras razones muy puntuales, para ello consideraremos los parámetros eléctricos, aplicaciones mecánicas y sus ventajas económicas.

4.1.2.- AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Un equipo accionado mediante un variador de velocidad emplea generalmente menor energía que si dicho equipo fuera activado a una velocidad fija constante. tanto en el arranque, como en operación normal (desaparece el pico de energía cuando arranca un motor eléctrico); pues , se evita que el motor tome de 4 a 8 veces la corriente nominal en el momento del arranque, si el motor está conectado a través de un variador de frecuencia, esto implica una reducción de costo energético.

En las gráficas siguientes de relación corriente Vs velocidad, apreciamos lo siguiente: En el primer caso (Grafico No.), tenemos el arranque de un motor conectado directamente a la Red Eléctrica; en el segundo caso (Grafico No.), tenemos otros métodos de arranque incluido el que es a través de un variador de frecuencia, y concluimos claramente que con éste último prácticamente desaparece todo pico de consumo de corriente, lográndose el ahorro de energía eléctrica y paralelamente otros beneficios económicos adicionales.

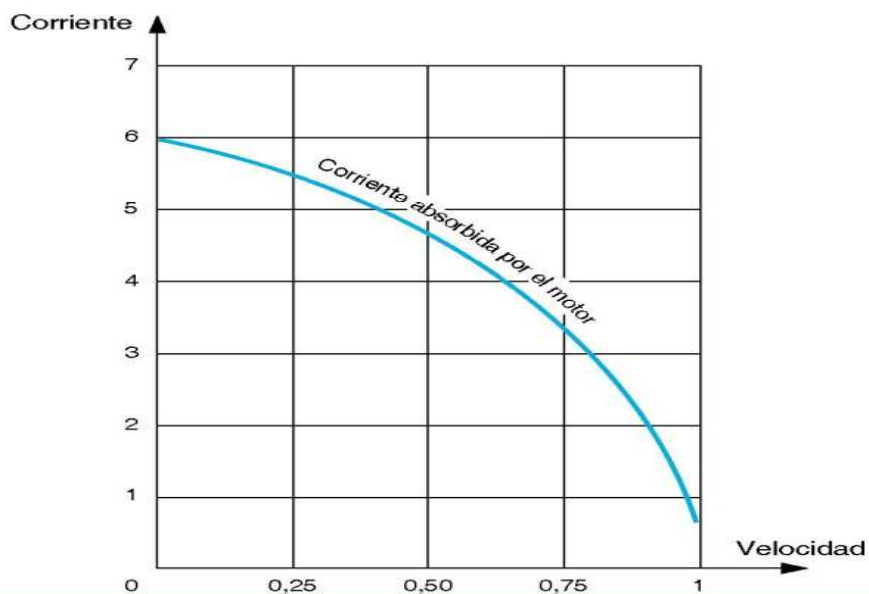


Fig. 4.1.- Curva de corriente/velocidad en arranque directo

Fuente: <http://usuarios.multimania.es>

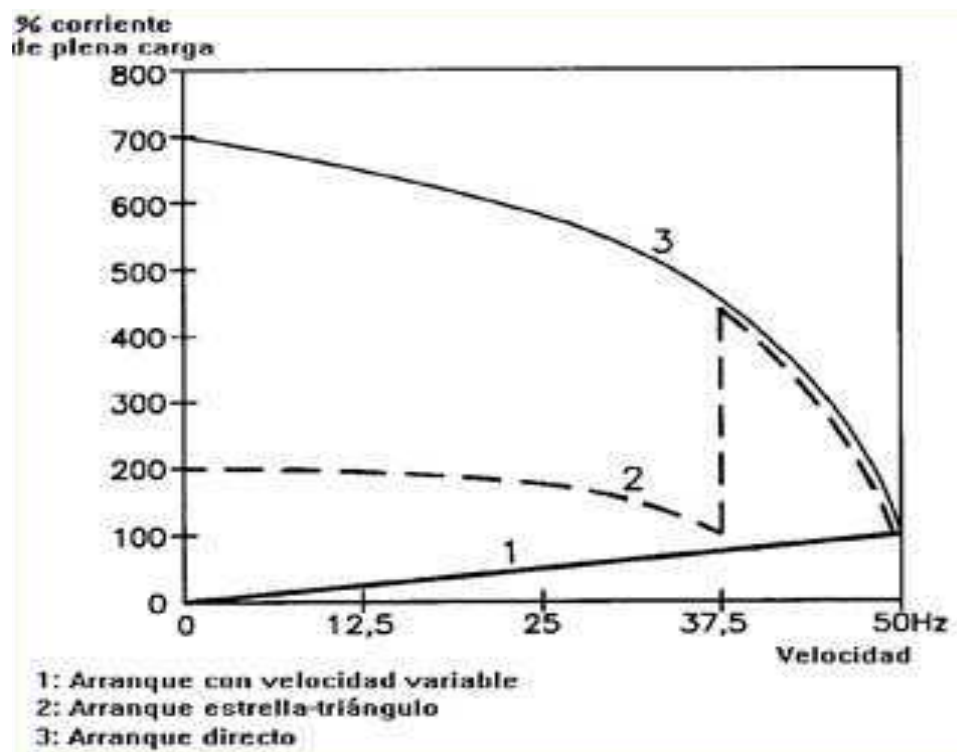


Fig. 4.2.-Curva corriente/velocidad en arranque con un variador de frecuencia

Fuente: <http://usuarios.multimania.es>

4.1.3.- VELOCIDAD CONTROLADA EN ARRANQUE Y EN PARADA

La regulación electrónica de velocidad permite suavizar los críticos procesos de arranque y paradas (limitando las altas intensidades de arranque y evitando caídas de tensión), así como realizar un trabajo más continuo y suave del proceso. Se disminuye de esta forma el número de averías, las paradas del proceso y el coste en mantenimiento, además de prolongar la vida útil de la máquina. Por tanto, la aplicación será especialmente interesante en instalaciones envejecidas o que tienen que soportar grandes esfuerzos.

4.1.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA CARGA

Un aspecto a tener en cuenta en el ahorro del consumo de energía es la instalación mecánica. Si hay un sobredimensionamiento del mecanismo entonces dará lugar a un exceso de Potencia demandada por lo tanto un exceso de consumo energético.

La instalación de variadores de frecuencia o reguladores electrónicos en estos casos permitirá un ahorro importante de energía. Es necesario no sobredimensionar un variador ya que de fábrica ya traen con un determinado porcentaje adicional.

4.1.5.- TIEMPO DE TRABAJO

Un parámetro esencial a la hora de estimar el ahorro de energía, derivado de la instalación de la regulación electrónica de la velocidad es el tiempo total de trabajo de la máquina y su régimen de trabajo. Cuanto mayor sea el tiempo de trabajo de la máquina, mayor será el ahorro producido y menor el tiempo de amortización de la inversión realizada.

4.1.6.- VARIADOR PARA CONTROL DE VARIOS MOTORES

La variación de frecuencia es especialmente atractiva en un sistema multimotor, cuando una gran cantidad de motores pequeños motores de corriente alterna son alimentados simultáneamente con la misma frecuencia y tensión. En tales instalaciones, el coste del convertidor de frecuencia se justifica por la reducción significativa del coste de la máquina debida al gran número de motores cubiertos. La decisión de instalar un variador de velocidad debe contemplar, además del ahorro energético y la rapidez en la amortización de la inversión realizada, otras ventajas de la regulación de velocidad como la reducción en averías, paradas y costes de mantenimiento y mejoras en la calidad y rentabilidad del sistema productivo.

4.1.7.- COMPENSACION DEL FACTOR DE POTENCIA

En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia, disminuyendo considerablemente la potencia aparente (S) y el nivel del ruido generado.

4.2.- CURVAS OPERATIVAS DE UN MOTOR PAR vs VELOCIDAD

Un variador de frecuencia se elige en función de parámetros tales como:

- ✓ Accionar a un solo motor o varios.
- ✓ Banda necesaria de regulación y su precisión.
- ✓ Consecuencias sobre la red eléctrica del variador elegido.
- ✓ Velocidad de respuesta para adaptarse a los cambios de consigna.

Para aprovechar al máximo el motor hay que controlarlo de modo que el flujo se aproxime lo más posible al nominal para el cual ha sido diseñado. Cuando el motor está funcionando con flujo constante e igual al nominal presenta unas curvas características PAR vs VELOCIDAD como las siguientes:

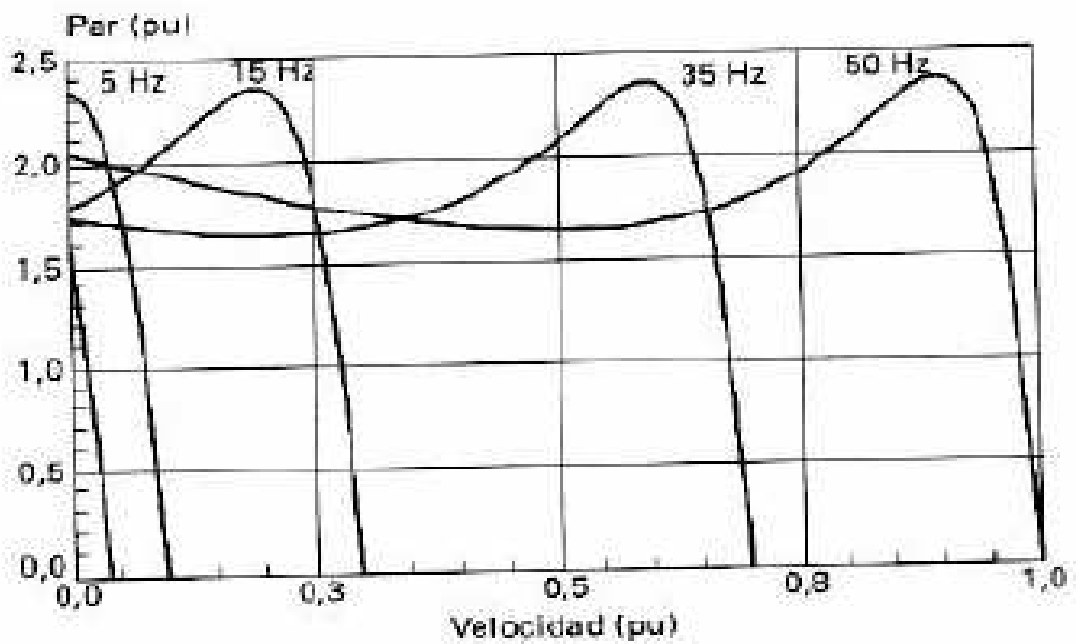


Fig. 4.3.- Curvas de par-velocidad de un motor a conexión directa

Fuente: <http://usuarios.multimania.es>

Una forma de lograr que el flujo sea constante de manera aproximada, es hacer que la tensión y la frecuencia varíen de forma proporcional.

Sin embargo esto es sólo aproximado, y a medida que las frecuencias van bajando los flujos disminuyen también por lo que el par para bajas frecuencias disminuye de forma importante.

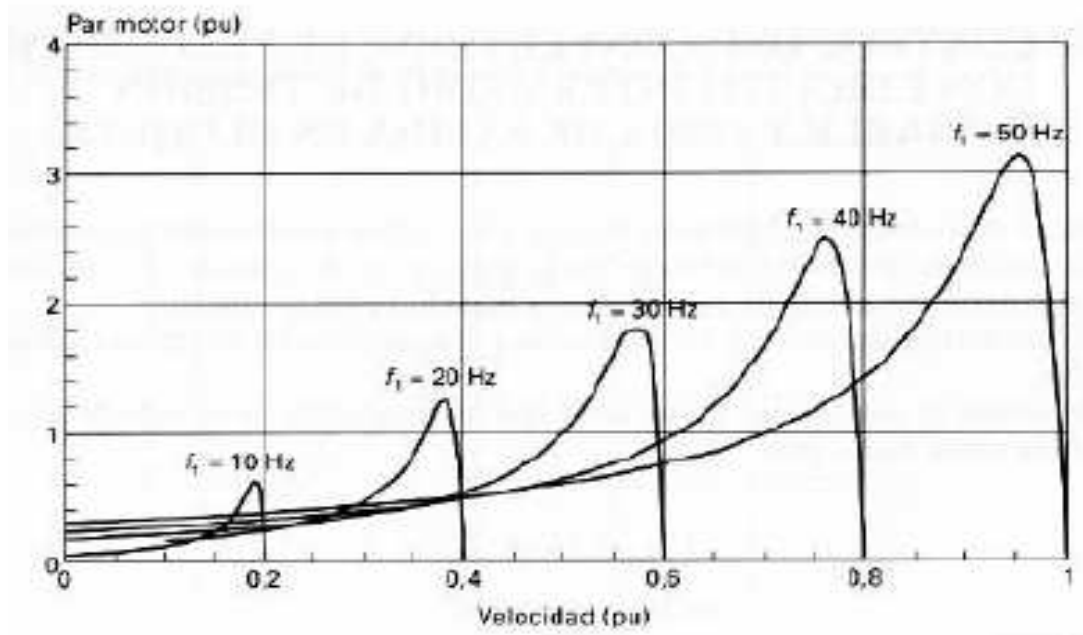


Fig. 4.4.- Curvas de par-velocidad de motor con un variador de frecuencia

Fuente: <http://usuarios.multimania.es>

Para lograr el funcionamiento con flujo constante es preciso que a bajas frecuencias la emisión sea más elevada que lo que dicta la ley sencilla de la proporcionalidad.

Cuando la regulación necesaria para modificar la velocidad supera la frecuencia nominal (50 Hz), el flujo ha de disminuir, ya que la tensión no debe ser elevada para no sobrepasar las posibilidades dieléctricas del bobinado del motor. En este caso las curvas de par para frecuencias elevadas decrecen, por lo que habrá que verificar que los menores pares disponibles cumplen los requisitos de la máquina accionada a alta velocidad.

Control V/f.

Con este método la tensión de alimentación evoluciona proporcionalmente a la frecuencia. Cuando V/f es constante el motor funciona de forma aproximada con flujo constante en los regímenes permanentes. Este tipo de control es más fácil

de llevar a la práctica en un variador y se suele emplear cuando los requisitos de regulación son de baja velocidad.

Como apreciamos la proporcionalidad V/f desaparece en las bajas frecuencias, además la característica de la curva de par depende también de la frecuencia del rotor y de su temperatura, por lo que el dispositivo de control del variador ha de incluir las correspondientes correcciones.

En los variadores con este tipo de control, una de las parametrizaciones más importante es la selección o ajuste de la curva V/f .

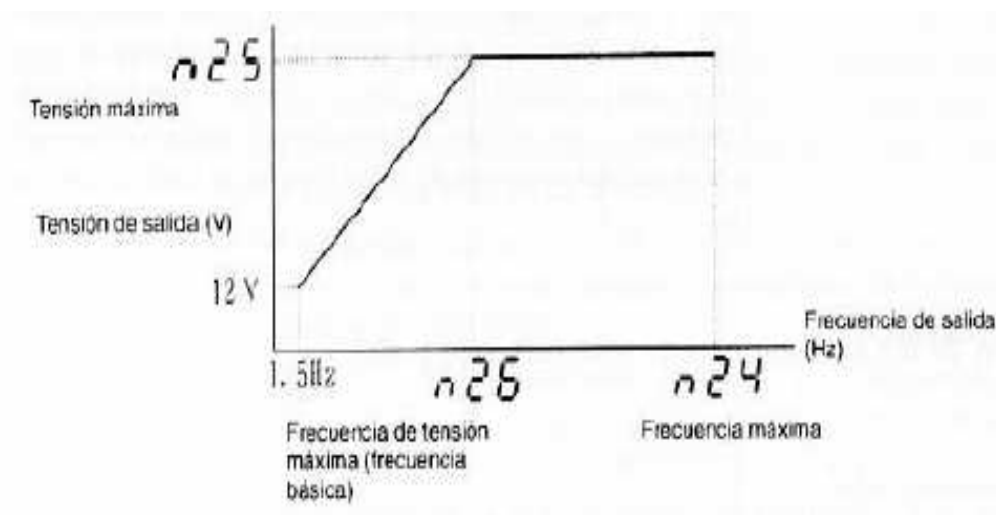


Fig. 4.5.- Curva voltaje de salida Vs frecuencia de salida del invertir

Fuente: <http://usuarios.multimania.es>

CAPITULO 5

5.1 OPERACION DEL VARIADOR SEGÚN EL PAR MECANICO

5.1.2 PAR MECANICO O TORQUE

Se llama también "par mecánico" o simplemente "par torsor". Es un par de fuerzas concentradas que tienen magnitudes iguales, la misma dirección pero sentido opuesto, y líneas de la acción (paralelas) no colineales. Se produce cuando la línea de acción de dos fuerzas que actúan sobre un cuerpo, están separadas por una distancia.

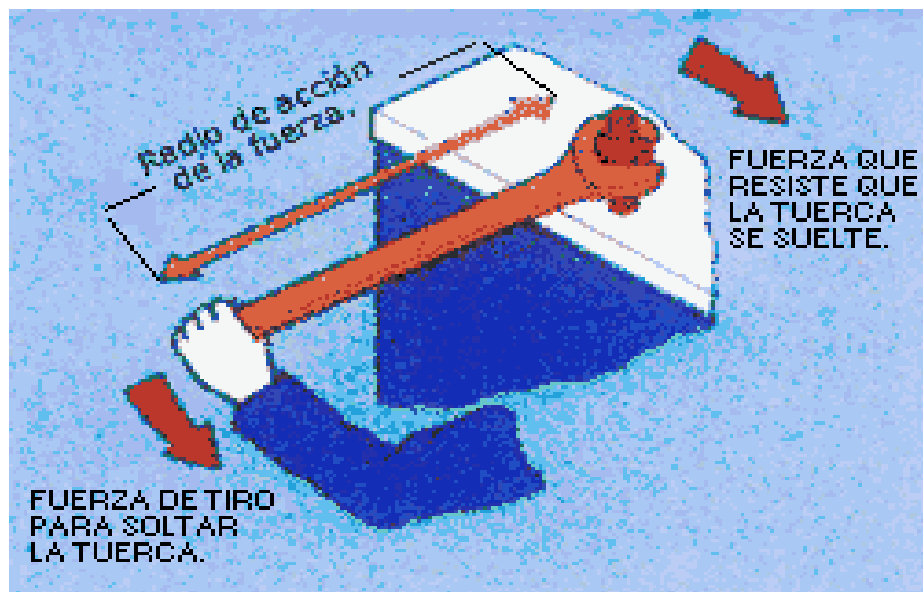


Fig.5.1.- Ilustración de torque mecánico

Fuente: <http://www.todomotores.cl>

$$\text{Torque} = \text{Fuerza} \times \text{Distancia} \quad (T = f \cdot d)$$

$$\text{Fuerza} = \text{Masa} \times \text{Aceleración} \quad f = m \cdot a \quad \text{ó} \quad T = m \cdot a \cdot d$$

5.2 OPERACIÓN A TORQUE CONSTANTE

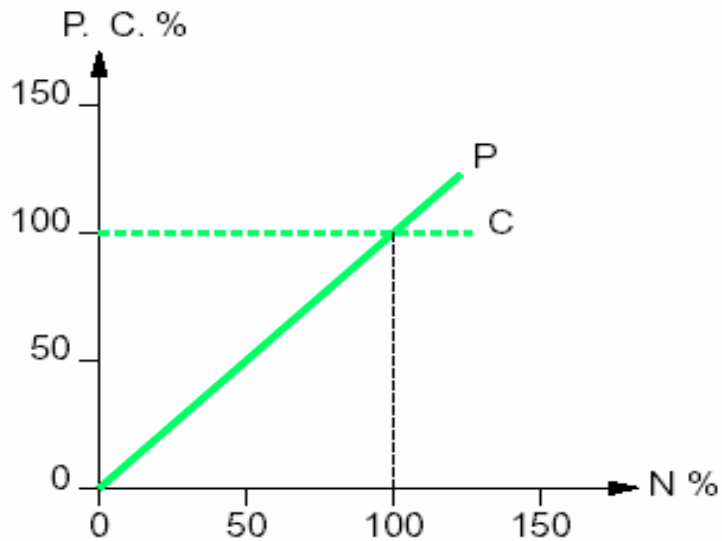


Fig. 5.2.- Curva de funcionamiento a par constante

Fuente: www.InstrumentacionyControl.NET

Si la carga se mantiene constante, los requerimientos de par serán constantes independientemente de la velocidad. Por ello el término **“par constante”**. Ejemplos de aplicaciones de Par constante: Gruas, inyectoras.

5.2.1 APLICACIONES A TORQUE CONSTANTE

Son cargas en las que el Par no es función de la velocidad sino que permanece constante, mientras que la potencia varía linealmente con la velocidad.

Las aplicaciones típicas son:

- ✓ Accionamiento de tracción.
- ✓ Bandas transportadoras.
- ✓ Bombas de desplazamiento positivo (alimentadores).
- ✓ Grúas y malacates.

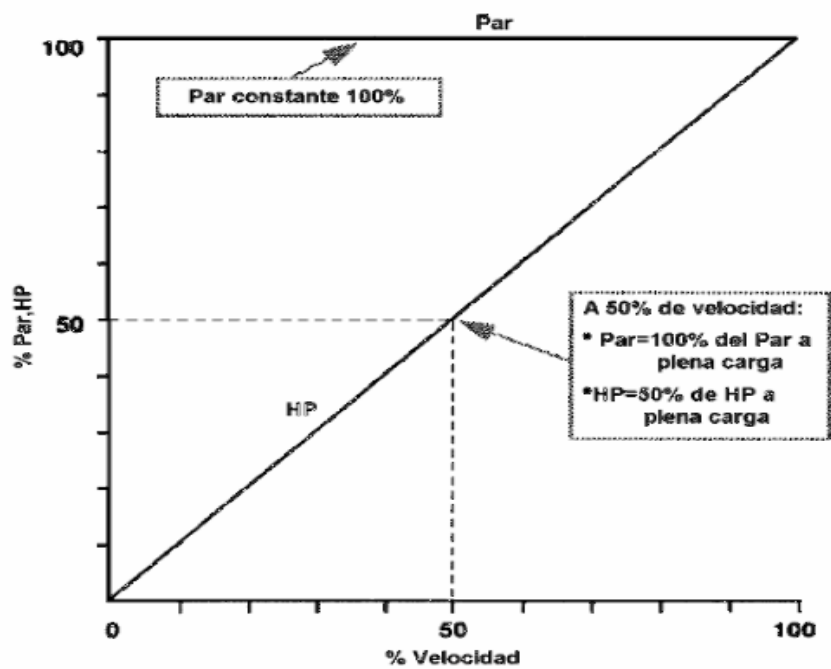


Fig 5.3.- Curva de operación de variador de frecuencia a torque constante
Fuente : www.InstrumentacionyControl.NET

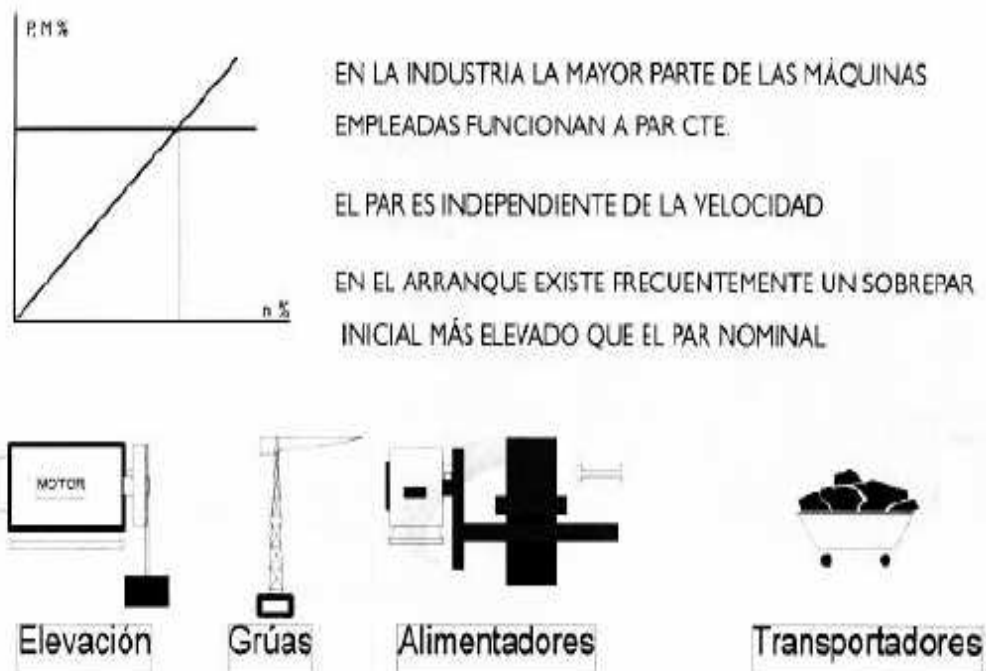


Fig. 5.4.- Proceso industrial aplicando par constante

Fuente : www.InstrumentacionyControl.NET

5.3 OPERACIÓN A TORQUE VARIABLE

Se denomina funcionamiento a par variable cuando las características de la carga varía con la velocidad. Es en concreto el caso de las bombas volumétricas con tornillo de Arquímedes cuyo par crece linealmente con la velocidad (**figura 5.5a**) o las máquinas centrífugas (bombas y ventiladores) cuyo par varía con el cuadrado de la velocidad (**figura 5.5b**). Para un variador destinado a este tipo de aplicaciones, es suficiente un par de arranque mucho menor (1,2 veces el par nominal del motor). Es imposible funcionar más allá de la frecuencia nominal de la máquina porque sería una carga insostenible para el motor y el variador.

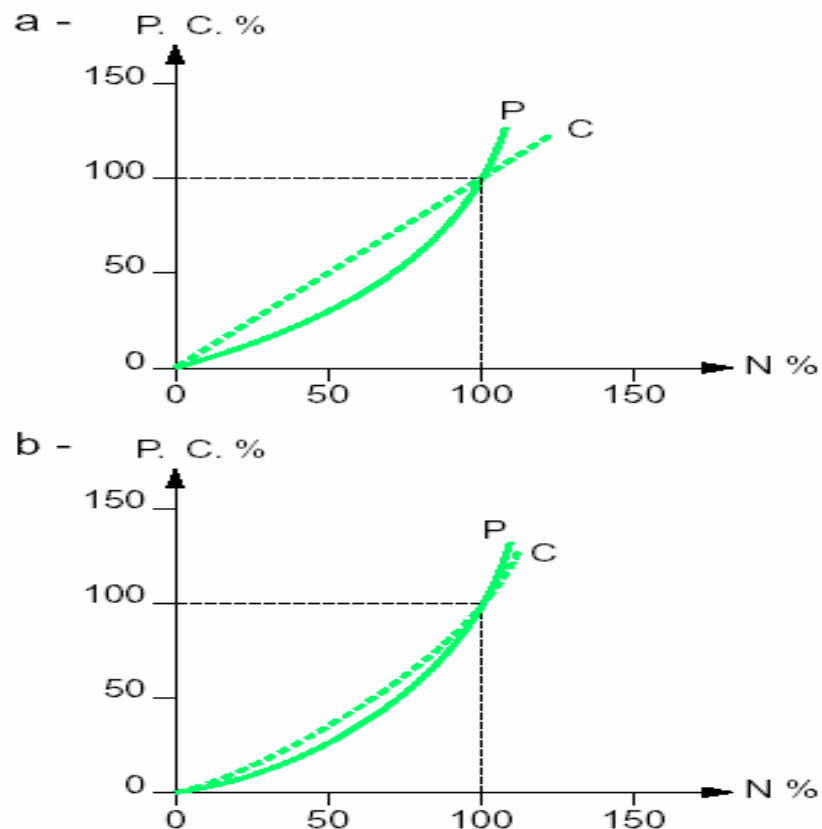


Fig. 5.5.- Curva de funcionamiento a par variable

Fuente: www.InstrumentacionyControl.NET

5.3.1 APLICACIONES A TORQUE VARIABLE

Las cargas en las que el Par se reduce cuando operan por debajo de la velocidad base y se incrementa al operar por encima de dicha velocidad base se clasifican como Cargas de Par Variable. En muchas de estas cargas el par se reduce con el cuadrado de la velocidad, siendo las bombas centrífugas y cierto tipo de ventiladores y sopladores las cargas más representativas

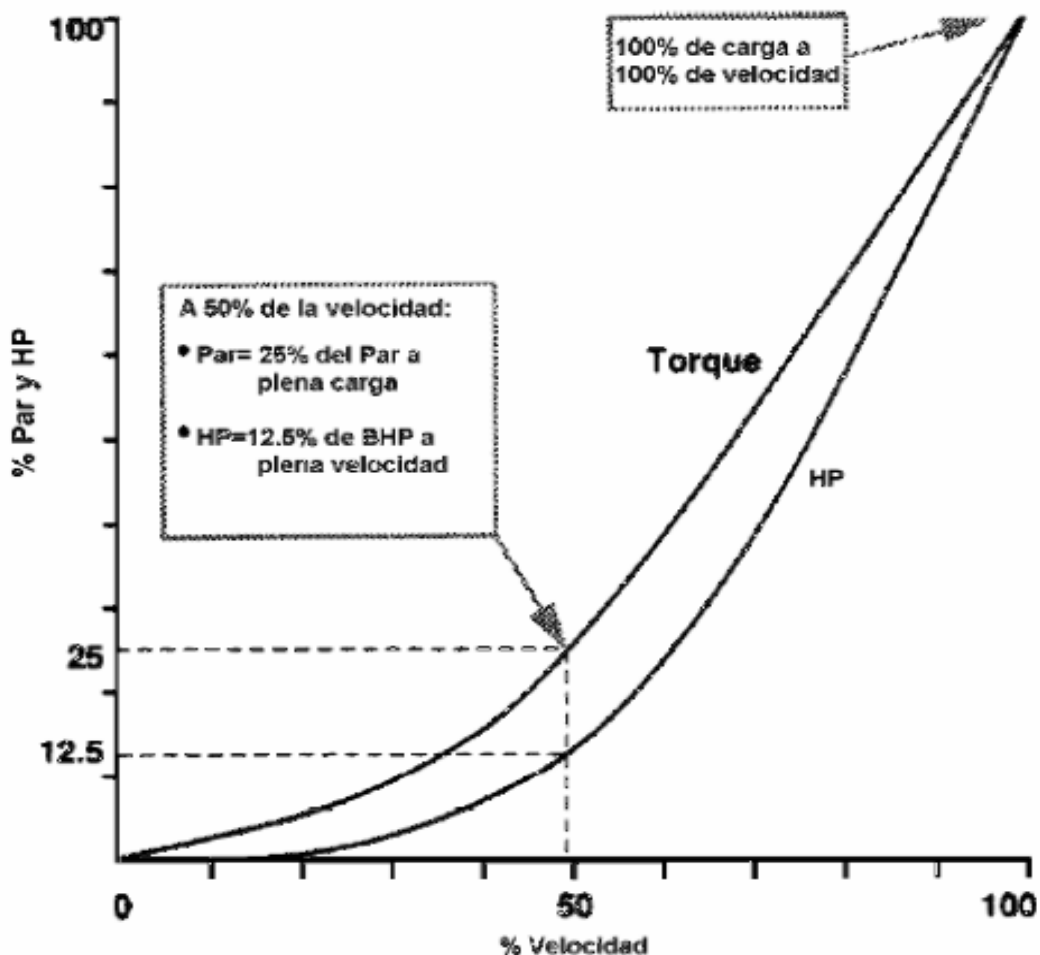


Fig. 5.6- Operación de variador de frecuencia a par variable

Fuente: www.InstrumentacionyControl.NET

EN ESTAS MÁQUINAS EL PAR VARÍA LINEALMENTE CON LA VELOCIDAD

LA POTENCIA VARÍA CON EL CUADRADO DE LA VELOCIDAD

EJEMPLOS: BOMBAS VOLUMÉTRICAS DE TORNILLO DE ARQUIMEDES Y MEZCLADORAS

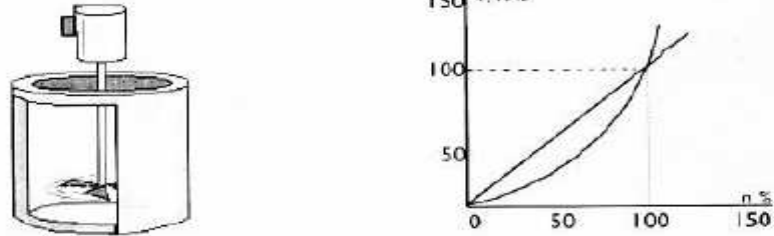


Fig. 5.7.- Proceso aplicando par creciente lineal con la velocidad

Fuente: www.InstrumentacionyControl.NET

Como se puede comprobar en las gráficas, los ahorros más importantes los tendremos en las cargas de par cuadrático, donde una pequeña disminución de velocidad produce una gran disminución de potencia absorbida por el motor.

5.4.- FUNCIONAMIENTO A POTENCIA CONSTANTE

Es un caso particular del par variable. Se denomina funcionamiento a potencia constante cuando el motor proporciona un par inversamente proporcional a la velocidad angular (**figura 5.8**). Es el caso, por ejemplo, de una enrolladora cuya velocidad angular debe disminuir poco a poco a medida que aumenta el diámetro de la bobina por acumulación de material. Es también el caso de los motores de huso de las máquinas herramienta. El margen de funcionamiento a potencia constante es por definición limitado: a baja velocidad, por la corriente proporcionada por el variador, y a gran velocidad, por el par disponible del motor. En consecuencia, el par motor disponible con los motores asíncronos y la capacidad de conmutación de las máquinas de corriente continua deben ser comprobados.

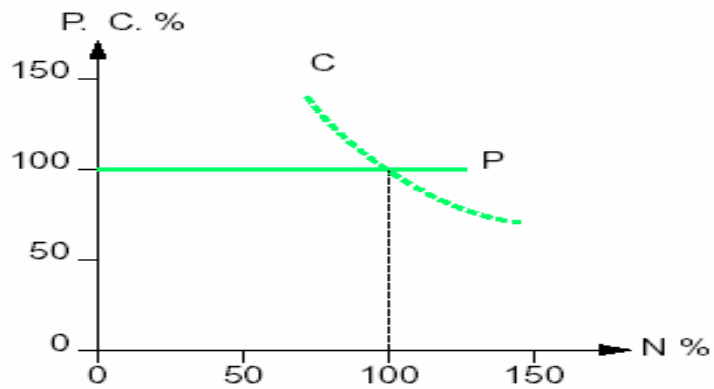


Fig. 5.8.- Curva de funcionamiento a potencia constante

Fuente: www.InstrumentacionyControl.NET

5.5. APLICACIONES ADICIONALES

Si bien el principal beneficio de aplicaciones de los variadores de velocidad es el ahorro de energía, éstos, están bien adaptados para su uso en otras aplicaciones donde la conservación de la energía es de importancia secundaria. Por ejemplo, el inverter puede proporcionar la velocidad precisa o control del par en algunas aplicaciones comerciales.

Algunas aplicaciones especializadas usan dos ventiladores o bombas. Los variadores, con su control preciso de la velocidad, pueden asegurar que las dos unidades funcionan a la velocidad deseada y no terminan compitiendo entre sí o dejando que una unidad transporte más de su nivel de carga de diseño.

Los avances en tecnología han propiciado el aumento del número de cargas que puede ser utilizados por las unidades. Hoy en día, las unidades están disponibles con especificaciones de voltaje y corriente que puede coincidir con la mayoría de los motores de inducción trifásicos que se encuentran en las Industrias. También se han

instalado en grandes enfriadoras centrífugas, donde son frecuentes 500 H.P. o potencias más altas. En estas instalaciones pueden lograrse ahorros muy grandes.

5.6 ALGUNAS PRECAUCIONES

Al evaluar la instalación de un inverter, deberán tener en cuenta una serie de factores relacionados con la aplicación. Por ejemplo, los inverter emiten una serie de pulsos rápidos (ARMONICAS). Estos pulsos pueden reflejarse por los terminales del motor. En aplicaciones donde hay un largo recorrido entre el motor y el variador, estos pulsos reflejados pueden producir tensiones que exceden la tensión de línea, provocando tensiones en las bobinas del cable y del motor que podrían provocar a fallos en el aislamiento. Aunque este efecto no es muy significativo en los motores que funcionan a 230 voltios o menos, es una preocupación para aquellos que operan a 480 voltios o más. Para esas aplicaciones, debe **reducirse al mínimo la distancia entre el inverter y el motor**, usar cableados diseñados específicamente para ser utilizados con variadores de frecuencia (cable apantallado) , y considerar la instalación de un filtro especialmente diseñado para reducir el impacto de los pulsos reflejados.

Otro factor a considerar es el impacto que el variador puede tener en los cojinetes del motor; los impulsos producidos por el inverter pueden generar una diferencia de voltaje entre el eje del motor y su carcasa, si esta tensión es lo suficientemente alta, puede generar chispas en los rodamientos que erosionan su superficie. Esta condición también se puede evitar mediante una inductancia del mismo cable.

Con el fin de identificar puntos de ahorro en la industria, vamos a ver a continuación las cargas típicas que nos podemos encontrar. En la mayoría de los procesos, se tendrán combinaciones de varios de estos tipos.

CAPITULO 6

6.1.- MOTORES A USARSE CON UN INVERTER

Para variar la velocidad de un motor de inducción jaula de ardilla puede utilizarse uno de los siguientes métodos:

- ✓ Cambio del número de polos
- ✓ Variación del voltaje de alimentación
- ✓ Variación de la frecuencia de alimentación

6.2.- MOTORES ASÍNCRONOS VECTORIALES

¿Qué tipo de motor instala usted con su variador de frecuencia?

Si formulamos esta pregunta a la mayoría de ingenieros, la respuesta en muchos casos será simplemente: “Un motor asíncrono normal y corriente tipo jaula de ardilla, pues ; tiene:

- * Altos niveles de eficiencia comparado con otros tipos de motor ,
- * Bajos costos de mantenimiento,
- * Bajo costo y facilidad de adquisición,
- * Altos grados de protección y posibilidad de uso en áreas clasificadas.

Pocos técnicos son conscientes de que el motor de inducción convencional, ideado para su conexión directa a red, **NO** es el adecuado para ser usado con convertidores de frecuencia. Es como equipar un coche deportivo con neumáticos de vehículo para movilizarse en la ciudad. Veamos por qué.

6.3.- HIPÓTESIS DE DISEÑO DEL MOTOR ASÍNCRONO CONVENCIONAL

Un motor de corriente alterna (AC) asíncrono convencional ha sido diseñado y construido considerando en todo momento que va a funcionar conectado directamente a la red eléctrica. Por tanto:

- ✓ Se ha pensado en una cierta tensión (p.ej. 230 Vac, 460 Vac) y en una determinada frecuencia fija (en America, 60 Hz). Se ha supuesto por tanto que la relación tensión / frecuencia, que a la postre determina entre otras cosas el par disponible, va a ser fija y constante.
- ✓ La refrigeración de un motor asíncrono convencional suele provenir del propio motor mediante un ventilador acoplado al rotor (auto ventilación), ya que se supone que el rotor estará girando siempre a la velocidad nominal o cerca de ella, la cual sería suficiente para evitar el calentamiento excesivo del motor.
- ✓ Los aislamientos entre bobinados se han dimensionado para baja frecuencia, la única que se espera encontrar en la red.
- ✓ No se suponen requerimientos especiales en cuanto a aceleración angular. El motor girará a una sola velocidad. Por tanto el rotor no se ha diseñado para baja inercia.

Todas estas hipótesis son falsas cuando se utiliza con un variador de frecuencia.

6.4.- PROBLEMAS DERIVADOS DEL USO DE MOTORES CONVENCIONALES CON INVERTER

Problemas a bajas velocidades

- ✓ La auto ventilación es claramente insuficiente para el régimen permanente a bajas revoluciones, al menos si se quiere mantener el par nominal, lo que nos obliga a instalar ventilación forzada exterior (dificultades de montaje...) o bien a sobredimensionar el motor. Recordemos que en la práctica el factor térmico suele ser el que limita la potencia de utilización del motor.

Problemas a altas velocidades

- ✓ Por encima de la velocidad nominal, los motores asíncronos jaula de ardilla entran en un cierto rango de funcionamiento en el que el par cae a medida que sube la velocidad, pero la potencia final se mantiene: es la llamada zona de potencia constante. Lamentablemente, este rango de velocidades está a su vez muy limitado. Si continuamos incrementando la velocidad, la potencia disponible deja de mantenerse constante para empezar a caer rápidamente.

Las causas son básicamente dos:

- a) La auto ventilación. La potencia mecánica absorbida por el propio ventilador aumenta de forma cúbica con la velocidad. A velocidad nominal es poco importante, pero al doble de velocidad esa potencia se ha multiplicado por ocho. En cambio el motor no está desarrollando más potencia de la nominal, y por tanto la auto ventilación es claramente excesiva. Esta potencia debería estar dedicándose a mover la carga y sin embargo se está malgastando en mover aire inútilmente.
- b) Pérdidas magnéticas en el entrehierro, que aumentan notablemente con la frecuencia. Todo esto prácticamente invalida al motor convencional para

trabajar a velocidades sustancialmente superiores a su nominal. En ese rango de velocidades la mayoría de fabricantes ni siquiera se atreve a garantizar un valor límite de velocidad para el funcionamiento a potencia constante.

Bajas prestaciones dinámicas

- ✓ El diseño mecánico del rotor no ha sido optimizado para presentar una baja inercia. Ello hace que las aceleraciones angulares máximas disponibles se vean limitadas.

Destrucción de bobinados

- ✓ Los armónicos presentes en la salida de potencia del convertidor son ricos en muy altas frecuencias y con el tiempo acaban degradando los bobinados, cuyos barnices de aislamiento no están preparados a largo plazo para un bombardeo permanente de transiciones abruptas de tensión.

6.5.- MOTORES VECTORIALES



Fig. 6.1: motor vectorial
Fuente: <http://www.mecmod.com>

Los llamados motores vectoriales, han sido concebidos y fabricados teniendo presente su utilización con variadores de frecuencia; en otras palabras, éstos son los motores adecuados para usar con un variador de frecuencia.

6.5.1 VENTAJAS Y CARACTERISTICAS

- ✓ La carcasa, que por su forma recuerda a la de los motores de corriente continua está construida con chapa magnética, lo que minimiza las pérdidas magnéticas en el entrehierro. Gracias a ello las prestaciones de estos motores a velocidades por encima de la nominal son muy superiores a los asíncronos convencionales.
- ✓ Incorporan de fábrica la ventilación forzada, a elegir entre radial o axial.
- ✓ Los bobinados han sido diseñados para soportar a largo plazo los armónicos de muy altas frecuencias, así como altas temperaturas.
- ✓ Por los motivos anteriores, son motores que trabajan con un rendimiento excelente en un amplio rango de frecuencias del convertidor, tanto bajas como altas.
- ✓ Al no tener que sobredimensionar el motor, normalmente se puede elegir una talla bastante menor a la necesaria con motores convencionales sobredimensionados.
- ✓ Maximizar el factor de potencia del motor

Dado que la energía reactiva representa un sobre coste de la energía eléctrica, tener un factor de potencia lo más elevado posible es tanto más interesante. Ello se consigue diseñando los devanados para minimizar la corriente en vacío del motor y trabajando con niveles bajos de saturación magnética.

- ✓ Gracias a su diseño alargado, la inercia del rotor es notablemente inferior a la de los motores asíncronos convencionales. Ello le otorga un excelente comportamiento dinámico.
- ✓ Estos motores incorporan sondas térmicas para su protección, ya que el exceso de temperatura es su principal enemigo. Trae RTD o termopar para su control de temperatura.
- ✓ Además, la velocidad nominal puede elegirse a voluntad entre un muy amplio abanico de valores, sin estar limitados a los pocos valores típicos derivados de la frecuencia de red y el número de polos (1500 rpm, 3000 rpm...)

Mientras los motores de inducción convencionales son los más adecuados para aplicaciones a velocidad fija mediante conexión directa a la red, los motores asíncronos vectoriales son óptimos para usar con variador de frecuencia.

6.5.2.- DESVENTAJAS

Su coste es superior al de los motores asíncronos convencionales de la misma potencia nominal, pero dentro de un orden de magnitud similar, y en general queda claramente compensado con sus ventajas técnicas.

Pueden crear algunas interferencias electromagnéticas. Las interferencias son el resultado de la conmutación veloz de los dispositivos IGBT de alta corriente del variador, que genera una señal PWM en el variador. Este tipo de problemas también se conocen como interferencias de radiofrecuencia o RFI. Las RFI pueden ser de dos tipos: de inmunidad y de emisión. Según la trayectoria de la interferencia deben adoptarse unas medidas u otra para solucionar de modo sencillo y eficaz el problema, como se indica a continuación:

1. Debe introducirse un filtro especial para RFI en la entrada de la red eléctrica.

Debe estar lo más cerca posible de la red a fin de atenuar las interferencias de la

borna, así como cualquier otra interferencia que pueda radiar el cable de entrada de la red.

Interferencias radiadas del cable del motor:

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

La toma a tierra desempeña un papel importante en las interferencias. Todos los puntos de conexión a tierra deben ser de metal y deben utilizarse tiras de sujeción siempre que sean posibles.

La longitud del cable, por su parte, debe ser lo más corta posible.

6.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Antes de implementar un SISTEMA de control de velocidad en una aplicación sea tipo Industrial, Comercial o doméstica; es necesario que el estudiante, técnico o Ingeniero; estudie y conozca los tipos de variadores y sus fundamentos teóricos esto le ayudará a elegir y desarrollar el equipo y el sistema más óptimo para ser aplicado en empresa o Industria en donde el futuro Ingeniero se encuentre laborando o requieran de sus servicios técnicos.

El Demo de comprobación es muy funcional y práctico que siendo manejado con responsabilidad, ayudará a tener un concepto claro como una alternativa muy eficaz para tener éxito en el ahorro de energía y en el proceso Industrial que en su momento

pueda presentarse, transformándose en una herramienta muy eficaz para el Estudiante o Ingeniero Eléctrico mecánico.

No todos los procesos ahorran energía, por ello debemos conocer el tipo de carga a mover considerando su inercia

La tecnología cambia continuamente día a día, por ello recomendamos seguir estudiando alternativas nuevas en el ahorro de energía ya que es la única forma de optimizar los recursos a nivel empresarial, y ayudar de alguna manera a precautelar el consumo de energía Eléctrica y consecuentemente la ecología ambiental.

El Ingeniero electromecánico que egresa de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, debe estar convencido y ser capaz de demostrar sus conocimientos en Electricidad, control y automatización sea a sus clientes, dueños de empresa o competencia técnica; pues será la única manera de ser digno de llevar un Título y la representación de una Institución muy emblemática como es nuestra U.C.S.G

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

(1) Efecto de las armónicas en los sistemas eléctricos

A. Tejada (Instituto Tecnológico de Monterrey) 2001

(2) G. Lemieux, "Power System Harmonic Resonance" May./June, 1990.

(3) "Control de maquinas asincrónicas empleando un variador de frecuencia"

Rueda Torres, Jose Tapia (Tesis Escuela Politécnica Nacional) 2005

(4) Irving L Kosow " Máquinas Eléctricas y transformadores" 2da. Edición

(5) Power Electronics and motor control. W. Shepherd. L. N. Hulley. D. T. W. Liang. Cambridge University Press. 1996.

(6) Electric Motors & Control Techniques. Gottlieb Irving M. McGraw Hill. 1994.

Direcciones web:

1).- www.epn.edu.ec

2).- www.espol.edu.ec

3).- [www.google academico.com](http://www.google.academico.com)

4).- [http: www.eaton.com](http://www.eaton.com)

5).- www.InstrumentacionyControl.NET

ANEXOS