



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**APLICACIÓN DE VARIADORES DE VELOCIDAD
EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE
MUEBLES EN UNA PYME.**

**TESINA
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO**

PRESENTA:

JOSÉ ROBERTO BRACAMONTES ALATRISTE.

ACESOR:

M. en C. VICTOR GALINDO LÓPEZ

Índice

Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivo general	3
1.4 Objetivos particulares	4
Capítulo 2 Marco teórico	5
2.1 Instalación eléctrica	5
2.2 Conductores	5
2.3 Motor	6
2.3.1 Principios de operación de un motor	7
2.3.2 Campo magnético	7
2.3.3 Leyes que intervienen	7
2.3.4 Voltaje inducido en una espira rotacional sencilla	10
2.3.5 El campo magnético rotacional	10
2.3.6 Rendimiento o eficiencia	10
2.3.7 Pérdidas	11
2.3.8 Par τ	11
2.3.9 Relación entre la frecuencia eléctrica y la velocidad de rotación del campo magnético	12
2.3.10 Relación par- velocidad	15
2.3.11 Elementos básicos de las máquinas eléctricas	15
2.4 Variadores de velocidad	17
2.4.1 Descripción	18
2.4.2 Ventajas de la utilización del Variador de Velocidad en el arranque de motores asíncronos.	21
2.4.3 Inconvenientes de la utilización del Variador de Velocidad en el arranque de motores asíncronos.	22
2.4.4 APLICACIONES DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA	22
2.4.5 “PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD ELECTRÓNICOS	23
2.4.6 COMPOSICIÓN DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA	27

Capítulo 3 Artículos Norma Oficial Mexicana	29
3.1. Artículo 110	29
3.2. Artículo 210	29
3.3. Artículo 240 Protección contra sobrecorriente.	30
3.4. Artículo 310 CONDUCTORES PARA ALAMBRADO EN GENERAL	31
3.5. Artículo 430 Motores, circuitos de motores y controladores	36
3.6. Tabla 10-1.- “Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores”	39
3.7. Tabla 10-4 “Fragmento. Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit.”	39
3.8. Tabla 10-5 Fragmento. “Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos”	40
Capítulo 4 Cálculo para la instalación del variador de velocidad y motor	41
4.1. Cálculo de Conductores	41
4.2. Capacidad de conducción de corriente	41
4.3. Cálculo de conductores	42
4.3.1 Cálculo de conductores por corriente	42
4.3.1.1. Factor de ajuste por temperatura	43
4.3.1.2. Factores de ajuste por agrupamiento	43
4.3.2 Por caída de tensión o voltaje.	44
4.4. Cálculo canalizaciones y protecciones	47
4.4.1 Cálculo de canalizaciones	47
4.4.2 Cálculo de protecciones	47
Capítulo 5 Operación del variador	49
5.1 Puesta en marcha	49
5.2 Configuración del variador de velocidad	51
5.3 Parámetro	52
5.3.1 Frecuencia mínima	53
5.3.2 Frecuencia máxima	57
Capítulo 6 Conclusión	59
Bibliografía	61

Capítulo 1 Introducción

1.1 Planteamiento del problema

La carpintería en la que se pretende llevar a cabo el proyecto, se encuentra ubicada en la ciudad de San Pedro Cholula, la misma está funcionando en 7 Pte. Número 720. Esta carpintería tiene una deficiencia en uno de los procesos de la fabricación de muebles el cual se afecta dos partes, la iluminación ineficiente y el cortado de madera. Los que se pretende resolver con la instalación de un variador de velocidad, la cual se refiere únicamente a la alimentación de los motores.

El taller de carpintería se encuentra en funcionamiento desde hace ya varios años, el cual funciona desde sus principios como un taller familiar, el taller se dedica a la elaboración de muebles a pedidos, los cuales son realizado bajo especificaciones exactas del cliente.

La instalación eléctrica con la que cuenta la carpintería en la actualidad, fue realizada aproximadamente hace 14 años, cuando el taller fue adaptado para trabajar con una alimentación eléctrica trifásica, el taller en ese entonces trabajaba con una alimentación monofásica.

La decisión de cambiar la alimentación del taller se debió a la demanda de muebles, al tiempo de entrega y a la adquisición de un motor trifásico para la disminución del tiempo de producción y aumentar la precisión en el proceso.

La instalación actual fue realizada provisionalmente para que el taller continuara trabajando, a lo que se realizaban la instalación definitiva, pero a causa de algunos imprevistos la instalación definitiva nunca se llegó a realizar. Desde ese entonces la instalación sólo ha tenido pocas modificaciones, como el aumento en el número de contactos y la adquisición de un segundo motor trifásico.

Son alimentadas distintos tipos de cargas con esta instalación tales como iluminación, contactos y motores, las condiciones de la instalación actual no

cumplen con las normas para la operación de este tipo de taller, como ejemplo esta que los conductores no están protegidos por ninguna canalización.

El sistema se alimenta con un calibre 16 AWG, el cuales en su mayoría se encuentra conectados en una sola caja de registro. La totalidad de la instalación monofásica del taller se encuentra conectada únicamente a una fase de alimentación, lo que causa una demanda mayor en esta fase, lo que provoca un desbalance en las fases.

La carpintería en la actualidad cuenta con 2 motores trifásicos de 2 hp o caballos de fuerza los cuales se utilizan para la tarea de cortado de madera, uno de estos motores es el que en la actualidad presenta dos inconvenientes, el astillamiento excesivo de la madera y la deficiencia en la iluminación.

Los motores a los que se refiere se encuentran acoplados mecánicamente, uno de ellos por medio de una banda a una sierra circular de mesa, en este caso se entenderá el término de sierra circular de mesas como. El otro motor se encuentra acoplado por medio de una flecha a un tropo, la sierra circular al ser utilizadas, es la causante del excesivo astillamiento en las piezas de madera y la deficiencia de iluminación.

El inconveniente del astillamiento se produce en el momento de cortar la madera, deja demasiadas astillas en los bordes de las piezas, esto ocurre cuando el material es muy delgado como una hoja de triplay y la fuerza del disco es demasiada la cual hace que se astille el material. En el caso de piezas macizas de madera la fuerza es insuficiente para cortar estas piezas, por lo cual hace que se detenga el disco de la sierra, lo que a su vez causa un astillamiento en las mismas.

Algunas de estas piezas astilladas conformarán el exterior del mueble y le dan la presentación deseada, por lo que es indispensable que ninguna de ellas presente imperfecciones a causa de astillamiento.

Las piezas que conforman el exterior del mueble después de ser cortadas son resanadas con una pasta especial, que al secarse es lijada para dar una mejor presentación y corregir el desperfecto que las maquinas ocasionaron.

Lo que representa una pérdida de tiempo del trabajador al igual que un aumento en el costo del producto, a causa de necesitar una cantidad mayor de resanador y lija para lograr el acabado deseado.

En la cuestión de iluminación, la deficiencia se presenta cuando los motores mencionados se encuentran en funcionamiento, y causa una demanda de corriente eléctrica mayor, que el conductor no puede transportar, esta demanda ocasiona que la intensidad luminosa decrezca de las fuente de iluminación, provocando una deficiencia en la visibilidad de la persona al momento de trabajar en las maquinas.

El fenómeno anterior se debe a que en la instalación eléctrica del taller, el calibre del conductor que alimenta a los motores no es el adecuado. El problema se puede solucionar por medio de la instalación adecuada de un variador de frecuencia y los componentes de esta.

1.2 Justificación

Con el presente trabajo se hará una propuesta de mejora de las condiciones actuales de la microempresa en cuestión de tal manera que disminuya el riesgo por astillamiento excesivo con todas las consecuencias que éste conlleva, involucrando además una propuesta para el uso eficiente de la energía eléctrica cumpliendo con lo establecido en la norma NOM-001-SEDE-2012.

1.3 Objetivo general

Evaluar las condiciones actuales del proceso de corte de material para generar una propuesta que evite el astillamiento excesivo de este material, en una microempresa de fabricación de muebles y que conlleve a su vez, al uso eficiente de la energía eléctrica.

1.4 Objetivos particulares

1.4.1 Ventajas de las funciones de un variador de velocidad

1.4.2 Aplicación de NOM-001-SEDE-2012

1.4.3 Control de velocidad-par, para la disminución del astillamiento del material.

Capítulo 2 Marco teórico

2.1 Instalación eléctrica

“Se entiende por instalación eléctrica, al conjunto de tuberías conduit o tuberías y canalizaciones de otro tipo y forma, cajas de conexión, registro, elementos de unión entre tuberías, y entre las tuberías y las cajas de conexión o los registros, conductores eléctricos, accesorios de control, accesorios de control y protección, etc., necesarios para conectar o interconectar una o varias fuentes o tomas de energía eléctrica con los receptores.”¹ Los receptores eléctricos son todos y cada uno de los equipos eléctricos.

2.2 Conductores

“Los conductores eléctricos, son aquellos materiales que ofrecen poca oposición o resistencia al paso de la corriente eléctrica por o a través de ellos”², el material ocupado en los conductores en la mayoría de los casos es el cobre.

“Los calibres de conductores dan una idea de la sección o diámetro de los mismos y se designan usando el sistema norteamericano de calibres (AWG) por medio de un número al cual se hace referencia, sus otras características diámetro de área, resistencia, etc., la equivalencia en mm^2 del área se debe hacer en forma independiente de la designación usada por la America Wire Gage (AWG). El sistema de designación de los calibres de conductores usados por la AWG, a medida que el número de designación es más grande la sección es menor”³.

La sección transversal del conductor influye en el paso de la corriente eléctrica, cuanto más pequeño sea mayor resistencia opondrá a la corriente, por lo tanto a una designación menor el tamaño del conductor aumenta permitiendo el paso de una corriente eléctrica mayor

¹ Instalaciones Eléctricas practicas, Becerril, Pág. 1

² Instalaciones Eléctricas practicas, Becerril, Pág. 89

³ ABC de las Instalaciones Eléctricas Residenciales, Pág. 38

El conductor que se requiere para resolver el inconveniente se designara más adelante, para esto es necesario hacer los cálculos pertinentes para determinar el calibre del conductor, los cálculos para determinar el conductor son por corriente, por caída de tensión y por cortocircuito.

Para seleccionar adecuadamente un conductor, “se debe tener en cuenta además otros factores como son la sobrecarga, la cual es conducir más corriente de la que soporta, la pérdida, que se generen, las cuales no deben ser excesivas, también el costo el cual debe ser el menor posible, sin olvidar las condiciones técnicas”⁴.

2.3 Motor

“Las máquinas eléctricas, son aquellas máquinas que transforman la energía mecánica en energía eléctrica o la energía eléctrica en energía mecánica. A este grupo de máquinas se le define como giratorias.

Las máquinas giratorias pueden clasificarse de acuerdo al tipo de corriente que usan cuando son alimentadas, en corriente continua y corriente alterna, este último grupo puede tener otra clasificación como monofásicas o trifásicas”⁵

“Las máquinas eléctricas pueden clasificarse en generadores, motores, transformadores, convertidores e inversores. De los cuales, el que interesa al trabajo es el motor.

Los motores transforman la energía eléctrica en energía mecánica, es decir que la energía eléctrica, está en posición de dar movimiento a una parte giratoria que se conoce en general como rotor y que transmite su movimiento a otro órgano mecánico que acciona a las máquinas sobre las cuales actúan.”⁶

⁴ Instalaciones Eléctricas Teoría y Práctica, Ibbetsoon, Pág. 129

⁵ Curso de Máquinas de Corriente Continua, Enríquez, Pág.15

⁶ Curso de Máquinas de Corriente Continua, Enríquez, Pág.16

2.3.1 Principios de operación de un motor

“La operación de los motores depende de la interacción de campos magnéticos. Para comprender como opera un motor, se deben definir las reglas del magnetismo, así como la relación que existe entre el flujo de corriente y el campo magnético.”⁷

2.3.2 Campo magnético

“Los campos magnéticos son el mecanismo fundamental para convertir la energía de ca en energía de cc, o viceversa, en los motores, generadores y transformadores. Existen cuatro principios básicos que describen cómo se utilizan los campos magnéticos.

- Un conductor que porta corriente produce un campo magnético a su alrededor.
- Un campo magnético variable con el tiempo induce un voltaje en una bobina de alambre si pasa a través de ésta.
- Un conductor que porta corriente en presencia de un campo magnético experimenta una fuerza inducida sobre él (esta es la base del funcionamiento del motor).
- Un conductor eléctrico que se mueve en presencia de un campo magnético tendrá un voltaje inducido en él.

2.3.3 Leyes que intervienen

La ley básica que gobierna la producción de un campo eléctrico por una corriente es la ley de Ampère:

$$\int \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I_{net}$$

⁷ Control de motores Eléctricos, Enríquez, Pág. 13

Donde H es la intensidad de campo magnético producida por la corriente I_{net} . se mide en Amperes –vueltas por metro, mientras que I se mide en Ampere”⁸.

Ley de Faraday: voltaje inducido por un campo magnético variable.

“La ley de Faraday establece que si un flujo atraviesa una espira de alambre conductor, se inducirá en esta un voltaje directamente proporcional a la tasa de cambio de flujo con respecto al tiempo, lo cual se expresa mediante la ecuación

$$e_{ind} = \frac{d\phi}{dt}$$

e_{ind} es el voltaje inducido en la espira y ϕ es el flujo que atraviesa la espira.

La ley de Lenz

Establece que la dirección de voltaje del inducido en la bobina es tal que si tal que si los extremos de ésta estuvieran en cortocircuito, se produciría en ella una corriente que generaría un flujo opuesto al cambio del flujo inicial. Puesto que el voltaje inducido se opone al cambio que lo causa, se incluye un signo menos en la ecuación.”⁹

$$e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt}$$

“La ecuación de la fuerza sobre un alambre conductor en presencia de un campo magnético:

$$F = i(l \times B)$$

Donde

F = fuerzas sobre el alambre

⁸ Máquinas Eléctricas, Chapman, Pág. 8

⁹ Máquinas Eléctricas, Chapman, Pág. 29,30

i = magnitud de la corriente en el alambre

l = longitud del alambre; la dirección de l está definida por el flujo de corriente

B = vector de densidad de flujo magnético.

La ecuación para el voltaje inducido en un alambre conductor que se mueve en un campo magnético:

$$e_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$$

Donde:

e_{ind} = voltaje inducido en el conductor

v = velocidad del alambre

B = vector de densidad de flujo magnético

l = longitud del conducto en el campo magnético”¹⁰

“Existen dos clases principales de máquinas de corriente alterna: las máquinas síncronas y las máquinas de inducción. Las máquinas sincrónicas son motores y generadores cuya corriente de campo magnético es suministrada por una fuente de separada, mientras que las máquinas de inducción son motores o generadores cuya corriente de campo magnético es suministrada por inducción magnética (acción transformadora) en sus devanados de campo. Los circuitos de campo de la mayoría de las máquinas síncronas y de inducción están localizados en sus rotores.”¹¹

¹⁰ Máquinas Eléctricas, Chapman, Pág. 37

¹¹ Máquinas Eléctricas, Chapman, Pág. 37

2.3.4 Voltaje inducido en una espira rotacional sencilla

“Si el rotor de esta máquina gira, se inducirá un voltaje en la espira, el voltaje esta dado por la ecuación:”¹²

$$e_{ind} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$$

2.3.5 El campo magnético rotacional

“Si dos campos magnéticos están presentes en una máquina, se creará un par que tiende a alimentarlos. Si un campo magnético es producido por el estator de una máquina ac. y el otro es producido por el rotor, el par inducido en el rotor obligará a que éste gire para alinear los dos campos.

Si existe alguna forma de lograr que el campo magnético del estator rote, efectuara una “persecución” circular constante del campo magnético del estator debido al par inducido en el rotor. Este es el principio básico de la operación de todo motor ac.”¹³

2.3.6 Rendimiento o eficiencia

“En las máquinas eléctricas, como en cualquier otro dispositivo de transformación de la energía, existen unas pérdidas, de tal forma que solamente se entrega a la salida una parte de la energía absorbida en la entrada. El rendimiento se define como el cociente entre la potencia útil y la potencia absorbida o total, de acuerdo con la expresión.”¹⁴

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia total}} = \frac{P_u}{P_t}$$

¹² Máquinas Eléctricas, Chapman, Pág. 233

¹³ Máquinas Eléctricas, Chapman, Pág. 241

¹⁴ Máquinas Eléctricas, Jesús Fraile Mora, Pág. 107

La cual se puede expresar en tanto por ciento

$$\eta = \frac{\textit{Potencia útil}}{\textit{Potencia total}} * 100 = \frac{P_u}{P_t} * 100$$

2.3.7 Pérdidas

“Las pérdidas se pueden dividir en cuatro categorías básicas

Pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre. Pérdidas que ocurren por calentamiento resistivo en los devanados del estator (armadura) y del rotor (campo) de la máquina

Pérdidas en el núcleo. Pérdidas por histéresis y pérdidas por corrientes parásitas ocurren en la parte metálica del motor.

Pérdidas mecánicas. Son aquellas asociadas a los efectos mecánicos. Existen dos tipos básicos de pérdidas mecánicas: el rozamiento mecánico propiamente dicho y el rozamiento con el aire. Las pérdidas por rozamientos son causadas por fricción en los cojinetes de las máquinas, en tanto las pérdidas por rozamiento con el aire se deben a la fricción entre las paredes móviles de la máquina y el aire encerrado en la carcasa del motor.

Pérdidas dispersas. Son aquellas que no pueden situarse dentro de las categorías anteriores, en la mayoría de las máquinas, estas pérdidas se toman convencionalmente como el 1% de la plena carga.”¹⁵

2.3.8 Par τ

“En el movimiento rectilíneo, una fuerza aplicada sobre un objeto ocasiona un cambio de velocidad en éste. Si no se ejerce una fuerza neta sobre el objeto, su velocidad permanece constante. Cuando mayor sea la fuerza aplicada al objeto, más rápidamente cambiará su velocidad.

¹⁵ Máquinas Eléctricas, Chapman, Pág. 266,267.

En movimiento rotatorio, existe un concepto similar. Cuando un objeto rota, su velocidad permanece constante a menos que se ejerza un par sobre él. Cuando mayor sea el par aplicado al objeto, más rápidamente cambiará su velocidad angular.

El par puede llamarse con poca exactitud la fuerza de “torsión aplicada” al objeto. El par sobre un objeto se define como el producto de la fuerza aplicada al objeto por la distancia mínima entre la línea de acción de la fuerza y el eje de rotación del objeto. Si r es un vector que apunta desde el eje de rotación hasta el punto de aplicación de la fuerza y si F es la fuerza aplicada, el par puede ser descrito como

$$\begin{aligned}\tau &= \text{fuerza aplicada (distancia perpendicular)} \\ &= (F) (r \text{ sen } \theta) \\ &= r F \text{ sen } \theta\end{aligned}$$

Donde θ es el ángulo entre el vector r y el vector F . las unidades del par son newton/metro en las unidades del SI y libra/pie en el sistema ingles”¹⁶

2.3.9 Relación entre la frecuencia eléctrica y la velocidad de rotación del campo magnético

“En la fig. 1 se muestra que el campo magnético rotacional en el estator se puede representar como un polo norte (por donde el flujo sale del estator) y un poli sur (por donde entra el flujo al estator). Estos polos magnéticos completan una rotación mecánica alrededor de la superficie del estator por cada ciclo eléctrico de la corriente aplicada. Entonces, la velocidad mecánica de rotación del campo magnético, en revolucione por segundo, es igual a la frecuencia eléctrica en Hz:

$$f_e = f_m \text{ dos polos}$$

$$\omega_e = \omega_m \text{ dos polos}$$

¹⁶ Máquinas Eléctricas, Chapman, Pág. 4,5

Aquí f_m y ω_m son las velocidades mecánicas, en revoluciones por segundo y radianes por segundo, mientras que f_e y ω_e son las velocidades eléctricas en hertz y en radianes por segundo.

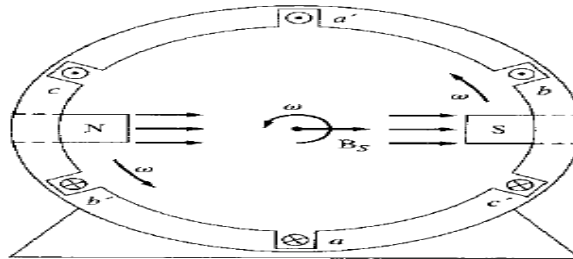


Fig. 1 Campo magnético rotacional en un estator, representado como movimiento de polos norte y sur estatóricos, maquinas eléctricas, Stephen j. Chapman, pág. 246.

Cuando los devanados de la Fig. 1 se repiten dos veces en el interior del estator se duplican los polos en el estator, “cuando un grupo de corrientes trifásicas se aplica al estator, se producen dos polos norte y dos polos sur en el devanado estatórico, como se ve en la fig.2. En este devanado, un polo recorre sólo la mitad del camino alrededor de la superficie estatórica durante un ciclo eléctrico. Puesto que un ciclo eléctrico tiene 360 grados eléctricos y puesto que el movimiento mecánico es 180 grados mecánicos, la relación entre el ángulo eléctrico θ_e y el ángulo mecánico θ_m en este estator es

$$\theta_e = 2\theta_m$$

Entonces, para el devanado de cuatro polos, la frecuencia eléctrica de la corriente es dos veces la frecuencia mecánica de rotación:

$$f_e = 2f_m \text{ Cuatro polos}$$

$$\omega_e = 2\omega_m \text{ Cuatro polos}$$

En general, si el número de polos magnéticos del estator de una maquina ac es P , entonces hay $P/2$ repeticiones de la secuencia de los devanados alrededor de su superficie interior, y las cantidades eléctrica y mecánica en el estator están relacionadas por

$$\theta_e = \frac{P}{2} \theta_m$$

$$f_e = \frac{P}{2} f_m$$

$$\omega_e = \frac{P}{2} \omega_m$$

Así mismo, puesto que $f_m = \frac{n_m}{60}$, es posible relacionar la frecuencia eléctrica, en hertz, con la velocidad mecánica resultante de los campos magnéticos, en revoluciones por minuto. Esta relación es:¹⁷

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

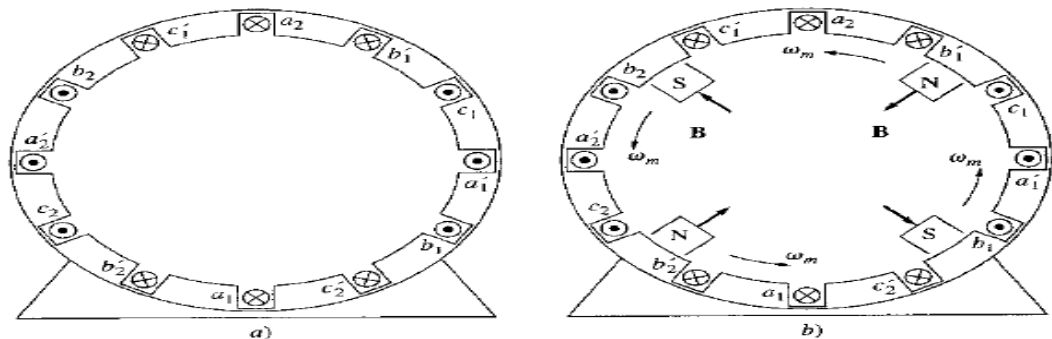


Fig. 2

- a) Devanado estático sencillo, de cuatro polos.
 b) Polos magnéticos estáticos resultantes. Nótese que hay polos en movimiento, de polaridad alterna cada 90° alrededor de la superficie estática.
 Máquinas eléctricas, Stephen j. Chapman, pág. 247

La velocidad obtenida por esta fórmula es la máxima velocidad que puede alcanzar el motor, pero existen factores que afectan la velocidad.

¹⁷ Máquinas Eléctricas, Chapman, Pág. 246,247

Al cociente de la velocidad máxima y la velocidad de operación se conoce como deslizamiento y se obtiene por la ecuación:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} * 100$$

S = deslizamiento en %.

n_1 = Velocidad máxima que puede alcanzar el motor por formula.

n = Velocidad de operación del motor.

2.3.10 Relación par- velocidad

La relación existente entre la velocidad y el par, esta enlazado por la potencia mecánica útil desarrollada por el motor. El par o torque es la razón, entre la potencia mecánica útil (P_u) y la velocidad angular, en donde la velocidad angular es:

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60}$$

En donde n es la velocidad expresa en RPM.

El torque esta dado por la expresión

$$T = \frac{P_u}{2\pi \frac{n}{60}}$$

2.3.11 Elementos básicos de las máquinas eléctricas

“En términos generales, se puede decir que una máquina eléctrica rotativa se compone de dos partes. Una parte fija, que se denomina estator y que tiene forma cilíndrica; en el caso de maquinas de gran velocidad, dicho cilindro es largo en comparación con su diámetro, mientras que para las de pequeña velocidad es relativamente corto. En la cavidad del estator se coloca el rotor, que, como su nombre indica, es la parte giratoria de la máquina. El rotor se monta en un eje que

descansa en dos rodamientos o cojinetes; éstos pueden estar montados en sendos pedestales que se apoyan en la bancada, o forma parte de las culatas o tapas que están sujetas a la carcasa del estator.

El espacio de aire que separa el estator del rotor, necesario para que pueda girar la máquina, se denomina entrehierro, siendo el campo magnético existente en el mismo el que constituye el medio de acoplamiento entre los sistemas eléctrico y mecánico.

Normalmente tanto el estator como en el rotor existen devanados hechos con conductores de cobre por lo que circulan corrientes suministradas o cedidas a un circuito exterior que constituye el sistema eléctrico. Uno de los devanados tiene como misión crear un flujo en el entrehierro y por ello se denomina inductor, también excitación o campo.

El otro devanado recibe el flujo del primero y se inducen en él corrientes que se cierran por el circuito exterior y se denomina inducido. Lo mismo puede situarse el inducido en el estator y el inducido en el rotor o viceversa; lo que realmente cuenta es el movimiento relativo entre ambos devanados y teóricamente puede elegirse cualquiera de ambas soluciones.

Aunque en la práctica su situación la determina las condiciones tecnológicas de facilidad de construcción, aislamiento, refrigeración, etc. Desde el punto de vista de la construcción, el estator tiene su parte exterior recubierta por la carcasa o culata, estando constituida por un cilindro hueco al que se unen los pies y los dispositivos de fijación de la máquina. Fig. 3.

En las máquinas pequeñas se construye en forma de un monobloque que fundición de hierro colado y en las máquinas grandes se compone de dos o cuatros partes ensambladas. La forma de la carcasa varía de un constructor a otro, estando condicionada por el sistema de refrigeración y por la protección exigible en el lugar

de trabajo. En los lados de la carcasa van colocadas las tapas que cerrarán el motor y que tiene un hueco central en su interior para alojar los cojinetes del rotor.”¹⁸

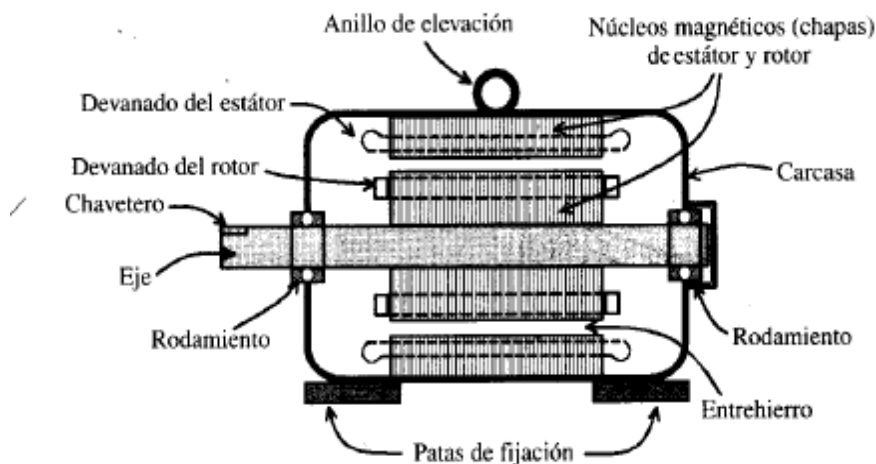


Fig. 3 Aspectos constructivos de una maquina eléctrica, Maquinas Eléctricas, Jesús Fraile mora, pag.90.

2.4 Variadores de velocidad

“Una gran parte de los equipos utilizados en la industria moderna funcionan a velocidades variables, como por ejemplo los trenes laminadores, los mecanismos de elevación, las máquinas-herramientas, 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 regulación de velocidad puede realizarse por métodos mecánicos, como poleas o engranajes, o por medios eléctricos.”¹⁹

“Los motores de C.A., especialmente la que utiliza un rotor en jaula de ardilla, es el motor eléctrico más común en todo tipo de aplicaciones industriales y el que abarca un margen de potencias mayor.

¹⁸ Máquinas Eléctricas, Jesús Fraile Mora, Pág. 89,90

¹⁹ <http://www.paginadigital.com.ar>, pág. 1

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 asincrónico depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación. Como la frecuencia de alimentación que entregan las Compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asincrónicos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el resbalamiento o la frecuencia.

El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia. No se requieren motores especiales, son mucho más eficientes y tienen precios cada vez más competitivos.

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.

2.4.1 Descripción

Los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía que recibe el motor. Otra definición sería²⁰, “los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad y la cupla de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

❖ Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de par y la velocidad
- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada²¹

²⁰ www.itescam.edu.mx, Pág. 1

²¹ Cuaderno técnico No. 208 Schneider Electric, Pág. 4

Problemas que surgen en el arranque de motores asíncronos.

“El pico de corriente en el arranque puede perturbar el funcionamiento de otros aparatos conectados a la red, las sacudidas mecánicas que se producen durante los arranques y las paradas pueden ser inaceptables para la máquina así como para la seguridad y comodidad de los usuarios, funcionamiento a velocidad constante.

Los arrancadores y variadores de velocidad electrónicos eliminan estos inconvenientes. Adecuados para motores de corriente tanto alterna como continua, garantizan la aceleración y deceleración progresivas y permiten adaptar la velocidad a las condiciones de explotación de forma muy precisa. Según la clase del motor, se emplean variados de tipo rectificador controlado, convertidor de frecuencia o regulador de tensión.”²²

“Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de carga: Par constante, par variable, potencia constante, cargas por impulsos.
- Tipo de motor: De inducción rotor jaula de ardilla o bobinado, corriente y potencia nominal, factor de servicio, rango de voltaje.
- Rangos de funcionamiento: Velocidades máximas y mínimas. Verificar necesidad de ventilación forzada del motor.
- Par en el arranque: Verificar que no supere los permitidos por el variador. Si supera el 170% del par nominal es conveniente sobredimensionar al variador.
- Frenado regenerativo: Cargas de gran inercia, ciclos rápidos y movimientos verticales requieren de resistencia de frenado exterior.

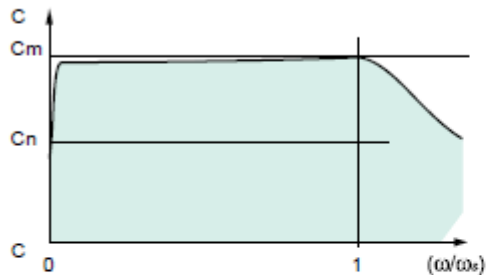
²² www.itescam.edu.mx, Pág. 2

- Condiciones ambientales: Temperatura ambiente, humedad, altura, tipo de gabinete y ventilación.
- Aplicación multimotor: Prever protección térmica individual para cada motor. La suma de las potencias de todos los motores será la nominal del variador. Consideraciones de la red: Microinterrupciones, fluctuaciones de tensión, armónicas, factor de potencia, corriente de línea disponible, transformadores de aislamiento.”²³
- “Límites o gama de regulación.
- Progresividad o flexibilidad de regulación.
- Rentabilidad económica.
- Estabilidad de funcionamiento a una velocidad dada.
- Sentido de la regulación (aumento o disminución con respecto a la velocidad nominal).
- Carga admisible a las diferentes velocidades.
- Tipo de carga (par constante, potencia constante, etcétera).
- Condiciones de arranque y frenado.
- Condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.)
- Rangos de funcionamiento (vel. máx., mín.)

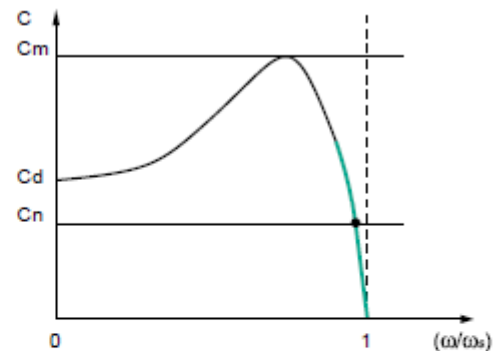
Motor asincrónico	... en uso normal	... con variador de velocidad
Corriente de arranque	Muy elevada, del orden de 6 a 8 veces la corriente nominal en valor eficaz, 15 a 20 veces en valor de pico	Limitado en el motor (en general: cerca de 1,5 veces la corriente nominal)
Par de arranque, Cd	Elevado y no controlado; del orden de 2 a 3 veces el par nominal, Cn	Del orden de 1,5 veces el par nominal, Cn, y controlado durante toda la aceleración
Arranque	Brusco; con duración que sólo depende de las características del motor y de la carga arrastrada (par resistente, inercia)	Progresivo, sin brusquedades y controlado (rampa lineal de velocidad, por ejemplo)
Velocidad	Variando ligeramente según la carga (próxima a la velocidad de sincronismo, Ns)	Variación posible desde cero hasta un valor superior a la velocidad de sincronismo, Ns
Par máximo, Cm	Elevado, del orden de 2 a 3 veces el par nominal, Cn	Elevado y disponible en toda la gama de velocidades (del orden de 1,5 veces el par nominal)
Frenado eléctrico	Relativamente complejo, necesita protecciones y un esquema especial	Fácil
Inversión del sentido de giro	Fácil, pero después de parar el motor	Fácil
Riesgo de bloqueo	Sí, en caso de exceso de par (par resistente > Cm), o en caso de subtensión	No
Funcionamiento del motor en el plano par-velocidad	Figura 2	Figura 3

Fig 4. Tabla comparativa de las características de funcionamiento, que demuestra el gran interés de los variadores de velocidad del tipo “convertidor de frecuencia”. Cuaderno técnico 204 Schneider Electric, pág 5

²³ Cuaderno técnico No. 208 Schneider Electric, Pág. 8



Gráfica par-velocidad de un motor alimentado con un convertidor de frecuencia. En este caso, la zona de funcionamiento del motor en el plano par-velocidad está representada en verde



Gráfica par-velocidad de un motor alimentado en directo. La zona de funcionamiento del motor en el plano par-velocidad está limitada a la parte verde de la curva.

fig 5 cuaderno tecnico 204, Protecciones BTy variadores de velocidad Schneider electric Pág 6

2.4.2 Ventajas de la utilización del Variador de Velocidad en el arranque de motores asíncronos.

- El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.
- La conexión del cableado es muy sencilla.
- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo.
- Limita la corriente de arranque.
- Permite el control de rampas de aceleración y deceleración regulables en el tiempo.
- Consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia.
- Puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un equipo. Protege al motor.
- Puede controlarse directamente a través de un autómatas o microprocesador.

- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.
- Nos permite ver las variables (tensión, frecuencia, r.p.m, etc.).

2.4.3 Inconvenientes de la utilización del Variador de Velocidad en el arranque de motores asíncronos.

- Es un sistema caro, pero rentable a largo plazo.
- Requiere estudio de las especificaciones del fabricante.
- Requiere un tiempo para realizar la programación.”²⁴

2.4.4 APLICACIONES DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA

“Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

Transportadoras. Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, para dosificar, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta, etc.

Bombas y ventiladores centrífugos. Controlan el caudal, uso en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.

Bombas de desplazamiento positivo. Control de caudal y dosificación con precisión, controlando la velocidad.

Ascensores y elevadores. Para arranque y parada suaves manteniendo la cupla del motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.

Extrusoras. Se obtiene una gran variación de velocidades y control total de la cupla del motor.

²⁴ www.itescam.edu.mx, Pág 4

Centrífugas. Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.

Prensas mecánicas y balancines. Se consiguen arranques suaves y mediante velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios de materiales.

Máquinas textiles. Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo random para conseguir telas especiales.

Compresores de aire. Se obtienen arranques suaves con máxima cupla y menor consumo de energía en el arranque.

Pozos petrolíferos. Se usan para bombas de extracción con velocidades de acuerdo a las necesidades del pozo”.²⁵

2.4.5 “PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD ELECTRÓNICOS

Aceleración controlada

La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en «S».

Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación.

Variación de velocidad

“Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema, rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación: es lo que se llama «en bucle abierto».

La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna, esta

²⁵ www.itescam.edu.mx, Pág. 5

velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

Regulación de la velocidad

Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado (figura 1). Posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina, «bucle abierto».

La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia.

El valor de la consigna se compara permanentemente con la señal de alimentación, imagen de la velocidad del motor. Esta señal la suministra un generador tacométrico o un generador de impulsos colocado en un extremo del eje del motor. Si se detecta una desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial. Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones.

Desaceleración controlada

Cuando se desconecta un motor, su deceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (deceleración natural). Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la deceleración mediante una rampa lineal o en «S», generalmente independiente de la rampa de aceleración.

Esta rampa puede ajustarse de manera que se consiga un tiempo para pasar de la velocidad de régimen fijada a una velocidad intermedia o nula:

Si la deceleración deseada es más rápida que la natural, el motor debe desarrollar un par resistente que se debe sumar al par resistente de la máquina; se habla entonces de frenado eléctrico, que puede efectuarse reenviando energía a la red de alimentación, o disipándola en una resistencia de frenado.

Si la deceleración deseada es más lenta que la natural, el motor debe desarrollar un par motor superior al par resistente de la máquina y continuar arrastrando la carga hasta su parada.

Inversión del sentido de marcha

La mayoría de los variadores actuales tienen implementada esta función. La inversión de la secuencia de fases de alimentación del motor se realiza automáticamente o por inversión de la consigna de entrada, o por una orden lógica en un borne, o por la información transmitida a mediante una red.

Frenado

Este frenado consiste en parar un motor pero sin controlar la rampa de desaceleración. Con los arrancadores y variadores de velocidad para motores asíncronos, esta función se realiza de forma económica inyectando una corriente continua en el motor, haciendo funcionar de forma especial la etapa de potencia. Toda la energía mecánica se disipa en el rotor de la máquina y, por tanto, este frenado sólo puede ser intermitente. En el caso de un variador para motor de corriente continua, esta función se realiza conectando una resistencia en bornes del inducido.

Protección integrada

Los variadores modernos aseguran tanto la protección térmica de los motores como su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad (si la ventilación del motor depende de su velocidad de rotación), un microprocesador calcula la elevación de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo.

Además, los variadores, y especialmente los convertidores de frecuencia, están dotados de protecciones contra:

- Los cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra.
- Las sobretensiones y las caídas de tensión.
- Los desequilibrios de fases.
- El funcionamiento en monofásico.”²⁶

Modos de funcionamiento

“Los variadores de velocidad pueden hacer funcionar un motor en un solo sentido de rotación, y se llaman «unidireccionales», o en los dos sentidos de la marcha, y se llaman entonces «bidireccionales». Los variadores son «reversibles» cuando pueden recuperar la energía del motor al funcionar como generador (modo frenado). La reversibilidad se obtiene o retornando la energía hacia la red (puente de entrada reversible), o disipando la energía recuperada en una resistencia con un chopper de frenado.

Funcionamiento a par constante

Se denomina funcionamiento a par constante cuando las características de la carga son tales, que, en régimen permanente, el par solicitado es sensiblemente constante sea cual sea la velocidad. Este modo de funcionamiento se utiliza en las cintas transportadoras y en las amasadoras. Para este tipo de aplicaciones, el variador debe tener la capacidad de proporcionar un par de arranque importante (1,5 veces o más el par nominal) para vencer los rozamientos estáticos y para acelerar la máquina (inercia).

Funcionamiento a par variable

Se denomina funcionamiento a par variable cuando las características de la carga son tales que en régimen permanente, el par solicitado varía con la velocidad. Es en concreto el caso de las bombas volumétricas con tornillo de Arquímedes cuyo par crece linealmente con la velocidad o las máquinas centrífugas (bombas y ventiladores) cuyo par varía con el cuadrado de la velocidad

²⁶ Cuaderno Técnico N° 208 Schneider Electric, Pág. 5,6

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”²⁷

2.4.6 COMPOSICIÓN DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA

“Los variadores de frecuencia están compuestos por: Etapa Rectificadora. Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.

Etapa intermedia. Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.

Inversor o "Inverter". Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean transistores bipolares de puerta aislada (IGBT', Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobrecorriente, sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobretemperaturas, etc.

Etapa de control. Esta etapa controla los IGBT para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc. Los variadores mas utilizados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia.

²⁷ Cuaderno técnico N° 208, Schneider Electric, Pág. 7,8

El Inversor o Inverter convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de frecuencia y tensión variables. Los IGBT envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor.

La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del motor y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor.

Las señales de control para arranque, parada y variación de velocidad (potenciómetro o señales externas de referencia) estén aisladas galvánicamente para evitar daños en sensores o controles y evitar ruidos en la etapa de control.”²⁸

²⁸ www.itescam.edu.mx, Pág. 8

Capítulo 3 Artículos Norma Oficial Mexicana

Para la elaboración de los cálculos se tomara en cuenta la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012, INSTALACIONES ELECTRICAS, en donde los artículos referidos serán los siguientes:

3.1. Artículo 110

Requisitos de las instalaciones eléctricas

110-14-1 “Disposiciones para el equipo. La determinación de las disposiciones para las terminales del equipo se deben basar en 110-14(c)(1)(a) o (c)(1)(b). A menos que el equipo esté aprobado y marcado de forma diferente, la ampacidad del conductor utilizada para determinar las disposiciones para los terminales del equipo se debe basar en la Tabla 310-15(b)(16) y según las modificaciones adecuadas de 310-15(b)(7).

a. Las terminales de equipos para circuitos de 100 amperes o menos o marcadas para conductores con tamaño 2.08 mm² a 42.4 mm² (14 AWG a 1 AWG), deben utilizarse solamente en uno de los siguientes:

(1) Conductores con temperatura de operación del aislamiento de 60°C.”²⁹

3.2. Artículo 210

“Artículo 210-19. Conductores. Ampacidad y tamaño mínimos.

a) Circuitos derivados de hasta 600 volts.

1) General. Los conductores de los circuitos derivados deben tener una ampacidad no menor que la correspondiente a la carga máxima que será alimentada. Cuando un circuito derivado suministra cargas continuas o una combinación de cargas continuas y no-continuas, el tamaño mínimo del conductor del circuito derivado, antes de la aplicación de cualquier factor de ajuste o de corrección, deberá

²⁹ NOM-SEDE_2012, Primera Sección pág. 33.

tener una ampacidad permisible no menor que la carga no-continua más el 125 por ciento de la carga continua.

Excepción 1: Si el ensamble, incluidos los dispositivos de sobrecorriente que protegen los circuitos derivados, está aprobado para operación al 100 por ciento de su capacidad nominal, se permitirá que la ampacidad de los conductores del circuito derivado no sea menor a la suma de las cargas continuas más las cargas no-continuas.

NOTA 1: Véase 310-15 para la clasificación de los conductores por su ampacidad.

NOTA 2: Véase la Parte B del Artículo 430 para la ampacidad mínima de los conductores de los circuitos derivados de motores.

NOTA 3: Véase 310-15(a)(3) para las limitaciones de temperatura de los conductores.

NOTA 4: Los conductores de circuitos derivados como están definidos en el Artículo 100, dimensionados para evitar una caída de tensión mayor que 3 por ciento en la salida más lejana que alimente a cargas de calefacción, de fuerza, de alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión combinada de los circuitos alimentadores y de los circuitos derivados hasta el contacto más lejano no supere 5 por ciento, proporcionarán una razonable eficiencia de funcionamiento. Para la caída de tensión de los conductores de los circuitos alimentadores, véase la NOTA 2 de 215-2(a)(3).”³⁰

3.3. Artículo 240 Protección contra sobrecorriente.

“Artículo240-4. Protección de los conductores. Los conductores que no sean cordones flexibles, cables flexibles ni alambres de luminarias, se deben proteger contra sobrecorriente de acuerdo con su ampacidad, tal como se especifica en 310-15, excepto los casos permitidos o exigidos en los incisos (a) hasta (g)”³¹

³⁰ NOM-SEDE-2012, Primera sección Pág. 52

³¹ NOM-SEDE-2012, Primera sección Pág. 97

“Artículo 240-6. Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos.

a) Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo. Los valores de corriente normalizados para los fusibles e interruptores automáticos de circuito de tiempo inverso, son: 15, 16, 20, 25, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 y 6000 amperes. Los valores en amperes estandarizados adicionales para fusibles deben ser de 1, 3, 6, 10 y 601. Se permitirá el uso de fusibles e interruptores automáticos de tiempo inverso con valores en amperes no estandarizados.”³²

3.4. Artículo 310 conductores para alambrado en general

“a. Generalidades

Artículo 310-1. Alcance.

Este Artículo trata de los requisitos generales de los conductores y de sus denominaciones de tipo, aislamiento, marcado, resistencia mecánica, ampacidad y usos. Estos requisitos no se aplican a los conductores que forman parte integral de equipos como motores, controladores de motores y equipos similares, ni a los conductores específicamente tratados en otras partes de esta NOM.

Artículo 310-2. Definiciones

Ductos eléctricos. Tubos conduit u otras canalizaciones de sección transversal redonda, que son adecuados para uso subterráneo o recubiertos de concreto.

Resistividad térmica. Como se usa en esta NOM, es la habilidad de transferencia de calor a través de una sustancia, por conducción. Es el recíproco de la conductividad térmica, se designa como Rho y se expresa con las unidades de °C-cm/W.

³² NOM-SEDE-2012, Primera sección Pág. 99

Artículo 310-10. Usos permitidos.

Se permitirá el uso de los conductores descritos en 310-104 en cualquiera de los métodos de alambrado cubiertos en el Capítulo 3, y como se especifica en sus respectivas tablas o como se permita en otras partes de esta NOM.

310-10 b) Lugares secos y húmedos.

Los conductores y cables aislados usados en lugares secos y húmedos deben ser de los tipos FEP, FEPB, MTW, PFA, RHH, RHW, RHW-2, SA, THHN, THW, THW-LS, THW-2, THHW, THHW-LS, THWN, THWN-2, TW, XHH, XHHW, XHHW-2, Z o ZW.”³³

Artículo 310-15. Ampacidad para conductores con tensión de 0-2000 volts.

a) “Generalidades

310-15 (1) Tablas o supervisión de ingeniería.

Se permitirá determinar la ampacidad de los conductores mediante Tablas, como se establece en 310-15 (b) o bajo la supervisión de ingeniería, como se establece en 310-15(c).

310-15 (2) Selección de la ampacidad.

Cuando se puede aplicar más de una ampacidad para un circuito de una longitud determinada, se debe usar el menor valor.

310-15 (3) Límites de temperatura de los conductores.

Ningún conductor se debe utilizar de modo que su temperatura de operación supere la temperatura del aislamiento para la cual se diseña el tipo de conductor con aislamiento al que pertenezca. En ningún caso se deben unir los conductores de modo que, con respecto al tipo de circuito, al método de alambrado aplicado o al

³³ NOM-SEDE-2012, Segunda sección Pág. 57

número de conductores, se supere el límite de temperatura de alguno de los conductores.

Artículo 310-15 (b) Tablas.

La ampacidad de los conductores de 0 a 2000 volts debe ser la especificada en las tablas de ampacidad permisible 310-15(b)(16) a 310-15(b)(19), y en las tablas de ampacidad 310-15(b)(20) y 310-15(b)(21), según se modifiquen con lo indicado en (b)(1) hasta (b)(7) siguientes. Se permitirán aplicar los factores de ajuste y la corrección de temperatura a la ampacidad para el valor nominal de temperatura del conductor, siempre que la ampacidad corregida y ajustada no exceda la ampacidad para el valor nominal de temperatura de la terminal de acuerdo con 110-14(c).

310-15 (b) (1) Generalidades.

Para la explicación de las letras usadas en las Tablas, y para los tamaños reconocidos de los conductores para los diferentes aislamientos de los mismos, véase las Tablas 310-104(a) y 310-104(b). Para los requisitos de las instalaciones, véase 310-1 a 310-15(a)(3) y los diferentes Artículos de esta NOM. Para cordones flexibles, véase Tablas 400-4, 400-5(a)(1) y 400-5(a)(2).

310-15 (b) (2) Factores de corrección de temperatura ambiente.

Las ampacidades para temperaturas ambientes diferentes a las mostradas en las tablas de ampacidad se deberán corregir de acuerdo con la Tabla 310-15(b)(2)(a) o Tabla 310-15(b)(2)(b), o se permitirá que sean calculadas usando la siguiente ecuación:

$$I' = I \sqrt{\frac{T_c - T'_a}{T_c - T_a}}$$

De donde

I' = Ampacidad corregida por temperatura ambiente

I = Ampacidad en tabla

T_c = Temperatura del conductor (°C)

T'_a = Temperatura ambiente nueva (°C)

T_a = temperatura ambiente usada en tabla (°C)

Tabla 310-15(b)(2)(a).-

Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 30 °C.

Para temperaturas ambiente distintas de 30 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación:			
Temperatura ambiente (°C)	Rango de temperatura del conductor		
	60 °C	75 °C	90 °C
10 o menos	1.29	1.20	1.15
11-15	1.22	1.15	1.12
16-20	1.15	1.11	1.08
21-25	1.08	1.05	1.04
26-30	1.00	1.00	1.00
31-35	0.91	0.94	0.96
36-40	0.82	0.88	0.91
41-45	0.71	0.82	0.87
46-50	0.58	0.75	0.82
51-55	0.41	0.67	0.76
56-60	-	0.58	0.71
61-65	-	0.47	0.65
66-70	-	0.33	0.58
91-75	-	-	0.50
76-80	-	-	0.41
81-85	-	-	0.29

310-15 (b) (3) Factores de ajuste.

310-15(b) (3) (a) Más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable. Cuando el número de conductores portadores de corriente en una canalización o cable es mayor de tres, o cuando los conductores individuales o cables multiconductores se instalan sin conservar su separación en una longitud continua mayor de 60 centímetros y no están instalados en canalizaciones, la ampacidad permisible de cada conductor se debe reducir como se ilustra en la Tabla 310-15(b)(3)(a). Cada conductor portador de corriente de un grupo de conductores en paralelo se debe contar como un conductor portador de corriente.”³⁴

³⁴ NOM-SEDE-2012, Segunda sección Pág. 59-62

Tabla 310-15(b)(3)(a) factor de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable.

Número de conductores ¹	Porcentaje de los valores en las tablas 310-15(b)(16) a 310-15(b)(19), ajustadas para temperatura ambiente, si es necesario.
4-6	80
7-9	70
10-20	50
21-30	45
31-40	40
41 y más	35

¹Es el número total de conductores en la canalización o cable ajustado de acuerdo con 310-15(b)(5) y (6).

Tabla 310-15(b)(16).- Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la tabla 310-104(a)]					
mm ²	AWG o kcmil	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
		TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-LS, THW, THW-LS, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPS, MI, RHH, RHH-2, THHN, THHW, THW-LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS UF	TIPOS RHW, XHHW, USE	TIPOS SA, SIS, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2
		COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18 [~]	—	—	14	—	—	—
1.31	16 [~]	—	—	18	—	—	—
2.08	14 [~]	15	20	25	—	—	—
3.31	12 [~]	20	25	30	—	—	—
5.26	10 [~]	30	35	40	—	—	—
8.37	8	40	50	55	—	—	—
13.3	6	55	65	75	40	50	55
21.2	4	70	85	95	55	65	75
26.7	3	85	100	115	65	75	85
33.6	2	95	115	130	75	90	100
42.4	1	110	130	145	85	100	115
53.49	1/0	125	150	170	100	120	135
67.43	2/0	145	175	195	115	135	150
85.01	3/0	165	200	225	130	155	175
107.2	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	195	230	260
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	350	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	315	375	425
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	445
456	900	435	520	585	355	425	480
507	1000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	525	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1013	2000	555	665	750	470	560	630

* Véase 310-15(b)(2) para los factores de corrección de la ampacidad cuando la temperatura ambiente es diferente a 30 °C.

** Véase 240-4(d) para limitaciones de protección contra sobrecorriente del conductor.

3.5. Artículo 430 Motores, circuitos de motores y controladores

A. Generalidades

430-1. "Alcance. Este Artículo trata sobre los motores, los conductores de los alimentadores y circuitos derivados de los motores y de su protección, sobre la protección contra sobrecargas de los motores, sobre los circuitos de control de los motores, de los controladores de los motores y de los centros de control de motores."³⁵

430-6. "Determinación de la ampacidad y del valor nominal de los motores.

El tamaño de los conductores que alimentan los equipos de los que trata el Artículo 430 se debe seleccionar de las Tablas de ampacidad permisible de acuerdo con 310-15(b) o se debe calcular de acuerdo con 310-15(c). Cuando se use cordón flexible, el tamaño del conductor se debe seleccionar de acuerdo con 400-5. La capacidad de conducción de corriente de los circuitos y la corriente nominal de los motores, se deben determinar como se especifica a continuación.

a) Motores para aplicaciones generales. En motores para aplicaciones generales, los valores nominales de corriente se deben determinar con base en (1) y (2) siguientes.

1) Valores de las Tablas. Para los motores diferentes a los construidos para bajas velocidades (menos de 1200 revoluciones por minuto) o alto par, y para motores de velocidades múltiples, los valores presentados en las Tablas 430-247, 430-248, 430-249 y 430-250, se deben usar para determinar la ampacidad de los conductores o el valor nominal en amperes de los interruptores, la protección del circuito derivado contra cortocircuitos y fallas a tierra, en lugar del valor real de corriente nominal marcada en la placa de características del motor. Cuando un motor esté marcado en amperes y no en caballos de fuerza, se debe asumir que su potencia en caballos de fuerza es la correspondiente a los valores dados en las Tablas 430-247, 430-248, 430-249 y 430-250, interpolando si fuera necesario. Los motores construidos para bajas velocidades (menos de 1200 revoluciones por minuto) o alto par pueden tener corriente de plena carga más alta, y en los motores

³⁵ NOM-SEDE-2012, Cuarta sección Pág. 37

de velocidades múltiples la corriente de plena carga variará con la velocidad, en cuyo caso se deben usar los valores nominales de corriente de la placa de características”³⁶.

430-22. “Un sólo motor. Los conductores que alimenten un solo motor usado en una aplicación de servicio continuo, deben tener ampacidad no menor al 125 por ciento del valor nominal de corriente de plena carga del motor, como se determina en 430-6(a)(1), o no menos a la especificada a continuación”³⁷.

Tabla 430-52.- Ajuste máximo de los dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos derivados de motores

Tipo de motor	En porcentaje de la corriente a plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo ¹	Fusible de dos elementos ¹ (con retardo de tiempo)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso ²
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores polifásicos de corriente alterna distintos a los de rotor devanado	300	175	800	250
De jaula de ardilla: diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes	300	175	800	250
De diseño B energéticamente eficientes	300	175	1100	250
Sincrónicos ³	300	175	800	250
Con rotor devanado	150	150	800	150
De corriente continua (tensión constante)	150	150	250	150

Para algunas excepciones a los valores especificados, ver 430-54.

¹ Los valores de la columna fusible sin retardo de tiempo se aplican a fusibles de Clase CC de acción retardada.

² Los valores de la última columna también cubren los valores nominales de los interruptores automáticos de tiempo inverso no ajustables, que se pueden modificar como se describe en 430-52(c)(1), Excepción 1 y 2.

³ Los motores sincrónicos de bajo par y baja velocidad (usualmente 450 rpm o menos), como los utilizados para accionar compresores alternativos, bombas, etc. que arrancan sin carga, no requieren que el valor nominal de los fusibles o el ajuste de los interruptores automáticos sea mayor al 200 por ciento de la corriente a plena carga.

³⁶ NOM-SEDE-2012, Cuarta sección Pág. 38

³⁷ NOM-SEDE-2012, Cuarta sección Pág. 45

Tabla 430-250.- “Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna

Los siguientes valores de corrientes de plena carga son típicos para motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y motores con características normales de par. Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas se permitirán para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 120 volts, 220 a 240 volts, 440 a 480 volts y 550 a 600 volts”³⁸.

kW	hp	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado. (amperes)							Tipo sincrónico de factor de potencia unitario* (amperes)			
		115 volts	200 volts	208 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts
0.37	½	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
0.56	¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
0.75	1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1.12	1 ½	12	6.9	6.6	6	3	2.4	—	—	—	—	—
1.5	2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
2.25	3	—	11	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
3.75	5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
5.6	7 ½	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
7.5	10	—	32.3	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
11.2	15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
14.9	20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
18.7	25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
22.4	30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
29.8	40	—	120	114	104	52	41	—	93	41	33	—
37.3	50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
44.8	60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
56	75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
75	100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
93	125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
112	150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
150	200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
187	250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
224	300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
261	350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
298	400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
336	450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
373	500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

³⁸ NOM-SEDE-2012, Cuarta sección Pág. 73

3.6. Tabla 10-1.- “Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores”³⁹

Número de conductores	Todos los tipos de conductores
1	53
2	31
Más de 2	40

3.7. Tabla 10-4 “Fragmento. Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit.”⁴⁰

Artículo 352 – Tubo conduit rígido de PVC (PVC), Cédula 80							
Designación métrica	Tamaño comercial	Diámetro interno	100% del área total	60% del área total	Un conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de 2 conductores fr = 40%
		mm	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²
12	¾	—	—	—	—	—	—
16	½	13.40	141	85	75	44	56
21	¾	18.30	263	158	139	82	105
27	1	23.80	445	267	236	138	178
35	1¼	31.90	799	480	424	248	320
41	1½	37.50	1104	663	585	342	442
53	2	48.60	1855	1113	983	575	742
63	2½	58.20	2660	1596	1410	825	1064
78	3	72.70	4151	2491	2200	1287	1660
91	3½	84.50	5608	3365	2972	1738	2243
103	4	96.20	7268	4361	3852	2253	2907
129	5	121.10	11518	6911	6105	3571	4607
155	6	145.00	16513	9908	8752	5119	6605

³⁹ NOM-SEDE-2012, Novena sección Pág. 23

⁴⁰ NOM-SEDE-2012, Novena sección Pág. 25

3.8. Tabla 10-5 Fragmento. “Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos”⁴¹

Tipo	Tamaño		Diámetro aproximado	Area aproximada
	mm ²	AWG o kcmil	mm	mm ²
Tipo: FFH-2, RFH-1, RFH-2, RHH*, RHW*, RHW-2*, RHH, RHW, RHW-2, SF-1, SF-2, SFF-1, SFF-2, TF, TFF, THHW, THW, THW-2, TW, XF, XFF				
SF-2, SFF-2	0.824	18	3.073	7.419
	1.31	16	3.378	8.968
	2.08	14	3.759	11.10
SF-1, SFF-1	0.824	18	2.311	4.194
RFH-1, XF, XFF	0.824	18	2.692	5.161
TF, TFF, XF, XFF	1.31	16	2.997	7.032
TW, XF, XFF, THHW, THW, THW-2	2.08	14	3.378	8.968
TW, THHW, THW, THW-2	3.31	12	3.861	11.68
	5.26	10	4.470	55.68
	6.63	8	5.994	28.19
RHH*, RHW*, RHW-2*	2.08	14	4.140	13.48
RHH*, RHW*, RHW-2*, XF, XFF	3.31	12	4.623	16.67

⁴¹ NOM-SEDE-2012, Novena sección Pág. 29

Capítulo 4 Cálculo para la instalación del variador de velocidad y motor

Para el funcionamiento adecuado del variador de velocidad al igual que el del motor es necesario realizar la instalación eléctrica adecuada, por lo cual se realizan los cálculos de los conductores, las protecciones y canalizaciones.

Todo esto se realizara de acuerdo a lo establecido en los artículos de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012, INSTALACIONES ELECTRICAS

4.1. Cálculo de Conductores

“Los principales criterios que se deben considerar para la especificación del conductor son: capacidad de conducción de corriente para las condiciones de instalación, la caída de voltaje permitida, capacidad para soportar la corriente de corto circuito y calibre mínimo permitido para aplicaciones específicas.

Otros criterios menos importantes son: pérdida por efecto joule, fuerza de tiro en el proceso de cableado y alimentadores de calibre diferentes que pueden compartir la misma canalización.

4.2. Capacidad de conducción de corriente

Los conductores eléctricos están formados por material aislante, que por lo general contiene material orgánico. Estos forros están clasificados de acuerdo con la temperatura de operación permisible, de tal forma que una misma sección de cobre puede tener diferente capacidad de conducción de corriente, dependiendo del tipo de aislamiento que se seleccione.”⁴²

⁴² Instalaciones Eléctricas conceptos básicos y diseño, Bratun,85,86

4.3. Cálculo de conductores

4.3.1 Cálculo de conductores por corriente

El cálculo que se realiza para obtener el calibre del conductor por corriente, es necesario saber que tipos de carga se alimentan y cuál es su consumo, para así saber la cantidad de corriente máxima que pasa por el conducto.

Por lo establecido en 430-6(a), lo primero que se debe conocer es la corriente a plena carga del motor, por lo cual de la Tabla 430-250 de la NOM, Corriente a plena carga para motores de tres fases de corriente alterna, el valor de la corriente para un motor de 2 hp o caballos de fuerza a 230v es $I_{pc} = 6.8$ amperes.

Teniendo el valor de la corriente, es necesario obtener la corriente corregida, por lo establecido en 430-22. por lo tanto:

$$I_n = I_{pc} \cdot 1.25$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$I_n = 6.8A \cdot 1.25 = 8.5A$$

Por lo cual la Intensidad nominal es 8.5 A.

El tipo del conductor se selecciona por lo establecido en los artículos 310-1, 310-2, 310-10, usos permitidos y 310-10 b). De los cuales se escoge el tipo de aislamiento TW.

Al Conocer la intensidad nominal que el motor requiere, se necesita seleccionar el tamaño del conductor adecuado para dicha intensidad. Por lo cual de 310-15 (1), 310-15 (2) y 310-15 (3), se obtendrá la ampacidad del conductor.

Para determinar la ampacidad del conductor en las condiciones de operación se ocuparan los factores de ajuste de 310-15(b).

4.3.1.1. Factor de ajuste por temperatura

Para la selección del factor de temperatura se tomó la columna de operación de 60°C por 110-14(1) (a).

En la ciudad de San Pedro Cholula por lo general la temperatura ambiente no supera los 30°C por lo cual se tomara como valor máximo. Por la Tabla 310-15(b) (2) (a) el factor de temperatura es de 1.0

4.3.1.2. Factores de ajuste por agrupamiento

Para el factor de ajuste por agrupamiento se tendrá en cuenta 310-15(b)(3)(a). Como es un motor trifásico, el número de conductores es 3 por lo cual de la tabla 310-15(b) (3) (a) de la NOM el valor de agrupamiento es 1.

Por lo tanto la intensidad de la corriente corregida por los factores de temperatura y de agrupamiento da:

$$I_c = \frac{I_n}{F_A \cdot F_T}$$

Sustituyendo la formula por los valores obtenidos

$$I_c = \frac{8.5}{1 * 1} = 8.5A$$

Con la corriente corregida para el motor trifásico de 2 hp se selecciona un conductor adecuado para esta corriente, el cual debe soporta como mínimo 8.5 A.

Para el tamaño de los conductores que alimentan el motor, por 430 se debe seleccionar de las Tablas 310-15(b) o se debe calcular de acuerdo con 310-15(c), de la tabla se escoge la columna de 60 °c por 110-14(1) (a).

Por lo cual el calibre a seleccionar, se elige de la tabla 310-15(b) (16) en la columna de 60 °c, de esto se escoge el calibre 14 TW que tiene una capacidad máxima de 15 A que es mayor a 8.5A.

4.3.2 Por caída de tensión o voltaje.

“Se le llama caída de voltaje a la diferencia que existe entre el voltaje aplicado al extremo alimentador de una instalación y el obtenido en cualquier otro punto de la misma, cuando está circulando la corriente nominal

$$\Delta V = V_A - V_T$$

Si se le expresa por ciento se le conoce como regulación de voltaje.”⁴³

$$e_{\%} = \frac{\Delta V}{V_n} \cdot 100 (\%)$$

En donde

ΔV = Variación del voltaje

V_n = Voltaje nominal

$e_{\%}$ = Caída de tensión en %

V_t = Voltaje en las terminales del motor

⁴³ Instalaciones Eléctricas Conceptos básicos y diseño, Bratun, Pág. 87

Conductores. Ampacidad y tamaño mínimos. Por lo determinado en la NOM en el artículo 210-19 NOTA 4: la caída de tensión máxima permisible es del 3%.

Por lo tanto la mayor pérdida en la instalación del variador de velocidad y el motor no debe ser mayor al 3% del voltaje de alimentación el cual es de 220v.

$$e_{\%} = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100 (\%)$$

Donde

$e_{\%}$ = porcentaje de la caída de tensión.

ΔV = variación del voltaje en las terminales del motor.

V = voltaje de alimentación = 220 v.

Por lo tanto despejando la variación máxima de voltaje nos da:

$$\Delta V = \frac{3\%}{100\%} \cdot 220V$$

$$\Delta V = 6.6 V$$

“Si se considera la transmisión de cierta potencia, a través de un alimentador de resistencia R y reactancia inductiva X_L , cuyo voltaje terminal V_T y corriente I están desfasados un ángulo ϕ (entre ellos) se puede escribir.”⁴⁴

$$V_n = \Delta V + V_t$$

$$V_n = \Delta V + (R \cdot I) + (jX_L \cdot I)$$

$$\Delta V = (R \cdot I \cos \phi) + (jX_L \cdot I \sin \phi)$$

$$I \cos \phi + jX_L \cdot I \sin \phi = ZL$$

Donde

⁴⁴ Instalaciones Eléctricas conceptos básicos y diseño, Bratun, Pág. 87

Z es la impedancia total del conductor

L es la longitud del conductor

$$\Delta V = I \cdot Z \cdot L$$

Teniendo esta ecuación, se sustituyen los valores teniendo presente que la intensidad que se tomara en cuenta es la intensidad nominal de 6.5 y la longitud del conductor es de 25 metro lo que expresado en km es 0.025. Los cálculos se realizaran para el cable seleccionado por corriente anteriormente el cual es un calibre 14 TW con aislamiento de 60°C. El cual se alojara en un tubo conduit metálico.

La impedancia del cable es por medio de la tabla 9 del NEC (National Electric Code) "Cuando no se da el factor de potencia (f.p.) o $\cos \theta$ como dato, se supone su valor normalmente de 0.85, ya que en ningún caso la carga total instalada es puramente resistiva."⁴⁵

$$Z=8.858567 \Omega/\text{km}$$

De lo cual se obtiene

$$\Delta V = 7.5 \cdot 8.858567 \Omega/\text{km} \cdot 0.025\text{km}$$

$$\Delta V = 1.6609V$$

$$e\% = \frac{1.6609V}{220} \cdot 100$$

$$e\% = 0.75499\%$$

Por lo tanto la caída de voltaje es menor al 3% especificado en norma, lo cual es adecuado para la instalación.

⁴⁵ Instalaciones Eléctricas Prácticas, Ing. Becerril, Pág. 123

4.4. Cálculo canalizaciones y protecciones

4.4.1 Cálculo de canalizaciones

Hay diferente tipos de canalizaciones entre las que se encuentran: Tubos y ductos.

Por norma el área máxima ocupado en las canalizaciones es el 40% tabla 10-1. El calibre ocupado es 14 tipo TW, de este calibre se van a ocupar 3 conductores, por tabla 10-5 en la sección de tipo de aislamiento TW el área aproximada es 8.97mm² por conductores.

Realizando los cálculos:

$$3 \cdot 8.97 = 26.91mm^2$$

$$26.91 = 40\%$$

$$67.275 = 100\%$$

Por tabla 10-4 de la norma se selecciona el tubo conduit metálico pesado de ½ pulgada el cual tiene un área total de 222mm², la cual es mayor a 66.275mm², que es la área mínima requerida para la canalización.

4.4.2 Cálculo de protecciones

Para el cálculo de las protecciones del motor se tendrá en cuenta la NOM tabla 430-52.- Ajuste máximo de los dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos derivados de motores.

Al calcular la protección del variador y del motor se tomara el valor de tabla 430-250 de la intensidad a plena carga para el motor $I_{pc} = 6.8 A$. por lo tanto:

$$I_{pc} = 6.8 A$$

Para la protección se eligió Interruptor Automático de tiempo inverso², jaula de ardilla, por tabla 430-52 la intensidad es:

$$I = 250\%I_{pc}$$

$$I = 2.5 * 6.8 A$$

$$I = 17 A$$

El interruptor a seleccionar debe soportar una corriente mínima de 17 A, por 240-6. Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos. a) Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo. Es de 20 A.

Capítulo 5 Operación del variador

Se eligió para este fin el Convertidores de frecuencia ACS550-01 de la marca ABB el cual se ajusta a las necesidades del trabajo.



Fig. 6 variador de velocidad ACS550-01 marca ABB, manual del usuario convertidores de frecuencia ACS550-01, Pág 1.

En este capítulo se hará referencia únicamente a la programación del variador de velocidad y la instalación del mismo se llevara a cabo bajo las especificaciones del manual proveedor.

5.1 Puesta en marcha

Para la puesta en marcha del variador de velocidad o variador de frecuencia, es necesario saber como se accionara, hay diferentes tipos de puesta en marcha:

Puede ser por medio de botoneras, los cuales cada acción del variador está sujeta a la señal de pulso eléctrico,.

Por medio del PLC, el cual consiste en la elaboración de un programa el cual manda los pulsos para accionar el variador de velocidad.

Otra alternativa es la programación directa del variador de velocidad, el cual se lleva a cabo en el panel de control de dicho variador.

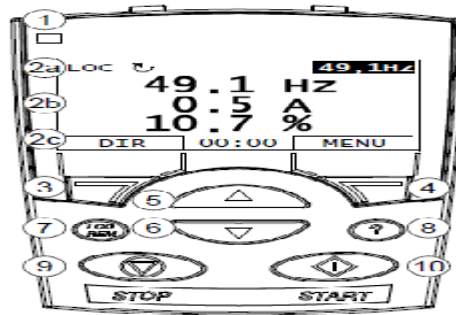


Fig.7 panel de control variador de velocidad ACS550-01 marca ABB, manual del usuario convertidores de frecuencia ACS550-01, Pág 48.

Para este trabajo se ocupara la programación directa del variador de frecuencia y la botonera, por lo cual se utilizara el asistente en puesta de marcha limitado.

“Asistente para la puesta en marcha, que solamente se incluye en el Panel de control asistente, le guía por todos los ajustes esenciales que deben efectuarse.

Durante la puesta en marcha limitada, el convertidor no proporciona ninguna orientación; el usuario efectúa los ajustes más básicos consultando las instrucciones facilitadas en el manual.

Para realizar la puesta en marcha limitada, puede utilizar el Panel de control básico o el Panel de control asistente. Las instrucciones facilitadas a continuación son válidas para ambos paneles de control, pero las pantallas mostradas corresponden al Panel de control básico, a menos que la indicación tan sólo sea aplicable al Panel de control asistente.”⁴⁶

Para poder llevar a cabo la puesta en marcha guiada, es necesario el Panel de control asistente. Después de conectar el variador de velocidad se pide una pequeña programación la cual viene especificada en el manual.

⁴⁶ Manual del Usuario Convertidores de frecuencia ACS550-01 ABB, pág. 35.

Una vez realizada la configuración básica del variador de velocidad, este “calcula automáticamente las características del motor mediante magnetización de identificación al ponerlo en marcha por vez primera y después de cambiar cualquier parámetro del motor.”⁴⁷

“Panel de control básico, este panel proporciona herramientas básicas para la entrada manual de valores de parámetros.

Panel de control asistente, este panel incluye asistentes preprogramados para automatizar las configuraciones de parámetros más comunes. El panel ofrece soporte para idiomas. Está disponible con distintos conjuntos de idiomas.”⁴⁸

Manejo

“El panel de control se maneja mediante menús y teclas. Las teclas incluyen dos teclas multifunción sensibles al contexto, cuya función actual se indica mediante el texto mostrado en la pantalla.”⁴⁹

5.2 Configuración del variador de velocidad

Para comenzar es necesario conocer los parámetros, los cuales vienen dados en una tabla, contenida en el manual del mismo. La cual describe códigos de parámetros, los que se ocuparán para la configuración de los valores necesarios para la puesta en marcha. Estos códigos se encuentran agrupados por aplicaciones.

⁴⁷ Manual del Usuario Convertidores de frecuencia ACS550-01 ABB, pág. 44.

⁴⁸ Manual del Usuario Convertidores de frecuencia ACS550-01 ABB, pág. 47.

⁴⁹ Manual del Usuario Convertidores de frecuencia ACS550-01 ABB, pág. 49.

5.3 Parámetro

De los códigos de la lista se ocuparan:

Parámetro 1003, código de dirección define el control de la dirección de giro del motor. Este se configura con el panel de control el cual da:

1 = AVANCE – El giro está fijado en avance.

2 = INVERSO – El giro está fijado en dirección inversa.

3 = PETICION – La dirección de giro puede cambiarse con un comando.

De las cuales las que se ocuparan en el trabajo será la de avance, ya que el proceso de producción no requiere de retroceso.

2202 TIEMPO ACELER 1

Ajusta el tiempo de aceleración de la frecuencia cero a la máxima para el par de rampas 1.

Este parámetro se ocupa para la velocidad a la que se requiere que el motor llegue a su mayor par, al ser variable el tiempo se puede alargar, con lo que el picos de corriente es menor, lo cual genera que la corriente demandada a la línea se reduzca y no cause perdidas en otros sectores, lo cual produce que la intensidad luminosa permanezca constante.

Este parámetro se puede contralor desde 0.0s hasta 1800s. con lo cual al configurarse con un tiempo de 30s. es suficiente para corregir la iluminación.

Parámetro 2203

Con este parámetro Ajusta el tiempo de deceleración de la frecuencia máxima a la cero, con este parámetro se consigue que el motor de la sierra deje de trabajar en un tiempo menor lo que da más seguridad al operario, para retirar las piezas cortadas que se localizan en la sierra, y disminuir el tiempo de espera del disco de la sierra para que se detenga completamente, ya que en la actualidad el

tiempo en el que se detiene el disco es aproximadamente de 30 segundos por la inercia del mismo.

Con este parámetro se determinará un tiempo de 8s. para que se detenga completamente el motor.

5.3.1 Frecuencia mínima

Parámetro 2007

Este es uno de los dos parámetros más importantes para las necesidades de la producción, ya que con este parámetro es con el cual, se controla la frecuencia mínima.

Este parámetro es el que define que valor de frecuencia mínima será el que salga del variador de frecuencia.

Dada la relación que existe entre la velocidad, frecuencia y número de polos (ver capítulo 2) se tiene que

$$N = \frac{120 \cdot f}{P}$$

De donde:

N es la velocidad en rpm

F es la frecuencia

P es el número de polos.

Teniendo en cuenta esta ecuación y al no poder modificar el número de polos en un motor, para variar la velocidad a la cual trabaja el motor es en donde entra el variador de velocidad.

El variador de velocidad con este parámetro da la capacidad de disminuir la frecuencia, al disminuir la frecuencia se disminuye la velocidad del motor, en este caso al disminuir la velocidad aumentamos el par.

Al aumentar el par, la sierra cuenta con una mayor fuerza para el corte de materiales grueso, esto ocasiona que la sierra ya no se detenga al momento de cortar piezas de madera dura, lo cual evita el astillamiento de la misma.

Para determinar la frecuencia a la que se configurara este parámetro será de 40 Hz, se tiene en cuenta que la cantidad de polos del motor al que se le acoplara el variador de frecuencia es de 4 polos.

$$N = \frac{120 \cdot 60}{4}$$

$$N = 1800 \text{ rpm}$$

La velocidad del motor de la sierra es de 1800 rpm.

En los datos de placa el valor de la velocidad el motor es de 1710 rpm por lo tanto el deslizamiento es de:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} * 100$$

Sustituyendo valores:

$$s = \frac{1800 - 1710}{1800} * 100 = 5\%$$

Por lo cual el deslizamiento es del 5% de la velocidad máxima del motor.

La fuerza ejercida en el motor a esta velocidad y frecuencia esta dado por

$$T = \frac{P_u}{2\pi \frac{n}{60}}$$

La potencia útil esta dado por la eficiencia la cual se obtiene por dato de placa la cual es $\eta=85\%$, de la cual la P_u se despeja de la formula

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia total}} * 100 = \frac{P_u}{P_t} * 100$$

De donde se tomara la potencia total o de entrada como 2 Hp la cual es la capacidad del motor, la cual es equivalente ha 1.492 k.

Tomando la eficiencia del motor como $\eta = 85\%$

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia total}} * 100 = \frac{P_u}{P_t} * 100$$

$$P_u = \frac{\eta * P_t}{100}$$

Sustituyendo

$$P_u = \frac{85 * 1.492\text{kw}}{100} = 1.268\text{kw}$$

La potencia útil para un motor de 2 HP a una eficiencia del 85% es 1.2682kw.

Sustituyendo valores en la formula del torque se tiene:

$$T = \frac{1268 \text{ w}}{2\pi \frac{1710}{60}}$$

$$T = 7.080 \text{ N * m}$$

El torque ejercido por el motor es de **7.080 N * m**. Para una velocidad de 1710 rpm, el cual es la velocidad nominal de operación del motor sin el acoplamiento del variador de velocidad.

Al disminuir la frecuencia a 40 Hz. Con el variador de velocidad se obtiene una velocidad de:

$$N = \frac{120 \cdot 40}{4}$$

Dando

$$N = 1200\text{rpm}$$

Pero el deslizamiento en el motor es del 5% por lo cual la velocidad de operación es

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} * 100$$

Despejando n se tiene

$$n = n_1 - \frac{s * n_1}{100}$$

Sustituyendo se obtiene

$$n = 1200 - \frac{5 * 1200}{100}$$

$$n = 1200 - 60 = 1140 \text{ rpm}$$

A esta velocidad el torque ejercido será:

$$T = \frac{1268 \text{ w}}{2\pi \frac{1140}{60}}$$

$$T = 10.6214 \text{ N * m}$$

Lo cual es una diferencia de 10.6214 N * m, lo que es un aumento del:

$$\% = \frac{3.5414}{7.080} * 100 = 50.02\%$$

Por lo tanto para una velocidad de 1140 rpm aumenta un 50% el par ejercido por la maquina.

5.3.2 Frecuencia máxima

Para el parámetro 2008

Este parámetro es frecuencia máxima, sucede lo contrario del parámetro 2007, el cual disminuye la frecuencia y aumenta la fuerza de corte.

Al aumentar la frecuencia se disminuirá la fuerza o par del motor lo que servirá para los cortes de madera más delgadas y menos dura.

Esto sirve cuando el material es una hoja de triplay de 3mm de espesor la cual al ser cortada antes de acoplar del variador de velocidad, resultaba seriamente astillada por la fuerza que imprimía el motor,

Con el aumento en la frecuencia la velocidad aumentara dado que:

$$N = \frac{120 \cdot f}{P}$$

Aumentando en este caso la frecuencia a 80Hz se obtiene una velocidad de

$$N = \frac{120 \cdot 80}{4}$$

Se tiene

$$N = 2400\text{rpm}$$

La velocidad ejercida a esta frecuencia con un deslizamiento del 5% es:

$$n = 2400 - \frac{5 * 2400}{100}$$

$$n = 2400 - 120$$

$$n = 2280 \text{ rpm}$$

Con la velocidad de 2280 rpm, en los materiales delgados y frágiles es posible hacer cortes sin demasiadas astilladuras, y el par ejercido con el variador a una frecuencia de 80 hz es:

$$T = \frac{1268 \text{ w}}{2\pi \frac{2280}{60}}$$

$$T = 5.310 \text{ N * m}$$

Lo cual es una diferencia de 1.77 N * m lo que equivale a:

$$\% = \frac{1.77}{7.080} * 100 = 25.$$

Con los aumentos en la frecuencia de 20 Hz y la velocidad de 570 rpm de la de operación, se consigue una disminución del par ejercido por el motor en un 25% lo cual es ideal para el corte de materiales delgados.

La selección de las velocidades y el funcionamiento del motor a estas velocidades se llevaran a cabo por botonera, la cual se tiene planeado ocupar tres botones, una para cada velocidad y uno para paro.

Capítulo 6 Conclusión

Al llevar a cabo este trabajo, se pudo poner en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Además de demostrar las ventajas que se tendrán con la instalación del variador de velocidad y la adecuación de la instalación eléctrica.

El proceso de producción se verá mejorado con la instalación del variador de velocidad, eso sucede gracias a que en el proceso de cortado, al aumentar o disminuir la frecuencia, origina un nuevo par para cada velocidad

Las diferentes velocidades desarrolladas por el motor, son necesarias para obtener el par requerido para el corte de cada tipo de pieza de madera. En el caso de aumentar la velocidad se tiene el par necesario para el corte de piezas de diferente grosor.

El motor al trabajar en condiciones normales, sin el variador de velocidad, a una frecuencia de 60HZ, genera un par de 7.080 N*m a una velocidad de 1710 rpm. Utilizando el variador de frecuencia acoplado al motor, al disminuir la frecuencia de entrada en el motor, disminuye la velocidad de rotación lo que genera que el par resultante disminuirá.

El valor de frecuencia ocupado será de 40 Hz lo que ocasionará que la velocidad disminuya a 1140 rpm y el par aumente considerablemente de 7.08 a 10.6214 N*m, que es un aumento de 3.5414 N*m lo que equivale a un aumento en el par de un 50%.

Este par generado es lo suficientemente grande para cortar las piezas de madera maciza y de un grosor considerable sin el inconveniente de que se detenga la sierra a la hora de realizar el corte y que el corte resultante tenga una reducción en el astillamiento de la pieza.

Para que piezas de poco grosor sean cortadas y su terminado sea con la menor cantidad de astillas se aumenta la frecuencia, lo que origina una mayor velocidad y un par menor, la frecuencia será de 80 Hz. Obteniendo una velocidad de 2280 rpm y un par de 5.310 N*m.

Estos cambios en el par y la velocidad traerán consecuencias favorables para el proceso. Sobre todo al disminuir el tiempo de corte, el tiempo de lijado y resanado, así como en la cantidad de material e insumos.

Bibliografía

ABB, (2009) *Manual del Usuario Convertidores de frecuencia ACS550-01 ABB*,

Becerril, D., (2011) *Instalaciones eléctricas prácticas*, 12a Edición.

Bratun, N. y E. Campero, (2011) *Instalaciones Eléctricas conceptos básicos y diseño*, 2 edición, decimoquinta reimpresión, México, Alfaomega.

Chapman, S., (2000) *Máquinas Eléctricas*, tercera edición, México, Mcgraw-Hill

Clenet, D., (2004) *Cuaderno técnico No. 208 Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos*, Schneider Electric, España.

Enríquez, G. (2012) *ABC de las Instalaciones Eléctricas Residenciales*, decimo cuarta impresión, México, Limusa.

Enríquez, G., (2004) *Control de motores Eléctricos*, México, Limusa.

Enríquez, G., (1991) *Curso de Máquinas de Corriente Continua*, segunda reimpresión, México, Limusa.

Fraile, J., (2003) *Máquinas Eléctricas*, Quinta edición, Madrid, Mcgraw-Hill,

Ibbetsoon, (1983) *Instalaciones Eléctricas Teoría y Práctica*, decimo segunda impresión, México, Continental.

Secretaría de Gobernación, (2012). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEDE-2012, INSTALACIONES ELÉCTRICAS (UTILIZACIÓN)*, México, Diario Oficial De La Federación.

SCHONEK, J. y Y. NEBON, (2004) *Cuaderno técnico No. 204 Protecciones BT y variadores de velocidad (convertidores de frecuencia)*, Schneider Electric, España.

Páginas de internet

SicaNews, (2002) *Control y regulación de la velocidad en motores asíncronos trifásicos*, pagina digital [En línea]. Disponible en: <http://www.paginadigital.com.ar/articulos/2002rest/2002terc/tecnologia/sica71.html> [Accesado el día 15 de octubre de 2013].

Itescam, (2013) www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r88675.PDF [Accesado el día 1 de octubre de 2013].