



BUAP

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE INGENIERIA
COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA
Y ELÉCTRICA**

**TÍTULO DE LA TESINA:
“AHORRO DE ENERGÍA PARA UN SISTEMA
DE BOMBEO POR MEDIO DE UN VARIADOR
DE FRECUENCIA”**

**NOMBRE:
KAREN ELVIRA LÓPEZ REYES**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIATURA
EN INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.**

**ASESOR:
M. C. GUILLERMO FLORES MARTÍNEZ**

PUEBLA, PUE.

OCTUBRE 2014

AGRADECIMIENTO

Esta tesina es resultado del trabajo conjunto de varias personas, que durante el desarrollo de la misma han aportado parte de su conocimiento para que esta tesina puede tener los resultados esperados. Por ello, a todos les expreso mi gratitud.

En primer lugar quiero agradecer a mí Asesor de Tesina, M.C Guillermo Flores Martínez, por la confianza, el tiempo y el compromiso que mostro para poder desarrollar este tema. Muchas gracias porque a pesar de sus actividades de docencia, siempre se mostró accesible para la asesoría de mi tesina.

Al Ingeniero Víctor Galindo, por todo el apoyo y las facilidades que me brindo para la realización del trabajo de tesina, por mantenerse siempre al pendiente del progreso de mis avances e informándome oportunamente todos los requerimientos que debía cumplir éste trabajo, de ante mano mucha gracias por su colaboración.

Por último, quiero agradecer a mis Padres y Abuelos quienes siempre tuvieron confianza en mí y me la demostraron brindándome todo su apoyo, todos ellos han sido un ejemplo a seguir de dedicación y esfuerzo, las ganas de salir adelante y nunca darse por vencido, por todo ello mil gracias.

ÍNDICE

CAPITULO 1 PROTOCOLO	3
1.1.- INTRODUCCIÓN	3
1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3.- JUSTIFICACIÓN	5
1.4.- OBJETIVOS.....	5
1.5.- PROPOSICIÓN	5
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO	6
2.1.- BOMBAS CENTRÍFUGAS	6
2.1.1.- TÉRMINOS.....	7
2.1.2.- CURVAS DE LA BOMBA	9
2.2.- VARIADORES DE VELOCIDAD.....	13
2.2.1.- FUNCIONAMIENTO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD	13
2.2.2.- TIPOS DE CONTROL.....	15
2.2.3.- TIPOS DE CARGAS	22
CAPITULO 3 APLICACIÓN DE VARIADORES EN SISTEMAS DE BOMBEO	25
3.1 SISTEMAS DE BOMBEO.....	25
3.1.1.- ENCENDIDO Y APAGADO DE LA BOMBA	25
3.1.2.- RECIRCULACIÓN	26
3.1.3.- VÁLVULAS DE ESTRANGULAMIENTO	27
3.1.4.- VARIADOR DE VELOCIDAD	28
3.2.- COMPARATIVA ENTRE SISTEMA DE ESTRANGULAMIENTO Y VARIADOR DE VELOCIDAD	29
3.3.- SELECCIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ADECUADO	31
3.4.- CORRECTA INSTALACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD	34
3.4.1.- CABLEADO	34
3.4.2.- ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.....	37
3.4.3.- CONEXIÓN A TIERRA	38
3.4.4.- ONDA REFLEJADA.....	40
CAPITULO 4 IMPLEMENTACION DEL PROYECTO	42
4.1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL.....	42
4.2.- EQUIPOS PROPUESTOS	45
4.3.- PROGRAMACIÓN DE VARIADOR DE VELOCIDAD.....	47
4.4.- CALCULO DE AHORRO DE ENERGÍA.....	52
CONCLUSIONES	55
BIBLIOGRAFIA	56
ANEXO A	57

CAPITULO 1

PROTOCOLO

1.1- INTRODUCCIÓN

El sistema de bombeo está planeado para apoyarnos a transportar algún fluido (líquido o gas) desde su punto de suministro hasta un lugar específico donde lo podemos usar con algún fin determinado.

Estos fines van desde los más comunes como la utilización de agua en nuestras casas para las labores diarias, hasta sistemas de bombeo donde se manejan líquidos específicos para los diferentes procesos industriales.

Dichos sistemas de bombeo deben de tener características específicas en base al fluido que manejaremos, la distancia que éste deberá recorrer hasta su punto final y los requerimientos de caudal o presión con los que debe llegar dicho fluido.

Una vez teniendo el conocimiento de las dos primeras, debemos de adaptar el sistema requerido para obtener los resultados deseados en el punto final o de descarga, y esto lo conseguiremos mediante la correcta selección del tipo de bomba, la tubería, así como de los accesorios de la misma, ya que se cuenta con una extensa variedad de equipos que podemos usar para obtener el mejor desempeño de nuestro sistema.

Dentro de los elementos del sistema encontramos dos que son de mucha importancia, la bomba y los dispositivos para el control del fluido, ya que la correcta selección del tipo de bomba es de mucha importancia para tener un sistema con un buen desempeño.

Las Bombas son dispositivos utilizados para impulsar fluidos a través de un sistema de tuberías, las cuales se dividen en dos grandes categorías:

- ❖ Bombas Centrifugas
- ❖ Bombas De Desplazamiento Positivo

Las bombas centrífugas son máquinas denominadas "receptoras" o "generadoras" la cuales generan un movimiento en el fluido por medio de los impulsores, lo cual genera un incremento en la presión o flujo a la salida de la bomba.

Las bombas de desplazamiento positivo utilizan dispositivos mecánicos para variar el tamaño de la cámara del fluido y de esta manera provocar el flujo del mismo. Este tipo de bombas son consideradas como cargas de par constante.

Una vez contando con el tipo de bomba adecuado, lo siguiente será la especificación de los elementos del sistema que nos ayuden a variar el perfil de carga en base a las necesidades que se tienen, los cuales pueden ser accesorios colocados en el sistema de tuberías o bien equipo que nos ayude a controlar directamente la fuente de bombeo.

Estos accesorios por lo regular son válvulas, llaves de paso o sistemas de recirculación, los cuales nos permiten obtener el perfil de carga deseado; otros dispositivos que podemos utilizar son variadores de velocidad, los cuales me permiten tener un control directamente de la fuente de bombeo, es decir el motor de la bomba.

Los beneficios que obtenemos al utilizar variadores de velocidad es que ya no necesitamos de ningún accesorio adicional instalado a lo largo de la tubería y que podemos obtener grandes ahorros de energía, esto debido a que en lugar de restringir el paso del fluido con dispositivos mecánicos mientras la bomba opera al 100% de su capacidad, podemos modular la velocidad de la misma obteniendo una reducción en el consumo eléctrico y obteniendo el perfil de carga deseado en cualquier punto del proceso.

En este trabajo nos enfocaremos en un sistema de bombeo de agua desde un tanque de suministro hasta un punto específico de la planta por medio de bombas centrífugas.

1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ante la magnitud con la que se dejan sentir los efectos del calentamiento global, generado por las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), que se reflejan en fenómenos meteorológicos, pérdidas materiales a causa de sequías e inundaciones, con los consecuentes daños económicos y sociales, resulta impostergable el diseño, adopción y aplicación de medidas orientadas al uso eficiente de la energía eléctrica y por tanto a la disminución de emisión de contaminantes a la atmósfera.

Es precisamente que con este propósito el uso de variadores para el aprovechamiento sustentable de la energía.

Por eso vamos a analizar por medio de la aplicación de variadores de velocidad como

mejorar un sistema de bombeo para lograr un mejor desempeño del mismo y obtener el mayor ahorro de energía posible, ya que el perfil de carga que debemos manejar no es constante a lo largo del proceso.

1.3.- JUSTIFICACIÓN

Con la opción de utilizar variadores de velocidad en un sistema de bombeo se ayudara a mejorar el desempeño del mismo y a generar un ahorro en el consumo eléctrico de las bombas de al menos un 25%, así como gastos por mantenimiento y paros de producción generados por el daño o desgaste de los elementos mecánicos actuales con los que cuenta dicho sistema.

1.4.- OBJETIVOS

Se cuenta actualmente con un sistema de variadores de velocidad para el control de las bombas centrífugas para reemplazar los dispositivos mecánicos en la tubería y los arrancadores a tensión plena (arrancador, contactor, relevador de sobre carga).

1.4.1.- Objetivos Específicos

1.- Elegir un variador de velocidad con las características adecuadas del sistema de bombeo.

2.- Revisar las características de instalación de los variadores de velocidad.

3.- Hacer el estudio de los parámetros del variador de velocidad para tener el mejor funcionamiento de este.

4.- Realizar un estudio de ahorro y calidad de la energía para corroborar el ahorro alcanzado.

1.5.- PROPOSICIÓN

Se usaran variadores de velocidad con control Volts por Hertz, ya que es el que perfectamente sirve para estas aplicaciones de bombas centrífugas y la programación es más fácil, además esto hará que el precio del equipo sea bajo y podamos tener un retorno de inversión en un tiempo corto.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1.- BOMBAS CENTRÍFUGAS

Las bombas centrífugas son dispositivos que transforman la energía mecánica en energía cinética aplicada a un fluido mediante la aceleración del mismo, por medio de impulsores.

Las bombas centrífugas están constituidas por el motor, el cual convierte la energía eléctrica en energía mecánica; el eje, quien es el encargado de transmitir el movimiento generado en el motor hacia el impulsor, este último es quien suministra energía cinética al fluido; la voluta, dentro de la cual el fluido ya con una alta energía cinética es transformada en energía de presión.



Figura 2.1.- Bomba centrífuga

La cantidad de energía cinética que recibe el fluido está basada en la velocidad del impulsor, cuanto más rápido gira éste, o mientras más grande sea, la velocidad del líquido a la salida de la bomba será mayor, así como la energía cinética del fluido.

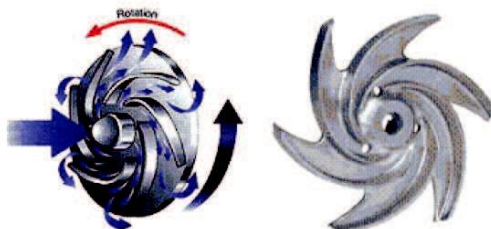


Figura 2.2.- Impulsor de bomba centrífuga.

Creando una resistencia al flujo, es como podemos controlar la energía cinética del líquido a la salida del impulsor. La primer resistencia impuesta al flujo es la creada por la voluta o carcasa, la cual atrapa al fluido y lo frena, al realizar esta acción parte de la energía cinética es convertida en energía de presión. Dicha presión es una medida de la resistencia al flujo, ya que la bomba centrífuga solo crea flujo y no presión.

Las bombas centrífugas de pueden clasificar de acuerdo a la dirección del flujo con respecto al impulsor, y pueden ser de flujo radial, axial o mixta.

2.1.1.- TÉRMINOS

2.1.1.1.- CABEZAL

Este término es utilizado para medir la energía cinética generada por la bomba, medida en altura de columna de líquido.

La razón por la cual se utiliza el cabezal en lugar de presión para medir la energía de una bomba centrífuga es porque la presión de la bomba cambiará si la gravedad específica del líquido varía, mientras que el cabezal no, lo que hará que podamos describir de mejor manera el desempeño de la bomba independientemente de la densidad del líquido.

Todas las formas de energía involucradas en un sistema de lujo de un líquido pueden ser expresadas en altura de líquido, siendo el total de todos estos cabezales, el cabezal total del sistema o mejor dicho, el trabajo que la bomba deberá desarrollar en el sistema.

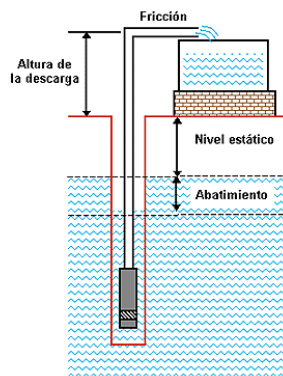


Figura 2.3.- Sistema de bombeo con suministro por debajo de la línea central de la bomba.



Figura 2.4.- Sistema de bombeo con suministro por encima de la línea central de la bomba.

2.1.1.2.- ALTURA DE SUCCIÓN ESTÁTICA

Es la distancia vertical en pies de la línea central de la bomba hasta el nivel superior del líquido a bombear como se observa en la figura 1.3., siempre y cuando el sistema cuente con el suministro por debajo de la bomba.

2.1.1.3.- CABEZAL DE SUCCIÓN ESTÁTICO

Es la distancia vertical en pies de la línea central de la bomba hasta el nivel superior del líquido a bombear cuando el suministro se encuentra por encima de la bomba como se muestra en la figura 2.4

2.1.1.4.- CABEZAL DE DESCARGA ESTÁTICO

Es la distancia en pies entre la línea central de la bomba y la superficie del líquido dentro del tanque de descarga como se puede observar en las figuras 1.3 y 1.4

2.1.1.5.- CABEZAL TOTAL ESTÁTICO

Es la distancia vertical en pies entre el nivel superior del tanque de suministro y la superficie libre del líquido dentro del tanque de descarga como lo podemos observar en las figuras 2.3 y 2.4

2.1.1.6.- CABEZAL DINÁMICO O DE FRICCIÓN (HF)

Es el cabezal requerido para vencer la resistencia al flujo en la tubería y sus accesorios, la cual dependerá del tamaño, la condición y el tipo de tubería en la que se esté trabajando, el número y el tipo de los accesorios con los que se cuenten, así como el caudal y la naturaleza del líquido.

2.1.1.7.- POTENCIA

La energía producida por la bomba está en función del cabezal total y del peso del líquido a bombear en un tiempo determinado, sin embargo, para determinar la potencia se utilizan en lugar del peso real del líquido la capacidad de la bomba y la gravedad específica del líquido.

$$\text{Water HP} = \text{Flow} \times \frac{\text{Head}}{3960} \times (\text{specific gravity})$$

(For water, specific gravity = 1.0)

La potencia de frenado, es la potencia real entregada hacia el eje de la bomba, mientras que la potencia hidráulica es la fuerza aplicada al líquido por la bomba.

$$\text{Brake HP} = \frac{\text{GPM} \times \text{Head} \times \text{Specific Gravity}}{3960 \times \text{Pump Efficiency}} \quad \text{OR} \quad \frac{\text{Water HP}}{\text{Pump Efficiency}}$$

2.1.2.- CURVAS DE LA BOMBA

Las curvas de una bomba, típicamente representan el comportamiento de los diferentes parámetros de ellas para diferentes rangos de caudales que manejen.

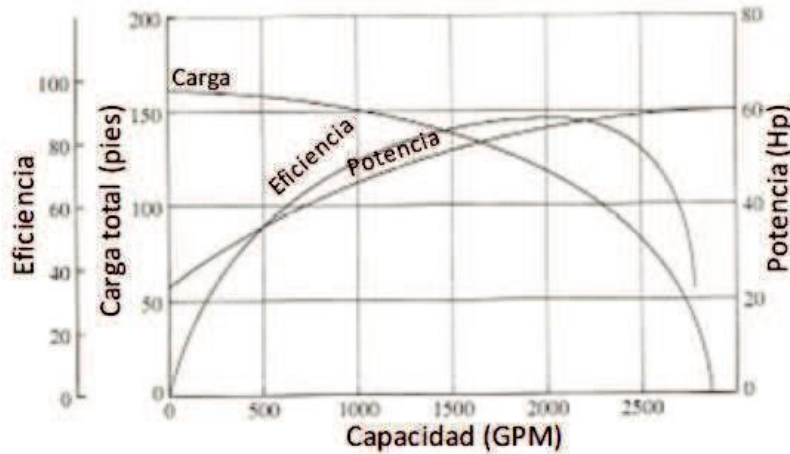


Figura 2.5.- Curvas características de una bomba.

La primera curva que se estudia, típicamente es la de cabezal contra capacidad, ya que ésta muestra el comportamiento del cabezal desarrollado a medida que el caudal varía. (Fig. 2.6)

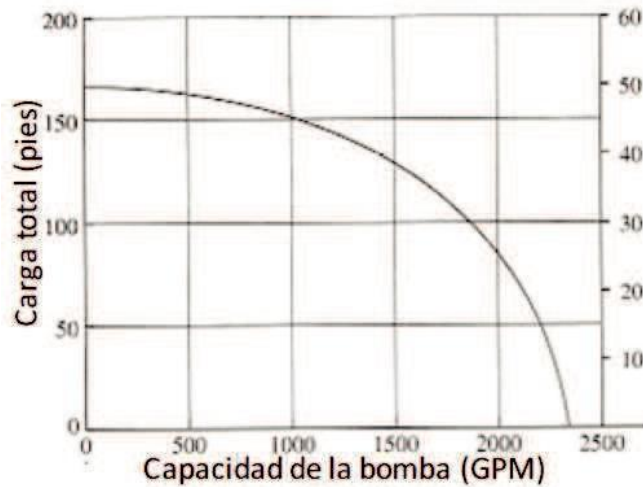


Figura 2.6.- Curva cabezal vs Capacidad.

Como podemos observar, el cabezal disminuye a medida que el caudal aumenta, pero la manera de hacerlo dependerá de cada equipo en específico.

Entre mayor sea el diámetro del impulsor, la bomba puede generar un cabezal más alto que una de menor diámetro a las mismas condiciones de caudal como se muestra en la figura 2.7

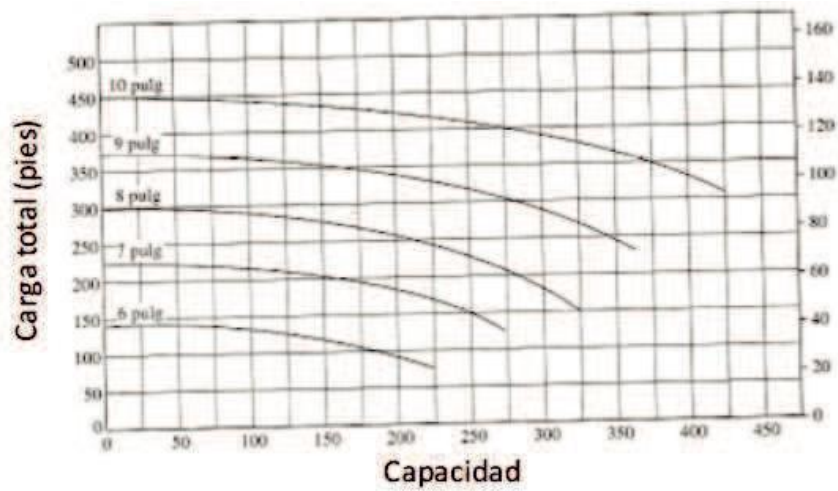


Figura 2.7.- Curva de cabezal vs Capacidad para diferentes diámetros de impulsor.

Las curvas de eficiencia de una bomba indican la manera en cómo se comporta la eficiencia del equipo en una región determinada.

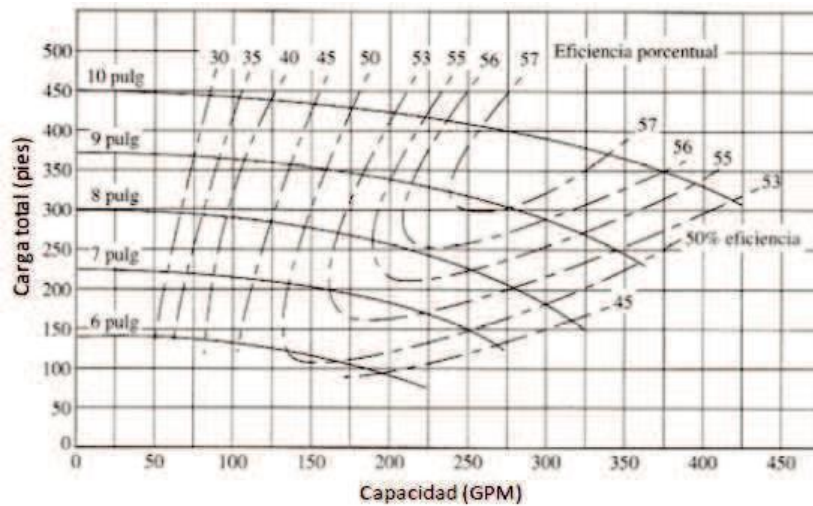


Figura 2.8.- Curvas de eficiencia.

La curva de potencia nos indica el consumo de potencia del equipo para un caudal determinado. Fig. 2.9

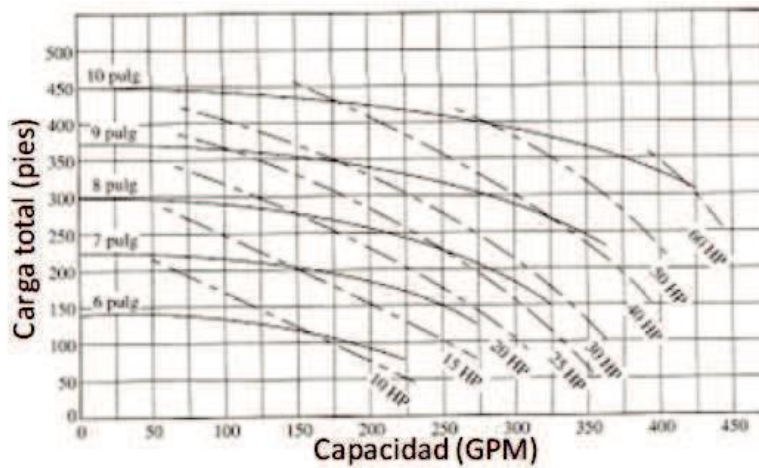


Figura 2.9.- Curva de Potencia.

La curva del cabezal neto de succión disponible (NPSHR) especifica los requerimientos de la bomba referente a la energía con la que el fluido debe llegar a la succión de la bomba para evitar los problemas de cavitación, que pueden afectar el desempeño del equipo.

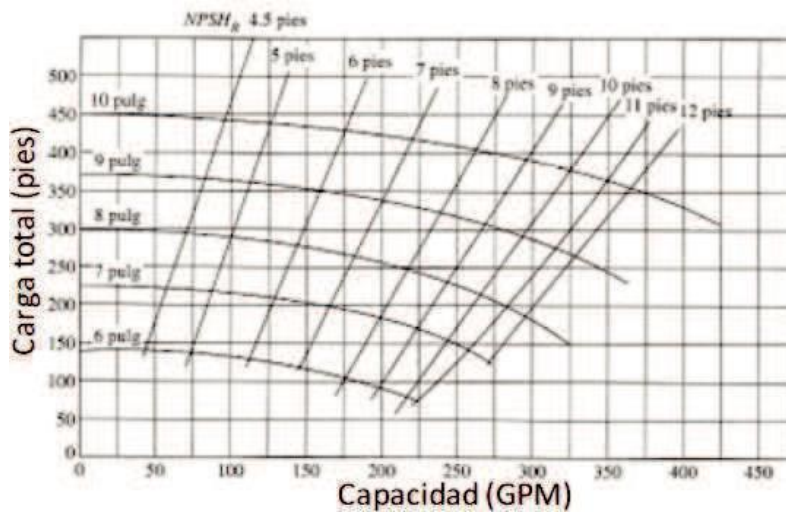


Figura 2.10.- Curva NPSHR.

Típicamente los fabricantes de las bombas muestran cada una de estas curvas en una misma figura como se muestra en la siguiente figura.

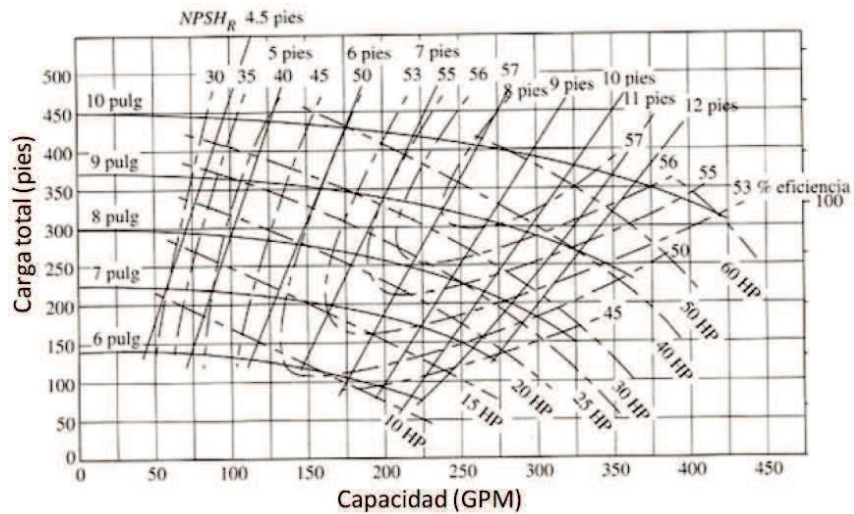


Figura 2.11.- Curva Característica de una Bomba.

2.2- VARIADORES DE VELOCIDAD

Los variadores de velocidad VFD por sus siglas en inglés (Variable Frequency Drive), son dispositivos electrónicos que nos permiten controlar la velocidad de un motor de Corriente Alterna por medio de la variación del Voltaje y de la Frecuencia suministrados hacia el mismo.

2.2.1.- FUNCIONAMIENTO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Los variadores de Velocidad actuales consisten en tres etapas básicas como se muestra en la figura 2.12, esto debido a que la etapa inversora requiere de una fuente estable de CD para su operación.

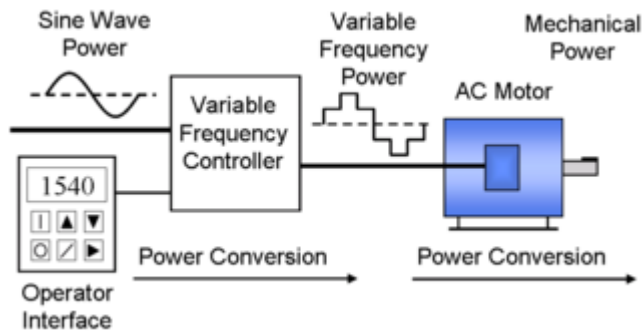


Figura 2.12- Estructura Típica de un VFD.

La primer Etapa conocida como Etapa Rectificadora, consiste en un puente de diodos trifásico de onda completa, aunque algunas veces también pueden ser utilizados SCRs (Silicon Controlled Rectifiers) en lugar de diodos. La función de esta etapa es la de convertir la corriente alterna en corriente directa.

Si aisláramos esta etapa de las demás, podríamos observar un voltaje de CD con un rizado de 360 Hz en la conexión del bus de CD cuando alimentamos la potencia de manera trifásica.

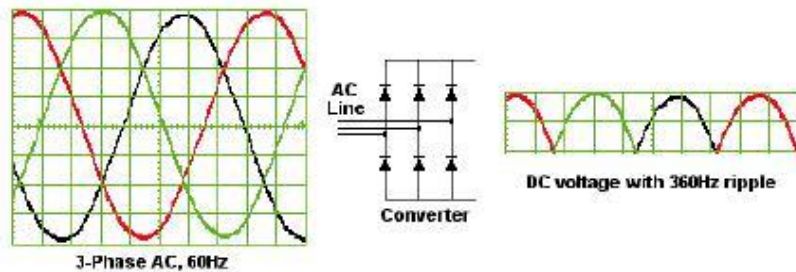


Figura 2.13.- Puente Rectificador de Onda Completa.

Este tipo de rectificador tiene la ventaja de un menor rizado y es el más utilizado en la mayoría de las aplicaciones industriales de potencia.

La Etapa Intermedia o de Filtrado consiste en un banco de capacitores mostrados en la Figura 2.14, el cual ayuda a suavizar el rizado en el bus de CD y así obtener una fuente estable necesaria para el accionamiento del inversor.

También puede ser agregado un inductor o “DC Link Choke”, el cual ayudará a minimizar los armónicos producidos.

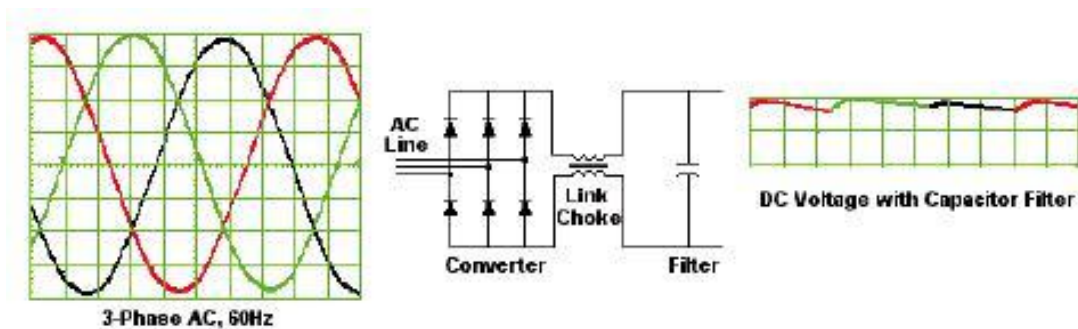


Figura 2.14-Salida de Voltaje Aplicando Filtros.

La Etapa Inversora mostrada en la Figura 2.12 utiliza transistores de alta velocidad como conmutadores para operar la modulación de ancho de pulso, o PWM por sus siglas en inglés (Pulse Width Modulation) a la senoidal del motor.

Tomando ventaja del hecho que un Motor básicamente un gran inductor, y que la corriente no varía de manera rápida en un inductor, el Voltaje del bus de CD puede ser aplicado en pulsos de diferentes anchos para obtener una corriente en el motor muy similar a una onda senoidal.

Los semiconductores de los cuales está formada esta etapa son IGBT o Transistor Bipolar de Puerta Aislada, el cual es el más utilizado para el control de motores industriales.

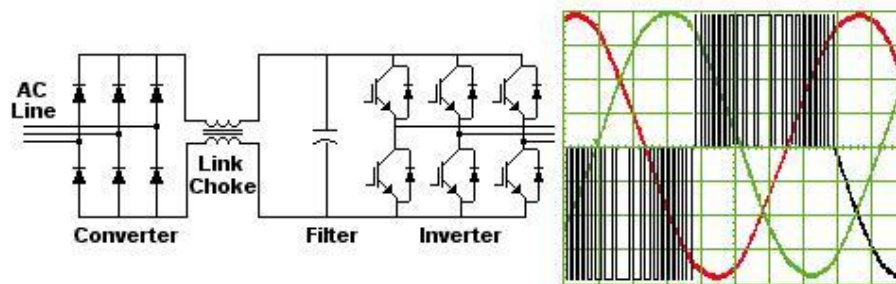


Figura 2.15-Emulación de la onda senoidal de una fase mediante la modulación de ancho de pulso.

En la Figura 2.15 se muestra la onda de forma producida por el algoritmo PWM de una sola fase para simular el voltaje de CA cuando es aplicado a una carga inductiva.

Variando el ancho de estos pulsos en proporción a la frecuencia, se crea un radio Volts por Hertz que satisface el diseño de alimentación de los motores y que le permite a estos, producir el torque necesario a diferentes velocidades para soportar la carga instalada sin un consumo excesivo de corriente.

2.2.2.- TIPOS DE CONTROL

Todos los variadores de velocidad que operan bajo el algoritmo PWM, tienen diferentes niveles de desempeño basados en los diferentes algoritmos de control con los que cuentan.

Actualmente existen cuatro algoritmos básicos de control para los Variadores de Velocidad de CA:

- ◆ Control Volts/Hertz: es el método de control básico, el cual provee desempeño regular en la regulación de velocidad y par de arranque a un costo bajo, especialmente diseñado para aplicaciones de Bombas y Ventiladores.
- ◆ Control Vectorial sin Sensor: este método provee un mejor desempeño en la regulación de velocidad, así como un par de arranque más alto para aplicaciones industriales de mayor demanda.
- ◆ Control Vectorial: este algoritmo provee un control de velocidad y par más preciso con una excelente respuesta dinámica.
- ◆ Control de Campo Orientado: este control provee la mejor regulación de par y velocidad disponible para motores de CA, obteniendo un desempeño similar a los motores de CD.

2.2.2.1.- CONTROL VOLTS / HERTZ

El control Volts por Hertz (V/Hz) es el tipo de control más básico y sencillo, el cual de manera simple, obtiene el comando de la referencia de velocidad de una fuente externa, variando el voltaje y la frecuencia suministrada al motor.

Así pues, manteniendo de manera constante la relación voltaje frecuencia, el variador es capaz de controlar la velocidad del motor.

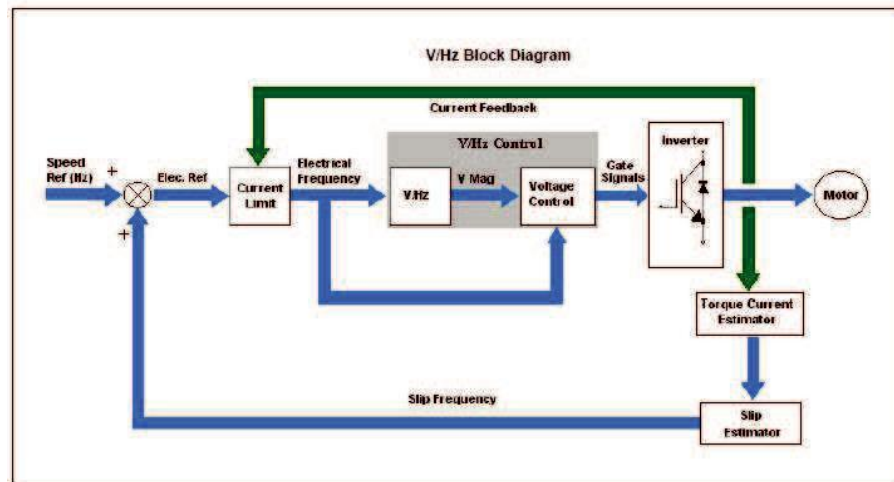


Figura 2.16.- Diagrama de Bloques de Operación del Control V/Hz.

Este tipo de control es ideal para aplicaciones de par variable como lo son bombas y ventiladores centrífugos, pero para muchas de las aplicaciones donde se requiere un desempeño dinámico, es decir, en aplicaciones donde se requiere que el motor opere a velocidades muy bajas, o bien en aplicaciones donde se requiera un manejo de torque y no de velocidad, no es recomendable.

A continuación se muestra una gráfica del desempeño de par contra velocidad en un control V/Hz, donde podemos observar que la capacidad del Variador para mantener el par necesario en una aplicación va decreciendo de manera significativa cuando disminuimos la velocidad del mismo. Otro problema que presenta este tipo de control es que cuando aumentamos la carga, la velocidad del motor se ve disminuida. Estas desventajas son normales en este tipo de control.

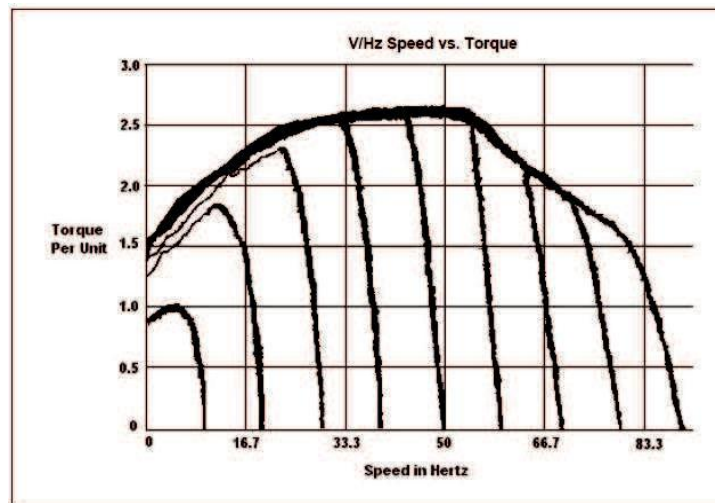


Figura 2.17.- Desempeño de Par vs Velocidad del control V/Hz.

2.2.2.2.- CONTROL VECTORIAL SIN SENSOR

Este tipo de control, posee una característica que se denomina compensación por deslizamiento (también la pueden llegar a poseer algunos de los nuevos modelos de variadores con control V/Hz), la cual nos permite cerrar el lazo de velocidad para mantener la velocidad deseada, obteniendo así un mejor control de la carga.

Con respecto al diagrama anterior del control V/Hz, podemos observar que en el control vectorial sin sensor se implementa un bloque de estimación de torque, el cual determina el porcentaje de la corriente que se encuentra en fase con el voltaje, proporcionando una corriente de par aproximada, estimando así la cantidad de deslizamiento para obtener una mejor desempeño.

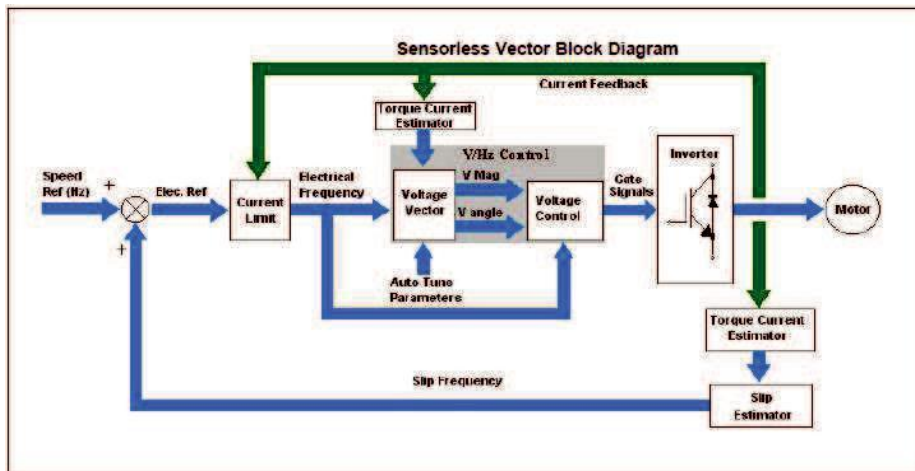


Figura 2.18.- Diagrama de Bloques de Operación del Control Vectorial sin Sensor.

El control vectorial sin sensor mejora la técnica del control V/Hz, controlando no solo la magnitud de voltaje, sino también el ángulo entre el voltaje y la corriente, lo cual hace que se mejore el desempeño al trabajar con bajas velocidades y torque alto.

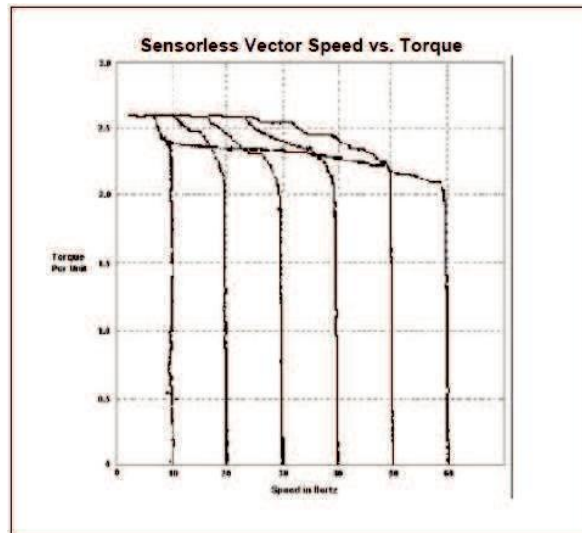


Figura 2.19.- Desempeño de Par vs Velocidad del control Vectorial Sin Sensor.

2.2.2.3.- CONTROL VECTORIAL.

El control vectorial se base en los principios básicos del control Volts por Hertz, aumentando varios bloques de funciones en su entorno para mejorar el desempeño del variador. El bloque de retroalimentación de corriente intenta identificar las corrientes de torque y flujo producidas en el motor y hace de estos valores, información disponible que pueden utilizar el resto de los bloques para un mejor funcionamiento.

El bloque de límite de corriente es sustituido por un regulador de corriente, con el cual se consigue una mayor precisión en el control del motor. Las primeras versiones de variadores con control vectorial necesitaban de una señal de referencia de velocidad lo cual hacía que no se pudiera contar con un control independiente de flujo y torque.

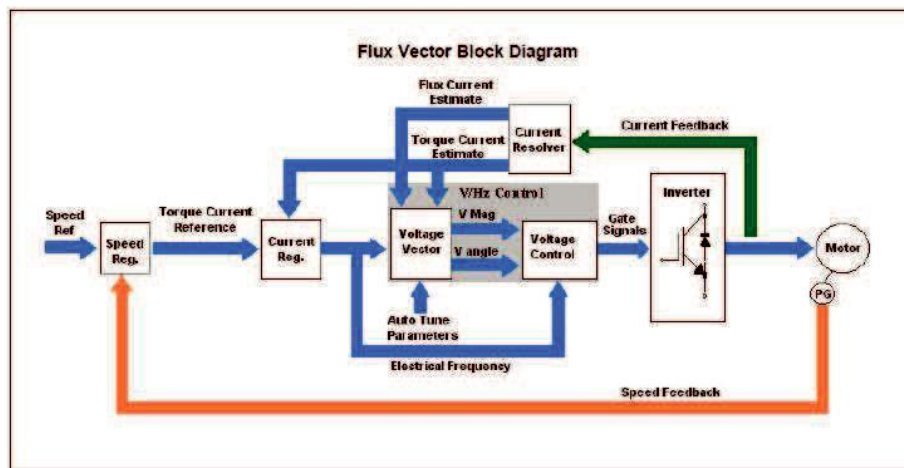


Figura 2.20.- Diagrama de Bloques de Operación del Control Vectorial Con Señal de Retroalimentación.

Actualmente, en la mayoría de los variadores de velocidad se ha mejorado el control vectorial, es decir, se han implementado bloques para la estimación del valor de la retroalimentación de la velocidad, así como para la compensación de deslizamiento, haciendo de esta manera que el variador pueda operar de manera correcta sin la necesidad de contar con una señal de referencia externa como se hacía anteriormente.

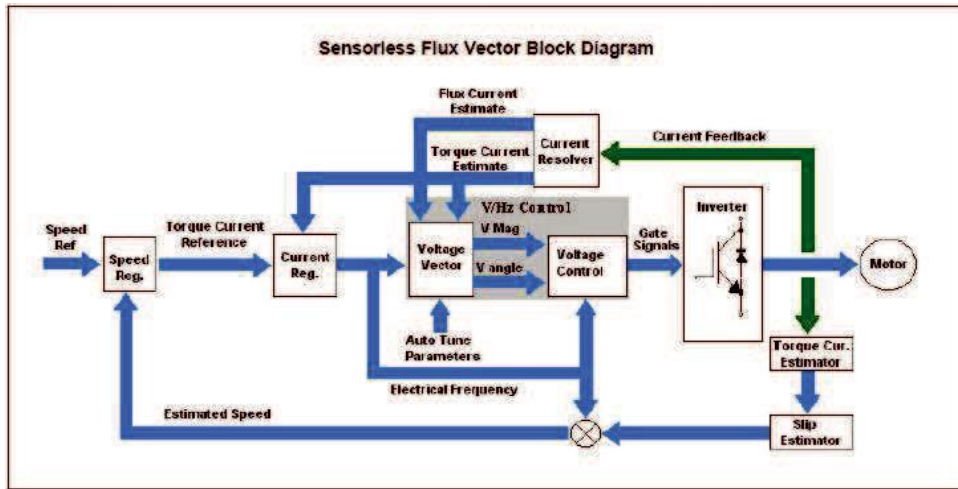


Figura 2.21.- Diagrama de Bloques de Operación del Control Vectorial Sin Señal de Retroalimentación.

El control vectorial mejora el desempeño en el control de velocidad y torque, como se muestra en la figura 2.22, aunque se sigue apreciando que conforme baja la velocidad el torque disminuye, esto debido a que este tipo de control sigue trabajando bajo los fundamentos del control V/Hz.

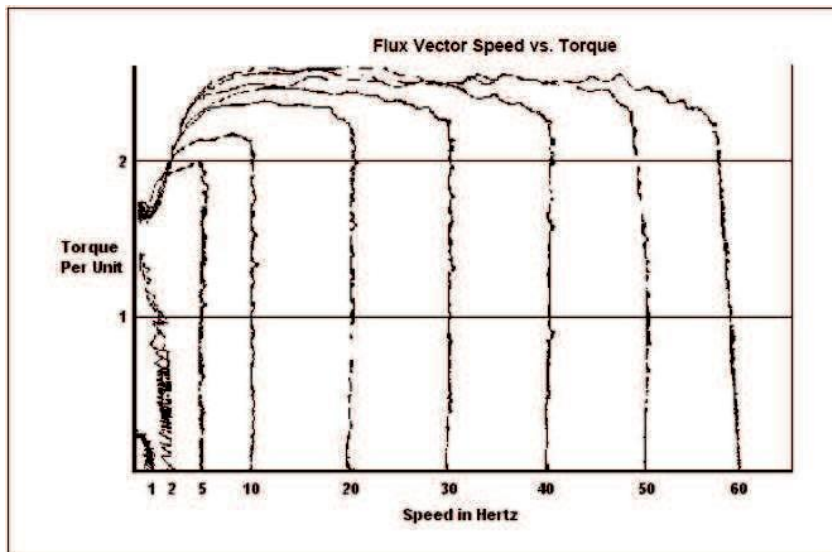


Figura 2.22.- Desempeño de Par vs Velocidad del control Vectorial.

2.2.2.4.- CONTROL DE CAMPO ORIENTADO

La principal característica de este control, y la principal diferencia entre los demás controles, es la habilidad de poder trabajar de manera independiente la regulación de flujo y torque.

En este control, se reemplaza la estructura básica del control V/Hz por un regulador de corriente de un gran ancho de banda, el cual separa y controla los componentes de las corrientes del estator, lo que permite que con este tipo de control, el variador se adapte de mejor manera a los cambios en el motor y a las características de la carga.

Al igual que en el control vectorial, en los últimos años se ha mejorado el desempeño del control de Campo Orientado, lo que hace que podamos seguir teniendo un excelente control sin la necesidad de una señal de retroalimentación externa.

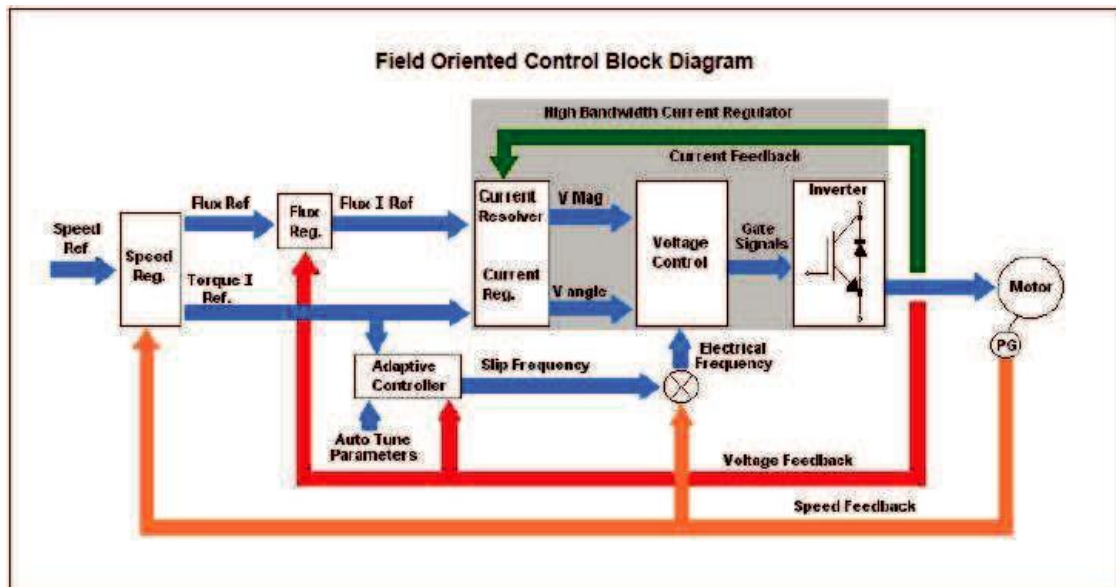


Figura 2.23.- Diagrama de Bloques de Operación del Control de Campo Orientado Con Señal de Retroalimentación.

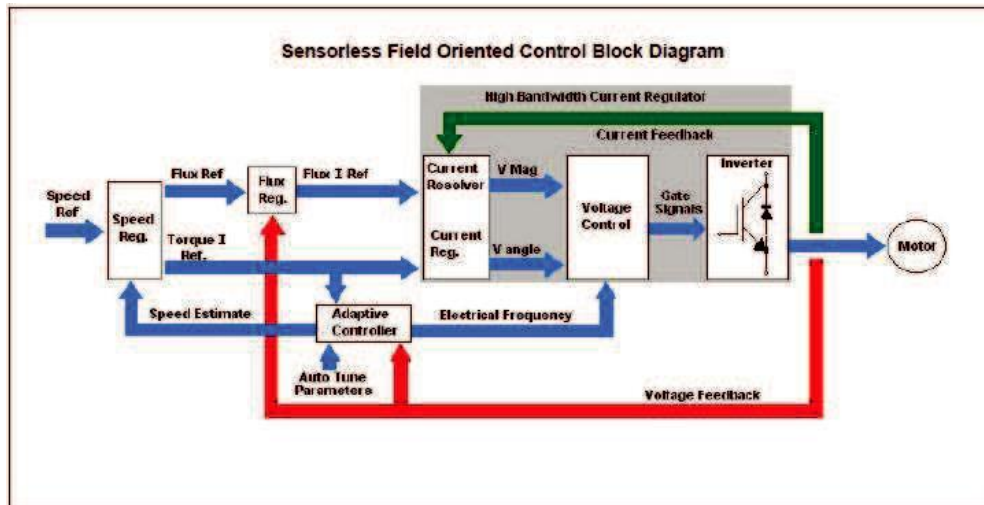


Figura 2.24.- Diagrama de Bloques de Operación del Control de Campo Orientado Sin Señal de Retroalimentación.

En la gráfica siguiente (Figura 2.25) podemos observar el desempeño del control de campo orientado sin señal de retroalimentación, donde incluso a velocidades muy bajas podemos obtener muy alto par, o bien a velocidad por encima de las nominales, lo que hace que este tipo de control sea ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales de gran demanda.

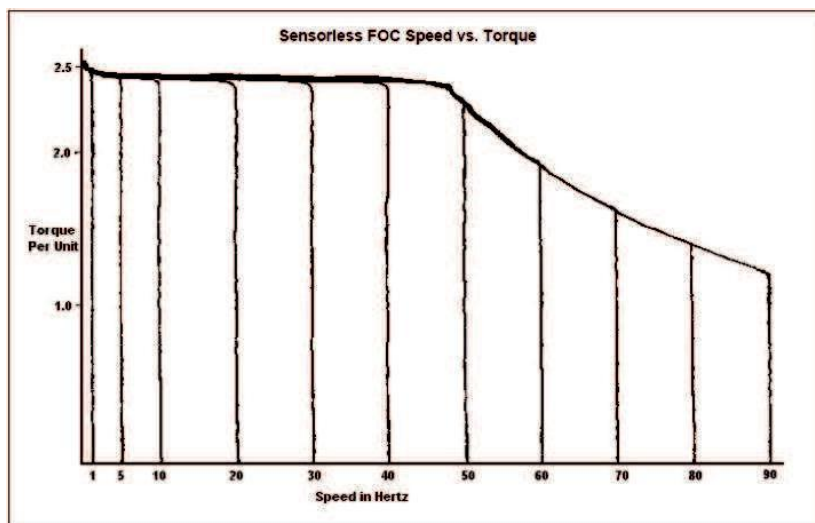


Figura 2.25.- Desempeño de Par vs Velocidad del Control de Campo Orientado.

2.2.3.- TIPOS DE CARGAS

En la industria existen un sin fin de aplicaciones, desde las más simples, hasta las más

demandantes, pero como saber qué tipo de variador podemos utilizar, o que tipo de control es el más adecuado. Es por ello que todas las aplicaciones se han dividido en dos grandes grupos, esto en base a sus necesidades de torque con respecto a su velocidad operacional.

Estos dos tipos de cargas son: cargas de Par Variable y Cargas de Par Constante, las cuales analizaremos más a detalle a continuación.

2.2.3.1.- CARGAS DE PAR VARIABLE

Estas cargas reciben su nombre debido a que las demandas de torque se incrementan o disminuyen con respecto a la velocidad, es decir, ya que la masa a desplazar disminuye de manera lineal cuando decrecemos la velocidad, las demandas del par hacia el motor igualmente se ven disminuidas, usualmente al cuadrado de la velocidad.

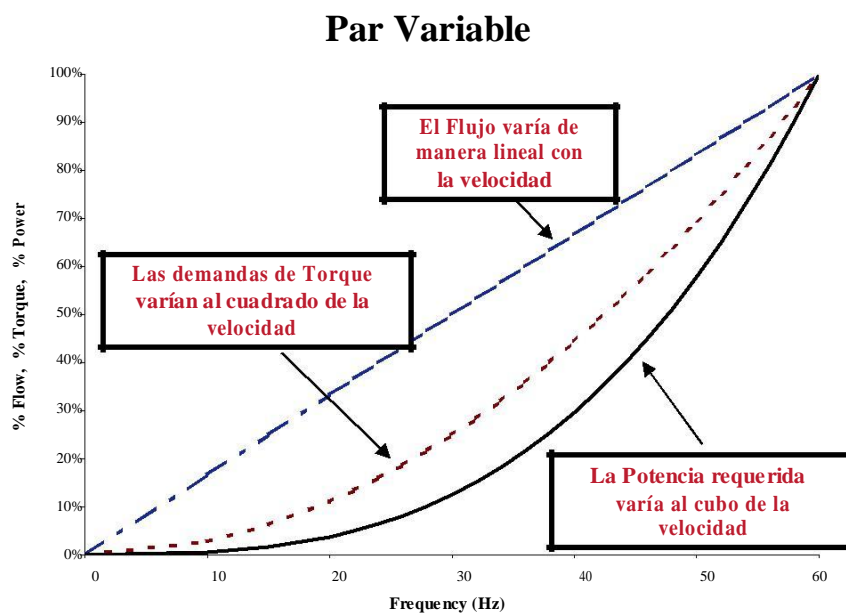


Figura 2.26.- Demandas de Torque y Potencia en Cargas de Par Variable.

La figura 2.26 nos muestra los efectos que se tienen en el torque y la potencia con respecto a la velocidad en aplicaciones de par variable. Ejemplo de estas son típicamente bombas y ventiladores centrífugos.

2.2.3.2.- CARGAS DE PAR CONSTANTE

Al contrario de las cargas de par variable, en estas, las demandas de torque por parte de la carga siempre son de manera constante, independientemente de la velocidad a la que este, esto debido a que la masa a desplazar no varía.

Como ejemplo de estas, son todas las cargas utilizadas en la industria donde se cuente con cierto coeficiente de fricción, cargas que demanden constantes niveles de sobrecarga o aplicaciones de alta inercia.

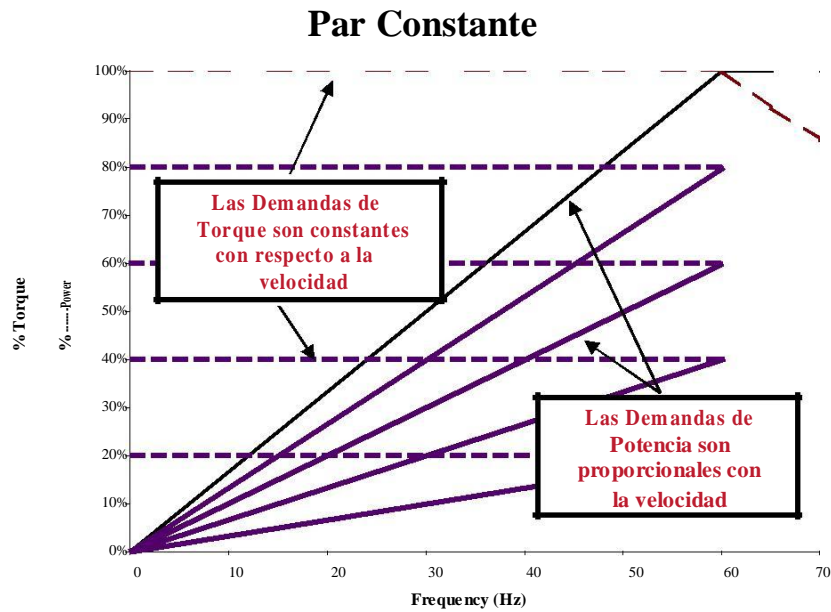


Figura 2.27.- Demandas de Torque y Potencia en Cargas de Par Constante

CAPITULO 3

APLICACIÓN DE VARIADORES EN SISTEMAS DE BOMBEO

Actualmente existe una infinidad de aplicaciones donde se requiere el uso de algún tipo de fluido, las cuales van desde aplicaciones caseras donde el fluido puede ser agua para el uso diario, hasta aplicaciones industriales donde se manejan diferentes tipos de fluidos en un sin fin de procesos de producción en los diferentes tipos de industria que existen.

Para ello siempre es necesario un sistema que nos ayude a desplazar estos fluidos hasta el lugar donde los utilizaremos, el cual generalmente es por medio de una bomba y a través de tuberías.

Estos sistemas de bombeo son diseñados en base a las características del fluido a manejar y a las de la aplicación para lo cual es requerido, ya que dependerá de diferentes factores que debemos de tomar en cuenta para la correcta selección del tipo de bomba y de las características y dispositivos con los que debe de contar el sistema de tuberías; estos factores pueden ser la densidad del fluido, la temperatura del mismo, la presión, el flujo o caudal que debemos de obtener a la salida de dicho sistema, entre muchas otras.

Para ello analizaremos las diferentes características que podemos manejar en un sistema de bombeo para obtener el mejor desempeño del mismo.

3.1 SISTEMAS DE BOMBEO

Dentro de un sistema de bombeo tenemos varias opciones para la regulación del perfil de carga, las cuales son:

3.1.1.- ENCENDIDO Y APAGADO DE LA BOMBA

En este sistema lo único que se hace es interrumpir la alimentación eléctrica hacia el motor de la bomba, obteniendo así o el 100% o el 0% del trabajo de la bomba.

El problema que se presenta con este tipo de sistemas, es que al estar arrancado y parando constantemente la bomba, estamos sometiendo a todos los

componentes del sistema a un esfuerzo y estrés constante, ya que un motor al ser arrancado a tensión plena, consume entre 6 y 8 veces su corriente nominal, lo que hace que todas las partes mecánicas sufran un esfuerzo innecesario que les provocará una reducción considerable en su tiempo de vida útil; así también existe otro problema denominado golpe de ariete, el cual es causado debido al diferencial de presión que se forma dentro de las tuberías al estar arrancando y parando a tensión plena el motor de una bomba centrífuga, ya que éste diferencial puede crear deformaciones en la tubería, daño en los sellos e incluso pudiera provocar daño en las mismas bombas.

Uno de los beneficios de este sistema es que es el más económico, ya que no se necesita de accesorios o equipo extra, solo basta con interrumpir la alimentación eléctrica por medio de un sistema de desconexión, el cual por diseño de los sistemas eléctricos, siempre está presente.

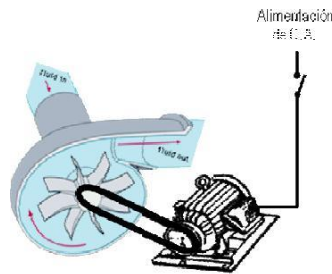


Figura 3.1.- Modulación del perfil de carga mediante el encendido y apagado de la bomba.

3.1.2.- RECIRCULACIÓN

Este tipo de sistemas utiliza ramales en el sistema de tuberías, el cual mediante el uso de válvulas se puede conectar la tubería de descarga con la de succión, obteniendo así una menor cantidad de flujo y presión en la salida del sistema.

Este tipo de métodos se utilizan cuando en el proceso tenemos sistemas sobredimensionados, que nos entregan más flujo y presión de la que necesitamos, o bien donde nuestro proceso nos demanda la variación de estas.

Uno de los beneficios que tenemos con estos sistemas es que son simples y relativamente económicos, además de que no se desperdicia el producto a bombear, ya que como se comentó anteriormente, están interconectadas las tuberías de recirculación a la succión del sistema.

Ahora bien, los problemas que se pueden presentar es que al tener más tuberías tenemos más puntos de falla, más equipo al cual debemos darle mantenimiento y por ende el tiempo del mismo se prolonga, pero el principal problema es que estamos desperdiciando la energía consumida por el motor de la bomba, ya que sigue operando al 100% de su capacidad independientemente de la cantidad de flujo o presión que estemos manejando a la salida del sistema.

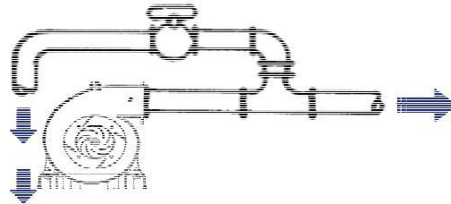


Figura 3.2.- Modulación del perfil de carga mediante tuberías de recirculación.

3.1.3.- VÁLVULAS DE ESTRANGULAMIENTO

Este sistema es el más comúnmente utilizado, en el cual se coloca una válvula de estrangulamiento en la descarga del sistema para poder obtener el flujo deseado para nuestro proceso.

Lo que se logra con este proceso es variar la curva del sistema por medio de las válvulas, pero al hacer esto, al mismo tiempo estamos aumentando la presión.

Utilizando este tipo de sistemas podemos obtener un ligero ahorro de energía en cuanto a la potencia real consumida por el motor de la bomba, el cual va en función del porcentaje del fluido que necesitemos manejar, el cabezal, la gravedad específica del líquido y la eficiencia de la bomba.

Teniendo estos datos y aplicando las formulas mencionadas en el capítulo 2, podemos obtener la potencia real consumida dependiendo el porcentaje del fluido que tengamos en la descarga del sistema.

El problema en estos sistemas sigue siendo que se desperdicia demasiada energía con respecto a lo que estamos obteniendo en la descarga del sistema, es decir que la energía utilizada de forma útil es menor, sumado a que también al instalar más equipo, tenemos más puntos de falla en el sistema.

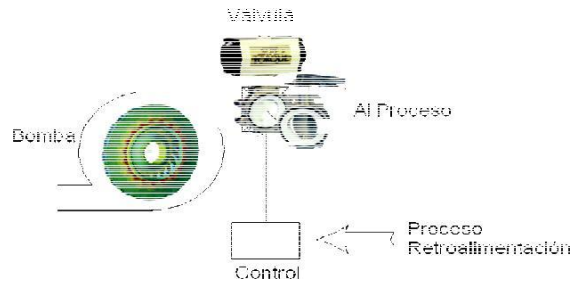


Figura 3.3.- Modulación del perfil de carga mediante válvulas de estrangulamiento.

3.1.4.- VARIADOR DE VELOCIDAD

Este sistema es el más adecuado para las aplicaciones donde se requiere variar el flujo o la presión a la salida en un sistema de bombeo, ya que tiene la capacidad de manipular directamente la velocidad del motor de la bomba, obteniendo así el flujo y presión deseada en la descarga del sistema y así mismo un gran ahorro de energía.

La única desventaja que se pudiera encontrar es el costo del equipo que comprado con los demás sistemas es mucho mayor, además de que se deben de tener consideraciones específicas para su uso e instalación.

La gran ventaja en cuanto al ahorro de energía es que el tiempo de vida útil de estos equipos es de 10 años aproximadamente, por lo que lo hace muy rentable para este tipo de aplicaciones, ayudándonos también a reducir la demanda generada por los equipos y el estrés mecánico generado por los arranques a tensión plena, ya que el modo de arranque de estos equipos es por medio de una rampa que nos puede ayudar también a evitar el fenómeno del golpe de ariete.

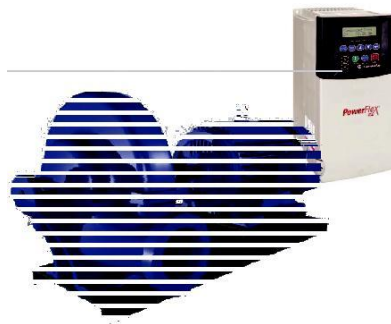


Figura 3.4.- Modulación del perfil de carga mediante variador de velocidad

3.2.- COMPARATIVA ENTRE SISTEMA DE ESTRANGULAMIENTO Y VARIADOR DE VELOCIDAD

Las curvas del sistema son diferentes a la de la bomba, ya que mientras ésta última es en función de las características físicas de la misma, la curva del sistema depende del diámetro de la tubería, de la longitud de la misma y de la colocación de accesorios, entre otros.

El punto natural de operación, es el punto de intersección de ambas, es decir, es donde la presión de la bomba concuerda con las pérdidas del sistema y todo se encuentra en balance.

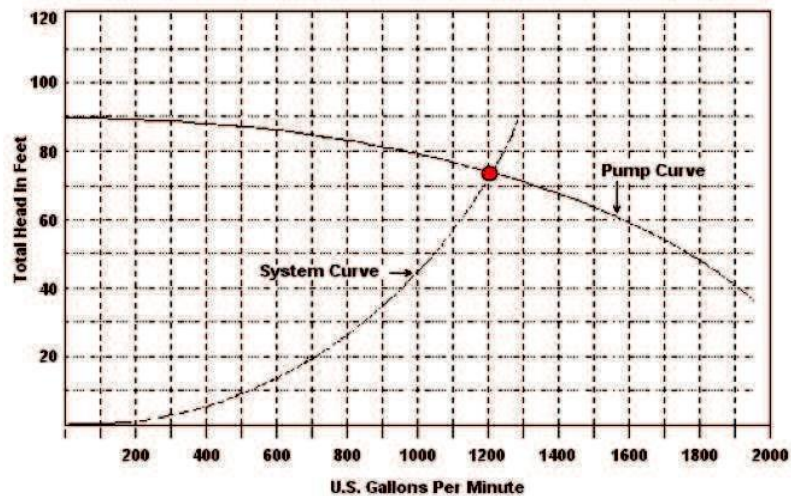


Fig. 3.5.- Curvas de Bomba y Sistema.

En un sistema de estrangulamiento lo que estamos modificando es la curva del sistema, ya que al reducir el flujo en la descarga, estamos aumentando la presión del cabezal.

En la figura 3.6 se muestra la comparativa de la curva de un sistema con válvulas de estrangulamiento operando en dos puntos diferentes, el primero es con el 100% del flujo, es decir que la válvula se encuentra totalmente abierta, y el segundo es manejando el 60% del flujo.

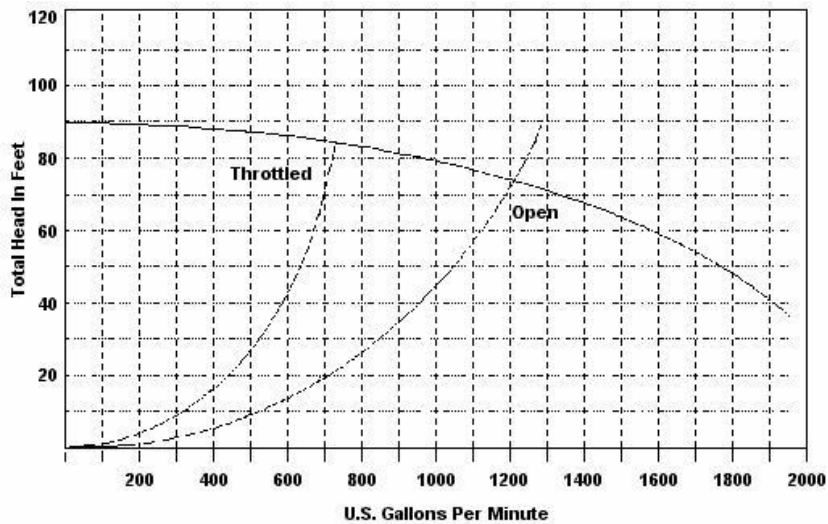


Fig. 3.6.- Curvas de un sistema de estrangulamiento

En este sistema lo que podemos observar es que en base al flujo que queremos manejar, obtenemos diferentes valores de presión y de potencia demandada por la bomba, los cuales los podemos obtener realizando los cálculos correspondientes con las formulas descritas en el capítulo 2.

El problema que se presenta con este tipo de sistemas y que lo podemos observar si sobreponemos los datos obtenidos en las curvas de la bomba, es que la eficiencia de la misma se ve disminuida conforma disminuimos el flujo.

Para realizar la comparativa de este sistema se está considerando una bomba de 25 Hp con un impulsor de 14 pulgadas de diámetro, del cual podemos encontrar sus curva en el anexo A.

En comparativa, un sistema manejado por variador de velocidad modifica la curva de la bomba en lugar de la del sistema, esta ventaja es debido a que se modifica directamente la velocidad del impulsor, obteniendo así mayores ahorros de energía.

En la figura 3.7 se muestra la comparativa de la curva de la bomba operando en dos velocidades diferentes, 100% que significa que tenemos el 100% del flujo y la segunda al 60%, manejando el 60% del flujo.

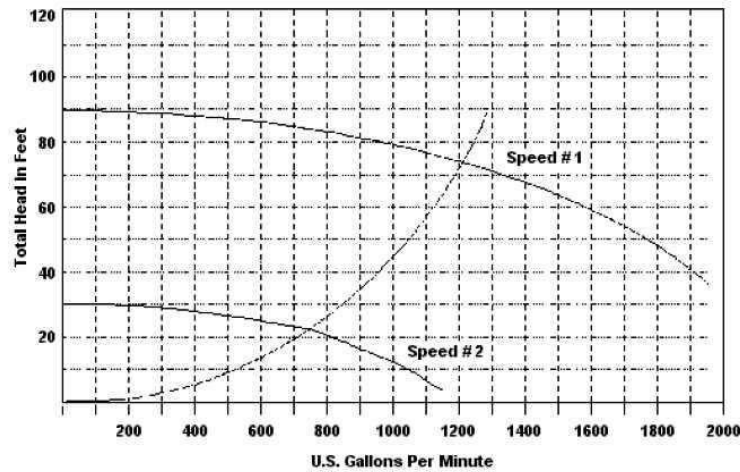


Fig. 3.7.- Curvas de un sistema de estrangulamiento.

Para esta tabla, se está considerando la misma bomba que en el ejemplo anterior, solo que para poder determinar los valores en los diferentes puntos aplicaremos las leyes de afinidad, que aplican tanto para sistemas de bombas centrífugas, como para ventiladores centrífugos.

De esta manera podemos calcular los diferentes valores tanto de presión como de potencia demandada a diferentes velocidades o flujos.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad \frac{HP_2}{HP_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

Fig. 3.8.- Leyes de afinidad para sistemas centrífugos.

3.3.- SELECCIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD ADECUADO

Para la correcta selección de un variador de velocidad debemos de tomar en cuenta diferentes puntos:

- Datos de placa del motor
- Tipo de aplicación
- Tipo de control que se tendrá sobre el variador
- Ambiente y características del lugar de instalación

Una vez teniendo todos estos datos completos, se puede determinar el tipo de control más conveniente para la correcta operación de nuestra aplicación, ya sea un control Volts por Hertz, un control Vectorial sin sensor, uno vectorial o bien, uno de campo orientado, los cuales se describieron con anterioridad en el capítulo dos.

Otras características con las que debe de contar el variador y las cuales no van a servir para lograr un buen desempeño del mismo son las entradas y salidas con las que debe de contar, es decir, cuántas entradas digitales y/o análogas debe de tener el equipo para poder realizar el cableado de control adecuado.

Las señales digitales son representadas por bits 1 o 0, los cuales indican la activación o la desactivación de la señal respectivamente; dicha señal puede tratarse del comando de arranque, paro, cambio de sentido de giro, entre otras funciones.

Las señales análogas representan un rango de valor, ya sea de voltaje o de corriente, las cuales nos servirán para enviar el comando de la referencia de velocidad o bien en el caso de las salidas, para tener la lectura y la representación de la misma en cierto valor, el cual podemos interpretar de 0 a 100% y puede ser cualquier valor de retroalimentación que nos del propio variador.

También debemos de contemplar si es necesario las tarjetas de comunicación, las cuales son interfaces que convierten todas las señales y lecturas del variador en datos que pueden enviarse a través de un solo cable de comunicación dependiendo el protocolo que estemos manejando hacia nuestro PLC o controlador lógico programable por sus siglas en inglés.

Dichos comandos o valores pueden ser los mismos que comentamos con las entradas y salidas análogas, arranque, paro, referencia de velocidad e incluso podemos leer en nuestro controlador el estatus del drive para en base a eso crear cierta lógica.

Actualmente existen una gran variedad de protocolos de comunicación como lo son el Ethernet, ControlNet, DeviceNet, Profibus, entre muchos otros, los cuales de manera resumida harán que el variador opere de manera automática sin tener que contar con las señales de cableado mencionadas anteriormente.

Otro punto importante es el grado de protección con el que debe de contar el equipo, o también llamado encerramiento, lo cual se refiere al tipo de carcasa o34 envolvente que tendrá el equipo para poder soportar las características ambientales donde será instalado.

Los diferentes tipos de encerramiento van desde un IP00, hasta un IP66

dependiendo el fabricante.

El grado de protección IP se refiere a que tan protegido estará contra partículas sólidas y líquidas como se muestra en la siguiente tabla.

	Primer Número - Protección contra sólidos		Segundo Número - Protección contra líquidos		Tercer Número - Protección contra impactos mecánicos (generalmente omitido)
0	Sin Protección	0	Sin Protección	0	Sin Protección
1	Protegido contra objetos sólidos de más de 50mm	1	Protegido contra gotas de agua que caigan verticalmente	1	Protegido contra impactos de 0.225 joules
2	Protegido contra objetos sólidos de más de 12mm	2	Protegido contra rocíos directos a hasta 15° de la vertical	2	Protegido contra impactos de 0.375 joules
3	Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5mm	3	Protegido contra rocíos directos a hasta 60° de la vertical	3	Protegido contra impactos de 0.5 joules
4	Protegido contra objetos sólidos de más de 1mm	4	Protegido contra rocíos directos de todas las direcciones - entrada limitada permitida	4	Protegido contra impactos de 2.0 joules
5	Protegido contra polvo - entrada limitada permitida	5	Protegido contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones - entrada limitada permitida	5	Protegido contra impactos de 6.0 joules
6	Totalmente protegido contra polvo	6	Protegido contra fuertes chorros de agua de todas las direcciones - entrada limitada permitida	6	Protegido contra impactos de 20.0 joules
7		7	Protegido contra los efectos de la inmersión de 15cm - 1m	7	
8		8	Protegido contra largos periodos de inmersión bajo presión	8	

Fig. 3.9.- Tabla de Grados IP. Manual Estándares de protección IP y Nema.

Así pues, una vez definidas todas las características con las que debe de contar el equipo nos podemos referir a las diferentes guías de selección que nos brindan los múltiples fabricantes de variadores de velocidad que existen en el mercado.

En estas guías de selección encontraremos las características principales de dichos equipos dependiendo de la marca, y así encontrar el que más se acerque a lo que realmente necesitamos.

3.4.- CORRECTA INSTALACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Una parte que es de vital importancia para el buen funcionamiento de nuestro sistema, es una correcta instalación del variador de velocidad, ya que si no lo hacemos bien, nos puede causar diversos problemas.

A continuación describiremos las principales consideraciones que debemos tener en cuenta a la hora de instalar un variador de velocidad que opere bajo el algoritmo de control PWM.

3.4.1.- CABLEADO

A la hora de realizar el cableado de un variador de velocidad, ya sea de alimentación, de fuerza o de control, debemos considerar una variedad de criterios al realizar su selección, los cuales mencionaremos a continuación.

3.4.1.1.- ENTORNO

Es indispensable conocer las características del lugar donde será instalado el equipo, ya que las condiciones ambientales cambian según el tipo de industria y la ubicación de la misma.

Para ello existen una gran variedad de materiales con los cuales se fabrica el cable, lo que nos puede proporcionar diferentes rangos de temperatura de operación, diferente resistencia a la humedad o incluso a diferentes tipos de productos químicos o corrosivos.

3.4.1.2.- CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Dentro de las necesidades mecánicas con las que debe cumplir el cable se encuentran la flexibilidad, la geometría, el blindaje y la resistencia a la compresión.

Con geometría nos referimos a la relación física de separación y orientación entre los conductores individuales, ya que un cable que mantiene esta relación fija o también llamado de geometría fija, no ofrece mejoras en cuanto a la reducción del ruido de acoplamiento cruzado y a la fatiga del aislamiento.

Dentro de los cables de geometría física podemos encontrar cables sin blindaje, blindados y apantallados, los cuales dependiendo las características de nuestra instalación, van a brindarnos diferentes ventajas.

Los cables sin blindaje son una opción económica para instalaciones donde el ruido eléctrico que genera el variador no interfiere con la operación de otros equipos o dispositivos que puedan ser sensibles a esto, los cuales principalmente son dedicados a la instrumentación.

El cable blindado es conocido debido a que cuenta con un blindaje trenzado de cobre con el cual podemos contener en gran medida el ruido eléctrico generado por el variador de velocidad. Este tipo de cables es recomendado en instalaciones donde cuenten con equipo sensible a éste fenómeno, o bien en instalaciones donde se cuente con un gran número de variadores.

En algunos casos, este tipo de cables también nos pueden ayudar a reducir la tensión eléctrica en el eje y las corrientes inducidas en los cojinetes, así como aumentar la distancia máxima permitida entre el motor y el variador.

El cable apantallado cuenta con un blindaje de aluminio continuo y generalmente es recomendado en aplicaciones industriales muy específicas, ya que además de las ventajas que ofrece uno blindado, éste ofrece una mayor resistencia mecánica y de humedad.

3.4.1.3.- CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

En estas podemos encontrar la corriente de carga o capacitancia del cable, la resistencia que ofrece a la caída de tensión, así como la clasificación de corriente y aislamiento.

Este último es de vital importancia, debido a que por el modo de funcionamiento de los variadores de velocidad que operan bajo el algoritmo de PWM, éstos pueden crear voltajes muy por encima del voltaje de línea y llegar a dañar el aislamiento de los conductores si éste no es el adecuado, además de la creación de ruido eléctrico.

El calibre apropiado es determinado en función de la corriente nominal para la que está diseñado el variador, así como las limitaciones físicas de las terminales de conexión. Cada variador dentro de sus especificaciones técnicas, debe de indicar el calibre máximo y mínimo de los conductores según sea su capacidad.

Para determinar el número de conductores nos podemos basar en los códigos eléctricos vigentes, ya sean locales o nacionales; también nos podemos basar en algunas guías que ofrecen los diferentes fabricantes de variadores de velocidad, donde nos recomiendan las configuraciones dependiendo de la capacidad del equipo.

Por ejemplo, el fabricante Allen Bradley en su manual de “Pautas de Cableado y conexión a tierra para variadores de velocidad de CA con modulación de impulsos en anchura” nos recomienda que para variadores de capacidades menores a los 200 hp se utilice cable con un solo conductor de tierra, mientras que para variadores de más de 200 hp, recomienda utilizar cable con tres conductores de tierra separados de manera simétrica alrededor de los conductores de alimentación eléctrica.

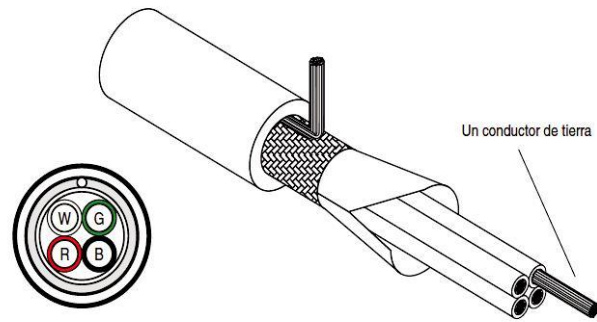


Fig. 3.10.- Cable con un conductor de tierra.

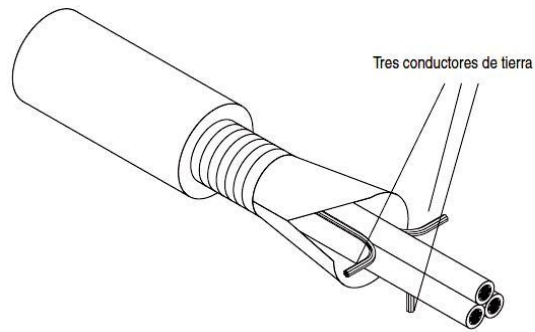


Fig. 3.11.- Cable con tres conductores de tierra.

3.4.2.- ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

El tipo de transformador, así como la configuración y capacidad que alimenta a un variador de velocidad es muy importante, ya que de ello dependerá las ventajas que podemos obtener de las diferente configuraciones.

El tipo de transformador más comúnmente utilizado es el de tipo Delta Estrella con el neutro en estrella conectado a tierra.

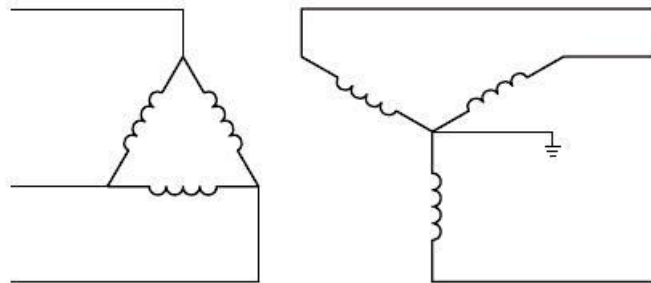


Fig. 3.12.- ESQUEMA DE TRANSFORMADOR DELTA/ESTRELLA CON NEUTRO EN ESTRELLA CONECTADO ATIERRA.

Este tipo de transformador proporciona un desplazamiento de fase de 30 grados y el neutro en estrella conectado a la tierra proporciona una trayectoria directa y controlada para las corrientes de modo común causadas por el variador, otra ventaja es que proporciona una referencia uniforme de voltaje entre línea y tierra, lo que hace que se minimice la fatiga del aislamiento de los conductores.

Otra cuestión importante a considerar es la impedancia que debe de tener el variador en el lado de la línea, ya que el equipo se puede ver afectado e incluso dañado por perturbaciones de línea o por fallos a tierra, ya que éstos pueden llegar a generar corrientes excesivas.

En varias instalaciones, esta impedancia puede provenir de los cables de alimentación o del propio transformador, sin embargo en muchas ocasiones esta no es suficiente y se tiene que considerar instalar impedancias adicionales frente a los variadores de velocidad, ya sea mediante un transformador o un reactor de línea.

Esto lo tenemos que hacer cuando se cuenta con correctores de factor de potencia conmutados en el sitio de la instalación, cuando se está sometido de manera continua a tormentas eléctricas o picos de voltaje mayores a 6000V, cuando se presentan cortes de alimentación eléctrica de manera constante o bien cuando el transformador que alimenta al variador es demasiado grande con respecto a la capacidad del variador.

Estos reactores de línea pueden seleccionarse en base a la capacidad del drive y con cierto porcentaje de impedancia con respecto a la del variador. Normalmente cada fabricante de estos equipos nos proporciona tablas de referencia para realizar la correcta selección de los equipos.

3.4.3.- CONEXIÓN A TIERRA

Existen dos razones principales por las cuales debemos realizar una conexión a tierra de nuestros variadores de velocidad: seguridad y reducción del ruido.

Un esquema o producto conectado a tierra de manera eficaz está “intencionalmente conectado a tierra física mediante una o más conexiones a tierra de impedancia suficientemente baja y con suficiente capacidad de transporte de corriente

para evitar la acumulación de voltajes que puedan ser peligrosos para el equipo conectado o para las personas” (según se define en el Código eléctrico nacional de EE.UU.NFPA70, Artículo 100B, citado en la publicación de Allen Bradley DRIVES-IN001K-ES-P – Mayo de 2010, pág. 3-1).

La mayoría de los equipos ya cuenta con terminales específicas para la conexión de la tierra de seguridad o PE (tierra física de protección)

Existen diferentes modos de realizar una buena conexión a tierra, y las cuales dependerán de las características y componentes del esquema, ya que cada uno implica diferentes costos y se debe evaluar si éstos son necesarios para la correcta operación de todos los componentes del sistema.

Dentro de los diferentes tipos de conexión a tierra que recomiendan los fabricantes de variadores de velocidad encontramos tres tipos de prácticas: aceptables, eficaces y óptimas.

3.4.3.1.- PRÁCTICAS ACEPTABLES DE CONEXIÓN A TIERRA

Este tipo de conexión es aceptable para una instalación con un solo variador de velocidad, donde utilizamos una canaleta a la salida del variador para poder crear una ruta de baja impedancia para el ruido de alta frecuencia generado por el variador, más sin embargo puede que ésta no ofrezca el trayecto e más baja impedancia, ya que si ésta llega a hacer contacto con el acero del edificio puede que éste último ofrezca la ruta de menor impedancia y permita que radique ruido en la rejilla de tierra.

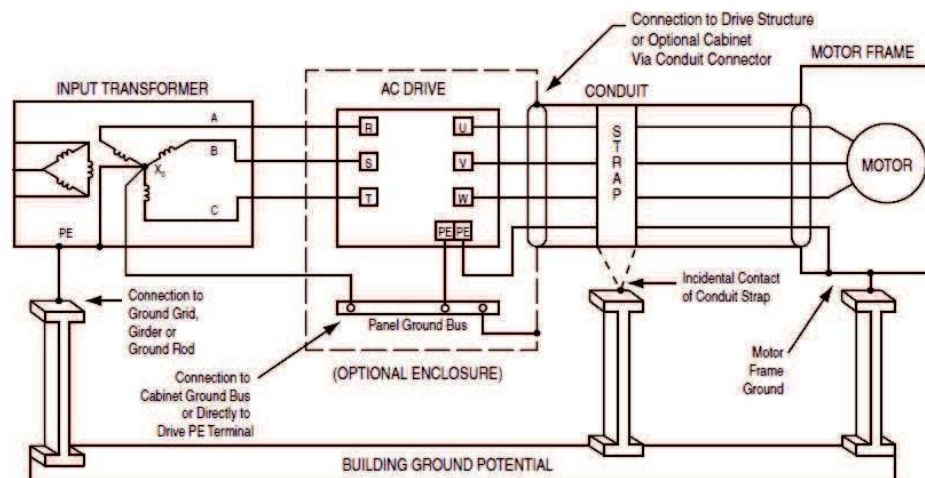


Fig. 3.13.- Prácticas aceptables de conexión a tierra.

3.4.3.2.- PRÁCTICAS EFICACES DE CONEXIÓN A TIERRA

En este esquema se reemplaza la canaleta por cable blindado o apantallado con forro de PVC, lo cual evita el contacto accidental con el acero del edificio creando así una ruta segura para el ruido.

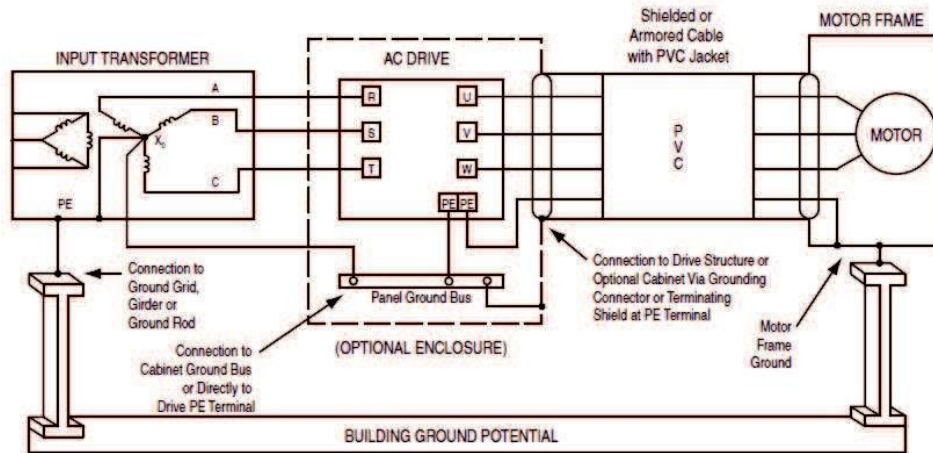


Fig. 3.14.- Prácticas eficaces de conexión a tierra.

3.4.3.3.- Prácticas óptimas de conexión a tierra

Este esquema proporciona la mejor contención del ruido de modo común, ya que utiliza cable blindado con forro de PVC tanto a la entrada como a la salida del variador de velocidad.

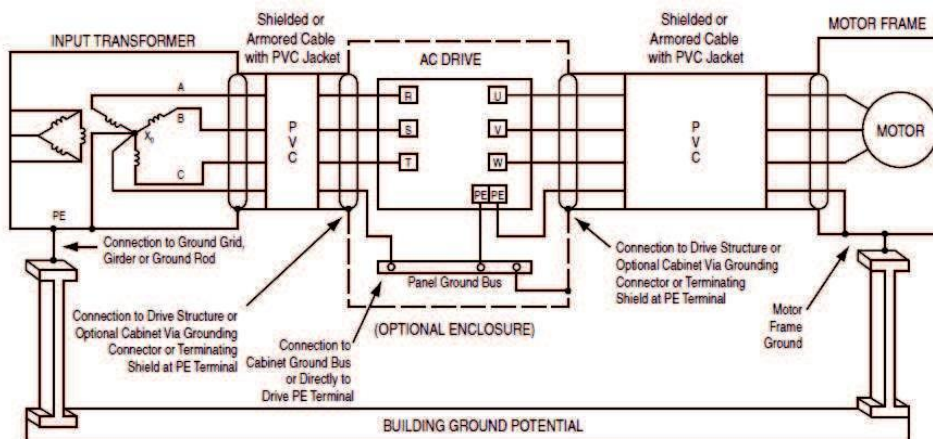


Fig. 3.15.- Prácticas eficaces de conexión a tierra.

3.4.4.- Onda reflejada

Uno de los fenómenos provocados por los variadores de velocidad en el conocido

como onda reflejada, el cual puede llegar a dañar el aislamiento del motor y provocar un efecto corona en el mismo.

“La sección del inversor de un variador no produce voltaje sinusoidal, sino una serie de impulsos de voltaje creados desde el bus de CC. Estos impulsos se desplazan por los cables del motor hasta el motor. Posteriormente los impulsos son reflejados de vuelta al variador. La reflexión depende del tiempo de elevación del voltaje de salida del variador, las características del cable, la longitud del cable y la impedancia del motor. Si la reflexión del voltaje se combina con otra, los impulsos subsiguientes o voltajes pico pueden alcanzar un nivel destructivo. Una sola salida del variador IGBT puede tener tensiones de voltaje transiente de onda reflejada de hasta dos veces (2 pu o por unidad) el voltaje del bus de CC entre sus propios conductores de salida” (DRIVES-IN001K-ES-P – Mayo de 2010, pag. 5-1. Rockwell Automation).

Para evitar que este fenómeno pueda dañar al motor, existen varias alternativas que podemos utilizar, como es limitar la longitud de los cables desde el variador hasta el motor, o bien la instalación de equipo adicional que nos pueden ayudar a mitigar estos picos de voltaje como lo son resistencias de amortiguamiento o resistencias con capacitores sincronizados, los cuales cada fabricante de variadores de velocidad nos especifica en sus fichas técnicas.

CAPITULO 4

IMPLEMENTACION DEL PROYECTO

4.1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

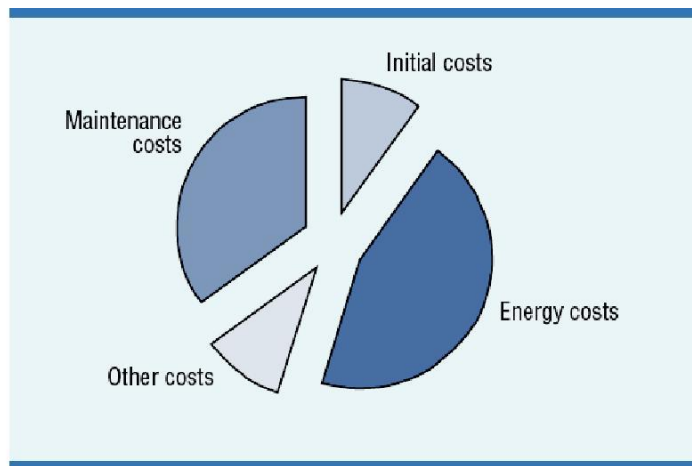
En toda industria se cuenta con procesos los cuales requieren de cierta cantidad de algún líquido para poder llevarse a cabo, y en la mayoría de esos casos el líquido se trata de agua.

Es de vital importancia que la cantidad de los componentes en dichos procesos sea la adecuada, ya que de lo contrario, el producto puede resultar ser inservible a sus fines.

Actualmente en una industria alimenticia se tiene que realizar una mezcla de materias primas con una cantidad definida de agua para la obtención de un producto que, posteriormente pasará por un proceso final para la obtención del producto terminado.

Para la realización de la mezcla mencionada anteriormente se debe de utilizar cierta cantidad de agua, la cual es bombeada desde el tanque de suministro hasta una mezcladora donde se irán añadiendo los demás ingredientes.

Esta será nuestra área de oportunidad para realizar un proyecto de ahorro de energía, ya que el sistema cuenta con bombas de tipo centrífugas y válvulas en las tuberías de descarga para poder modular la cantidad de flujo dependiendo de la cantidad de producto que se pretende obtener y como lo podemos observar en la fig. 4.1, la mayor parte de los costos generados por una bomba centrífuga a lo largo de su vida útil, es por su consumo eléctrico.



Office of Industrial Technologies
Energy Efficiency and Renewable Energy
U.S. Department of Energy

Hydraulic Institute



Europump



Fig. 4.1.- Costos típicos de una bomba centrífuga industrial de mediana capacidad a lo largo de su vida útil.

Si nos enfocamos en el consumo energético, podemos obtener un gran ahorro dentro de dichos costos, lo que hará que podamos obtener el mayor beneficio de nuestros sistemas con la implementación de los equipos correctos.

El sistema de bombeo al que nos referimos cuenta con 4 bombas de 25 hp cada una, las cuales están alimentadas a 480 VAC, y las cuatro bombas son arrancadas a tensión plena por medio de contactores alojados en un gabinete dentro de un cuarto de control a una distancia de 85 mts de los motores.

El transformador que los alimenta es de 30 KVA y además de alimentar a estos equipos, también alimenta diferentes tableros dentro de la planta, siendo estas cargas lineales y no lineales combinadas.

La corriente nominal es de 30 A, el factor de servicio es de 1.15, el aislamiento es clase F y 1750 RPM.

Las válvulas de estrangulamiento a la salida del sistema están operando al 80% y 60% de su apertura según la cantidad de mezcla a producir, es decir que no estamos utilizando entre 20% y el 40% del líquido que la bomba está enviando.

La bomba tiene un impulsor de 14 pulgadas, una capacidad de bombeo de 1200 Gpm, un cabezal de 63 pies y una eficiencia del 76% según datos tomados de sus curvas, la cual podemos observar en la siguiente figura.45

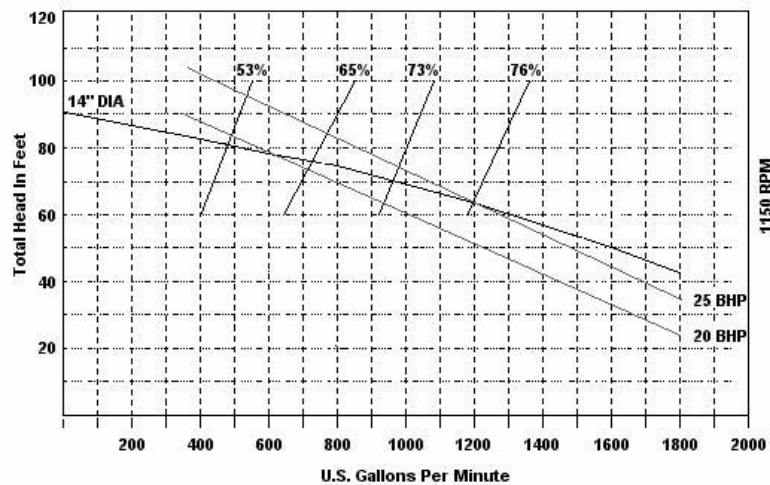


Fig. 4.2.- Curva característica de una bomba centrífuga de 25Hp.

Si aplicamos las formulas mencionadas en el capítulo 2, y sabiendo que la gravedad específica del agua es 1.0, podemos determinar el cabezal y la potencia demandada por la bomba a diferentes flujos, los cuales son los utilizados dentro de nuestro proceso.

$$\text{Water HP} = \text{Flow} \times \frac{\text{Head}}{3960} \quad \text{Brake HP} = \frac{\text{Water HP}}{\text{Pump Efficiency}}$$

Fig. 4.3.- Publicación 1300-DEH-10 – Abril 2004, pag. 90

Aplicando estas fórmulas a los diferentes flujos a los que operan las válvulas (80% y 60%) podemos obtener los diferentes valores de potencia real consumida por la bomba para cada uno de ellos.

Para el 100% del flujo:

$$\text{Water HP} = 1200 \times \frac{63}{3960} = 19.09$$

$$\text{Brake HP} = \frac{19.09}{0.76} = 25 \text{ Hp}$$

Para el 80% del flujo:

$$\text{Water HP} = 960 \times \frac{70}{3960} = 16.97$$

$$\text{Brake HP} = \frac{16.97}{0.73} = 23 \text{ Hp}$$

Para el 60% del flujo:

$$\text{Water HP} = 720 \times \frac{76}{3960} = 13.82$$

$$\text{Brake HP} = \frac{13.82}{0.65} = 21 \text{ Hp}$$

4.2.- EQUIPOS PROPUESTOS

Debido a que nuestra aplicación es de par variable, el tipo de control con el cual debe de contar nuestro variador y que es el más útil en estos casos es el Volts por Hertz, ya que la respuesta dinámica no es tan precisa, no tendremos problemas con el comportamiento de la corriente por tratar de mantener la velocidad comandada.

Como se trata de un proyecto de ahorro de energía, se debe de buscar que el retorno de inversión sea en el menor tiempo posible, así que para ello, tanto el variador y los componentes deben de ser del menor costo posible pero sin sacrificar la calidad y funcionalidad de los mismos.

Así también solo necesitaremos que el equipo cuente con 2 entradas digitales para poder realizar el cableado de las señales de arranque y paro, una entrada análoga de voltaje para cablear nuestra referencia de velocidad la cual será un potenciómetro de 0 a 10 V y dos salidas digitales, las cuales nos van a indicar si el equipo está listo para operar y la otra para indicar que el equipo se encuentra en fallo.

El variador de velocidad debe de ser sencillo de programar y refaccionar en caso de que se llegue a dañar, así como contar con algún software con el cual nos podamos apoyar para realizar su programación y respaldo de los parámetros modificados, lo cual hará que podamos obtener el mayor provecho de ellos.

Los equipos quedarán instalados en el mismo gabinete, así que lo estaremos reutilizando, sin embargo esto hace que se tenga la necesidad de buscar un equipo compacto para no tener problemas de espacio.

Debido a que la capacidad del transformador que alimentará a estos variadores es demasiado grande con respecto a su capacidad, se recomienda que le sea instalada una impedancia frente a ellos para protegerlos contra transitorios.

Otro aspecto que debemos de tomar en cuenta es la distancia que existe entre los variadores y los motores, ya que esta es demasiado grande, debemos de considerar algún accesorio para proteger a nuestro motor contra la onda reflejada.

El tipo de cable que podemos utilizar es del tipo normal o del tipo variador apantallado, debido a que no se cuenta con equipo sensible al ruido electromagnético, éste no será problema y con una buena puesta a tierra podemos evitar estos problemas.

Basándonos en todo lo anterior y revisando las especificaciones técnicas de los diferentes fabricantes de variadores de velocidad, hemos seleccionado la marca Allen Bradley por su calidad, funcionalidad, respaldo y bajo costo. El modelo seleccionado es el PowerFlex 525.

Dicho Variador es de última generación y cubre con todos los requisitos previamente mencionados, además de varias ventajas de las cuales podemos sacar más provecho.

El modelo seleccionado es el catálogo 25B-D037N114 para 25Hp a 480VAC trifásico, capaz de manejar una corriente nominal de 37 A continuos para aplicaciones de par variable, el cual incluye un filtro interno para la reducción de ruido y un encerramiento tipo IP20, el cual es ideal para ser instalado dentro de algún gabinete dentro de un cuarto de control como se tiene en nuestra aplicación.

Para evitar el fenómeno de onda reflejada se eligió un terminador de línea con catálogo 1204-TFB2, el cual aplica para variadores de 5 a 600 Hp y va conectado en paralelo con las terminales del motor, este equipo ya cuenta con el cable adecuado para su instalación.

Con respecto a la impedancia de línea que debe llevar el variador frente a él, seleccionamos un reactor de línea con catálogo 1321-3R35-B, el cual es del 3% con respecto a la impedancia del variador y que hará que éste último quede protegido contra disturbios eléctricos del lado de la línea.

Los fusibles los podemos calcular de manera rápida multiplicando la corriente nominal soportada por el variador de manera continua por 1.8, ya que esta es la forma que la mayoría de los fabricantes nos lo recomiendan. Estos equipos no los consideraremos dentro de la propuesta debido a que no representan un costo significativo, así como también la botonería utilizada para las señales digitales y análogos que tendrá el variador.

En la tabla siguiente se puede encontrar el listado de materiales que debemos considerar para llevar a cabo nuestro proyecto de ahorro de energía.

Artículo	Product	Cantidad
1	25B-D037N114 <i>PowerFlex 525, 480 VAC, 3 Phase, 37 Amps, Frame E, IP20 NEMA / Open Type, Filter</i>	4
2	1204-TFB2 <i>TERMINADOR, 380-600V, 1.5-600KW, 2KHZ, IP65</i>	4
3	1321-3R35-B <i>REACTANCIA DE LÍNEA, 600V, 3PH, 35A, 0.8MH, IP00</i>	4

Tabla. 4.4.- Listado de materiales a utilizar

Las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos se encuentran en el anexo A de este documento.

4.3.- PROGRAMACIÓN DE VARIADOR DE VELOCIDAD.

Una vez instalados los equipos dentro del tablero tomando en cuenta las consideraciones que nos hace el fabricante, se procederá a realizar el cableado tanto de alimentación y fuerza como el de control, para lo cual nos podemos apoyar en los diagramas que nos indica el manual del variador de velocidad.

Habiendo realizado la instalación, se procederá con la programación de variador, para lo cual tenemos varios métodos que podemos realizar dadas las características del equipo seleccionado.

El primero y más tradicional es realizarlo a través de la interfaz de operación del propio variador mediante las teclas de navegación y selección con las que cuenta, seleccionando del manual de usuario los parámetros que vamos a utilizar para poder llevar a cabo la puesta en marcha del equipo según nuestra aplicación.



Fig. 4.5.- Interfaz de operación local del variador PowerFlex523.

Una de las ventajas que se encontró en este variador en referencia a la programación, es que ya cuenta con carpetas específicas de diferentes aplicaciones pre cargadas de manera interna con los parámetros necesarios para una puesta en marcha sencilla y rápida como lo podemos ver en la figura 4.5

Centrifugal Pump	Motor OL Current	P033 Start Source 1	P046 Anlg In4-20mA Hi	t096 PID 1 Diff Rate	A463
	Motor NP FLA	P034 Speed Reference1	P047 Anlg In mA Loss	t097 PID 1 Setpoint	A464
	Motor NP Poles	P035 Relay Out1 Sel	t076 Preset Freq 0	A410 PID 1 Deadband	A465
	Autotune	P040 Analog Out Sel	t088 PID 1 Trim Hi	A456 PID 1 Preload	A466
Language	P030 Accel Time 1	P041 Analog Out High	t089 PID 1 Trim Lo	A457 Auto Rstrt Tries	A541
Output Freq	b001 Decel Time 1	P042 Anlg Out Setpt	t090 PID 1 Ref Sel	A459 Auto Rstrt Delay	A542
Commanded Freq	b002 Minimum Freq	P043 Anlg In 0-10V Lo	t091 PID 1 Fdback Sel	A460 Start At PowerUp	A543
Motor NP Volts	P031 Maximum Freq	P044 Anlg In 0-10V Hi	t092 PID 1 Prop Gain	A461 Reverse Disable	A544
Motor NP Hertz	P032 Stop Mode	P045 Anlg In4-20mA Lo	t095 PID 1 Integ Time	A462	

Fig. 4.6.- Carpeta de parámetros específica para aplicaciones de bombas centrífugas.

Como se muestra, en esta carpeta están los parámetros que debemos de modificar en base a los datos de placa de nuestro motor y a las características de operación de nuestra aplicación para que ésta pueda funcionar de manera óptima.

Una vez modificados todos los parámetros ahí contenidos, nuestro equipo está listo para comenzar a operar.

La otra opción que tenemos para realizar la programación del variador es por medio de un software que el fabricante Allen Bradley nos brinda de manera gratuita y que cuenta con asistentes de puesta en marcha que nos ayudarán a realizar la programación de manera correcta y sencilla.

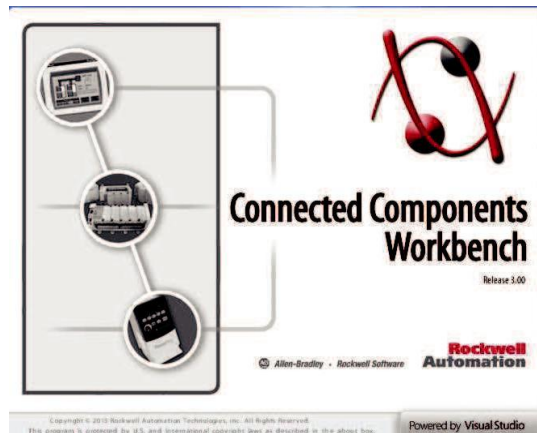


Fig. 4.7.-Software Connected Components Workbench (CCW) de Rockwell Automation

Para realizar la programación a través de este software, primeramente conectaremos la laptop al equipo por medio del puerto Ethernet que tiene incluido, posteriormente abriremos el software y mediante la carpeta de búsqueda de redes activas seleccionaremos el variador para conectarnos a él.

Una vez que estemos en línea con el variador podremos acceder a todos sus parámetros y al asistente de puesta en marcha para su configuración.

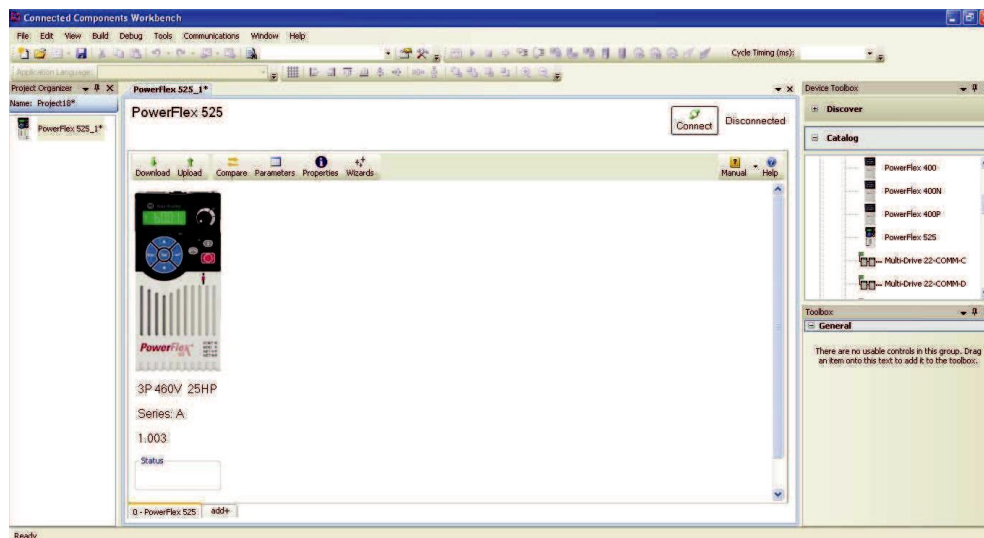


Fig. 4.8.- Equipo conectado mediante el software CCW

Inmediatamente daremos clic en el icono de wizards para que se desplieguen las opciones de asistentes depuesta en marcha.

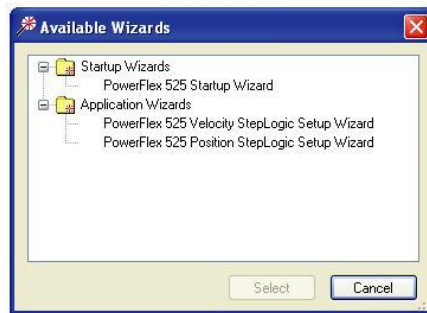


Fig. 4.9.- Asistentes disponibles para el drive PowerFlex 525

Seleccionaremos la opción de asistente de arranque o Startup Wizard por su traducción al inglés, con lo cual comenzaremos a realizar una serie de pasos que nos irá desplegando para solicitarnos los datos necesarios hasta terminar de manera correcta nuestra programación.



Fig. 4.10.- Asistente de puesta en marcha para Powerflex 525

Una vez terminando de ingresar los datos solicitados, la carpeta de parámetros para bombas centrífugas mencionada anteriormente, quedaría programada con los valores que se muestran a continuación.

#	Name	Value	Units	Internal Value	Default	Min	Max
1	Output Freq	0.00	Hz	0	0.00	0.00	500.00
2	Commanded Freq	0.00	Hz	0	0.00	0.00	500.00
30	Language	Spanish		3	English	1	15
31	Motor NP Volts	460	V	460	460	20	460
32	Motor NP Hertz	60	Hz	60	60	15	500
33	Motor OL Current	37.0	A	370	37.0	0.0	74.0
34	Motor NP FLA	30.0	A	300	27.1	0.1	74.0
35	Motor NP Poles	4		4	4	2	40
40	Autotune	Ready/Idle		0	Ready/Idle	0	2
41	Accel Time 1	5.00	Sec	500	10.00	0.00	600.00
42	Decel Time 1	5.00	Sec	500	10.00	0.00	600.00
43	Minimum Freq	0.00	Hz	0	0.00	0.00	500.00
44	Maximum Freq	60.00	Hz	6000	60.00	0.00	500.00
45	Stop Mode	Ramp, CF		0	Ramp, CF	0	11
46	Start Source 1	DigIn TrmBlk		2	Keypad	1	5
47	Speed Reference1	0-10V input		5	Drive Pot	1	16
76	Relay Out1 Sel	Ready/Fault		0	Ready/Fault	0	29
88	Analog Out Sel	OutFreq 0-10		0	OutFreq 0-10	0	23
89	Analog Out High	100	%	100	100	0	800
90	Anlg Out Setpt	0.0	%	0	0.0	0.0	100.0
91	Anlg In 0-10V Lo	0.0	%	0	0.0	0.0	200.0
92	Anlg In 0-10V Hi	100.0	%	1000	100.0	0.0	200.0
95	Anlg In4-20mA Lo	0.0	%	0	0.0	0.0	200.0
96	Anlg In4-20mA Hi	100.0	%	1000	100.0	0.0	200.0
97	Anlg In mA Loss	Disabled		0	Disabled	0	8
410	Preset Freq 0	0.00	Hz	0	0.00	0.00	500.00
456	PID 1 Trim Hi	60.0	Hz	600	60.0	0.0	500.0
457	PID 1 Trim Lo	0.0	Hz	0	0.0	0.0	500.0
459	PID 1 Ref Sel	PID Setpoint		0	PID Setpoint	0	13
460	PID 1 Fdback Sel	0-10V Input		0	0-10V Input	0	6
461	PID 1 Prop Gain	0.01		1	0.01	0.00	99.99
462	PID 1 Integ Time	2.0	Sec	20	2.0	0.0	999.9

463	PID 1 Diff Rate	0.00	1/s	0	0.00	0.00	99.99
464	PID 1 Setpoint	0.0	%	0	0.0	0.0	100.0
465	PID 1 Deadband	0.0	%	0	0.0	0.0	10.0
466	PID 1 Preload	0.0	Hz	0	0.0	0.0	500.0
541	Auto Rstrt Tries	0		0	0	0	9
542	Auto Rstrt Delay	1.0	Sec	10	1.0	0.0	120.0
543	Start At PowerUp	Disabled		0	Disabled	0	1
544	Reverse Disable	Rev Enabled		0	Rev Enabled	0	1

Fig. 4.11.- Parámetros modificados mediante el software CCW

Posteriormente guardaremos un respaldo de la programación en nuestra computadora, lo que nos permitirá conectar el siguiente variador y descargarle dicho archivo, ya que tanto la aplicación y los datos del motor son los mismos para las cuatro bombas. Esto nos permitirá arrancar los equipos en un tiempo menor al estimado y no generar pérdidas por retrasos en la puesta en marcha de los equipos.

Finalmente se procederá a realizar las pruebas necesarias para cerciorarnos de que el equipo arranca mediante los botones instalados en la puerta del tablero y que la referencia de velocidad se la dará el potenciómetro que tenemos cableado al equipo.

4.4.- CALCULO DE AHORRO DE ENERGÍA

En este paso lo que se hará es por medio del potenciómetro ir bajando la velocidad del motor para bajar el flujo en la tubería de descarga hasta obtener el 80% y el 60% dependiendo lo que se requiera en ese momento en cada una de las tuberías.

Para saber la potencia que ahora estará consumiendo el motor con la implementación del variador tomando en cuenta que tenemos los mismos flujos a la salida de la tubería de descarga, podemos aplicar las leyes de afinidad que se mencionaron en capítulos anteriores y nos daremos cuenta de que el ahorro en comparación con el sistema anterior es muy grande.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad \frac{HP_2}{HP_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

Fig. 4.12.- Leyes de afinidad para sistemas centrífugos.

Dónde:

Q= Flujo

N = Velocidad de la Bomba

P = Presión

HP = Potencia de la Bomba

Aplicando los mismos perfiles de carga que con las válvulas y sustituyendo los datos podemos obtener la potencia real consumida en cada uno de los diferentes puntos de operación.

Para el 80% del flujo:

$$\frac{960}{1200} = \frac{80}{100} \quad HP2 = \left[\frac{80}{100} \right]^3 \times 25 \quad HP2 = 12.8$$

Para el 60% del flujo:

$$\frac{720}{1200} = \frac{60}{100} \quad HP2 = \left[\frac{60}{100} \right]^3 \times 25 \quad HP2 = 5.4$$

Como se puede observar, el consumo real en HP de la bomba baja de manera considerable cuando se modula el flujo mediante un variador con respecto a una válvula.

Así también para calcular ya de manera real y traducido a pesos el ahorro que vamos a obtener, nos apoyaremos en archivos creados para determinar el retorno de inversión, así como el ahorro obtenido dependiendo las características de operación de los sistemas a comparar, para lo cual debemos conocer de cada una de las bombas el tiempo que operan al año y el porcentaje de flujo que 55 estaremos manejando en

dicho tiempo, las tarifas del Kw/h de CFE para la zona industria donde se está realizando la implementación del proyecto.

Ingresando todos estos datos en el archivo, podremos conocer un estimado en pesos de lo que nos estaremos ahorrando en el consumo eléctrico de esas cuatro bombas con la instalación de los variadores.

Finalmente se establecerá un aproximado del costo de los equipos, así como de instalación para poder conocer en cuanto tiempo se recuperará la inversión realizada.

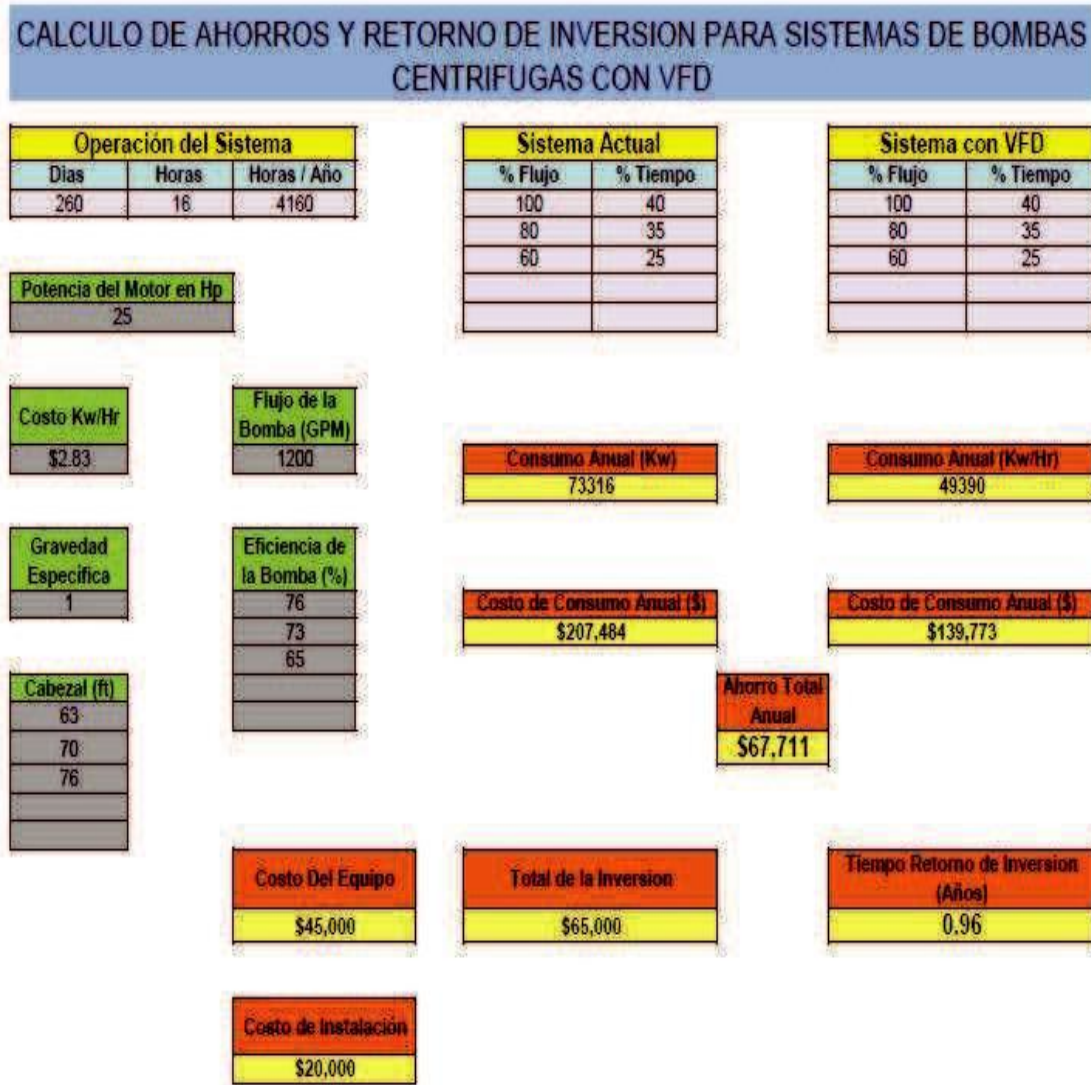


Fig. 4.13.- Calculo de Ahorro de Energía y Retorno de Inversión para Bombas Centrifugas.

CONCLUSIONES

Como puede observarse a lo largo del trabajo, día a día se van innovando productos que nos pueden ayudar a tener sistemas mucho más sencillos, confiables, útiles y económicos para su operación.

Uno de ellos son los variadores de velocidad, que han venido a beneficiarnos en gran medida en todas nuestras aplicaciones donde el proceso nos permita regular la velocidad.

Además de conseguir una mejor en el sistema debido a la automatización del proceso, se obtienen grandes beneficios en el ahorro de mantenimientos, ya que al operar nuestros motores por medio de variadores reducimos el estrés mecánico generado por los antiguos arrancadores a tensión plena o reducida.

Aunado a esto, los variadores nos permiten una sencilla interacción para poder tener un tiempo de respuesta corto en caso de algún fallo o daño de nuestros equipos involucrados en el sistema, ya que son equipos confiables que continuamente nos están monitoreando las principales variables de nuestro sistema.

Finalmente y lo cual es el enfoque principal de este trabajo, podemos conseguir ahorros importantes en nuestro consumo energético, que como podemos observar en la figura 4.13, se obtiene un ahorro aproximado de \$68,000 pesos por año por equipo, recuperando la inversión de cada uno de los equipos en menos de un año, cuando la vida útil de un variador de velocidad es de 10 años en promedio dependiendo a la carga de trabajo a la cual estará sometido, por lo que nuestro proyecto de ahorro de energía es totalmente rentable, ya que después del primer año, todo el ahorro que se obtenga irá directamente al capital de nuestra empresa, consiguiendo así poder colocarla dentro de las principales en su ramo por la modernidad, el compromiso social en el cuidado de los recursos ambientales y su rentabilidad.

BIBLIOGRAFIA

AC Drives using PWM techniques

Publicación DRIVES-WP002A-EN-P – Junio 2000

Rockwell Automation

Drives Engineering Handbook.

Publicación 1300-DEH-10 – Abril 2004

Rockwell Automation

Energy savings with adjustable frequency drives. Centrifugal Pumps.

Publicación DRIVES-WP010C-EN-P – Marzo 2007

Rockwell Automation

Load Characteristics

Publicación DRIVES-WP008A-EN-P – Marzo 2001

Rockwell Automation

Pautas de cableado y conexión a tierra para variadores de CA con modulación del impulso en anchura (PWM)

Publicación DRIVES-IN001K-ES-P – Mayo de 2010

Rockwell Automation

Straight talk about PWM AC drive harmonic problems and solutions

Publicación DRIVES-WP011C-EN-P – Octubre 2006

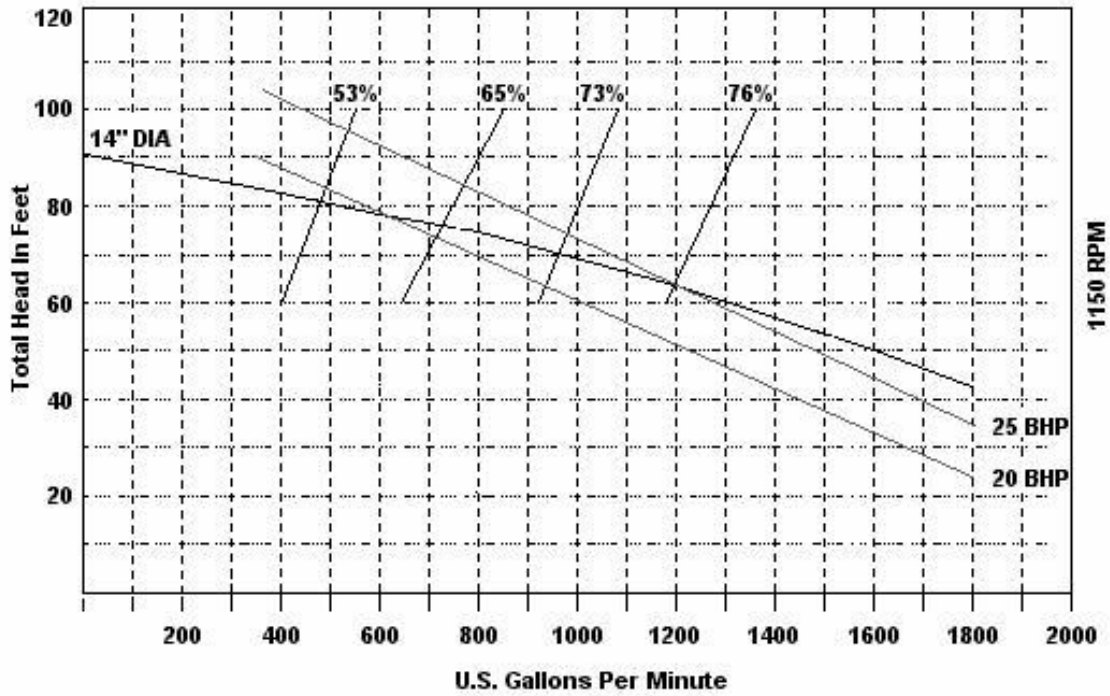
Rockwell Automation

Vargas Pedro. 2005. Bombas centrífugas, operaciones unitarias 1, disponible en

www.operaciones1.wordpress.com (consulta: Febrero 2013)

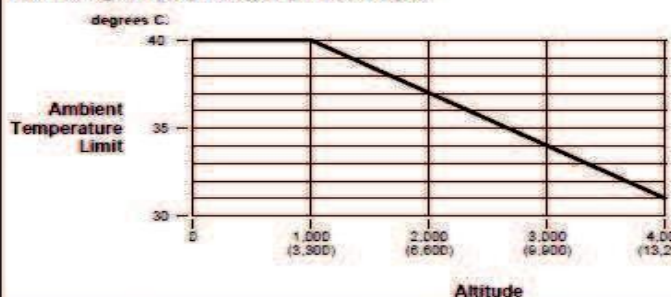
ANEXO A

Curva de una Bomba Centrífuga de 25 Hp con impulsor de 14 pulg.



Especificaciones técnicas de los equipos propuestos.

Terminador Catálogo: 1204-TFB2

Category	Specifications
Input power	380-600V, Three-Phase
Maximum Drive Carrier Frequency ¹	TFA1 – 6 kHz TFB2 – 2 kHz Refer to "Drive Programming" on page 9 for additional information.
Ambient temperature	0-40 degrees C (32-104 degrees F)
Humidity	5-95% non-condensing
Atmosphere	Atmosphere should not contain hazardous (volatile) dust, vapor, gas, or liquid.
Heat dissipation ¹	Refer to the heat dissipation table below.
Enclosure type	IP65 (NEMA Type 4x)
Agency certification	U.L., C-UL
Altitude derating	Full rating 0-1000 meters (0-3280 feet) 

¹ The drive PWM carrier frequency that you choose affects the heat dissipation and the surface temperature of the terminator.

Reactor de Línea Catálogo: 1321-3R35-B

Specification	Rating
Material	Enclosures
	Terminations
Harmonic Compensation	All line reactors are compensated for the additional currents and high frequencies caused by the presence of harmonics
General Protection	Impedance
	Overload Rating
IGBT Protection	First turn triple insulated offering protection up to 16kV
Electrical	Max. Rated Voltage
	Max. Switching Freq.
	Temperature Rise
	Dielectric Strength
	Inductance Curve
	Insulation System
Environmental	Impregnation
	Ambient Temperature
	U.L. Listed
	International
	CE

Technical Specifications







Category	Specifications	
Protection	Bus Overvoltage Trip	
	100...120V AC Input:	405V DC bus (equivalent to 150V AC incoming line)
	200...240V AC Input:	405V DC bus (equivalent to 290V AC incoming line)
	380...480V AC Input:	810V DC bus (equivalent to 575V AC incoming line)
	525...600V AC Input:	1005V DC bus (equivalent to 711V AC incoming line)
	Bus Undervoltage Trip	
	100...120V AC Input:	190V DC bus (equivalent to 75V AC incoming line)
	200...240V AC Input:	190V DC bus (equivalent to 150V AC incoming line)
	380...480V AC Input:	390V DC bus (equivalent to 275V AC incoming line)
	525...600V AC Input	
P038 = 3 "600V":	487V DC bus (equivalent to 344V AC incoming line)	
P038 = 2 "480V":	390V DC bus (equivalent to 275V AC incoming line)	
Power Ride-Thru:	100 ms	
Logic Control Ride-Thru:	0.5 s minimum, 2 s typical	
Electronic Motor Overload Protection:	I ² t protection – 150% for 60 s, 200% for 3 s (Provides Class 10 protection)	
Overcurrent:	200% hardware limit, 300% instantaneous fault	
Ground Fault Trip:	Phase-to-ground on drive output	
Short Circuit Trip:	Phase-to-phase on drive output	
Electrical	Voltage Tolerance:	-15% / +10%
	Frequency Tolerance:	47...63 Hz
	Input Phases:	Three-phase input provides full rating. Single-phase input provides 35% rating on three-phase drives.
	Displacement Power Factor:	0.98 across entire speed range
	Maximum Short Circuit Rating:	100,000 Amps Symmetrical
	Actual Short Circuit Rating:	Determined by AIC Rating of installed fuse/circuit breaker
	Transistor Type:	Isolated Gate Bipolar Transistor (IGBT)
Control	Method	Sinusoidal PWM, Volts/Hertz, Sensorless Vector Control, Economizer SVC motor control, and Closed Loop Velocity Vector Control
	Carrier Frequency	2...16 kHz, Drive rating based on 4 kHz
	Frequency Accuracy	
	Digital Input:	Within ±0.05% of set output frequency
	Analog Input:	Within 0.5% of maximum output frequency, 10-Bit resolution
	Analog Output:	±2% of full scale, 10-Bit resolution
	Speed Regulation	
	Open Loop with Slip Compensation:	±1% of base speed across a 80:1 speed range
	With Encoder:	±0.3% of base speed across a 80:1 speed range ±0.05% of base speed across a 20:1 speed range
	Output Voltage Range:	0V to rated motor voltage
	Output Frequency Range:	0...500 Hz (programmable)
Efficiency:	97.5% (typical)	
Stop Modes:	Multiple programmable stop modes including – Ramp, Coast, DC-Brake, and Ramp-to-Stop	
Accel/Decel:	Four independently programmable accel and decel times. Each time may be programmed from 0...600 s in 0.01 s increments.	
Intermittent Overload	Normal and Heavy Duty ratings are available for drives above 15 HP/ 11 kW	
Normal Duty:	110% Overload capability for up to 60 s, 150% for up to 3 s	
Heavy Duty:	150% Overload capability for up to 60 s, 180% for up to 3 s (200% programmable)	

Category	Specifications		
Control Inputs	Digital	Bandwidth:	10 Rad/s for open and closed loop
		Quantity:	(1) Dedicated for stop (6) Programmable
		Current:	6 mA
		Type	Source Mode (SRC): 18...24V = ON, 0...6V = OFF Sink Mode (SNK): 0...6V = ON, 18...24V = OFF
	Analog	Quantity:	(2) Isolated, -10-10V and 4-20mA
	Specification	Resolution:	10-bit
		0-10V DC Analog:	100k ohm input impedance
		4-20 mA Analog:	250 ohm input impedance
		External Pot:	1...10k ohm, 2 W minimum
Encoder	Type:	Incremental, dual channel	
	Supply:	12V, 250 mA	
	Quadrature:	90°, ±27° @ 25 °C	
	Duty Cycle:	50%, +10%	
	Requirements:	Encoders must be line driver type, quadrature (dual channel) or pulse (single channel), 3.5...26V DC output, single-ended or differential and capable of supplying a minimum of 10 mA per channel. Allowable input is DC up to a maximum frequency of 250 kHz. The encoder I/O automatically scales to allow 5V, 12V and 24V DC nominal voltages.	
Control Outputs	Relay	Quantity:	(2) 1 Programmable Form A and 1 Programmable Form B
		Specification	Resistive Rating: 3.0 A @ 30V DC, 3.0 A @ 125V, 3.0 A @ 240V AC Inductive Rating: 0.5 A @ 30V DC, 0.5 A @ 125V, 0.5 A @ 240V AC
	Opto	Quantity:	(2) Programmable
		Specification:	30V DC, 50 mA Non-inductive
	Analog	Quantity:	(1) Non-Isolated 0-10V or 4-20 mA
		Specification	Resolution:
		0-10V DC Analog:	1 k ohm minimum
		4-20 mA Analog:	525 ohm maximum

Environmental Specifications

Category	Specifications																																		
Altitude: Without derating: With derating:	1000 m (3300 ft) max. Up to 4000 m (13,200 ft) max., with the exception of 600V drives at 2000 m (6600 ft) max. See Current Derating Curves on page 16 for derating guidelines.																																		
Surrounding Air Temperature, max. Without derating: With derating:	-20...50 °C (-4...122 °F) -20...60 °C (-4...140 °F) or -20...70 °C (-4...158 °F) with optional Control Module Fan kit. See Current Derating Curves on page 16 for derating guidelines.																																		
Storage Temperature: Frame A...D: Frame E:	-40...85 °C (-40...185 °F) -40...70 °C (-40...158 °F)																																		
Atmosphere:	IMPORTANT Drive must not be installed in an area where the ambient atmosphere contains volatile or corrosive gas, vapors or dust. If the drive is not going to be installed for a period of time, it must be stored in an area where it will not be exposed to a corrosive atmosphere.																																		
Relative Humidity:	0...95% noncondensing																																		
Shock:	Complies with IEC 60068-2-27																																		
Vibration:	Complies with IEC 60068-2-6:1995																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Frame Size</th> <th colspan="2">Operating and Nonoperating</th> <th colspan="2">Nonoperating (Transportation)</th> </tr> <tr> <th>Force (Shock/Vibration)</th> <th>Mounting Type</th> <th>Force (Shock/Vibration)</th> <th>Mounting Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>15 g / 2 g</td> <td>DIN rail or screw</td> <td>30 g / 2.5 g</td> <td>Screw only</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>15 g / 2 g</td> <td>DIN rail or screw</td> <td>30 g / 2.5 g</td> <td>Screw only</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>15 g / 2 g</td> <td>DIN rail or screw</td> <td>30 g / 2.5 g</td> <td>Screw only</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>15 g / 2 g</td> <td>Screw only</td> <td>30 g / 2.5 g</td> <td>Screw only</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>15 g / 1.5 g</td> <td>Screw only</td> <td>30 g / 2.5 g</td> <td>Screw only</td> </tr> </tbody> </table>	Frame Size	Operating and Nonoperating		Nonoperating (Transportation)		Force (Shock/Vibration)	Mounting Type	Force (Shock/Vibration)	Mounting Type	A	15 g / 2 g	DIN rail or screw	30 g / 2.5 g	Screw only	B	15 g / 2 g	DIN rail or screw	30 g / 2.5 g	Screw only	C	15 g / 2 g	DIN rail or screw	30 g / 2.5 g	Screw only	D	15 g / 2 g	Screw only	30 g / 2.5 g	Screw only	E	15 g / 1.5 g	Screw only	30 g / 2.5 g	Screw only
Frame Size	Operating and Nonoperating		Nonoperating (Transportation)																																
	Force (Shock/Vibration)	Mounting Type	Force (Shock/Vibration)	Mounting Type																															
A	15 g / 2 g	DIN rail or screw	30 g / 2.5 g	Screw only																															
B	15 g / 2 g	DIN rail or screw	30 g / 2.5 g	Screw only																															
C	15 g / 2 g	DIN rail or screw	30 g / 2.5 g	Screw only																															
D	15 g / 2 g	Screw only	30 g / 2.5 g	Screw only																															
E	15 g / 1.5 g	Screw only	30 g / 2.5 g	Screw only																															
Conformal Coating:	Complies with: IEC 60721-3-3 to level 3C2 (chemical gases only)																																		
Surrounding Environment Pollution Degree Pollution Degree 1 & 2:	All enclosures acceptable.																																		
Sound Pressure Level (A-weighted) Frame A & B: Frame C: Frame D: Frame E:	Measurements are taken 1 m from the drive. Maximum 53 dBA Maximum 57 dBA Maximum 64 dBA Maximum 68 dBA																																		

Certifications

Certification	PowerFlex 525
c-UL-us 	Listed to UL508C and CAN/CSA-C22.2 No. 14-05.
C-Tick 	Australian Communications and Media Authority In conformity with the following: Radiocommunications Act: 1992 Radiocommunications Standard: 2008 Radiocommunications Labelling Notice: 2008 Standards applied: EN 61800-3:2004
CE 	In conformity with the following European Directives: EMC Directive (2004/108/EC) Low Voltage Directive (2006/95/EC) Standards applied: EN 61800-3:2004 EN 61800-5-1:2007
TÜV 	TÜV Rheinland Standards applied: EN ISO 13849-1:2008 EN ISO 13849-2:2008 EN 61800-5-2:2007 EN 61508 PARTS 1-7:2010 EN 62061:2005 EN 60204-1:2009 Certified to ISO 13849-1 SIL2/PLd with embedded Safe-Torque-Off function Meets Functional Safety (FS) when used with embedded Safe-Torque-Off function
ATEX 	Certified to ATEX directive 94/9/EC Group II Category (2) GD Applications with ATEX Approved Motors
KCC II (2) G D	Korean Registration of Broadcasting and Communications Equipment Compliant with the following standards: Article 58-2 of Radio Waves Act, Clause 3
GOST-R	Russian GOST-R Certificate no. POCC US.ME92.H00040
AC 156	Tested by Trentec to be compliant with AC156 Acceptance Criteria for Seismic Qualification Testing of Nonstructural Components and 2003 International Building Code for worst-case seismic level for USA excluding site class F
EPRI 	Electric Power Research Institute Certified compliant with the following standards: SEMI F47 IEC 61000-4-34
Lloyds Register	Lloyd's Register Type Approval Certificate 12/10068(E1)
RoHS	Compliant with the European "Restriction of Hazardous Substances" Directive

The drive is also designed to meet the appropriate portions of the following specifications:

- NFPA 70 - US National Electrical Code
- NEMA ICS 3.1 - Safety standards for Construction and Guide for Selection, Installation and Operation of Adjustable Speed Drive Systems.
- IEC 146 - International Electrical Code