
VARIACIÓN DE VELOCIDAD EN VENTILADOR DE AIRE DE COMBUSTIÓN

ANTECEDENTES

Cuando los ventiladores y sopladores son operados a velocidad constante y el *output* es controlado por *dampers*, el motor opera cerca de la carga máxima todo el tiempo al margen del *output* suministrado. Gran cantidad de energía es disipada por estos *dampers*. Los sistemas de variación de velocidad permiten la operación óptima del equipo cumpliendo con los requerimientos del sistema.

Los controladores de frecuencia variable son dispositivos complejos y hasta hace poco eran costosos. Sin embargo, trabajan con motores estándar lo cual permiten su fácil adición a unidades motrices existentes. Varios tipos de ventiladores (enfriadores de aire, torres de enfriamiento, ventilación y aire acondicionado, etc.) operan a velocidad variable mediante sistemas de variación de velocidad.

Los sistemas de variación de velocidad alteran la velocidad del motor cambiando el voltaje y la frecuencia de la electricidad suministrada al motor en base a los requerimientos del sistema. Esto se logra convirtiendo corriente alterna en continua, y luego de múltiples mecanismos de cambio, invirtiendo la corriente continua a corriente alterna sintética con voltaje y frecuencia controlados. Si este proceso es realizado en forma apropiada, la velocidad del motor puede ser controlada en un rango amplio (desde cero RPM hasta el doble de la velocidad nominal) con las características de torque apropiadas para la aplicación.

Para mantener un factor de potencia apropiado y reducir calentamiento excesivo del motor, debe mantenerse el ratio de voltaje/frecuencia original. Esta es la función principal del variador de velocidad. Los cuatro componentes principales que hacen posible la operación de los variadores de velocidad son: convertidor, inversor, circuito de corriente continua (que sirve de enlace entre ambos), y la unidad de control, tal como se muestra en la **Fig. 1**.

El convertidor contiene un rectificador y varios circuitos que convierten la frecuencia fija de corriente alterna en continua. El inversor convierte la corriente continua en corriente alterna de voltaje y frecuencia regulables (ambos deben ser regulables para poder mantener ratios de voltaje/frecuencia constante). Los circuitos de corriente continua filtran la corriente y la conducen al inversor. La unidad de control regula el voltaje y la frecuencia de salida en base a la señal proveniente del proceso (ej. sensor de presión). Los tipos principales de inversor son inversores de voltaje, inversores de corriente e inversores de modulación de pulsos.

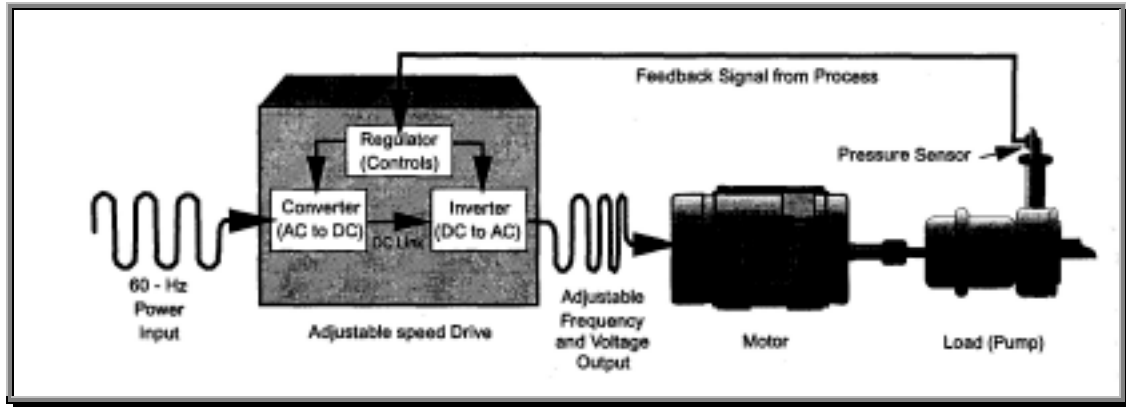


Fig. 1. Sistema Típico de Variación de Velocidad

APLICACIONES

Los sistemas de variación de velocidad ofrecen varios beneficios en términos de ahorro de energía, el cual es logrado mediante la eliminación de pérdidas debido a estrangulamiento, rendimiento y fricción. La aplicación de un sistema de variación de velocidad depende fundamentalmente de la carga y requiere de un sólido conocimiento de las características de la carga para su aplicación exitosa. El tipo de carga (torque constante, torque variable, potencia constante) debe ser determinado así como la fracción de tiempo que el sistema opera (o podría operar) por debajo de la velocidad nominal. La **Fig. 2** ilustra el potencial de ahorro de energía para ventiladores con sistema de variación de velocidad. El ventilador con sistema de variación de velocidad es comparado con ventiladores con control por dampers y con control por álabes directrices. Estas curvas no consideran las características del sistema (altura o presión estática), las cuales deberían incluirse en un análisis detallado. Estas curvas muestran que la cantidad de ahorro a obtener con un sistema de variación de velocidad depende del porcentaje de flujo volumétrico. El ahorro de energía se determina por la fracción de tiempo operando bajo un nivel de carga en particular y el período de operación bajo esas condiciones.

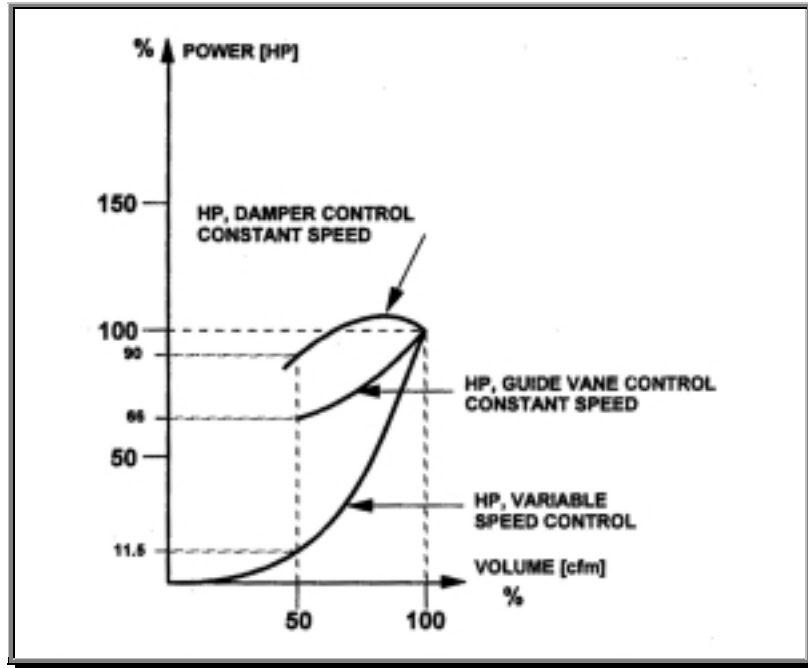


Fig. 2. Ahorro de Energía en Ventiladores con Sistema de Variación de Velocidad

EVALUACION

Los métodos de evaluación de proyectos relacionados a sistemas de variación de velocidad dependen del tamaño del proyecto. Proyectos menores requieren normalmente solo de la revisión de las especificaciones, bocetos de instalación y la información del proveedor. Proyectos más complicados requieren de planos de ingeniería de detalle y especialistas en sistemas de accionamiento motriz. Una identificada la posible aplicación de un sistema de variación de velocidad, el perfil de la carga (fracción de carga en función del tiempo) debe ser determinado. Esta curva puede ser obtenida mediante el uso de medidores de demanda (preferiblemente) o el conocimiento profundo de las características del proceso. Esta curva se utiliza para evaluar el margen de ahorro disponible para justificar el proyecto de inversión así como para garantizar que el motor se encuentre correctamente dimensionado. El perfil de carga apropiado (torque constante, torque variable, etc) puede ser comparado con los perfiles correspondientes del sistema de variación de velocidad para determinar el potencial de ahorro. El motor debe ser evaluado para asegurar que el sistema de variación de velocidad corresponda al motor y a la carga, determinar los requerimientos de temperatura en el motor, garantizar que la velocidad mínima del motor sea considerada, etc. La mayoría de fabricantes prefiere que el motor existente sea reemplazado con un nuevo modelo para asegurar que la unidad se encuentre correctamente dimensionada y que no presente problemas de rebobinado o inadecuada operación.

AHORRO DE ENERGIA Y FACTURACION

El siguiente ejemplo ilustra el ahorro de energía debido a un variador de velocidad en el ventilador. La **Fig. 3** muestra la curva del ventilador para características de presión vs. flujo.

La intersección de las curvas del ventilador y del sistema en el punto **A** muestra el punto de operación natural para el sistema sin control de flujo.

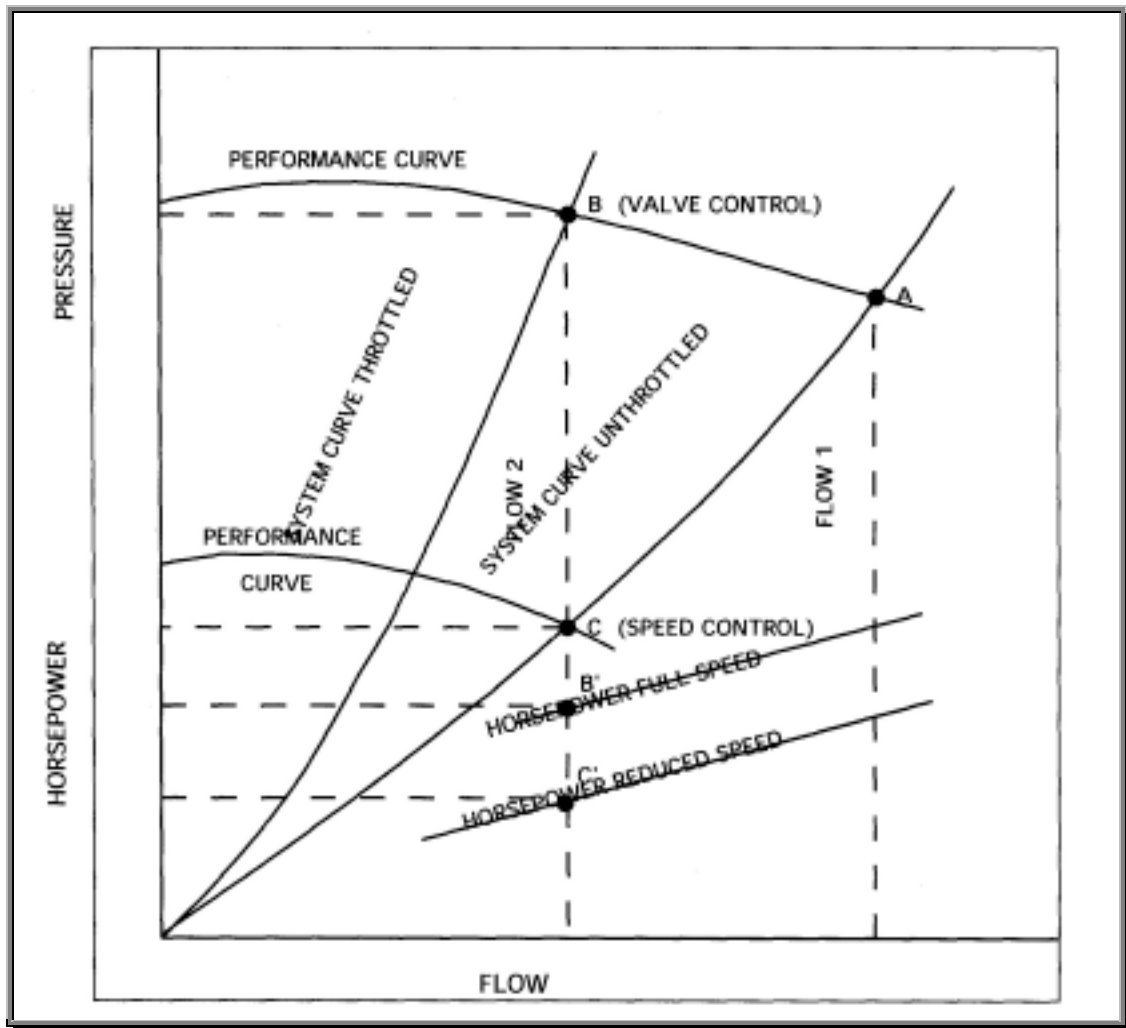


Fig. 3. Potencia del ventilador: velocidad variable vs. control por válvula

Si se utiliza un *dampener* para controlar el flujo, el nuevo punto de operación es el punto **B**. Sin embargo, si el flujo es controlado mediante la velocidad del ventilador, el nuevo punto de operación a la velocidad reducida es el punto **C**. Las potencias respectivas se muestran en las curvas de potencia como los puntos **B'** y **C'**.

La determinación del ahorro de energía requiere del cálculo de la potencia basada en la curva del ventilador y el ciclo de operación en el cual el ventilador opera. Los resultados para un ventilador controlado por *dampers* se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Potencia del ventilador con flujo controlado por dampers

CFM %	Potencia del Ventilador hp	Ciclo de Operación %	Potencia Ponderada hp
100	35	10	3.5
80	35	40	14.0
60	31	40	12.4
40	27	10	2.7
Total			32.6

Para ventiladores con descarga libre, la fórmula de afinidad mostrada a continuación se utiliza para calcular la reducción en la potencia a obtenerse con un variador de velocidad.

$$\frac{hp_1}{hp_2} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

Por ejemplo, la potencia para un ventilador operando a la mitad de su velocidad es:

$$\frac{hp_1}{hp_2} = \left(\frac{0.5}{1} \right)^3 = 12.5\% \text{ de la carga nominal}$$

Por consiguiente, ahorros significativos se obtienen cuando las velocidades pueden ser reducidas. La nueva potencia requerida por el ventilador con variador de velocidad se muestra en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Potencia del ventilador con flujo controlado por variación de velocidad

CFM %	Potencia del Ventilador hp	Ciclo de Operación %	Potencia Ponderada hp
100	35	10	3.5
80	18	40	7.2
60	7.56	40	3.024
40	2.24	10	0.224
Total			13.948

El variador de velocidad requiere menos de la mitad de energía que el damper para este ciclo de operación en particular. Para ilustrar el impacto del ahorro en facturación consideremos que el motor de 35 hp opera 6,240 horas al año, con eficiencia nominal de 91.5%. El costo unitario de energía eléctrica de \$0.04/kWh y el costo unitario por demanda es \$7.00/kW por mes.

El ahorro de energía se calcula mediante:

$$ES = \frac{(32.6 - 13.9) \text{ hp} \times 0.746 \frac{\text{kW}}{\text{hp}} \times 6,240 \frac{\text{h}}{\text{año}}}{0.915}$$

$$ES = 95,136 \text{ kWh} / \text{año}$$

En la práctica, la eficiencia del motor empieza a decrecer por debajo del 50% de su capacidad nominal.

La reducción de la demanda, *DR*, puede calcularse mediante:

$$DR = (32.6 - 13.9) \text{ hp} \times 0.746 \frac{\text{kW}}{\text{hp}}$$

$$DR = 13.95 \text{ kW}$$

Considerando un costo unitario de energía eléctrica de \$0.04/kWh y un costo unitario por demanda de \$7.00/kW al mes, el ahorro en facturación, *CS*, se calcula mediante:

$$CS = ES \times \text{costo unitario de energía eléctrica} + DR \times \text{costo unitario de demanda}$$

$$CS = 95,136 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times \frac{\$0.04}{\text{kWh}} + 13.95 \text{ kW} \times \frac{\$7.00}{\text{kW} - \text{mes}} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}}$$

$$CS = \$4,977 / \text{año}$$

COSTO DE IMPLEMENTACION

El costo de variadores de velocidad decrece ostensiblemente con el tamaño a partir de \$250/hp para unidades de 75 hp, según se ilustra en la **Fig. 4**. Así mismo, el costo promedio de la instalación de variadores de velocidad en función de la potencia nominal del motor presenta puntos de inflexión alrededor de 75 hp, según se ilustra en la **Fig. 5**. en base a los estándares de operación norteamericanos.

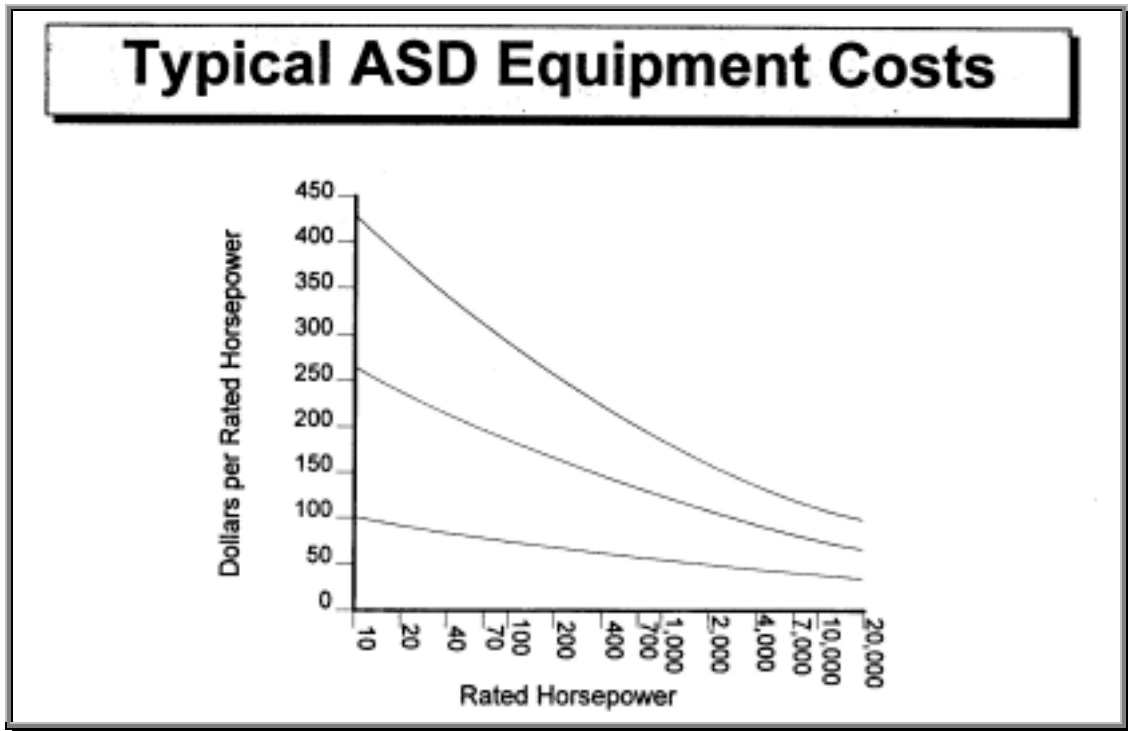


Fig. 4. Costo Promedio de Variadores de Velocidad (Equipos)

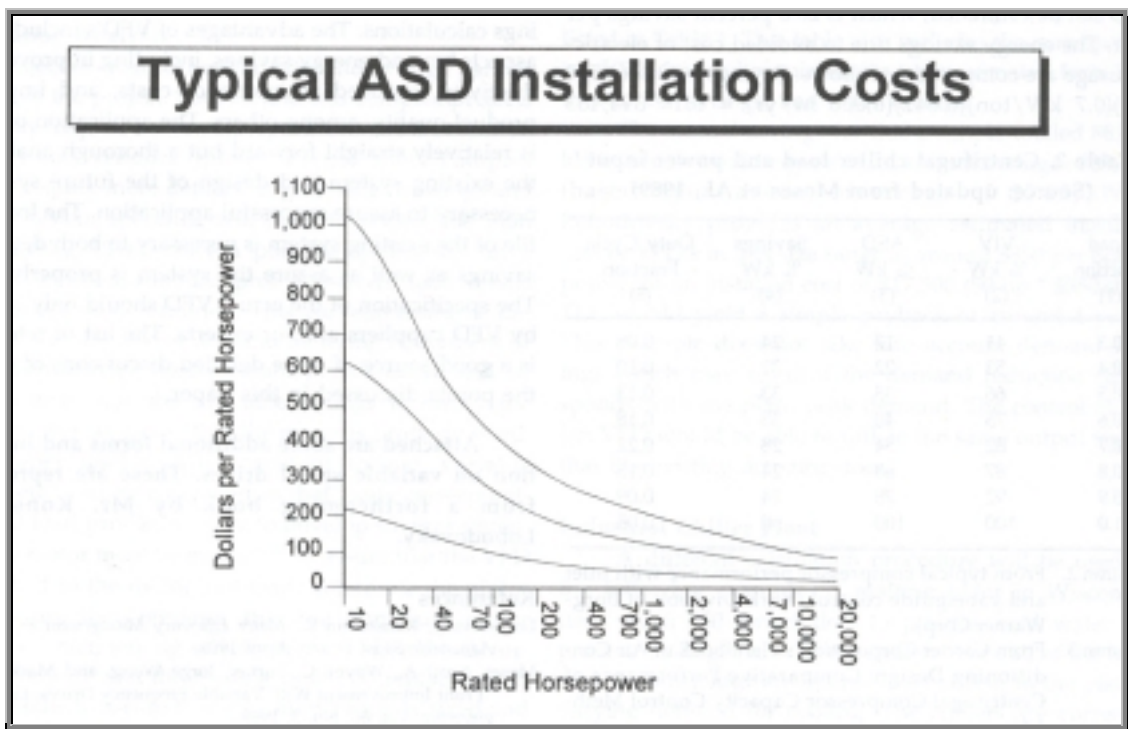


Fig. 5. Costo Promedio de Instalación de Variadores de Velocidad

Para el ejemplo ilustrativo, el costo del variador de velocidad para el motor de 35 hp se estima en \$11,000.

RETORNO DE INVERSIÓN

El retorno de inversión para esta recomendación es: $\$11,000 / (\$4,977/\text{año}) = 2.2$ años.