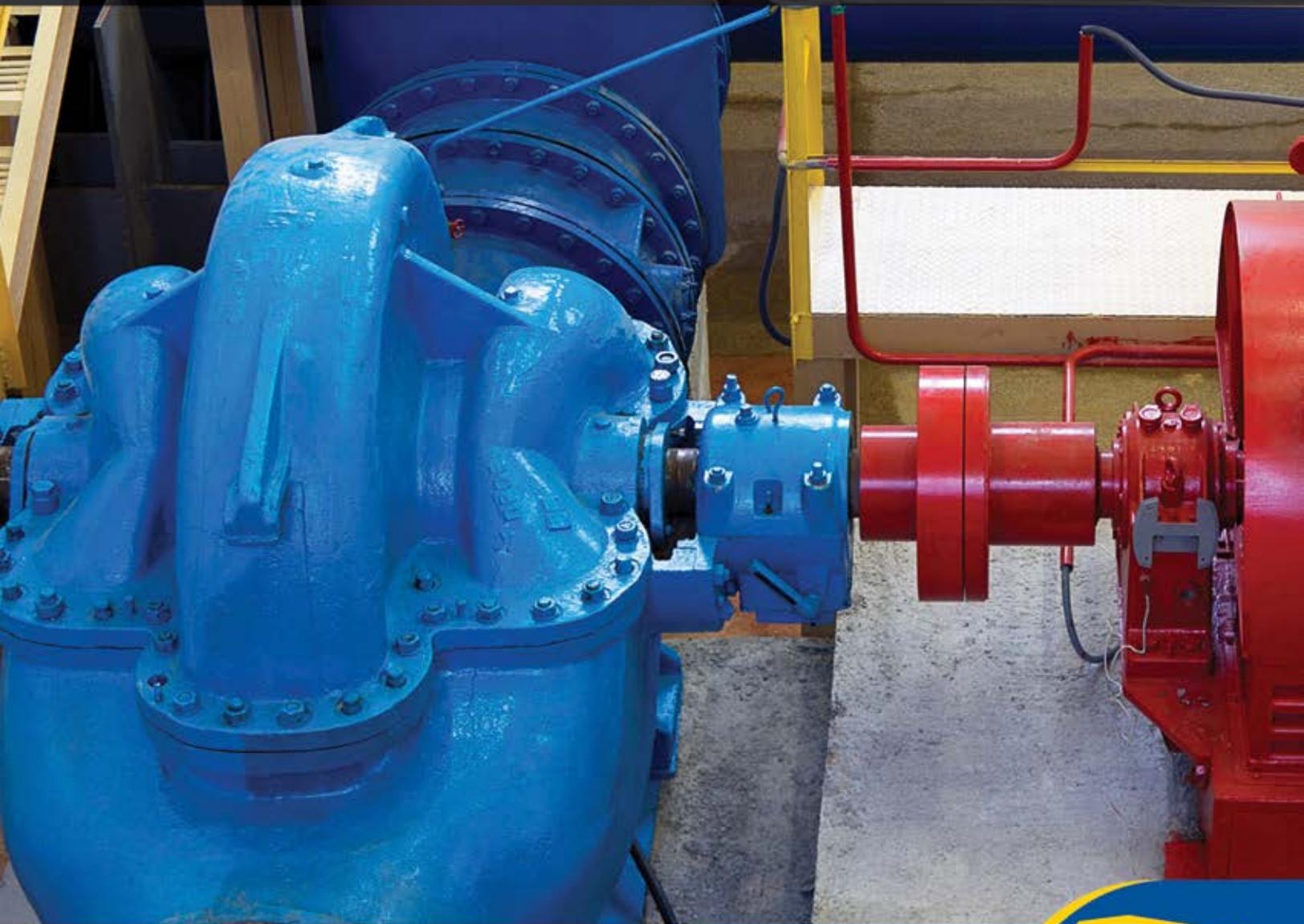


# BUENAS PRÁCTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA Sistema de Bombeo Industrial



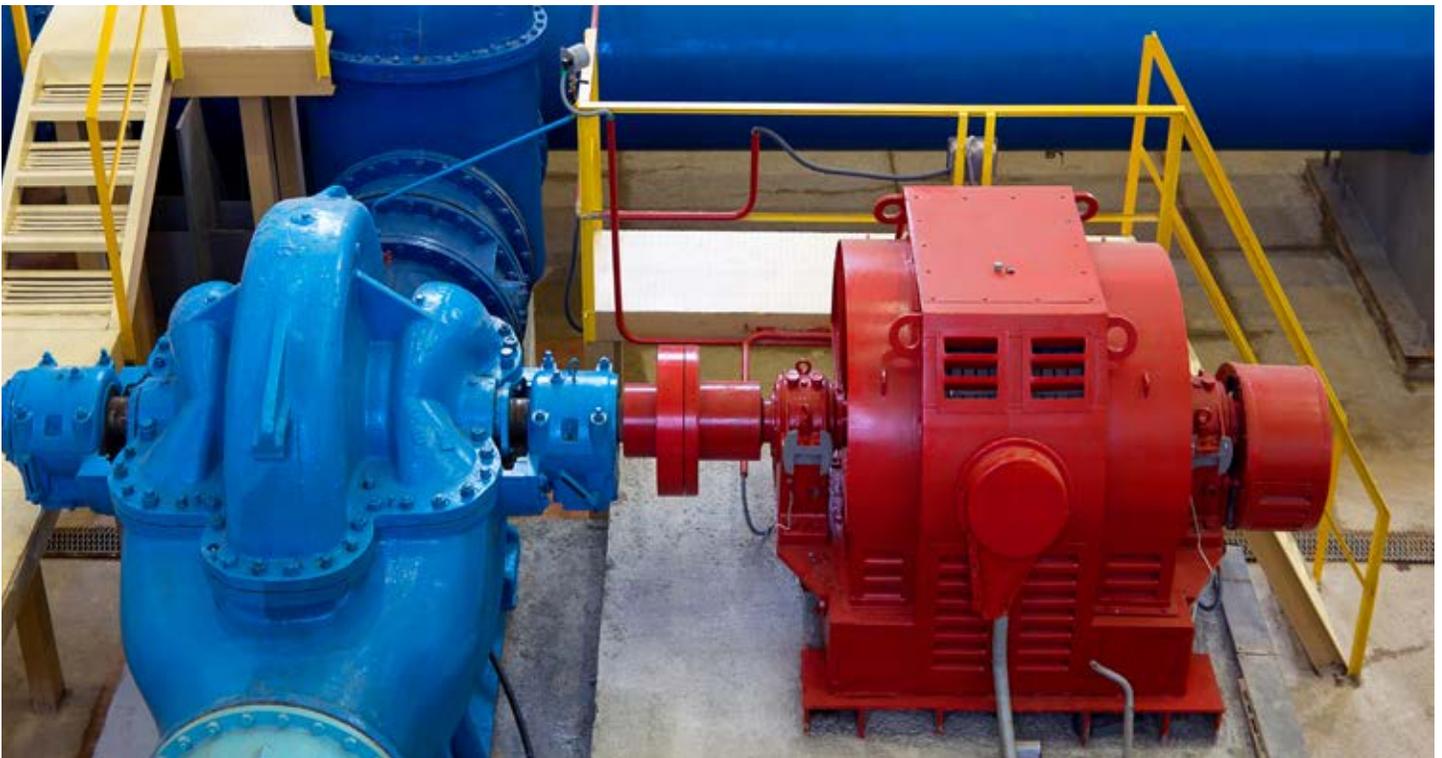
# Introducción

---

En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

En el país, el bombeo se utiliza generalmente para lo siguiente:

- Riego de plantaciones agrícolas o viveros.
- Sistemas de enfriamiento: bombas de agua helada, equipos de mayor tamaño tales como los sistemas de enfriamiento de grandes equipos rotativos y las unidades de generación de energía.
- Beneficios de café.
- Filtrado de piscinas.
- Aplicaciones industriales en general para mezcla de productos.
- Otros.



# Fundamentos Teóricos

En su forma más simple una bomba es una máquina que permite la movilización de un fluido a través de un sistema de tuberías, incrementando la presión de dicho fluido.

Las bombas operan mediante un mecanismo (típicamente reciprocante o rotatorio), que requiere de energía para efectuar el trabajo mecánico para movilizar el fluido. Las bombas pueden operar con muchas fuentes de energía, incluyendo la operación manual, la electricidad, combustibles fósiles o fuerza del viento. Existen bombas de muchos tamaños desde usos microscópicos hasta aplicaciones industriales.

Para efectos prácticos se mencionan dos tipos de bombas, los cuales son:

**1-Desplazamiento positivo:** En esta categoría el fluido es forzado a moverse por el desplazamiento causado por el movimiento de un pistón, veleta, tornillo, o un rotador. El desplazamiento positivo consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. En este tipo de bombas la energía es agregada al fluido de manera discontinua mediante la aplicación directa de una fuerza al fluido a bombear. Destacan en este grupo las bombas de pistón, tornillo entre otras.

**2-Dinámicas o cinéticas:** este grupo de bombas han sido desarrolladas recientemente. En este tipo de bombas la energía es agregada al fluido de manera continua a través del incremento de su velocidad. Los costos de mantenimiento son menores en este tipo de bombas. Las bombas centrífugas pertenecen a esta clasificación.

## Rendimiento de bombas

Si se hace una comparación general, las bombas centrífugas (dinámicas) poseen un mejor rendimiento (dependiendo de la viscosidad del fluido) si se les compara con las bombas de desplazamiento positivo. Esto es debido a que las bombas centrífugas son un dispositivo dinámico, y en el rendimiento responde a fuerzas de aceleración, consecuentemente la velocidad. Si se analiza gráficamente, se debe de notar que cada una de las curvas básicas de rendimiento de las bombas centrífugas están basadas en una velocidad particular, un diámetro del impulsor específico, grosor del impulsor, y por supuesto, viscosidad del fluido (usualmente la viscosidad que siempre se toma es la del agua).



## ¿Qué tipo de bomba utilizar?

Suponiendo que las condiciones hidráulicas permiten la posibilidad de poder elegir entre cualquiera de los dos tipos de bombas mencionados anteriormente, generalmente las cinéticas tendrán mayores ventajas, debido principalmente a que éstas tienen menor cantidad de componentes móviles que las bombas de desplazamiento positivo.

## Seleccionando el tipo de bomba

**Ejemplo No 1 :** Dentro de una planta de tratamiento de aguas servidas es necesario la remoción de los lodos acumulados en un tanque de sedimentación.

En este caso se selecciona una bomba de desplazamiento positivo, en virtud de su característica de ser eficiente para el manejo de fluidos con alta viscosidad, como es el caso del ejemplo. Es importante tener presente que las bombas cinéticas, aún cuando pueden contar con impulsores capaces de bombear ciertas partículas en suspensión, dejan de ser eficientes cuando se trata del bombeo de fluidos de cierta densidad. Las bombas de desplazamiento positivo operan muy bien con variaciones de caudal donde puede haber variaciones significativas de presión.

**Ejemplo No 2 :** Para el abastecimiento de agua potable en una instalación industrial, se requiere bombear volúmenes de agua entre 10 litros por segundo hasta 70 litros por segundo. Por requerimiento de los equipos se debe evitar variaciones significativas de la presión de bombeo cuando se entregan los caudales indicados.

En este caso las bombas cinéticas permiten el manejo de un amplio rango de caudales con pequeñas variaciones de presión lo cual las hace muy apropiadas para este escenario. Las bombas cinéticas operan muy bien en amplios rangos de caudales, donde no se permiten variaciones significativas de presión.

## Diseño de un sistema de bombeo

Partiendo del hecho de que se conoce y se sabe interpretar las curvas primarias que reflejan el rendimiento de las bombas, cada vez que se requiera diseñar un sistema de bombeo se debe considerar:

- 1-** Presión del fluido, normalmente medido en kPa o bien en PSI
- 2-** Flujo o volumen medido en metros cúbicos o galones por minuto (GPM) del fluido.
- 3-** Altura o cabeza requerida.
- 4-** Sistemas de tuberías (resistencia del sistema), curva característica del sistema.

Esto se debe correlacionar siempre con la curva de operación de la bomba, la cual comprende el comportamiento de la misma, bajo la variación de las variables antes mencionadas.

Por consiguiente, la eficiencia del sistema de bombeo se logra mediante el correcto diseño de la bomba para alcanzar el punto de mayor eficiencia.

Todas las bombas tienen su punto de mayor eficiencia, razón por la cual es recomendable determinar si éstas trabajan con la mayor eficiencia o bien pueden ajustarse a las características de funcionamiento requeridas.

## Leyes de Afinidad de las Bombas Centrífugas

Aun cuando realicemos un diseño adecuado de las bombas, muchas de ellas no trabajarán siempre a plena carga, por lo tanto, en esos momentos podríamos aplicar las “Leyes de Afinidad”.

Las leyes de afinidad expresan la relación matemática que existe entre el caudal, la velocidad de la bomba (rpm), la altura y el consumo de energía para el caso de bombas centrífugas. Las leyes muestran que incluso una pequeña reducción en el caudal se convertirá en reducciones importantes de potencia y, por lo tanto, de consumos energéticos. Las leyes son la base de los ahorros energéticos.

Cuando se modifica una de las variables involucradas en el rendimiento de la bomba, las otras variables se pueden calcular utilizando la ley de afinidad. Esto para el caso del diámetro del impulsor constante.

$$Q_1/Q_2 = n_1/n_2$$

$$H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2$$

$$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3$$

Donde:

Q = caudal [m<sup>3</sup>/h]

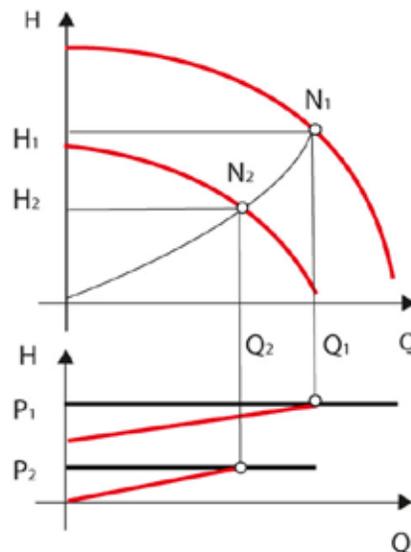
n = velocidad de la bomba [rpm]

H = altura [bar]

P = potencia [kW]

Las fórmulas muestran que si se disminuye la velocidad de la bomba en un 50%, el caudal también se reducirá en un 50%. La altura se reducirá al 25%, y el consumo de energía se reducirá al 12,5%.

Esta ley presupone que la eficiencia de la bomba permanece constante, es decir, tratándose de bombas, las leyes funcionan bien en los casos en que el diámetro del impulsor sea constante y la velocidad sea variable.



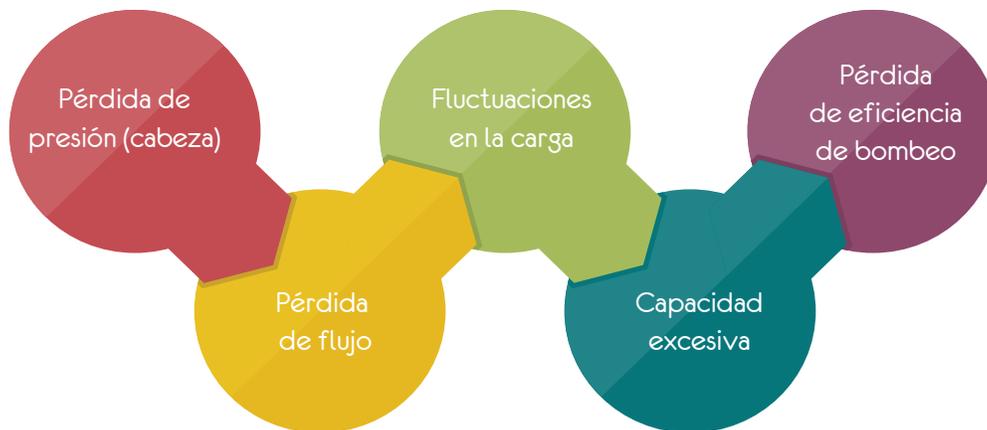
# Buenas Prácticas

---

Las oportunidades de ahorro energético deben estar orientadas directamente a solucionar las causas que provocan un alto consumo, producto de la pérdida de eficiencia del equipo por obsolescencia tecnológica o los malos hábitos en el uso de los equipos. Dichas causas pueden ser de diseño e instalación de los equipos o bien en la operación del mismo.

- Realizar el diseño adecuado o análisis del sistema actual teniendo en cuenta la curva de resistencia del sistema para asegurarse de la correcta capacidad necesaria a instalarse.
- Valorar la instalación de bombas de alta eficiencia.
- Analizar la operación con el fin de determinar si podemos aplicar las leyes de afinidad.
- Evitar en lo posible curvas 90° o "TEE" en sistema de tuberías
- Aprovechar la gravedad hasta donde sea posible.
- Mantener las válvulas por donde pase el fluido abiertas al 100%, de no ser así valorar la instalación de variadores de frecuencia, las pérdidas en válvulas pueden representar hasta un 30% del consumo de las bombas.
- Limitar el espacio por donde se quiera pasar el fluido en específico, con el fin de no enviar fluido donde no se necesario.
- Instalación de sistemas multi-etapa (cascada).
- Para fluidos de mayor viscosidad valorar el uso de bombas de desplazamiento positivo.

## Causas de pérdida de Eficiencia Energética





# Caso Práctico

## Sobre el sistema de bombeo

Se tiene un bomba con las siguientes características de operación: 245 PSI, 60 GPM, una eficiencia del 85% y un motor 20 HP, opera 10 horas al día, 6 días a la semana, 50 semanas al año, resuelva los siguientes casos:

- Se cree que se ha sobredimensionado el motor del sistema de bombeo. Evalúe cuál es el motor que requiere el sistema.
- Se sabe que el sistema de bombeo está trabajando a 1.750 RPM, sin embargo, el proceso puede operar perfectamente 4 horas a la velocidad de diseño (1.750 RPM), 3 a 1.400 RPM y 3 horas a 1.600 RPM.

## Solución:

El consumo actual de la bomba es:

$$\text{kWh}_{\text{actual}} = 20 \text{ HP} \times 0,745 \text{ kW/HP} \times 10 \text{ h} \times 6 \text{ días/sem} \times 50 \text{ sem} / \text{año}$$

$$\text{kWh}_{\text{actual}} = 44.700 \text{ kWh/año}$$

- La expresión para determinar la potencia requerida para operar las bombas está dada por:

$$\text{Hp} = \frac{\Delta P \text{ GPM}^1}{1.715 \eta}$$

Donde:

$\Delta P$ : Presión diferencial a través de la bomba en PSI (libras por pulgada<sup>2</sup>)

GPM: Flujo requerido en galones por minuto

H: Eficiencia de la bomba

Calculamos,

$$\text{HP}_{(\text{requerido})} = \frac{245 \times 60}{1.715 \times 0,85}$$

$$\text{HP}_{(\text{requerido})} = 10 \text{ HP}$$

Entonces,

$$\text{HP}(\text{actuales}) - \text{HP}(\text{requerido}) = 20 - 10 = 10 \text{ HP}$$

<sup>1</sup>. Pump Application Desk Book, Paul N. Garay.

Para que este sistema funcione a su máxima eficiencia (a un 75% de su carga) se debe de utilizar un motor de 15 HP, por lo tanto tendremos un ahorro en el motor de:

$$20 \text{ HP} - 15 \text{ HP} = 5 \text{ HP} \times 0,745 \text{ Watt/HP} = 3.725 \text{ kW}$$

Por lo tanto se obtendría un ahorro estimado de:

$$3.725 \text{ kW} \times 10 \text{ h/día} \times 6 \text{ día/semana} \times 50 \text{ semanas/año} = 11.175 \text{ kWh/año}$$

**b.** Se sabe que hay ahorros en potencia en el sistema de bombeo, si la velocidad es reducida como corresponde, en este caso se requieren 3 horas a 1.400 RPM y 3 a 1.600 RPM, las 4 restantes a la velocidad de diseño.

Utilizando las leyes de afinidad, suponiendo un diámetro del impulsor constante y una velocidad variable.

#### Para 1400 RPM

$$P_2 = P_1 \times \left( \frac{n_2^3}{n_1^3} \right)$$

$$P_2 = P_1 \times \left( \frac{1.400^3}{1.750^3} \right) = P_1 (0,8)^3 = 0,512 P_1$$

Es decir se tiene una reducción de un 48.8% de la potencial actual.

#### Para 1600 RPM

$$P_2 = P_1 \times \left( \frac{1.600^3}{1.750^3} \right) = P_1 (0,91)^3 = 0,764 P_1$$

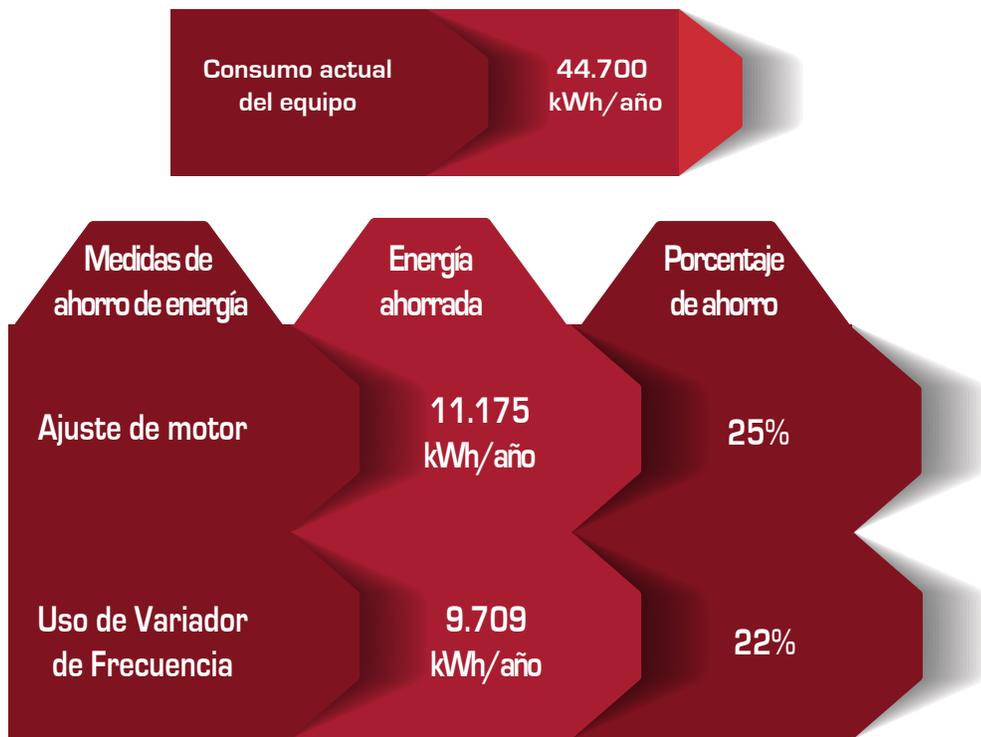
Es decir se tiene una reducción de un 23,6% de la potencial actual. Por lo tanto el nuevo consumo energético de esta bomba sería:

$$\text{kWh}_{\text{nuevo}} = 20 \text{ HP} \times 0,745 \text{ kW/HP} (4 \text{ h} + 0,512 \times 3 \text{ h} + 0,764 \times 3 \text{ h}) \times 6 \text{ días/sem} \times 50 \text{ sem/año} = 34.991 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Ahorro} = 44.700 \text{ kWh/año} - 34.991 \text{ kWh/año}$$

Por lo tanto el ahorro energético es de 9.709 kWh/año.

## Resumen de ahorros de energía:





El gobierno alemán, por medio de la cooperación alemana Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), apoya la región centroamericana a través de su Programa Energías Renovables y Eficiencia Energética (4E) en mejorar las condiciones marco, así como las capacidades tanto institucionales como personales, para el fomento de las energías renovables, la eficiencia energética y la mitigación del cambio climático. Es en el marco de este proyecto que la GIZ apoya al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en la elaboración del presente producto informativo, con el fin de promover el uso racional y eficiente de la energía, así como un aprovechamiento estratégico y sostenible de las fuentes renovables de energía disponibles en Costa Rica.

# BUENAS PRÁCTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA Sistema de Bombeo Industrial



Contenido elaborado por:  
Gerencia Electricidad  
UEN Servicio al Cliente  
Área Conservación de Energía

**Teléfonos**  
(506) 2000-7460  
(506) 2000-5673  
(506) 2000-8041

[eficienciaenergetica@ice.go.cr](mailto:eficienciaenergetica@ice.go.cr)

[www.grupoice.com](http://www.grupoice.com)