

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA URBANA
UNIDAD DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO



GERENCIA DE ESTUDIOS
Y PROYECTOS
COORDINACIÓN DE
ELECTROMECÁNICA

**EFICIENCIA EN SISTEMAS
DE BOMBEO**

Documento Técnico

CONTENIDO

PRÓLOGO	4
PROPÓSITO	5
CAMPO DE APLICACIÓN	5
CONCEPTOS	5
➤ Carga a la descarga.	
➤ Carga de velocidad.	
➤ Carga total de bombeo.	
➤ Eficiencia de la bomba.	
➤ Eficiencia total ó eficiencia conjunto motor – bomba.	
➤ Eficiencia electromecánica.	
➤ Potencia de entrada a la bomba.	
CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS	5
➤ Bombas verticales tipo turbina.	
➤ Bombas sumergibles.	
➤ Bombas de pozo profundo.	
ESPECIFICACIÓN Y MUESTREO	5
PRUEBAS Y REQUERIMIENTOS EN LABORATORIO	6
➤ Requerimientos para la prueba.	
REQUERIMIENTOS PARA LA PRUEBA EN CAMPO	6
➤ Equipo de medición de los niveles de bombeo y presión de descarga.	
➤ Instrumentación para la medición del gasto.	
CONDICIONES PARA LA PRUEBA	6
MEDICIÓN DE PARÁMETROS	7
➤ Medición de flujo.	
➤ Medición de la carga.	
➤ Instrumentos de medición para la presión.	
➤ Medición de la frecuencia de rotación.	
➤ Medición de la potencia de entrada a la bomba.	
SELECCIÓN DE LA BOMBA ADECUADA	7
DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA	8
PREDICCIÓN DE EFICIENCIA EN BOMBAS CENTRÍFUGAS	8
FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA	8
➤ Pérdidas volumétricas.	
➤ Pérdidas hidráulicas.	
➤ Pérdidas mecánicas.	
➤ Características del líquido.	
➤ Condiciones de instalación.	
➤ Recorte de impulsores.	
➤ Condiciones de operación.	
➤ Acuíferos.	
➤ Sobredimensionamiento.	

FACTORES QUE INCREMENTAN LA EFICIENCIA	10
CONSIDERACIONES DE INGENIERÍA Y OBRA	11
➤ Verificación de la eficiencia garantizada.	
➤ Operación alejada del punto de mejor eficiencia.	
➤ Recepción y almacenamiento.	
➤ Sistemas de conducción.	
➤ Válvulas de control.	
➤ Selección de válvulas.	
CONCLUSIONES	12
CRÉDITOS	13
GLOSARIO	13

COMISION NACIONAL DEL AGUA

Este artículo está dirigido a las gerencias regionales y estatales de la Comisión Nacional del Agua y a los organismos operadores de los servicios de agua. Su objetivo es optimizar la operación de los equipos electromecánicos y los niveles de eficiencia en los sistemas hidráulicos.

Responsable:

Ing. Luis López Ortiz

Septiembre, 2003.

Revisiones:

Este documento está sujeto a revisiones, las cuales dependerán de los avances tecnológicos. Asimismo, de la Normatividad vigente y de nuevas experiencias.



PRÓLOGO

La Gerencia de Estudios y Proyectos, a través de la Coordinación de Electromecánica, promueve en este documento, el uso adecuado de la energía, así como la detección de fallas que afectan el óptimo funcionamiento de los equipos, por lo que han reunido una serie de causas que influyen en las bajas eficiencias y la forma de corregirlas; lo cual coadyuvará a que los organismos operadores y las gerencias regionales y estatales obtengan ahorros sustantivos en la operación de los sistemas de bombeo.

En la actualidad enfrentamos grandes problemas energéticos, por lo que es conveniente contar con lineamientos que permitan a los organismos operadores ser eficientes. Un proyecto electromecánico no solo consiste en la selección correcta del equipo, sino también, en conocer el sistema hidráulico al cual está ligado; los niveles de eficiencia, dispositivos y accesorios necesarios para su funcionamiento.

Este artículo describe los conceptos básicos para incrementar la eficiencia, especificaciones, pruebas, condiciones, métodos de medición, requerimientos de pruebas, determinación de la eficiencia, selección de la bomba, predicción de la eficiencia, factores que la afectan y aquellos que la incrementan.

El método utilizado para la determinación de la eficiencia electromecánica está fundamentado en Normas Oficiales Mexicanas. La predicción, causas de ineficiencia y otras recomendaciones se basan en las Normas ANSI/HI, en publicaciones y experiencias.

Por otra parte, se indican algunas recomendaciones y se presenta un Glosario de Términos, en donde se definen los principales conceptos que se mencionan en el documento.

PROPÓSITO

Este documento tiene la finalidad de establecer las principales recomendaciones que permiten mantener la eficiencia energética en equipos de bombeo, utilizados en sistemas de agua potable y saneamiento.

Asimismo, tiene la finalidad de dar al lector una visión de los problemas que hay que prever para optimizar la eficiencia en los equipos de bombeo

CAMPO DE APLICACIÓN

Aplica a todos aquellos equipos de bombeo verticales centrífugos tipo turbina, con motor exterior o sumergible, destinados a cárcamos de bombeo, pozos profundos, plantas de bombeo, plantas potabilizadoras y plantas de tratamiento que han sido o no, puestos en operación.

CONCEPTOS

Para el análisis y evaluación de la eficiencia, es oportuno reparar aquellos conceptos que son importantes para el incremento de la eficiencia, así como para la localización de las fallas que la afectan. La referencia de las definiciones corresponde a lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas.

- Carga a la descarga.

Es la suma algebraica de la presión manométrica medida a la descarga, la carga de velocidad y las pérdidas por fricción, su unidad de medida es el metro (m).

- Carga de velocidad.

Es la energía cinética por unidad de peso del líquido en movimiento, su unidad de medida es el metro (m).

- Carga total de bombeo.

Está dada por la suma algebraica de la presión manométrica medida a la descarga, el nivel dinámico, las pérdidas por fricción en la columna y la carga de velocidad, su unidad de medida es el metro (m).

- Potencia de entrada al motor.

Es la potencia en Watt, que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba. Esta se determina conociendo el voltaje, la corriente y el factor de potencia.

- Potencia de entrada a la bomba.

Es la potencia suministrada a la flecha de la bomba y debe expresarse en Watt.

- Potencia de salida de la bomba.

Es la potencia en Watt, transferida al agua por la bomba, medida lo más cerca posible del cabezal de descarga.

- Eficiencia de la bomba.

Es la proporción de la potencia de salida de la bomba entre la potencia de entrada a la bomba, se expresa en porcentaje.

- Eficiencia del conjunto motor – bomba.

Es la proporción de la potencia de salida de la bomba entre la potencia de entrada al motor. La eficiencia se expresa en porcentaje.

CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS

- Bombas verticales tipo turbina.

Las bombas verticales tipo turbina con motor externo vertical se clasifican de acuerdo a su tamaño y gasto, tal como se especifica en la Norma¹.

- Bombas sumergibles.

Las bombas sumergibles se agrupan de acuerdo con la capacidad expresada en l/s (litros/segundo) y están definidas en grupos como se muestra en la Norma², los motores que deben acoplarse, se agrupan de acuerdo a la potencia nominal la cual se expresa en kW.

- Bombas de pozo profundo.

Las bombas para pozo profundo se clasifican de acuerdo con la potencia nominal expresada en kW del motor eléctrico que debe acoplarse. Norma³.

ESPECIFICACIÓN Y MUESTREO

Una forma de conocer las condiciones en que operan los equipos es evaluando su eficiencia a través de la medición de parámetros, tales como: gasto de operación, nivel estático, nivel dinámico, factor de potencia, potencia real, aparente, corriente y tensión eléctrica, entre otros.

Conociendo la eficiencia electromecánica con la que trabaja el equipo, estamos en condiciones de determinar las causas que limitan su operación eficiente y en función de esto, proponer acciones para sustituir, dar mantenimiento o

¹ NOM001-ENER-2000. "Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba".

² NOM010-ENER-1996. "Eficiencia energética de bombas sumergibles. Límites y método de prueba".

³ NOM006-ENER-1995. "Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y método de prueba".

rehabilitar el equipo según sea el caso, con la finalidad de incrementar su eficiencia.

PRUEBAS Y REQUERIMIENTOS EN LABORATORIO

- Requerimientos para la prueba.
 1. *Aplicación del método de prueba.* Aplica para bombas verticales tipo turbina con motor externo o bombas sumergibles aplicadas a pozos profundos de flujo radial y semiaxial, accionadas por motor sumergible de cualquier tamaño especificado por norma.
 2. *Lugar de la prueba.* Las pruebas de aceptación deben realizarse en laboratorios debidamente acreditados por EMA⁴.
 3. *Fluido para la prueba.* Para efectuar esta prueba se debe utilizar agua limpia con las propiedades que indica la Norma². El contenido total de gas disuelto y libre en el agua, no debe exceder el volumen de saturación correspondiente a la presión y temperatura existentes en el tanque.
 4. *Personal.* El personal responsable de las pruebas debe ser acreditado por EMA.
 5. *Puntos a probar.* Los parámetros garantizados por el fabricante serán la parte esencial de la prueba, así como la determinación de los límites de operación del equipo.
 6. *Reportes de la prueba.* La evaluación de los resultados de la prueba se deben hacer inmediatamente, incluyendo gráficas de la curva de operación, antes de que la instalación sea desensamblada con la finalidad de poder repetir alguna medición, si fuera necesario.

REQUERIMIENTOS PARA LA PRUEBA EN CAMPO³

- Equipo de medición de los niveles de bombeo y presión de descarga.
 1. *Sonda eléctrica.* Este dispositivo consiste de conductores eléctricos con forro de plástico; una fuente de energía eléctrica (baterías); un timbre de alarma tipo casero o un ampérmetro.

2. *Sonda neumática.* Este dispositivo consiste de un manómetro, una bomba de aire y la cantidad necesaria de tubo galvanizado de 6,35 mm (1/4") de diámetro.

3. *Manómetro de Descarga.* Normalmente es del tipo Bourdon.

- Instrumentación para la medición de l gasto.
 1. *Tubo de Pitot.* Este instrumento correlaciona la carga de velocidad con el flujo. La distribución de la carga de velocidad en la tubería no es uniforme y para obtener una exactitud aceptable son recomendables múltiples puntos de medición en la sección transversal de la tubería.
 2. *Orificio calibrado.* Son generalmente circulares y se encuentran dentro del tubo horizontal o en su extremo de descarga.
 3. *Método de la escuadra.* Para medir el flujo en tubos horizontales es necesario medir una distancia horizontal y una vertical.

CONDICIONES PARA LA PRUEBA¹²

- Puntos a verificar antes y durante la prueba.
 1. *Alineación entre motor y bomba.*
 2. *Que los instrumentos de medición cumplan con la certificación de calibración.(SNC)⁵*
 3. *Que las condiciones de operación sean estables de acuerdo con las oscilaciones y variaciones.*

- Parámetros garantizados

Los parámetros garantizados por el fabricante para este método de prueba son: La eficiencia del conjunto motor bomba para la carga y el flujo especificado en el punto óptimo de operación de la bomba, que debe ser igual o mayor que el valor del producto que se obtenga de multiplicar los valores correspondientes a la capacidad de la bomba.

- Ejecución de la prueba.

El tiempo de duración de la prueba debe ser suficiente para obtener resultados consistentes, considerando el grado de exactitud para ser llevada a cabo.

Para verificar el punto óptimo de operación, se deben registrar al menos tres puntos de medición, cercanos y

⁴ "ENTIDAD MEXICANA DE ACREDITACIÓN"

⁵ SISTEMA NACIONAL DE CALIBRACIÓN.

agrupados uniformemente alrededor de dicho punto y para determinar el funcionamiento sobre el intervalo de operación indicado, la bomba debe ser operada desde capacidad cero hasta la máxima capacidad mostrada en la curva de operación suministrada por el fabricante, tomando como mínimo seis puntos de medición, considerando tres arriba y tres abajo del punto garantizado.

- Oscilaciones permisibles en el indicador de los instrumentos de medición⁶.

- Número de lecturas a tomar durante la prueba.

Se deben de registrar un mínimo de tres lecturas de cada medición, previamente es necesario verificar que se cumpla con los límites de oscilación y las variaciones permitidas en las lecturas. Los límites de variación entre mediciones repetidas se pueden consultar en las Normas^{1,2}

- Corrección de la frecuencia de rotación.

Cuando la prueba se realice a frecuencia de rotación diferente a la nominal especificada por el fabricante, deben hacerse las correcciones de flujo, carga y potencia obtenidas durante la prueba, de acuerdo a las leyes de afinidad⁷.

MEDICIÓN DE PARÁMETROS^{1,2,3}

La determinación del flujo, la carga, la potencia y la frecuencia de rotación son necesarias para la elaboración de la curva de operación de la bomba, misma que debe servir para verificar los parámetros garantizados por el fabricante específicamente el de la eficiencia. En los siguientes párrafos se mencionan algunos de los métodos utilizados en la medición de estas variables.

- Medición de flujo.

Esta medición podrá realizarse mediante cualquier método que cumpla lo especificado, estos métodos pueden ser el de pitometría y tanque volumétrico.

1. *Valores instantáneos.* Placas de orificio calibrado, tubos venturi, toberas, rotámetros y medidores de flujo externos magnéticos.

En la práctica también se usan los del tipo electromagnético.

- Medición de la carga.

1. *Carga total de bombeo (H), (Valores promedio en un intervalo de tiempo).*

- Instrumentos de medición para la presión.

1. *Manómetro de columna líquida.*

2. *Manómetro de bourdon.*

- Medición de los niveles de bombeo y presión de descarga.

1. *Sonda eléctrica.* Este dispositivo consiste de conductores eléctricos con forro de plástico; una fuente de energía eléctrica (baterías); un timbre de alarma tipo casero o un ampérmetro.

2. *Sonda neumática.* Este dispositivo consiste de un manómetro, una bomba de aire y la cantidad necesaria de tubo galvanizado de 6.32 mm (1/4 in) de diámetro.

- Medición de la frecuencia de rotación. (velocidad)

La velocidad de rotación debe ser medida mediante un tacómetro de indicación directa, por un contador de revoluciones en un intervalo de tiempo, por un dínamo, por un contador óptico y un frecuencímetro o por medio de una medición directa (estroboscópio).

- Medición de la potencia de entrada a la bomba.

La potencia de entrada a la bomba debe ser determinada mediante la velocidad de rotación y el par, o mediante la medición de la potencia demandada por un motor eléctrico de eficiencia conocida, el cual será directamente acoplado a la bomba dependiendo del método que se utilice.

1. *Mediante la medición del par.* El par debe ser medido por un medidor de par certificado.

2. *Mediante la utilización de un motor trifásico de características conocidas.* La potencia eléctrica debe ser medida en forma directa mediante wattmetros, o en forma indirecta mediante: voltmetros, ampérmeters, y medidores de factor de potencia.

SELECCIÓN DE LA BOMBA ADECUADA

La selección de la bomba puede ser difícil, por lo que se recomienda realizar investigaciones preliminares, para lograr obtener los niveles máximos de eficiencia que requiere la instalación.

La correcta selección, radica en conocer las condiciones en que trabajará la bomba. Se puede hacer una selección equivocada por no haber investigado los requisitos del sistema ni haber determinado cual debe ser la eficiencia.

⁶ Cuando se use un dispositivo de presión diferencial para medir flujo, la mínima oscilación permisible debe ser $\pm 6\%$.

⁷ Aplica si la desviación en porcentaje de la frecuencia de rotación con respecto a la frecuencia nominal especificada por el fabricante, no excede a $\pm 20\%$.

Una selección inadecuada de la bomba ocasiona que el caudal de extracción sea mayor o menor al programado, provocando que la carga a la que opera el motor no sea la correcta, derivando de esta forma lecturas muy altas o muy bajas en las eficiencias.

Los motores son diseñados para trabajar a una capacidad nominal y cuando operan por debajo de ésta, se genera un factor de potencia bajo que origina por principio, una penalización por parte de la CFE al llevar a cabo una sobrefacturación en los consumos de energía de los aprovechamientos, además de no trabajar con los parámetros de eficiencia marcados en los motores por el fabricante. El resultado de una mala selección, son bajas eficiencias.

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA

Conociendo la eficiencia mínima, se realiza la evaluación de eficiencias admisibles y no admisibles. Cuando no se cuente con el dato de placa relativo a la capacidad del motor, deben compararse los kW de la potencia de entrada del mismo, con el fin de determinar el mínimo porcentaje de eficiencia con que deberá operar el sistema (equipo, cárcamo de bombeo etc.)

Todos los sistemas de bombeo deben ser evaluados periódicamente con objeto de calificar su eficiencia electromecánica.

PREDICCIÓN DE EFICIENCIA EN BOMBAS CENTRÍFUGAS

La eficiencia de las bombas centrífugas esta relacionada a la velocidad específica (Ns), tamaño de la bomba, NPSH y el tipo de bomba seleccionada disponible para las condiciones del servicio.

El estándar ANSI/HI⁸ ha editado graficas que son de gran ayuda para predecir la eficiencia de equipos de bombeo.

Estas toman en cuenta la velocidad específica y los límites de desviación de eficiencia que pudiera ser influida por:

- La calidad del producto.
- Forma de la curva elegida.
- Aspereza de la superficie.
- Espacios libres internos.
- Compromisos de fabricación.

Pérdidas mecánicas.

Capacidad para el manejo de sólidos.

Tolerancia en las pruebas.

En la predicción de eficiencia, otros efectos perjudiciales, no se incluyen, como es el manejo de mezclas viscosas, aire, etc.

La eficiencia óptima se obtiene cuando la velocidad específica está en la proximidad de 2,500 y la velocidad específica de succión se encuentra en la proximidad de 8,500. Las bombas seleccionadas para velocidades específicas que no estén en la proximidad indicada presentan bajas eficiencias. El estándar ANSI/HI establece las recomendaciones sobre límites de velocidad específica en la succión. Recordemos que ésta tiene una alta correspondencia con la mejor eficiencia de la bomba.

La determinación de la velocidad limite de rotación del equipo en rpm esta relacionada con la velocidad específica de succión.

FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA

Existen condiciones que afectan negativamente la eficiencia del equipo de bombeo, en general corresponde a la fabricación del diseño del equipo. Entre las principales se tienen las siguientes:

- Pérdidas volumétricas.

Estas pérdidas son indicativas de una circulación de flujo del lado de alta presión al de baja presión del impulsor; aunque en general, estas pérdidas son pequeñas, pueden revestir importancia bajo condiciones de desgaste o desajuste de la bomba.

- Pérdidas hidráulicas.

Constituyen la diferencia entre la carga que podría obtenerse de la energía disponible en el impulsor y aquella que realmente se desarrolla; las más importantes son por choque de entrada, generadas por el cambio de dirección del líquido y por fricción del líquido, al fluir.

- Pérdidas mecánicas.

Se deben principalmente a la fricción de cojinetes, empaques o sellos y a la fricción del disco generada entre los lados del impulsor y el líquido.

- Características del líquido.

Las condiciones del fluido a manejar, tienen consecuencias sustantivas sobre la operación de las bombas centrífugas. Por un lado, afectan la construcción del equipo,

⁸ American National Standards Institute/Hydraulic Institute, 1.1-1.54-1994

por lo tanto, al rendimiento y la potencia. Entre las más importantes tenemos la corrosión, temperatura a manejar, tamaño de partículas en el líquido y uso a que se destinará, entre otras.

Mientras más desfavorables sean las condiciones, mayores serán las exigencias constructivas en cuanto a materiales, metalurgia, tipo de impulsores, accesorios propios de la bomba etc.

- **Condiciones de instalación.**

Existen condiciones de instalación que influyen negativamente en la eficiencia del equipo de bombeo; podemos citar las siguientes:

1. *Pérdidas en motor y acoplamiento.*

Aunque son externas a la bomba, es conveniente saber que estos componentes influyen en la eficiencia global. Aquí nos referimos a su rendimiento y diseño; sin embargo es importante aclarar que el montaje apropiado del conjunto bomba-motor es necesario, para asegurar la máxima eficiencia.

Una deficiente alineación impone cargas adicionales sobre los cojinetes y flexión en una o varias de las flechas del conjunto, ocasionando pérdidas de eficiencia y un mayor consumo de energía debido a la fricción y al desbalance mecánico; lo cual provoca vibraciones dañinas a los equipos, afectando la eficiencia global.

La temperatura ambiente también puede tener efectos en la eficiencia, pues en el caso de los motores la reduce a medida que sea mas alta y en caso de ser muy extrema, provoca esfuerzos y deformaciones en los equipos, es por ello que deberá tomarse en cuenta al realizar el montaje y puesta en servicio, sobre todo permitiendo que se establezca, antes de restringir el movimiento del conjunto.

2. *Pérdidas en la bomba.*

Las vibraciones, movimientos y desbalance del equipo tienen consecuencia en la operación hidráulica, ya que se afectan tolerancias y cargas, reduciendo la capacidad real del mismo, requiriendo para ello una mayor potencia y como consecuencia disminuye la eficiencia.

La densidad menor de la mezcla líquido - vapor, provoca una reducción en el volumen real bombeado y por lo tanto la eficiencia disminuye. Asimismo, se inducen vibraciones y si el fenómeno es severo, puede causar daños internos a otras instalaciones y equipos e incluso el colapso del propio impulsor.

3. *Alineación.*

La correcta alineación de la bomba y el motor, es de suma importancia para conseguir una operación mecánica libre de problemas; por lo que esta se debe verificar de acuerdo a recomendaciones del fabricante.

4. *Impulsores*

Se deben ajustar los impulsores antes de intentar poner en marcha la bomba. Una bomba nueva se debe operar con los impulsores ajustados a la mitad del juego lateral de acuerdo con recomendaciones del fabricante, esto es con el objeto de que la arena presente en el agua, no provoque un desgaste excesivo en la bomba lo cual afectaría a la bomba, especialmente a los impulsores. Una vez que el agua deje de salir con arena, los impulsores se podrán ajustar a su posición de trabajo más eficiente.

- **Recorte de impulsores.**

El recorte de impulsor es una técnica empleada desde hace mucho tiempo para cubrir lagunas de las líneas de fabricación; de nueva cuenta enfatizamos que las relaciones de afinidad nos permitirán saber si recortando el impulsor tendremos un punto de operación optima.

- **Consideraciones de operación.**

1. *Velocidad de giro alta.*
2. *Presión de carga excesiva.*
3. *Peso específico del fluido.*
4. *Sometimiento de la bomba a tensiones.*
5. *Falta de grasa o grasa inadecuada.*
6. *Contra presión excesiva.*
7. *Cebado insuficiente.*
8. *Taponamiento de tubería.*
9. *Penetración de aire por el estopero.*
10. *Dirección de giro.*
11. *Velocidad de giro demasiado pequeña.*
12. *Fuertes desgastes de las piezas interiores.*
13. *Sellos desgastados.*
14. *Camisa de la flecha con estrías.*
15. *Agua de refrigeración.*
16. *Golpeteo de la flecha.*

Estas consideraciones son sólo algunas de muchas causas de ineficiencia.

- Acuíferos.

Las causas a las que se atribuyen las bajas eficiencias del sistema con las que operan en general el aprovechamiento del acuífero se atribuyen a:

1. *Abatimiento del Nivel Dinámico.*
2. *Selección del equipo de bombeo (eficiencia de los impulsores y número adecuado de tazones).*
3. *Selección de la potencia del Motor.*
4. *Mantenimiento Preventivo a Bombas y Motores.*
5. *Calidad de la información.*

Asimismo, uno de los parámetros más importantes y que condiciona las eficiencias electromecánicas de los equipos, es el gasto o caudal de operación. En muchos casos, las eficiencias de los equipos se ven determinadas por los bajos gastos de producción. Se justifica un bajo rendimiento en los equipos, si tomamos en cuenta que los acuíferos sufren abatimientos y que esto conlleva a que las cámaras de bombeo se reduzcan paulatinamente, provocando con esto bajos caudales de extracción.

Además, el bajo rendimiento de los aprovechamientos puede estar relacionado a la falta de mantenimiento de los equipos, ya que al paso del tiempo, se van generando irregularidades, tales como: incrustaciones en la tubería ranurada, que obstruye la circulación libre del acuífero, reduciendo consecuentemente los gastos de extracción.

Ante estas circunstancias, es evidente la realización de un diagnóstico más detallado que permita llevar a cabo mediciones directamente en todos los aprovechamientos y de esta manera, poder identificar con precisión y total certeza, las causas que ocasiona la baja eficiencia con la que operan actualmente los aprovechamientos.

Si el diagnóstico lo indicara y el equipo opera desde hace algún tiempo de manera ininterrumpida, manifestando baja eficiencia y más, si ha tenido escaso mantenimiento, pudiera ser necesario desmontarlo y evaluar si existe desgaste en sus componentes ya que este afecta su eficiencia.

- Sobredimensionamiento

El sobredimensionamiento de los equipos, es producto de un mal cálculo, falta de previsión y en algunos casos de información pobre, lo cual ocasiona que se disponga de equipos que no cumplan con las características que requiere el sistema hidráulico.

Sabemos que al sobredimensionar un equipo, se producen desventajas que ocasionan se pierda eficiencia en el sistema, obteniéndose con ello gastos de energía innecesarios.

FACTORES QUE INCREMENTAN LA EFICIENCIA

Para mantener, prever o controlar la eficiencia, podemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Selección del equipo de bombeo (motor- bomba) apropiado, teniendo el conocimiento pleno del sistema.
- Acabado de la superficie de los impulsores.
- Selección adecuada de la velocidad específica de succión.
- Control de líquidos viscosos.
- Control de concentraciones de grandes volúmenes de sólidos.
- Control del tamaño de sólidos.
- Control de fricción en cojinetes, empaques o sellos.
- Montaje apropiado del equipo (bomba- motor).
- Corregir desbalances.
- Reducir vibraciones.
- Alineación del equipo en forma programada.
- Controlar la temperatura de operación del motor.
- Evitar recortes de impulsores.
- Controlar la velocidad del equipo.
- Controlar la presión del fluido.
- Evitar tensiones mecánicas en tuberías.
- Reposición de grasa adecuada.
- Verificar el cebado de bomba y tubería
- Evitar entrada de aire.
- Cambiar sellos.
- Controlar el abatimiento del nivel dinámico.
- Control del peso específico del fluido que impulsa la bomba.
- Nivelación de la flecha.
- Verificar presión de succión y descarga.

- Mantenimiento adecuado del equipo.

En este último rubro, las revisiones al cuerpo de tazones dependerán del número de horas en operación acumuladas, la severidad de las condiciones de servicio y el cuidado que se haya tenido en la bomba durante la operación. El cuerpo de tazones no deberá extraerse para su inspección, a menos que sea una indicación definida o el funcionamiento de la bomba este mal.

Evidentemente, el mal funcionamiento, se nota en la disminución de la capacidad, presión ó un significativo cambio en la vibración o ruido durante su operación.

Los pozos que utilicen la energía eléctrica como medio energético para sus fines y que derivado de un diagnóstico de eficiencia electromecánica, esta resulte menor o igual al 40% en forma combinada, se sugiere efectuar la rehabilitación o sustitución del equipo electromecánico. Los valores de eficiencia mínimos que deban cumplir los equipos reparados o rehabilitados, deben ser verificados con el método de prueba descrito en las Normas.

Los trabajos de rehabilitación o sustitución necesarios para lograr un incremento en la eficiencia de los equipos electromecánicos se determinan de común acuerdo, entre el propietario del equipo y el fabricante al que se le asignen los trabajos, compartiendo en partes iguales la responsabilidad en la obtención de los resultados. (Al respecto se recomienda consultar a esta Coordinación).

CONSIDERACIONES DE INGENIERÍA Y OBRA

- Verificación de la eficiencia garantizada.

La eficiencia garantizada debe concordar con el punto de operación definido por el **Punto de Intersección** de la curva flujo - carga y la línea recta que va desde el origen y pasa a través del punto de operación garantizado. La eficiencia en este punto debe ser como mínimo 0,972 de la especificada.

- Operación alejada del punto de mejor eficiencia.

Las bombas centrífugas se diseñan para operar eficientemente a una carga, un gasto y una velocidad específica. A este punto de operación, se le conoce como

“el punto de mejor eficiencia”.

Considerando el costo de la energía, es más eficiente operar la bomba en este punto. Los equipos a menudo no operan en estas condiciones, debido a cambios en la operación del sistema y a la dificultad de igualar las condiciones de operación con el punto de mejor eficiencia de

la bomba. Operar el equipo fuera de este punto, es inducir un esfuerzo adicional a algunas partes de la bomba y puede dañarse esta.

Por otra parte operar los equipos a una mayor capacidad respecto al punto de óptima eficiencia, puede provocar mayores daños, ejemplo de ello es mayor par de torsión, flexión o desviación de la flecha, la carga neta positiva de succión requerida puede ser mucho mayor que la disponible, ocasionando erosión, ruido y vibración debido a la alta velocidad del líquido.

Por lo anterior las características con las cuales la bomba debe operar, siempre deberán ser discutidas y acordadas con el fabricante.

- Recepción y almacenamiento.

Después de recibir un equipo de bombeo se debe inspeccionar y verificar a contra orden de embarque. Deben de examinarse los paquetes que lo componen y sus envolturas antes de descartarlas. Algunas partes o accesorios son envueltos individualmente o amarrados al conjunto. Se sugiere reportar cualquier daño o pérdida que se note al proveedor del equipo.

Es importante tener en cuenta que si se van a almacenar los equipos por un periodo de tiempo corto, antes de ser instalados, deben de colocarse en un lugar seco y protegerse contra la humedad y el medio ambiente.

Las bridas de protección de la succión y descarga con que se reciben los equipos no deben ser removidas, es importante también que se protejan los rodamientos y acoplamientos contra la arena, polvo y otras materias extrañas, para prevenir la oxidación o que la bomba se pegue; asimismo, se debe lubricar la unidad y girar el rotor a mano por lo menos una vez a la semana.

Si la bomba será almacenada por un largo tiempo, se recomienda que por ningún motivo sufra daño; también debemos asegurarnos que el equipo no contenga ni este en contacto con elementos que podrían causar oxidación de las partes internas, como resultado del almacenamiento.

Se sugiere el petróleo destilado como solvente para prevenir la oxidación; debe tenerse especial cuidado en retirar cualquier rastro de material protector de las caras de las bridas de succión o de descarga de la parte exterior de la flecha y de todas las superficies, antes de ensamblar.

- Sistemas de conducción.

En vista de que hemos hablado de la conservación y optimización de la eficiencia de los equipos, es importante no olvidar los elementos que conforman el sistema, es valioso contar con la adecuada conducción y abastecimiento del fluido para los equipos que estén en operación; por ello se debe hacer la adecuada selección del material y diámetro de la tubería y así evitar pérdidas ocasionadas por la fricción del fluido, lo cual es uno de los factores que empobrecen la eficiencia.

- Válvulas de control.

Las válvulas de control son válvulas automáticas que trabajan hidráulicamente con la presión de la línea de conducción y que tienen los siguientes objetivos:

1. *Controlar presiones y gastos.* Permiten reducir presiones, sostener presiones, regular gastos preestablecidos, a efecto de distribuir el agua potable de forma eficiente y efectiva dando a cada tramo de red solo lo necesario, garantizando el abasto de las partes altas y evitando sobre presiones que tengan como consecuencia la presencia de fugas.
2. *Controlar niveles en tanques.* Permiten ayudar de forma efectiva en el llenado y recarga de tanques incluso elevados con lo cual se evita un derrame del vital líquido con su traducción en ahorro de energía al bombear solo lo necesario.
3. *Protección de equipos y seguridad.* Permiten el alivio de exceso de presiones que se puedan traducir en fugas y daños a la infraestructura; eliminan el golpe de ariete y sus consecuencias desastrosas y protegen equipos de bombeo ayudando a conservar su punto de operación, eficiencia y con eso evitar consumos de energía variables en paros y arranques, además de protegerlos de sobre presiones y fallos de energía.

- Selección de válvulas.

Con el uso de válvulas de paso completo, es decir aquellas que no oponen resistencia al paso del flujo, podemos optimizar la operación de las bombas en la descarga de las mismas. Este tipo de instalaciones presentan ahorros considerables en el consumo de energía y pueden sustituir al uso tradicional de instalación de válvulas check-compuerta-mariposa.

La selección adecuada de válvulas provoca menores esfuerzos de operación al equipo de bombeo, como tal no debemos soslayar la importancia de dicha selección.

CONCLUSIONES

Como hemos visto, para mantener o incrementar los niveles de eficiencia de acuerdo a los parámetros de diseño en las instalaciones electromecánicas de los sistemas hidráulicos, es necesario crear y/o renovar programas de mantenimiento preventivo y de rehabilitación; tomar decisiones y darles seguimiento; además éstas, deberán ser justificadas mediante un diagnóstico realizado con base en pruebas mecánicas, eléctricas e hidráulicas, las cuales deberán cumplir con la normatividad vigente.

La eficiencia de la bomba, es un concepto de suma importancia ya que representa, la vida útil de las instalaciones y ahorro de energía eléctrica en la operación de éstas, por ello es necesario que no pase un tiempo prolongado para dar mantenimiento y cuidar que cada una de las partes que conforman el equipo, cumpla con la función para el cual se diseño. Asimismo, después de un análisis técnico-económico, sustituir el cuerpo de tazones y/o partes componentes del equipo, para conservar una alta eficiencia.

Varios son los factores que intervienen para lograr una optima eficiencia como los son las pérdidas, características del líquido, la selección de la bomba, la instalación del equipo, línea de conducción, válvulas y potencia del motor (consumo de energía eléctrica).

Debemos tener en cuenta que lo indicado es solo una parte de lo mucho que se puede hacer para mejorar la eficiencia en los sistemas hidráulicos y que el Sector requiere de una amplia sensibilización sobre el tema.

NOTA:

Para mayor abundamiento de los conceptos vertidos en este artículo, se recomienda consultar las distintas normas y estándares relativos a la hidráulica; así como los documentos editados por la CNA.

COMENTARIOS Y/O SUGERENCIAS

Para cualquier aportación o comentario sobre este artículo agradeceremos se envíe a:

Coordinación de Electromecánica.

luis.lopez@cna.gob.mx

CRÉDITOS

El presente documento está elaborado íntegramente con base en experiencias y en las siguientes normas indicadas a continuación:

- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
- NOM-006-ENER-1995.
Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación
- NOM-010-ENER-1996.
Eficiencia energética en bombas sumergibles
- NOM-001-ENER-2000.
Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical.
- NOM-008-SCFI-2002.
Sistema General de Unidades de Medida.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE / HYDRAULIC INSTITUTE, 1.1-1.5-1994

GLOSARIO

BOMBA

Máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión transferida al agua.

BOMBA SUMERGIBLE

Maquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión transferida al agua, construida especialmente para trabajar acoplada directamente a un motor eléctrico sumergible

BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA CON MOTOR EXTERNO ELÉCTRICO VERTICAL

Diseño específico de una bomba centrífuga que opera con el eje de rotación vertical y parcialmente sumergida en el fluido que maneja, su mayor aplicación es la extracción de agua de pozos profundos para irrigación, abastecimiento municipal y abastecimientos industriales.

CARGA

Es la cantidad de energía mecánica que requiere la bomba para mover el agua desde el nivel dinámico hasta el punto final del sistema.

CAVITACIÓN

Es la formación y aplastamiento de burbujas en la corriente del líquido.

CONDICIONES ESTABLES

Es cuando las señales indicadas por los instrumentos de medición cumplen con las oscilaciones y variaciones permitidas en los métodos de prueba.

CORRIENTE ELÉCTRICA

Su unidad práctica es el amper, I. Es la intensidad de corriente que pasa a través de un conductor con resistencia, R y cuya diferencia de potencial entre sus extremos es, V.

FACTOR DE POTENCIA

Relación entre la potencia activa y potencia aparente.

FRECUENCIA DE ROTACIÓN

Es el número de revoluciones por unidad de tiempo a las que gira el conjunto motor-bomba, expresada en la práctica en rpm (revoluciones por minuto)

FLUJO, CAPACIDAD O GASTO

Razón a la cual el volumen del agua cruza la sección transversal del tubo en la unidad de tiempo, es expresada en (m³/s)

MOTOR ELÉCTRICO

Máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

NIVEL DE REFERENCIA

Es el plano inferior de la placa base y es la referencia para todas las mediciones hidráulicas.

NIVEL DINÁMICO (ND)

Es la distancia vertical que existe entre el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando el equipo se encuentra en operación; se mide en metros (m) a través de una sonda eléctrica.

SISTEMA DE BOMBEO

Es el conjunto motor eléctrico, bomba y conductos que se instalan para la extracción y manejo de cualquier tipo de aguas.

TENSIÓN ELÉCTRICA (V)

Diferencia de potencial medida entre dos puntos de un circuito, expresado en volts.
