

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA

EN EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS

EN OPERACIÓN PARA POZO PROFUNDO

---

## INDICE

GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS EN OPERACIÓN PARA POZO PROFUNDO.....	3
1. MEDICIONES HIDRÁULICAS.....	3
1.1 GASTO.....	3
1.2 PRESIÓN DE BOMBEO.....	3
1.2.1 PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	4
1.2.2 PRESIÓN MANOMÉTRICA.....	4
1.2.3 PRESIÓN ABSOLUTA.....	4
1.3 UNIDADES.....	4
1.4 NIVELES DE BOMBEO.....	4
1.4.1 NIVEL ESTÁTICO.....	4
1.4.2 NIVEL DINÁMICO.....	4
2. MEDICIONES ELÉCTRICAS.....	5
2.1 TENSIÓN.....	5
2.2 CORRIENTE.....	5
2.3 FACTOR DE POTENCIA.....	6
2.3.1 POR CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA.....	6
2.3.2 UTILIZANDO UN FACTORÍMETRO.....	7
3 FACTOR DE POTENCIA.....	7
3.1 FUNDAMENTOS Y CORRECCIÓN.....	8
3.1.1 CORRIENTES ACTIVAS Y CORRIENTES REACTIVAS.....	8
3.1.2 FACTOR DE POTENCIA.....	8
3.1.3 CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.....	9
4. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ELECTROMECÁNICA.....	9
4.1 EVALUACIÓN DE PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA COLUMNA.....	10
4.2 DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE BOMBEO.....	10
4.3 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA ELÉCTRICA.....	10
4.4 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA GLOBAL DEL EQUIPO ELECTROMECÁNICO.....	10
5 RECOMENDACIONES.....	11

# **GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS EN OPERACIÓN PARA POZO PROFUNDO**

## **1. MEDICIONES HIDRÁULICAS**

### **1.1 GASTO**

Se han ideado diversos métodos para medir el gasto, como consecuencia de las múltiples necesidades de obtener resultados prácticos. Algunos de ellos requieren equipos muy complicados y costosos, otros son sencillos y económicos. El método a utilizar depende de la cantidad de flujo, las condiciones bajo las cuales se efectuará la medición y el índice de exactitud que se requiera. En forma general, los medidores más usuales son los siguientes:

#### **A) CONDUCTOS A PRESIÓN**

- De Velocidad:
  - Hélice
  - Turbina
- Deprimógenos:
  - Placas de Orificio
  - Tobera
  - Venturi
- Tubo Pítot
- Medidor Área Variable (Rotámetro)
- Magnético
- Ultrasónico

#### **B) CONDUCTOS ABIERTOS**

- Vertedores:
  - Triangulares
  - Rectangulares
  - Trapezoidales
- Parshall
- Molinete

Así mismo, existen otros métodos para determinar el gasto en campo, como son el de la escuadra, el de flujo vertical y el volumétrico. La experiencia ha demostrado que los resultados obtenidos con estos métodos no son recomendables, cuando se pretende determinar la eficiencia en un equipo de bombeo.

### **1.2 PRESIÓN DE BOMBEO**

En un sistema de bombeo, se le da el nombre de presión de bombeo a la energía de presión generada por la bomba, la cual es requerida, para mover determinada cantidad de agua de un punto a otro. Existen algunas definiciones de presión, las más usuales son las siguientes:

### 1.2.1 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

También se le llama presión barométrica, por los aparatos que se usan para medirla (barómetros) y es aquella que se tiene en un lugar debida al peso dela atmósfera. Al nivel del mar, tiene un valor de 1.033 Kg/cm<sup>2</sup>m (en condiciones normales) o 760 mm columna de mercurio, equivalente a 10.33 metros columna de agua (m.c.a.).

### 1.2.2 PRESIÓN MANOMÉTRICA

Es la presión que se tiene en una superficie, sin considerar la presión atmosférica y por ello suele llamársele presión relativa. En la práctica, cuando se omite el tipo de presión, significa que se trata de presión manométrica.

### 1.2.3 PRESIÓN ABSOLUTA

Es la suma de la presión atmosférica más la presión manométrica. Se mide arriba del cero absoluto y puede estar arriba o abajo de la presión atmosférica.

El método más usual para medir la presión de descarga en los equipos de bombeo, es a través del manómetro, por ser el instrumento más utilizado para medir la presión. Se estima que la vida útil de estos manómetros es del orden de las 100 a 120 mediciones puntuales; en caso de que se requiera seguir usándose después de rebasar este número de mediciones, deberá verificarse su exactitud con la balanza de pesos muertos.

Cuando aparezca alguna deformación en la aguja del aparato, por mínima que esta sea, éste deberá desecharse.

## 1.3 UNIDADES

La presión se expresa en unidades de fuerza entre unidades de superficie o bien en metros columna de agua.

Por razones de carácter práctico, en la selección y operación de equipos de bombeo, se prefiere expresar la presión de descarga en metros columna de agua (m.c.a.) o sus equivalencias:

- 1 Kg/cm<sup>2</sup>= 10.00 m. columna de agua = 1 Atm. métrica
- Kg/cm<sup>2</sup>= 1.00 m. columna de agua = 3.28 pies
- 1 Kg/ cm<sup>2</sup> = 14.223 lb/ pulg<sup>2</sup>= 32.808 pies

## 1.4 NIVELES DE BOMBEO

### 1.4.1 NIVEL ESTÁTICO

Es el nivel del agua en el pozo cuando no se está bombeando, y es la distancia vertical medida a partir del brocal del pozo, hasta el espejo del agua.

#### 1.4.2 NIVEL DINÁMICO

El nivel estático del agua, en cualquier pozo se abate durante el proceso de bombeo hasta que se establece el equilibrio hidráulico entre la cantidad de agua que se extrae y la capacidad de producción del pozo. En este momento queda determinado el nivel dinámico del pozo y se mide a partir del brocal hasta el espejo del agua.

La determinación del nivel dinámico es de fundamental importancia en la selección del equipo de bombeo, ya que en función de este nivel se determina la longitud de columna y es parte importante de la carga de bombeo y su medición periódica nos indica el comportamiento del acuífero.

### 2. MEDICIONES ELÉCTRICAS

#### 2.1 TENSIÓN

La ciencia eléctrica moderna trata del estudio de la generación, transmisión y aprovechamiento de la energía eléctrica, que aunque se conocen sus efectos, uso y forma de producirla, no se ha llegado hasta la fecha a encontrar una definición clara de lo que es la electricidad y únicamente se ha aceptado decir que es un fluido. La electricidad según su estado, puede ser estática o en movimiento; la primera recibe el nombre de electrostática y la segunda el de corriente eléctrica.

La corriente eléctrica en atención al valor y sentido de la tensión con que circula, puede ser continua o alterna; la primera es aquella en que el valor y sentido de la tensión con que circula la corriente son constantes y la segunda, es aquella en que el valor y sentido de la tensión de circulación de la corriente son variables con respecto al tiempo.

Generalmente, esta última forma de energía eléctrica es la que se utiliza en la alimentación a los motores que operan los equipos de bombeo, en los sistemas de agua potable, en su modalidad de tres fases.

Particularizando, la tensión es la cantidad de volts de un aparato o sistema eléctrico. Se le conoce también, como la fuerza electromotriz de una corriente o la diferencia de potencial en las terminales de un conductor o de un circuito.

La medición de este parámetro se realiza por medio de un voltímetro. Los más utilizados son los multímetros y los voltamperímetros de gancho, que son instrumentos muy sencillos de operar.

Los voltajes más comunes con que se alimentan los motores, en cualquier sistema de agua potable y alcantarillado son:

MONOFÁSICOS: 127 VOLTS, 220 VOLTS

TRIFÁSICOS: 220 VOLTS, 440 VOLTS, 480 VOLTS

En algunos sistemas, se encuentran instalados motores de media tensión, esto es, sus valores de alimentación son de 2300, 4160 y 6600 Volts. En estos casos nunca se debe medir directamente ningún parámetro eléctrico (volts, amperes) en las terminales de los motores. Su medición debe hacerse a través de los tableros de control que, generalmente, cuentan con instrumentos apropiados para este fin.

## 2.2 CORRIENTE

En una instalación eléctrica, es muy importante conocer la corriente que consume cada equipo, ya que con estos valores se selecciona el calibre adecuado de los conductores por donde circulará la corriente, pues a mayor valor de esta, mayor será el calibre del conductor que se usará. Así mismo, con el valor de la corriente, se seleccionan los elementos de control y protección de los equipos.

La corriente o intensidad de corriente, cuya unidad de medida es el ampere, es un parámetro eléctrico que aparece en los circuitos por efecto de una carga conectada y que esta se encuentre en operación. Es decir, cualquier equipo (motor, alumbrado, resistencias calefactoras, etc.) que se encuentre funcionando consume una corriente, que depende del tamaño de su potencia en watts y del voltaje de alimentación. En un motor, mientras mayor sea su potencia, la corriente que demanda será mayor y a mayor voltaje de alimentación la corriente disminuye.

Los amperes pueden ser fácilmente determinados conociendo los watts nominales del equipo y el voltaje de alimentación del mismo.

Por otra parte, en la mayoría de los casos, los Watts o Hp nominales de un motor instalado no corresponden a los Watts o Hp de la carga que están moviendo. Es decir, si una bomba demanda al motor eléctrico una potencia determinada, éste se la proporcionará aun cuando su potencia nominal no sea la misma de la bomba.

Es frecuente encontrar equipos de bombeo con motores de capacidad sobrada para las condiciones de potencia que requiere la bomba, por lo que el motor no estará entregando toda la potencia para la cual fue diseñado. El caso contrario, potencia reducida del motor contra potencia alta demandada, no es muy frecuente encontrarlo, pero definitivamente si existe, con los problemas que esto trae consigo, como es calentamiento excesivo del equipo motriz que reduce considerablemente su vida útil.

En estas situaciones, que son la realidad en los sistemas de agua potable y alcantarillado, la determinación de los amperes debe hacerse efectuando mediciones directas en las instalaciones eléctricas. Con los valores de medición obtenidos directamente con el voltamperímetro, se pueden estimar las condiciones reales de trabajo del motor.

### UNIDADES

- Amperes
- KA = 1000 Amperes

## 2.3 FACTOR DE POTENCIA

Los métodos más comúnmente usados para medir el factor de potencia se describen a continuación.

### 2.3.1 POR CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA

El factor de potencia de cualquier instalación industrial suele sufrir variaciones cuya intensidad depende de los equipos instalados en la misma y de los horarios de trabajo. Por consiguiente, es preciso que en cada caso en particular, se determine claramente bajo qué condiciones es conveniente medirlo. Cuando la carga alimentada no esté sujeta a grandes alteraciones durante las horas de trabajo, puede ser práctico medir el factor de potencia medio.

### 2.3.2 UTILIZANDO UN FACTORÍMETRO

En este caso la medición del factor de potencia es en forma directa, empleando un factorímetro de gancho. La capacidad del instrumento utilizado para efectuar la medición, depende de la potencia máxima instalada, por medir. Para instalaciones en pozos profundos, se recomienda utilizar instrumentos que abarquen los siguientes rangos:

VOLTAJE: 100 a 600 VOLTS

FRECUENCIA: 50 a 60 Hz

CORRIENTE MAX.: 500 AMPS

CORRIENTE MIN.: 3 AMPS

Este método presenta la desventaja de que la medición obtenida es instantánea y no refleja las variaciones de carga que normalmente ocurren durante un mes.

### 3 FACTOR DE POTENCIA

El bajo factor de potencia se debe a:

- Operación de motores de inducción de capacidad sobrada con respecto a la carga real
- Utilización de lámparas fluorescentes
- Uso de rectificadores
- Operación de unidades de aire acondicionado
- Operación de hornos de inducción

#### EFFECTOS QUE CAUSA EL BAJO FACTOR DE POTENCIA

- Sobrecarga de los cables y transformadores
- Aumento de las pérdidas en el cobre
- Reducción en el nivel del voltaje
- Iluminación reducida en el alumbrado
- Aumento en los costos de energía

#### RAZONES PRINCIPALES PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA

- Incrementar la capacidad de carga en:
  - Transformadores
  - Líneas de transmisión y distribución eléctrica
- Reducir pérdidas por efecto Joule (calentamiento), en los sistemas de:
  - Generación
  - Transmisión
  - Distribución
- Evitar el sobrecargo económico por bajo factor de potencia que determina la Comisión Federal de Electricidad.
- Elevar el nivel de voltaje en los sistemas de:
  - Generación
  - Transmisión

### 3.1 FUNDAMENTOS Y CORRECCIÓN

#### 3.1.1 CORRIENTES ACTIVAS Y CORRIENTES REACTIVAS

En las redes eléctricas de corriente alterna, pueden distinguirse dos tipos fundamentales de cargas: cargas óhmicas o resistivas y cargas reactivas.

Las cargas óhmicas toman corrientes que se encuentran en fase con el voltaje aplicado a las mismas. Debido a esta circunstancia, la energía eléctrica que consumen se transforma íntegramente en trabajo mecánico, en calor o en cualquier otra forma de energía no retornable directamente a la red eléctrica. Este tipo de corrientes se conocen como corrientes activas.

Las cargas reactivas ideales toman corrientes que se encuentran desfasadas  $90^\circ$  con respecto al voltaje aplicado y por consiguiente, la energía eléctrica que llega a las mismas no se consume en ellas, sino que se almacena en forma de un campo eléctrico magnético, durante un corto periodo de tiempo (un cuarto de ciclo) y se devuelve a la red en un tiempo idéntico al que tardó en almacenarse. Este proceso se repite periódicamente, siguiendo las oscilaciones del voltaje aplicado a la carga. Las corrientes de este tipo se conocen como corrientes reactivas.

Una carga real siempre puede considerarse como compuesta por una parte puramente resistiva, dispuesta en paralelo con otra parte reactiva ideal. En cargas tales como las ocasionadas por lámparas incandescentes y aparatos de calefacción, la parte de carga reactiva puede considerarse como prácticamente nula, especialmente a las bajas frecuencias que son normales en las redes eléctricas industriales (50 o 60 Hz.); son cargas eminentemente resistivas y por consiguiente, las corrientes que toman son prácticamente corrientes activas. Sin embargo, en las cargas representadas por líneas de transmisión y distribución, transformadores, lámparas fluorescentes, motores eléctricos, equipos de soldadura eléctrica, hornos de inducción, bobinas de reactancia, etc., la parte reactiva de la carga suele ser de una magnitud comparable a la de la parte puramente resistiva.

En estos casos, además de la corriente activa necesaria para producir el trabajo, el calor o la función deseada, la carga también toma una parte adicional de corriente reactiva, comparable en magnitud a la corriente activa. Esta corriente reactiva, si bien es indispensable, principalmente para energizar los circuitos magnéticos de los equipos mencionados anteriormente, representa una carga adicional de corriente para el cableado de las instalaciones industriales, los transformadores de potencia, las líneas eléctricas e incluso los generadores.

En el caso particular de las instalaciones industriales, la corriente reactiva total, necesaria para energizar todos los circuitos magnéticos de la maquinaria eléctrica de una planta, suele ser de carácter inductivo; es decir, esta corriente se encuentra desfasada  $90^\circ$  en atraso con respecto al voltaje.

#### 3.1.2 FACTOR DE POTENCIA

Se puede decir que la forma más fácil de traducir el factor de potencia como un efecto simple, es el basado en el hecho de que la corriente requerida por los motores de inducción, transformadores,



lámparas fluorescentes, hornos de calentamiento por inducción, máquinas soldadoras, etc., pueden separarse en dos clases de corrientes; corriente productora de energía y corriente magnetizante.

La corriente productora de energía o corriente de trabajo es la que se convierte en útil como un movimiento giratorio; tal como un torno o accionando una bomba para agua. La unidad de medición de energía producida es el KILOWATT (KW) (Potencia activa).

La corriente magnetizante conocida también como carente de Watts, reactiva o corriente sin trabajo es la que se requiere para producir el flujo necesario para la operación de dispositivos de inducción. Sin corriente magnetizante, la energía no podría fluir a través del núcleo de un transformador o a través del espacio de aire de un motor de inducción. La unidad de medición de energía producida por la corriente magnetizante es el KILOVAR (KVAR) (Potencia reactiva).

La corriente total es la que se forma de la suma geométrica de la corriente magnetizante y la que produce energía. La unidad de medición de la corriente total es el KILOVOLTAMPERE (KVA) (Potencia aparente).

La mayoría de los sistemas de energía de corriente alterna, requieren tanto los Kilowatts como los Kilovars.

### 3.1.3 CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Una forma sencilla y económica de resolver los inconvenientes de operar con un bajo factor de potencia y de obtener un ahorro considerable, en la mayoría de los casos, es el instalar capacitores de potencia, ya sea en alta o en baja tensión.

Los capacitores de potencia conectados en paralelo a un equipo especial o a la carga que supone una instalación industrial completa, representan una carga reactiva de carácter capacitivo, que toma corrientes defasadas 90°, adelantada con respecto al voltaje. Estas corrientes, al hallarse en oposición de fase con respecto a las corrientes reactivas de tipo inductivo, tienen por efecto el reducir la corriente reactiva total que consume la instalación eléctrica en cuestión.

## 4. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ELECTROMECÁNICA

La eficiencia electromecánica global de los equipos de bombeo instalados en los pozos (conjunto bomba-motor), está definida genéricamente de acuerdo a la siguiente relación:

$$\text{Efic. Total} = (\text{Potencia Hidráulica Requerida por el Sistema}) / (\text{Potencia Eléctrica Suministrada})$$

La potencia hidráulica utilizada por la bomba es:

$$\text{Potencia Hidráulica} = (Q \times H) / 76$$

Donde:

Potencia hidráulica dada en HP

Q = Gasto, en l.p.s

H = Carga de bombeo, en m.c.a

Para determinar la eficiencia global del conjunto bomba-motor, es necesario evaluar previamente las pérdidas por fricción en la columna, medir la presión a la descarga, determinar el nivel dinámico y medir el gasto manejado por el equipo de bombeo.

A continuación se describe la forma de obtener cada uno de los parámetros antes mencionados:

#### 4.1 EVALUACIÓN DE PERDIDAS POR FRICCIÓN EN LA COLUMNA

Para determinar las pérdidas por fricción en la columna de bombeo, se hace uso de la información técnica proporcionada por los fabricantes, en donde aparecen tabuladas las pérdidas por fricción para diferentes condiciones de columna y diámetros.

#### 4.2 DETERMINACIÓN DE LA CARGA DE BOMBEO

La carga total de bombeo está dada por la siguiente suma de cargas parciales:

$$H = P_m + N.D. + h_{fc}$$

Donde:

H = Carga total de bombeo, en m.c.a

P<sub>m</sub> = Presión manométrica medida a la descarga, en m.c.a

N.D = Nivel dinámico, en m

h<sub>fc</sub> = Pérdidas por fricción en la columna, en m.c.a

La presión en la descarga, se mide directamente en el manómetro instalado lo más cercano posible al cabezal de la bomba, en la tubería de descarga. La lectura del manómetro que generalmente está calibrado en Kg/cm<sup>2</sup> se convierte en m.c.a.

#### 4.3 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA ELÉCTRICA

La potencia eléctrica suministrada al motor se determina de la siguiente manera:

Con el equipo de bombeo en operación, se miden las tensiones con un voltímetro, las corrientes con un amperímetro y el factor de potencia con un factorímetro de gancho.

#### 4.4 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA GLOBAL DEL EQUIPO ELECTROMECÁNICO

Se parte de la expresión:

$$\text{Efic. Total} = (\text{Potencia Hidráulica Requerida por el Sistema}) / (\text{Potencia Eléctrica Suministrada})$$

$$\text{Efic. Total} = P_h / P_e = \eta_t$$

$$\text{Potencia Hidráulica} = Q \times H / 76 = P_h$$

Sustituyendo la segunda expresión en la primera, queda:

$$\eta_t = Q \times H / 76 \times P_e$$

Donde:

$\eta_t$  = Eficiencia total del conjunto bomba-motor

Q = Gasto, en l.p.s

H = Carga total de bombeo, en m.c.a

Pe = Potencia eléctrica suministrada al motor, en HP

76 =Factor de conversión a HP

Para calcular la eficiencia de la bomba partimos de la siguiente expresión:

$$\eta_t = \eta_b \times \eta_m$$

$$\eta_b = \eta_t / \eta_m$$

Donde:

$\eta_b$  = Eficiencia de la bomba

$\eta_m$  = Eficiencia del motor (Suministrada por fabricante)

Combinando las fórmulas anteriores se puede determinar la eficiencia de la bomba, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\eta_b = Q \times H \times 76 \times P_e \times \eta_m$$

Por otra parte, las eficiencias en los motores eléctricos, usados para accionar bombas de pozo profundo, presentan valores entre el 80 y el 94 %, dependiendo de su potencia, velocidad y posición del eje.

Por lo general, una buena selección del equipo de bombeo implica eficiencias del 80 %, y considerando para el motor eléctrico el 90 %, resulta que la eficiencia global del conjunto deber ser del orden de 72 % en buenas condiciones de operación, para bombas accionadas con motor externo.

Para bombas con motor sumergido, la eficiencia global del conjunto, en una adecuada selección del equipo se considera del orden del 60 %, en donde la eficiencia del motor es del 84 % y la eficiencia de la bomba del 71 %.

Durante la operación normal de un equipo de bombeo, existen desgastes propios de sus componentes móviles, por lo que la eficiencia disminuye a través del tiempo de operación.

Cuando el equipo es operado en condiciones anormales de funcionamiento, tales como extracción de arena o aire en los pozos o problemas de verticalidad, por mencionar los más frecuentes, el desgaste de los impulsores ocurre en menor tiempo, lo que provoca que la eficiencia de la bomba disminuya proporcionalmente.

Esta es una de las razones por la cual deben verificarse periódicamente las eficiencias citadas como parte de un mantenimiento preventivo que permita programar acciones tendientes a conservar la operación de éstos equipos en condiciones aceptables.

## 5 RECOMENDACIONES

Recomendaciones sugeridas para mejorar la eficiencia de los equipos electromecánicos y el uso eficiente de la energía en equipos de bombeo

- En bombas verticales tipo pozo profundo con motor externo, cuando la eficiencia global del conjunto bomba-motor sea menor del 55 % es recomendable reparar o sustituir el equipo de bombeo.
- En bombas con motor sumergido, cuando la eficiencia del conjunto bomba-motor sea menor del 42 % se recomienda reparar o sustituir el equipo de bombeo.
- Cuando el factor de potencia de la instalación eléctrica sea menor a 87 % es recomendable la instalación de banco de capacitores, para corregirlo, por lo menos a 90 % que es el requerimiento mínimo de la Comisión Federal de Electricidad.
- Es importante implementar un programa de mantenimiento preventivo en los equipos electromecánicos.
- Es conveniente instrumentar un programa de verificación de eficiencias, a través del registro de variables eléctricas e hidráulicas, durante la operación de los equipos electromecánicos.
- Es de suma importancia la selección adecuada del equipo de bombeo, de acuerdo a las condiciones hidráulicas y constructivas del pozo. Este hecho puede significar reducciones importantes en los costos de operación.