

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE.



**EFICIENCIA ELECTROMECÁNICA EN EQUIPO DE BOMBEO DE TURBINA
VERTICAL, EN EL RANCHO LAS TRAMPAS, MUNICIPIO DE NAVA, COAHUILA.**

POR:

MIGUEL ANGEL LAPARRA ROBLERO

TRABAJO DE OBSERVACIÓN

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO, MARZO DE 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**EFICIENCIA ELECTROMECAÁNICA EN EQUIPO DE BOMBEO DE TURBINA
VERTICAL, EN EL RANCHO LAS TRAMPAS, MUNICIPIO DE NAVA, COAHUILA.**

TRABAJO DE OBSERVACIÓN

Presentado por:

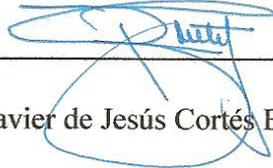
MIGUEL ANGEL LAPARRA ROBLERO

Que somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial para obtener el
título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Asesor



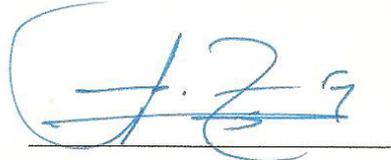
Dr. Sergio Zeferino Garza Vara

Asesor

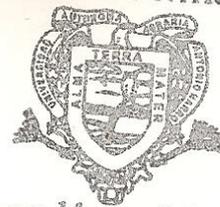


Dr. Luis Samaniego Moreno

Universidad Autónoma Agraria
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA "ANTONIO NARRO"



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez



**Coordinación de
Ingeniería**

AGRADECIMIENTOS

A mi gran “Alma Terra Mater”, por haberme brindado la oportunidad de ser parte de ella, el cual me siento muy orgulloso de formar parte de la familia de Los Buitres.

A todos los maestros del Departamento de Riego y Drenaje, les estaré eternamente agradecido, por todas las enseñanzas que me brindaron durante mi estancia en la Universidad, el cual fueron piezas clave para mi formación y desarrollo profesional.

Al Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho, por su apoyo desinteresado e incondicional, para la realización del presente trabajo, muchas gracias por su asesoría, consejos, sugerencias, por todo su apoyo y tiempo brindado.

Al Dr. Sergio Garza Vara, por haber aceptado ser parte del presente trabajo, y por su apoyo desinteresado para la elaboración del mismo, gracias por su ayuda y su tiempo.

Al Dr. Luis Samaniego Moreno, por su apoyo incondicional, por aceptar ser parte del presente trabajo, gracias por su ayuda y su tiempo brindado.

A todos mis compañeros de generación, que aunque no están físicamente en estos momentos, les agradezco su amistad y apoyo brindado en todo el tiempo que estuvimos y compartimos en nuestra Alma Mater.

DEDICATORIA

Primeramente a **Dios**, por darme vida, salud, por haberme dado la dicha y oportunidad de terminar mis estudios, sin su ayuda no lo hubiese podido lograr.

A mis padres: Becker Laparra Anzueto (+);

Aunque ya no estás físicamente con nosotros, dedico este trabajo a tu memoria, estoy seguro que donde quiera que te encuentres, estás orgulloso por este logro.

Elizabeth Roblero Sánchez;

Gracias por haberme dado la vida, tu comprensión, cariño, y por apoyarme incondicionalmente para la culminación de mis estudios, que Dios te bendiga siempre madre.

A mis hermanos: Ever Laparra Roblero;

Claudia P. Laparra Roblero;

Gracias por sus consejos, su apoyo moral e incondicional, fueron muy importantes para poder lograr mi objetivo, la culminación de la carrera. Gracias por ser mis hermanos, los quiero.

A mis sobrinos: Becker, Marianita, Angelita;

Gracias por su cariño, los quiero mucho, que Dios los bendiga siempre.

A mi querida e inolvidable “Alma Terra Mater”.

¡Gracias!

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Definición de bomba	4
Potencia	5
Clasificación de bombas para uso agrícola	5
Bombas centrífugas horizontales	5
Elementos principales de las bombas centrífuga horizontales	5
Bombas sumergibles (motor y bomba sumergibles)	6
Bombas de turbina vertical	6
Componentes de una bomba de turbina vertical	7
Motores	7
Conjunto de cabezal de descarga	8
Conjunto de columna	8
Conjunto de tazones	8
EFICIENCIA ELECTROMECAÁNICA EN EQUIPOS DE BOMBEO	9
Definición	9
Nom-006-ener-1995	9
Diagnósticos de eficiencia electromecánica	10
Factores que afectan la eficiencia	11
Factores que incrementan la eficiencia	12
Acciones para el mejoramiento de la eficiencia electromecánica	12
Evaluación de la eficiencia electromecánica en un sistema de bombeo tipo turbina vertical	13
Carga a la descarga (hd)	13
Carga de velocidad (hv)	13
Carga total de bombeo (H)	14
Potencia de entrada al motor (Pe)	14
Potencia de salida de la bomba (Ps)	14
Eficiencia del conjunto motor-bomba (η_t)	15

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO REALIZADO AL EQUIPO DE BOMBEO DE TURBINA VERTICAL DEL POZO PARA RIEGO AGRÍCOLA, EN EL RANCHO LAS TRAMPAS, MUNICIPIO DE NAVA, COAHUILA	16
Antecedentes	16
Acción concreta	16
Análisis de facturación eléctrica de un año	17
Sistema ineficiente	19
Eficiencia electromecánica	21
Mediciones y cálculos	22
Cálculo de las pérdidas de carga por fricción en la tubería (columna)	26
Sistema eficiente	28
CONCLUSIONES	32
RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	34

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Valores mínimos de eficiencias electromecánicas	10
Cuadro 2. Resumen del Proyecto	16
Cuadro 3. Facturación eléctrica	17
Cuadro 4. Parámetros eléctricos	22
Cuadro 5. Parámetros hidráulicos	23
Cuadro 6. Resumen situación actual	23
Cuadro 7. Mediciones eléctricas	23
Cuadro 8. Reporte de pruebas de campo	24
Cuadro 9. Mediciones de campo (situación actual)	25
Cuadro 10. Pérdidas de carga por fricción en columna (Ecuación Hazem-Williams)	26
Cuadro 11. Resumen sistema eficiente	28
Cuadro 12. Potencia demandada por la nueva bomba (en la flecha)	30
Cuadro 13. Características de operación del nuevo sistema	30
Cuadro 14. Resumen situación propuesta	30

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Recibo energía eléctrica, Rancho Las Trampas, Nava, Coahuila	18
Figura 2. Sistema de bombeo vertical flecha hueca de 75 HP	19
Figura 3. Subestación eléctrica, en Rancho Las Trampas	20
Figura 4. Incremento en pérdidas de carga por fricción debido a la antigüedad de la tubería	27
Figura 5. Impulsor fabricado en bronce, con impulsor cerrado y tazón esmaltado	28
Figura 6. Curva de rendimiento de la bomba eficiente	29
Figura 7. Tabla de Eficiencia Motores US	31

RESUMEN

El presente trabajo trata de la evaluación de la eficiencia electromecánica de un equipo de bombeo de turbina vertical, en el rancho Las Trampas, en el municipio de Nava, Coahuila. Es un sistema instalado hace aproximadamente diez años, que por el paso del tiempo, las características de operación originales de diseño ya no se encuentran aportando las demandas de gasto y carga que se necesitan para el óptimo aprovechamiento en el riego agrícola.

El interés de realizar el diagnóstico es porque el productor ha notado considerablemente la disminución tanto en el caudal como en la carga que está aportando la actual bomba instalada.

Para conocer exactamente lo que está ocurriendo con el sistema actual, antes de todo, se procede a hacer una revisión al equipo para evaluar que la ineficiencia no se deba a una falla de algún componente del sistema de bombeo. En este caso se realizaron estas pruebas, descartando primeramente que la ineficiencia se deba a algún problema con el pozo.

Se realizaron las mediciones correspondientes para verificar en qué estado se encuentra la eficiencia del equipo de bombeo de turbina vertical, dando como resultado que la eficiencia electromecánica de este equipo es menor al 40%, es decir, que es una bomba con muy bajo rendimiento, por lo que no se está aportando la suficiente carga y gasto para el óptimo funcionamiento del equipo de riego, que en este caso se trata de un pivote central fijo, aunado a esto, las tarifas de energía eléctrica están elevadas, debido al mal funcionamiento del sistema. Podremos observar que para cubrir las necesidades que requiere el sistema de riego, no es necesario trabajar con un equipo de bombeo de 75 hp, como se está haciendo actualmente, y comprobaremos que con una bomba de menor capacidad, podemos cubrir las necesidades de carga y gasto para el sistema de riego, y lo más importante, con un costo de energía eléctrica más bajo.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto una particular tendencia a promover el uso racional del agua y la energía eléctrica, en virtud del constante incremento de la población a beneficiar, la disminución de precipitaciones pluviales, el abatimiento de los niveles freáticos por falta de recarga, la sobreexplotación y contaminación de los mantos acuíferos, lo cual, lleva a definir lo anterior como una situación de crisis energética e hídrica.

En términos generales se puede decir que el tema del ahorro de la energía eléctrica en el bombeo de agua potable y agrícola, está relacionado de forma muy estrecha con todas las acciones referentes a estudios de acuíferos, rehabilitación de cuencas, recuperación de agua, catastros de redes, padrón de usuarios, estudios tarifarios y difusión cultural, donde la aplicación de sus medidas para el ahorro del agua aportan beneficios que se suman directamente al ahorro de energía eléctrica en el bombeo para agua potable y agrícola.

Lo que hace indicar que basándose en esta premisa, se considera importante implementar programas estratégicos encaminados a cumplir con estos objetivos, ya que el porcentaje estimado que se puede obtener con acciones específicas al ahorro de energía eléctrica que se aplica al servicio de bombeo es aproximadamente del 20% en promedio.

La pérdida de agua representa un dispendio de energía eléctrica considerable, que impacta en la eficiencia del sistema, por lo que es importante que la planeación de los programas sean pensados en obtener el objetivo particular del programa, que es disminuir en lo más posible la diferencia entre los volúmenes de producción y facturación de agua. Al batir estas pérdidas, se obtienen resultados positivos ya que se refleja en un ahorro de energía eléctrica, se evitan tandeos en el bombeo, se evita la contaminación en las líneas por presencia de fugas y se incrementa la cobertura de servicio.

Debemos de considerar que los sistemas de abastecimiento funcionan sobre una circunstancia dinámica que se basa en las variaciones de los niveles dinámicos, gastos requeridos de bombeo y presión mínima y máxima a la descarga para abastecer el

servicio en el sector, lo cual exige el monitoreo continuo de estas variables que ayudan a controlar la eficiencia real del sistema hidráulico. (Pérez, 2002)

OBJETIVOS

Los principales objetivos en la elaboración del presente trabajo de observación, son los siguientes:

- 1.- Conocer la importancia que tiene la alta eficiencia electromecánica de un equipo de bombeo de pozo profundo para el riego agrícola.
- 2.- Conocer y entender los factores que afectan directamente la eficiencia de un equipo de bombeo, sus causas y posibles soluciones.
- 3.- Conocer el procedimiento para llevar a cabo un estudio técnico, y verificar el estado en que se encuentra el equipo, para determinar si es viable o no el continuar usando el equipo actual, o si hay alguna forma de incrementar la eficiencia sin sustituir el equipo completo.
- 4.- Determinar la eficiencia electromecánica de un equipo de bombeo de pozo profundo tipo turbina vertical, en el rancho Las Trampas, ubicado en Nava, Coahuila, y evaluar la factibilidad de sustituir el equipo actual.

REVISIÓN DE LITERATURA

Definición de bomba

Una bomba hidráulica es una [máquina](#) generadora que transforma la energía (generalmente [energía mecánica](#)) con la que es accionada en [energía hidráulica](#) del [fluido incompresible](#) que mueve. El fluido incompresible puede ser [líquido](#) o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel. Al incrementar la [energía](#) del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el [principio de Bernoulli](#). 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.

Existe una ambigüedad en la utilización del término bomba, ya que generalmente es utilizado para referirse a las [máquinas de fluido](#) que transfieren energía, o *bombear fluidos incompresibles*, y por lo tanto no alteran la densidad de su fluido de trabajo, a diferencia de otras máquinas como lo son los [compresores](#), cuyo campo de aplicación es la [neumática](#) y no la [hidráulica](#). Pero también es común encontrar el término bomba para referirse a máquinas que bombean otro tipo de fluidos, así como lo son las [bombas de vacío](#) o las [bombas de aire](#). (Fundación Wikimedia, Inc.; 2013)

Las bombas se utilizan para impulsar líquidos a través de sistemas de tuberías. Determinamos h_a que es la energía que una bomba agrega al fluido. A este valor h_a se le llama carga total sobre la bomba, algunos fabricantes de bombas se refieren a él como Carga Dinámica Total (TDH).

La ecuación de Bernoulli debe interpretarse como una expresión del conjunto total de tareas que tiene que realizar la bomba en un sistema dado. Debe elevar la presión del fluido, desde la que tiene en la fuente $p-1$, hasta la que tendrá en el punto de destino $p-2$. Debe subir el fluido desde el nivel de la fuente $z-1$, al nivel del destino $z-2$. Tiene que incrementar la carga de velocidad en el punto 1 a la del punto 2. Se necesita que compense cualquier pérdida de energía en el sistema debido a la fricción en las tuberías o en válvulas, acoplamientos, componentes del proceso o cambios en el área o dirección de flujo.

Potencia

Cuando una bomba transmite potencia al fluido hay pérdidas inevitables de energía debido a la fricción mecánica y a la turbulencia que se crea en el fluido cuando pasa a través de ella, por lo tanto, se requiere más potencia para impulsar la bomba que la cantidad que eventualmente se transmite al fluido. (Bustamante, 2004)

Clasificación de Bombas para Uso Agrícola:

- **Bombas centrífugas horizontales**

Una bomba centrífuga es un dispositivo constituido por un conjunto de paletas rotatorias perfectamente encajadas dentro de una cubierta metálica, de manera que son capaces de impulsar al líquido que esté contenido dentro de la cubierta, gracias a la fuerza centrífuga que se genera cuando giran las paletas.

La disposición del eje de giro horizontal presupone que la bomba y el motor se hallan a la misma altura; éste tipo de bombas se utiliza para funcionamiento en seco, exterior al líquido bombeado que llega a la bomba por medio de una tubería de aspiración. Las bombas centrífugas, sin embargo, no deben rodar en seco, ya que necesitan del líquido bombeado como lubricante entre aros rasantes e impulsor, y entre empaquetadura y eje. Como no son auto aspirantes requieren, antes de su puesta en marcha, el estar cebadas; esto no es fácil de conseguir si la bomba no trabaja en carga, estando por encima del nivel del líquido, que es el caso más corriente con bombas horizontales, siendo a menudo necesarias las válvulas de pie, (aspiración), y los distintos sistemas de cebado.

Los elementos principales de toda bomba centrífuga horizontal son:

- 1) Un elemento estático conformado por chumaceras, estopero y cubierta.
- 2) Un elemento dinámico-giratorio conformado por un impulsor y una flecha.

En los últimos años, gracias a las facilidades que se han venido dando en el suministro de la energía eléctrica, el uso de las bombas se ha extendido de gran manera.

Dado que la mayoría de las bombas son impulsadas con motores eléctricos, esta mejora en el flujo de la electricidad ha permitido que los diseñadores y fabricantes de motores eléctricos puedan proveer motores poderosos y confiables.

Este tipo de bombas son usadas en el sector agrícola, principalmente en fuentes de abastecimiento tales como; ríos, presas, lagunas, lagos. (Admin, 2008)

- **Bombas sumergibles (motor y bomba sumergibles)**

Una bomba sumergible es aquella que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja de este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido.

Un sistema de [sellos mecánicos](#) se utiliza para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor y cause un [cortocircuito](#). La bomba se puede conectar con un tubo, manguera flexible o bajar abajo de los carriles o de los alambres de guía de modo que la bomba siente en "un acoplador del pie de los platos", de tal forma conectándola con la tubería de salida.

Las bombas sumergibles tienen muchas utilidades, las de etapa simple se utilizan para el drenaje, el bombeo de [aguas residuales](#), el bombeo industrial general y el bombeo de la mezcla. Las bombas sumergibles se colocan habitualmente en la parte inferior de los depósitos de [combustible](#) y también se utilizan para la extracción de agua de [pozos](#) de agua. (Fundación Wikimedia, Inc.; 2012)

- **Bombas de turbina vertical**

Entre las bombas sumergidas, las más importantes son las llamadas de pozo profundo, de sondeo o de turbina vertical, que fueron desarrolladas para la explotación de pozos, perforaciones y sondeos de diámetro reducido. Esta circunstancia limita forzosa-mente la altura por etapa, lo que conduce al concepto de bombas multicelulares para reducir el espacio.

El impulsor de aspiración simple, puede ser radial o diagonal, según las condiciones de servicio y su construcción cerrada o semiabierta. Los impulsores semiabiertos, sin embargo, aparte de su mayor empuje axial, hasta el 50% mayor, requieren un ajuste vertical más cuidadoso durante el montaje. El conjunto de difusores del cuerpo de

bomba y la tubería de impulsión, cuelgan del cabezal sobre el que va montado el motor, constituyendo el codo de desviación de la impulsión. A veces, los difusores se recubren interiormente de un esmalte especial que disminuye la rugosidad de la fundición y las pérdidas hidráulicas consiguientes, aumentando el rendimiento, dotando de una cierta uniformidad a las distintas unidades, lográndose una mejor resistencia a la corrosión y a la abrasión.

Las bombas verticales de turbina están diseñadas para aplicaciones de bombeo con líquidos limpios o ligeramente contaminados. La sección hidráulica está sumergida en el líquido a bombear, con el motor montado en seco en la parte superior del pozo o cántara. La descarga se produce a través de la columna montante de descarga común, donde se encuentra el eje de la bomba. Las bombas verticales de turbina tienen un eje vertical con cojinetes deslizantes lubricados por el líquido bombeado. (Buenas Tareas; 2011)

Componentes de una bomba de turbina vertical:

Los componentes básicos de las bombas de acoplamiento compacto son el motor, el conjunto del cabezal de descarga, el conjunto de columna (si se usa) y el conjunto del tazón. Normalmente, las bombas se despachan armadas y listas para instalar. Los motores, acoples y coladores (si se usan) se envían desarmados para evitar daños.

Motores:

Se podrá utilizar una variedad de motores; no obstante, los más comunes son los motores eléctricos que pueden agruparse en dos categorías:

1. Motores de eje hueco, donde el eje de la bomba se extiende a través de un tubo por el centro del rotor y se conecta al motor por medio de un conjunto de embrague en la parte superior del motor.
2. Motores de eje sólido, donde el eje del rotor es sólido y se proyecta por debajo de la base de montaje del motor. Este tipo de motor requiere un acople ajustable con reborde para ser conectado a la bomba.

Conjunto de cabezal de descarga:

El cabezal de descarga sostiene el motor y el conjunto de tazón y también brinda una conexión de descarga (conexión de descarga tipo “NUF” que estará ubicada en una de las secciones de tubería de columna debajo del cabezal de descarga). Ubicada en el cabezal de descarga hay una disposición de sellado de eje para sellar el eje donde sale de la cámara de líquido. El sello del eje será generalmente un sello mecánico o un prensaestopa.

Conjunto de columna:

El conjunto de columna es de dos tipos básicos, pudiéndose utilizar cualquiera de los dos:

1. La construcción en eje lineal abierto utiliza el líquido bombeado para lubricar los cojinetes del eje lineal.
2. La construcción en eje lineal cerrado tiene un tubo recubridor alrededor del eje lineal y utiliza aceite, grasa o líquido inyectado (generalmente agua limpia) para lubricar los cojinetes del eje lineal.

El conjunto de columna consiste de: 1) la tubería de columna, que conecta el conjunto de tazón al cabezal de descarga, 2) el eje, que conecta el eje de tazón al motor y 3) puede tener también cojinetes si estos son requeridos por la unidad en particular. La tubería de columna podrá ser roscada o con bridas.

Conjunto de tazones:

El tazón consiste de: 1) impulsores montados rígidamente sobre el eje de tazón, que giran e imparten energía al fluido, 2) tazones para servir de contención al incremento de presión e impartir dirección al fluido, 3) campana o caja de succión que dirige el fluido hacia el primer impulsor, y 4) cojinetes ubicados en la campana (o caja) de succión y en cada tazón. (National Pump Company, USA)

EFICIENCIA ELECTROMECAÁNICA EN EQUIPOS DE BOMBEO

Definición:

Es el cociente de la potencia medida a la salida de la bomba entre la potencia de entrada al motor eléctrico. Se expresa en porcentaje.

Año con año en las últimas décadas se presentan situaciones difíciles para los productores, la CFE y PEMEX por los costos de las facturaciones, por consumo de energía eléctrica para el bombeo de agua para riego y por el diesel principalmente.

La visión de esta situación es que de origen, es en gran parte de carácter técnico (baja eficiencia electromecánica) de operación de los equipos de bombeo. Este aspecto técnico se convierte en un alto consumo de energía eléctrica y por lo tanto en un alto costo difícil de pagar, por lo que se convierte finalmente en un conflicto social. Por otra parte, como se sabe, en los estados del norte de México se ha incrementado el consumo de energía eléctrica y se ha reducido la disponibilidad del agua debido principalmente a lo siguiente:

- Fuertes abatimientos de los niveles freáticos
- Sequías recurrentes en los últimos años
- Incrementos de pozos para bombeo agrícola
- Descontrol en el volumen de agua para riego agrícola
- Tarifas subsidiadas para el bombeo agrícola
- Obsoletos sistemas para riego agrícola en su mayoría

NOM-006-ENER-1995

La NOM-006-ENER-1995 aplica a sistemas con bombas verticales tipo turbina con motor eléctrico externo o sumergible usadas en la extracción de agua de pozo profundo y para el intervalo de potencias de 5,5-261 kW (7,5-350 HP). Se considera cualquier sistema de bombeo para pozo profundo el que utilice la energía eléctrica como medio energético para sus fines y que, derivado del diagnóstico respectivo, su eficiencia electromecánica resulte menor o igual al 40% en forma combinada, considerando el conjunto bomba-motor, debiéndose efectuar acciones de rehabilitación o sustitución de los equipos electromecánicos, con el propósito de elevar la eficiencia a los niveles establecidos.

Se considera cualquier sistema de bombeo para pozo profundo el que utilice la energía eléctrica como medio energético para sus fines y que, derivado del diagnóstico respectivo, su eficiencia electromecánica resulte menor o igual al 40% en forma combinada, considerando el conjunto bomba-motor, debiéndose efectuar acciones de rehabilitación o sustitución de los equipos electromecánicos, con el propósito de elevar la eficiencia a los niveles establecidos.

Cuadro 1. Valores mínimos de eficiencias electromecánicas*

INTERV. POTENCIA KW	INTERV. POTENCIA HP	EFF. ELECTROMECC. %
5,6-14,9	7,5-20	52
15,7-37.3	21-50	56
38,0-93,3	51-125	60
94,0-261	126-350	64

(*Departamento de Electrificación y Ahorro de Energía del Gobierno del Estado de Chihuahua; 2010)

Diagnósticos de eficiencia electromecánica

Para conocer el grado de eficiencia en la utilización de la energía eléctrica en sistemas de bombeo de agua potable de pozo profundo, se requiere la realización de los diagnósticos de eficiencia electromecánica con lo cual se determinará la factibilidad técnica y con ello la económica para decidir si es conveniente la aplicación de recursos económicos y obtener la amortización de la inversión como resultado de los ahorros.

Las consideraciones para obtener un adecuado diagnóstico de eficiencia electromecánica se basa en lo siguiente:

- Utilizar equipos de medición con tecnología de punta y de gran precisión.
- Contratación de especialistas con experiencia en éste ramo.
- Entregar un expediente final que contenga la información siguiente:
 - a) Recopilación de información básica.
 - b) Medición en campo de parámetros eléctricos, hidráulicos y de presión.
 - c) Cálculos de eficiencia del sistema actual y cálculo de la potencia requerida para mejorar la eficiencia del sistema.
 - d) Adecuación del tren de válvulas.
 - e) Análisis de la tarifa eléctrica y sus recomendaciones de cambio.

(Pérez, 2002)

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 tomar 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.

- Acuíferos

Las causas a las que se atribuyen las bajas eficiencias del sistema son 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 tazonos).
3. Selección de la potencia del motor.
4. Mantenimiento preventivo a bombas y motores.
5. Calidad de la información.

Así mismo, uno de los parámetros más importante y que condiciona las eficiencias electromecánicas de los equipos, es el gasto o caudal de operación.

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. (Comisión Nacional del Agua; 2009)

Factores que incrementan la eficiencia

Para mantener, prever o controlar la eficiencia, podemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones: (Comisión Nacional del Agua; 2009)

- Selección del equipo de bombeo (motor-bomba) apropiado, teniendo el conocimiento pleno del sistema.
- Acabado de la superficie de los impulsores.
- Control del tamaño de sólidos.
- Montaje apropiado del equipo (motor-bomba).
- Evitar recorte de impulsores.
- Reposición de grasa adecuada.
- Nivelación de la flecha

Acciones para el mejoramiento de la eficiencia electromecánica

Conforme a las recomendaciones que se indican en el diagnóstico se pueden realizar las siguientes acciones:

- Rehabilitación de fuentes de abastecimiento:

Esta actividad inicia regularmente con la extracción del equipo de bombeo para llevar a cabo la toma de un video al interior del pozo y determinar qué tipo de rehabilitación se ha de aplicar ya sea mecánica, química o combinada, para finalmente concluir con la realización de un aforo para conocer su potencial hidráulico del pozo. Para tener un mejor resultado se recomienda tener especial cuidado en la ejecución de los trabajos ya que por lo regular los ademes se encuentran muy corroídos y con presencia de colapsos, lo cual si no se toma en cuenta entonces puede ocasionar la pérdida total del pozo. También se debe considerar que las rehabilitaciones de los pozos solamente son factibles de realizarse en dos o tres ocasiones y después programar la reposición del mismo.

- Rehabilitación de equipos de bombeo:

En cuanto a la rehabilitación de los equipos de bombeo, es importante que ante todo se conozcan datos reales del aforo del pozo, condiciones de gasto y carga normal de operación requeridos por el sector de influencia al cual abastece el pozo, y definir la potencia del equipo de bombeo que optimice el consumo de energía eléctrica. Se ha considerado que un equipo de bombeo que se ha reparado más de tres ocasiones es factible de análisis ya que no siempre el problema se encuentra en el equipo de bombeo, lo cual requiere realizar un estudio de todo el sistema en conjunto que comprende pozo, equipo de bombeo, línea de conducción y tanque de almacenamiento, para lograr una buena eficiencia.

Es importante indicar que los equipos técnicamente son seleccionados para operar en un rango de trabajo en cuanto a carga y gasto se refiere para lo cual fueron diseñados, lo que quiere decir que, si por necesidades del sistema se le exigiera al equipo que operara en condiciones para lo cual no fue seleccionado y así solventar un déficit de servicio en ciertas zonas donde se carece de gasto y carga adecuados, entonces los resultados se reflejarán en el incremento del consumo de energía eléctrica además teniendo como consecuencia que el equipo no reeditará el periodo económico de duración y por lo tanto su costo de mantenimiento será mayor. (Pérez, 2002)

Evaluación de la eficiencia electromecánica en un sistema de bombeo tipo turbina vertical

Para el análisis y evaluación de la eficiencia, es oportuno repasar 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 es lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas.

- **Carga a la descarga (hd):** 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 (hv):** Es la energía cinética por unidad de peso del líquido en movimiento, su unidad de medida es el metro (m).

- **Carga total de bombeo (H):** 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 por velocidad, su unidad de medida es el metro (m).

$$H = P_m + ND + h_{fc} + h_v$$

Donde:

H Carga total de bombeo (m)

P_m o P_{gd} Presión en la descarga, en metros de columna de agua (m.c.a.)

ND o Z_d Nivel dinámico (m)

h_{fc} Pérdidas por fricción en la columna (m.c.a.)

h_v Carga de velocidad (m)

- **Potencia de entrada al motor (P_e):** Es la potencia en Watts, que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba.

$$P_e = \sqrt{3}VI\cos\phi$$

Donde:

V Tensión eléctrica (V)

I Corriente eléctrica (Amperes)

$\cos\phi$ Factor de potencia (Adimensional)

- **Potencia de salida de la bomba (P_s):** Es la potencia en Watts, transferida al agua por la bomba, medida lo más cerca posible al cabezal de descarga.

$$P_s = q_v \rho g H$$

Donde:

q_v Flujo volumétrico (m^3/s)

ρ Densidad del agua bombeada (kg/m^3)

g Aceleración de la gravedad (m/s^2)

H Carga total de bombeo (m)

- **Eficiencia del conjunto motor-bomba (η_t):** Es la relación de la potencia de salida de la bomba entre la potencia de entrada al motor de la bomba, la eficiencia se expresa en porcentaje.

$$\eta_t = \frac{P_s}{P_e} \times 100$$

Donde:

P_s Potencia de salida de la bomba (Watts)

P_e Potencia de entrada al motor (Watts)

(Comisión Nacional del Agua; 2009)

**DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO REALIZADO AL EQUIPO DE BOMBEO
TURBINA VERTICAL DEL POZO PARA RIEGO AGRÍCOLA
RANCHO LAS TRAMPAS, MUNICIPIO DE NAVA, COAHUILA.**

Antecedentes

El pozo del rancho Las Trampas, se localiza en el estado de Coahuila, municipio de Nava, cuenta con título de concesión No. 06COA113824/24ILGE05, cuyo volumen es de 2,086,012 m³ al año; otorgado al Sr. Isaac Adrian Villareal Budnik, para su uso en rancho Las Trampas, del cual acredita su legal posesión con escritura pública No. 14,514, expedida por la notaria pública No. 81, en la Ciudad de Monterrey, Nuevo León, a cargo del Lic. José Emilio Guizar Figueroa.

Cuenta con servicio eléctrico en tarifa 9N a 3 hilos. Con número de servicio de la CFE 355 750 407 385, y número de medidor 0N344A.

Acción concreta

Presentar los beneficios técnicos y económicos al realizar el cambio de la bomba actual tipo turbina, con motor vertical marca Robbco Pumps, modelo 11CHO de 4 pasos, acoplada a motor eléctrico trifásico de 75 HP con 10 años de operación; por una bomba marca National Pump, modelo J11HC de 4 pasos, con impulsores de tipo cerrado, fabricados en bronce. Diámetro del impulsor de 7.95”, y tubería de columna y descarga en acero cedula 40. El motor es de 60HP a 1770 RPM, trifásico a 440V.

Cuadro 2. Resumen del proyecto

Situación	kW	kWh/año	\$/año	Anexo	Gasto (L/s)	Carga Total (m.c.a.)
Sistema ineficiente	61.12	167,653.00	\$64,150.05		40	62.00
Sistema eficiente	45.00	123,390.00	\$47,209.01		50	70.00

Análisis de facturación eléctrica de un año

Aclaración con respecto a la carga dinámica total (sistema ineficiente vs. sistema eficiente):

La carga dinámica total para la cual se diseñó el equipo original de bombeo es de 70.00 m.c.a., sin embargo, el sistema se encuentra aportando 62.00 m.c.a., solamente. Por lo anterior, el nuevo equipo se diseñó para aportar los 70.00 m.c.a., que debe aportar.

Cuadro 3. Facturación eléctrica

RPU: 355 750 407 385			
Mes	kWh	Precio \$Kw/h	Facturación
dic-10	16,737	0.3669	\$ 6,140.8053
ene-11	14,358	0.3715	\$ 5,333.9970
feb-11	6,243	0.3836	\$ 2,394.8148
mar-11	10,572	0.3818	\$ 4,036.3896
abr-11	20,634	0.3857	\$ 7,958.5338
may-11	10,447	0.3838	\$ 4,009.5586
jun-11	20,265	0.3853	\$ 7,808.1045
jul-11	8,269	0.3847	\$ 3,181.0843
ago-11	9,233	0.3870	\$ 3,573.1710
sep-11	18,481	0.3898	\$ 7,203.8938
oct-11	11,662	0.3892	\$ 4,538.8504
nov-11	20,752	0.3841	\$ 7,970.8432
Suma:	167,653		\$ 64,150.0463

Precio medio = Facturación anual / Consumo anual

Precio medio = \$ 64,150.0463 / 167,653 kWh = \$ 0.3826



Comisión Federal de Electricidad

Av. Paseo de la Reforma Num. 164
Col. Juárez, México, D.F. 06600
RFC: CFE370814-Q10

Número de servicio:

355 750 407 385

Total a pagar:

\$7,971.00

(SIETE MIL NOVECIENTOS SETENTA Y UN PESOS 00/100 M.N.)

Fecha límite de pago:

21 NOV 11

Nombre y Domicilio:

CARNES LA CATEDRAL SA DE CV
RANCHO LAS TRAMPAS
ENVIAR A AVE EMILIO CARRA Y NZA 1402 B COL NISPEROS
CENTRO PIEDRAS NEGRAS
PIEDRAS NEGRAS, COAH

Bomba 1

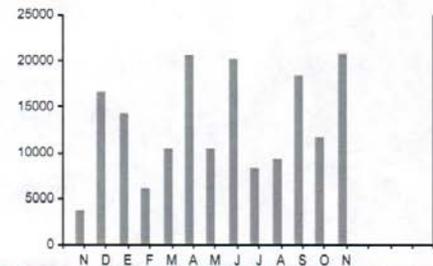
Ruta
58DD16A010101710

Periodo
07 OCT 11 A 09 NOV 11

Tarifa Carga conectada kW Demanda contratada kW Multiplicador
9N 47 47 1

Función	No. Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Diferencia	Totales
kWh	0N344A	4610	97635	6975	6,975
kWh	0N344A	57135	43358	13777	13,777
kVArh	0N344A	90211	84170	6041	6,041

Datos históricos



Mes	Días de mes	Consumo prom. diario	Energía kWh	Precios \$/kWh	Importe \$
			6,975	0.2300	1,604.25
			13,777	0.4600	6,337.42

Mes	Factor de proporción	Demanda máxima kW	Precios \$/kWh	Importe \$	Factor de potencia
					96.01

Mes	Demanda máxima kW	Consumo total kWh	F.P. Energía %	F.C. Demanda %	Precio medio
NOV 10		3,815			0.3714
DIC 10		16,737			0.3669
ENE 11		14,358			0.3715
FEB 11		6,243			0.3836
MAR 11		10,572			0.3818
ABR 11		20,634			0.3857
MAY 11		10,447			0.3836
JUN 11		20,265			0.3853
JUL 11		8,269			0.3847
AGO 11		9,233			0.3870
SEP 11		18,481			0.3898
OCT 11		11,662			0.3892
NOV 11		20,752			0.3841

Costo de producción **\$69,102.83**
Aportación Gubernamental **\$61,161.17**

Avisos Importantes

- Clave de registro: PEUA05002006030820050049
- Cuota Energética: 220,992 Consumida: 136,558
- Nos transformamos para servirle mejor.
- Servicio a Clientes Teléfono 071.
- Con procesos eficientes se reducen los costos de producción en todas las empresas... ¡Y se ahorra energía!

Domicilio fiscal

AGN970929SD7

Factura: DJ
Folio: 000001951604
No. aprobación: 148981
Año de aprobación: 2010
No. certificado: 00001000000104150052

Estado de cuenta

Conceptos	Importe \$
Energía	7,941.66
2% Baja Tensión	158.83
Bonificación Factor de Potencia	-129.60
I.V.A 0%	0.00
Facturación del Periodo	7,970.89
Adeudo Anterior	4,539.44
Su Pago	-4,539.00
Total	\$7,971.33

Figura 1. Recibo energía eléctrica, Rancho Las Trampas, Nava, Coahuila.

Sistema Ineficiente



Figura 2. Sistema de bombeo vertical flecha hueca de 75 HP, motor a 1770RPM, 3F a 440V.
Bomba tipo turbina marca ROBBCO PUMPS modelo 11CHO de 4 pasos con 10 años de operación; columna de 8", descarga de 8" con válvula check de 8", medidor de flujo de 8" y válvula mariposa de 8".



Figura 3. Subestación eléctrica, en Rancho Las Trampas, propiedad de Isaac Adrian Villarreal Budnik

Eficiencia Electromecánica:

- **La eficiencia electromecánica para pozo profundo (η)**, elementos motor – bomba. Es el cociente de la potencia medida a la salida de la bomba entre la potencia de entrada al motor eléctrico. Se expresa en porcentaje. Su expresión matemática es:

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \times 100$$

Donde:

P_s Potencia de salida de la bomba (Watts)

P_e Potencia de entrada al motor (Watts)

- **Potencia de entrada al motor (P_e)**.- Es la potencia que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba y en operación normal. Para motores trifásicos se define como:

$$P_e = \sqrt{3} \times V I f_p$$

Donde:

V Tensión eléctrica (V)

I Corriente eléctrica (Amperes)

f_p Factor de potencia (Adimensional)

- **Potencia de salida de la bomba (P_s)**.- Es la potencia transferida al agua por la bomba, medida lo más cerca posible del cabezal de descarga. Su expresión matemática es:

$$P_s = q_v \rho g H$$

Donde:

q_v Flujo volumétrico (m^3/s)

ρ Densidad del agua bombeada (kg/m^3)

g Aceleración de la gravedad (m/s^2)

H Carga total de bombeo (m)

- **Carga total de bombeo (H).**- Está dada por la suma algebraica de la presión manométrica medida a la descarga (convertida en metros de columna de agua y corregida con la altura a la línea de centros de la toma de señal de presión), el nivel dinámico, las pérdidas por fricción en la columna y la carga de velocidad. Su expresión matemática es:

$$H = P_m + ND + h_{fc} + h_v$$

Donde:

H	Carga total de bombeo (m)
P _m o P _{gd}	Presión en la descarga, en metros de columna de agua (m.c.a.)
ND o Z _d	Nivel dinámico (m)
h _{fc}	Pérdidas por fricción en la columna (m.c.a.)
h _v	Carga de velocidad (m)

Mediciones y cálculos

Como resultado de las mediciones, se encontró que el pozo opera de lunes a domingo alrededor de 7.51 horas al día, equivalente a 2,742 horas al año y los parámetros eléctricos e hidráulicos quedan reflejados en la siguiente tabla:

Cuadro 4. Parámetros Eléctricos

Bomba HP	Promedio de la Tensión (Volts)	Promedio de la Corriente (Amps)	Promedio del Factor de Potencia (%)	Promedio de la Potencia (kW)
75	456.67	84	92	61.12

Cuadro 5. Parámetros Hidráulicos

Bomba HP	[Pm o Pgd]	[ND o Zd]	[h _{fe}]	[h _v]	Gasto
	Presión en la descarga (mca)	Nivel Dinámico (mca)	Pérdidas por fricción (mca)	Carga de Velocidad (mca)	Q (m ³ /s)
75	36.04	25	0.90	0.06	0.04

De acuerdo a la información antes proporcionada a continuación se presenta un resumen de la situación actual.

Cuadro 6. Resumen Situación Actual

Potencia Eléctrica (kW)	Operación anual (Hrs/año)	Consumo (kWh/año)	Energía Costo Unitario (\$/kWh)	Energía costo anual (\$/año)	Gasto (LPS)	Potencia hidráulica (kW)	Eficiencia Sistema (%)
24.33	2,742	167,653	\$0.3826	\$64,150.046	40	24.33	39.80

Cuadro 7. Mediciones eléctricas

Tensión (Volts)	Corriente (Ampere)	Factor de potencia	Potencia (kW)
V1 - 2	455	A1	84
V2 - 3	455	A2	83
V3 - 1	460	A3	85
Prom.:	456.67		84

Cuadro 8. Reporte de Pruebas de Campo

Fecha	<u>15-oct-11</u>	Hora	<u>09:00</u>	Responsable	<u>Miguel Ángel Laparra Roblero</u>		
Estado	<u>Coahuila</u>		Municipio	<u>Nava</u>			
Propietario	<u>Isaac Adrian Villarreal Budnik</u>						
Predio	<u>Rancho Las Trampas</u>		Medidor CFE	<u>0N344A</u>			
RPU	<u>355 750 407 385</u>		Tarifa	<u>9N</u>	Carga contratada	<u> </u> kW	
Bomba							
Marca	<u>ROBBCO-PUMPS</u>	Modelo	<u>11CHO</u>	# de serie	<u>---</u>		
Tipo	<u>X</u>	vertical	Flujo m ³ /s	<u>0.04</u>	# de pasos	<u>4</u>	
	<u> </u> sumergible						
Motor							
Marca	<u>US</u>		Potencia	<u>75</u>	<u>HP</u>		
RPM	<u>1770</u>		V placa	<u>440</u>	<u>Volts</u>		
Voltaje	fase 1	<u>455</u>	fase 2	<u>455</u>	fase 3	<u>460</u>	promedio <u>456.67</u>
Corriente	fase 1	<u>84</u>	fase 2	<u>83</u>	fase 3	<u>85</u>	promedio <u>84</u>
FP	fase 1	<u>0.93</u>	fase 2	<u>0.92</u>	fase 3	<u>0.91</u>	promedio <u>0.92</u>
Eficiencia	<u>39.80</u>		<u>%</u>				
Observaciones							

Cuadro 9. Mediciones de Campo (Situación Actual)

No.	Símbolo	Descripción	Lectura
1	D_i	Diámetro Interno de la Tubería (m)	0.2032
2	n	Frecuencia de Rotación (RPM)	1770
3	ND	Nivel dinámico (m)	25
4	x	Dist., desde niv., ref., a línea centros manómetro (m)	0.50
5	PI	Lect., manómetro descarga (m)	35.54
6	P_m	Presión a la descarga = [(4)+(5)] (m)	36.04
7	A	Área del tubo a la descarga = $[3.141592 \times (1)^2 / 4]$ (m ²)	0.032
8	qv	Flujo Q (m ³ /s)	0.040
9	hv	Carga por velocidad; $V = Q/A (V^2/2g) = [(8)/(7)^2] / 19.613$	0.06
10	h_{fc}	Hf en la columna (m)	0.90
11	hd	Carga a la descarga = [(6)+(9)+(10)] (m)	37.00
12	H	H total = [(3) + (11)] (m)	62.00
13	I_a (amperes)	Corriente línea a	84
	I_b (amperes)	Corriente línea b	83
	I_c (amperes)	Corriente línea c	85
	I (amperes)	Promedio	84
14	V_{ab}	Tensión fase ab	455
	V_{ac}	Tensión fase ac	455
	V_{bc}	Tensión fase bc	460
	V	Promedio	456.67
15	f_{pa}	Factor de potencia línea a	0.93
	f_{pb}	Factor de potencia línea b	0.92
	f_{pc}	Factor de potencia línea c	0.91
	f_p	Promedio	0.92
16	P_e	Potencia de la entrada del motor = $1.732 \times (13) \times (14) \times (15) \times (10^{-5})$ (kW)	61.12
17	P_s	Potencia de salida de la bomba (W) = [(8) × (12) × 9.806] (kW)	24.32
18	η	Eficiencia electromecánica (%) = [(17)/(16)] × 100(%)	39.80%

Cálculo de las pérdidas de carga por fricción en la tubería (columna)

Fórmula de Hazen - Williams

Factor "C" de Rugosidad del PVC =	150
Factor "C" de Rugosidad (solo tubería de Aluminio) =	140
Factor "C" de Rugosidad (solo tubo, acero sin costura) =	100

Cuadro 10. Pérdidas de carga por fricción en columna (Ec. Hazem-Williams)

	Gasto (LPS)	Long. (Mts)	Gasto (GPM)	Diam. Int. (Pulg)	Longitud (Pies)	Hf (PSI)	Hf (Pies)	Hf (Kg/cm ²)	V (m/s)
Hf	40	30	634	8	98.40	0.58	1.34	0.041	1.25
Columna									
Fact.						X	X	X	
Antig.						2.2	2.2	2.2	
Total						1.28	2.95	0.090	

Se toma el coeficiente C=100, para la columna de fierro.

Nota: Como se comentó anteriormente, el sistema ineficiente tiene 10 años de operación. Por consiguiente, la rugosidad de las paredes del tubo aumenta, de acuerdo a índices publicados en manuales de hidráulica, en 2.2 tantos para 10 años de uso.

Por lo tanto, pasan de $0.041 \text{ kg/cm}^2 \times 2.2 = 0.090 \text{ kg/cm}^2$ ó **0.90 m.c.a.**

Ver figura siguiente.

ing capacity of a pipe line decreases with age due to a roughening of the interior surface caused by corrosive products, tubercules and the like or an actual reduction in area caused by chemical deposits. The effect corresponds to a variation in friction factor due to increasing relative roughness.

A wide variation in waters over the country makes impossible any precise estimation of this aging effect. No reputable authority will go on record to endorse friction factors for other than new pipe. This fact, however, does not eliminate the deterioration of friction factor and some means of estimation is required. Wherever records are available on the aging effect of local or similar waters, it is recommended that they be studied and applied as a correction to the computation of friction loss for new pipe from the previous tables. This is a sound and logical approach for a specific problem.

In many instances either the economics of the project do not warrant the expense of this detailed investigation or there are no available records on local or similar waters. For those occasions, Table 6 may be used with caution and discretion. It is based upon the best known available data.

TABLE 6. INCREASE IN FRICTION LOSS DUE TO AGING OF PIPE

Multipliers for use with Table 1

Age of Pipe in Years	Small Pipes 4"-10"	Large Pipes 12"-60"
New	1.00	1.00
5	1.40	1.30
10	2.20	1.60
15	3.60	1.80
20	5.00	2.00
25	6.30	2.10
30	7.25	2.20
35	8.10	2.30
40	8.75	2.40
45	9.25	2.60
50	9.60	2.86
55	9.80	3.26
60	10.00	3.70
65	10.05	4.25
70	10.10	4.70

It will be obvious that there is no sudden increase in aging effect between 10" and 12" pipe as indicated from Table 6. The values shown are composites of many tests grouped by the experimenter. A reasonable amount of interpretation and logic must be used in selecting and applying a multiplier for each specific problem.

It must also be borne in mind that some test data on aging of pipe may vary up to fifty percent from the averages as shown in Table 6.

Figura 4. Incremento en pérdidas de carga por fricción debido a la antigüedad de la tubería

Sistema Eficiente

El sistema de bombeo propuesto es una bomba vertical, tipo turbina marca National Pump, modelo J11HC de 4 pasos, con impulsor cerrado, tazones esmaltados, flecha de acero inoxidable y tubería en acero al carbón cédula 40. Motor vertical de flecha hueca de 60HP. Características del sistema:

Cuadro 11. Resumen sistema eficiente

HP efectivos	HP nominales	Q (L/s)	CDT (m)	Eficiencia (%)
53.33	60	50	70.00	88.88

Representación esquemática de una bomba tipo turbina vertical marca National Pump.



Figura 5. Impulsor fabricado en bronce, con impulsor cerrado y tazón esmaltado.

Bomba:

Size: J11HC (4 etapa)
 Tipo: VERT.TURB CLOSED IMP
 Velocidad de sincr.: 1800 rpm
 Curva: CVJ11HC4P6CY
 Velocidades específicas:
 Dimensiones:
 Velocidad: 1770 rpm
 Diámetro: 8,0175 in
 Impulsor:
 nq: 41
 S: 172
 Aspiración: ---
 Descarga: ---

Limites de la bomba:

Temperatura: 82.2 °C
 Presión: 2759 kPa g
 Tamaño de la esfera: 19 mm
 Potencia: ---
 Área aspiración: 10258 mm²

Criterios de búsqueda:

Caudal: 50 l/s Altura: 70 m

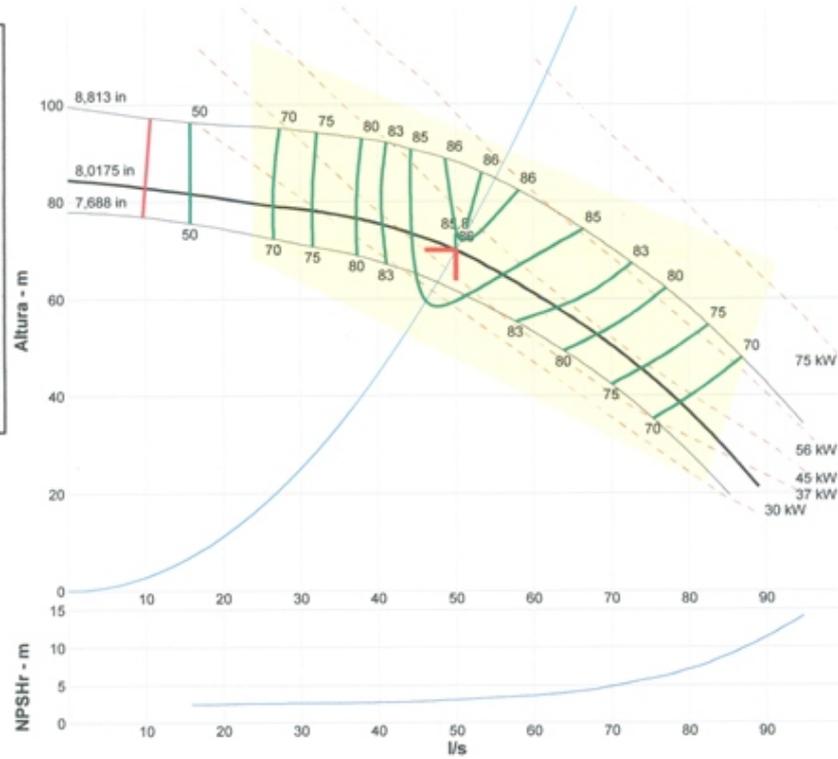
Fluido:

Water
 SG: 1
 Viscosidad : 1,104 cP
 NPSHd: ---
 Temperatura: 15,6 °C
 Presión de vapor: 1,773 kPa a
 Presión atm: 101,4 kPa a

Motor:

Estándar: NEMA
 Caja: TEFC
 Criterios de medición: Potencia máxima en la curva característica
 Potencia: 45 kW
 Velocidad: 1800
 Tamaño motor: 364T

--- Datos del punto ---	
Caudal:	50 l/s
Altura:	70 m
Rend:	85,8%
Potencia:	40 kW
NPSHr:	3,1 m
--- Curva característica ---	
altura v. cerrada:	84,6 m
dP v. cerrada:	828 kPa
Caudal mínimo:	10 l/s
BEP:	85,8% @ 50 l/s
Potencia NOL:	43,9 kW @ 73,7 l/s
--- Curva máxima ---	
Potencia máxima:	58,8 kW @ 82,5 l/s



Evaluación de rendimiento:

Caudal l/s	Velocidad rpm	Altura m	Rendimiento %	Potencia kW	NPSH requerida m
60	1770	61	83,8	42,6	3,71
50	1770	70	85,8	40	3,1
40	1770	75,5	82,5	35,8	2,72
30	1770	78,4	73,5	31,3	2,61

Figura 6. Curva de rendimiento de la bomba

Cuadro 12. Potencia demandada por la nueva bomba (en la flecha)

Bomba HP	Flujo (LPS)	Carga Total (mca)	Potencia Hidráulica o Pot., de Salida (kW)	Eficiencia Bomba (%)	Potencia en la flecha (kW)
60	50	70	40	85.8	40

Cuadro 13. Características de operación del nuevo sistema

Potencia motor propuesto (hp)	Factor de Carga Motor propuesto (promedio anual)	Eficiencia al Factor de Carga motor propuesto	Potencia eléctrica motor propuesto (kW)	Eficiencia Sistema (%)
60	85.80%	92.40% Eficiencia Premium, motores US	45.00	88.88

En resumen de la situación propuesta queda representada en el siguiente cuadro.

Cuadro 14. Resumen situación propuesta

kW	kWh/año	\$/año
45	123,390.00	\$47,209.01

**OPERATING CHARACTERISTICS
WEATHER PROTECTED I
HOLLOSHAFT & SOLID SHAFT, HIGH THRUST, PREMIUM EFFICIENT
20 - 250 HP
TYPES RUS & RVS-4**

**WPI
HIGH THRUST
PREM EFF
460V**

200, 230, 460 & 575 VOLTS / 60 HERTZ, 3 PHASE

HP	FULL LOAD RPM	% EFFICIENCY				% POWER FACTOR			CURRENT AMPS AT 460 VOLTS		NEMA CODE LETTER	TORQUE			MAX KVAR	SOUND PRES- SURE AT 3 FT. DBA
		NEMA NOM.	GUAR. MIN.	3/4 LOAD	1/2 LOAD	FULL LOAD	3/4 LOAD	1/2 LOAD	FULL LOAD	LOCKED ROTOR		FULL LOAD (LB. FT.)	LOCKED ROTOR % OF FULL LOAD	BREAK DOWN % OF FULL LOAD		
20	887	92.4	91.0	92.7	92.2	78.1	73.3	63.2	25.9	145.0	G	118.4	125	200	7.7	65
25	1191	93.6	92.4	93.5	92.7	80.6	77.4	69.1	31.0	182.5	G	110.2	135	200	7.8	65
	886	92.4	91.0	92.9	92.5	78.0	73.4	63.2	32.5	182.5	G	148.2	125	200	9.6	65
30	1191	93.6	92.4	93.5	92.8	78.9	74.5	64.6	38.0	217.5	G	132.3	135	200	11	65
	886	93.0	91.7	93.6	93.4	79.8	76.5	68.1	37.8	217.5	G	177.8	125	200	9	65
40	1782	94.5	93.6	94.4	93.6	87.8	86.4	81.3	45.1	290.0	G	117.9	140	200	8.0	65
	1190	93.6	92.4	93.9	93.4	79.5	75.7	66.3	50.3	290.0	G	176.5	135	200	14	65
	884	92.4	91.0	93.0	92.9	77.8	73.2	62.7	52.1	290.0	G	237.6	125	200	16	65
50	3564	92.4	91.0	92.1	90.5	88.3	87.9	84.3	57.5	362.5	G	73.7	120	200	8.9	75
	1780	94.5	93.6	94.6	94.1	87.7	86.2	80.9	56.5	362.5	G	147.5	140	200	10	65
	1189	93.6	92.4	93.9	93.5	77.8	73.3	63.1	64.3	362.5	G	220.9	135	200	19	65
	892	93.6	92.4	93.9	93.4	74.5	68.9	57.8	67.1	362.5	G	294.4	125	200	22	65
60	3560	92.4	91.0	92.3	91.1	87.2	86.5	82.3	70.0	435.0	G	88.5	120	200	12	75
	1783	95.0	94.1	95.2	94.8	87.2	85.9	80.9	67.8	435.0	G	176.7	140	200	12	65
	1190	95.0	94.1	95.1	94.7	86.4	84.8	79.3	68.4	435.0	G	264.8	135	200	12	65
	890	93.0	91.7	93.5	93.1	73.7	68.3	57.2	82.0	435.0	G	354.1	125	200	27	65
75	3559	93.6	92.4	93.5	92.7	89.8	90.0	87.8	83.5	542.5#	G	110.7	105	200	10	75
	1781	95.0	94.1	95.3	95.1	85.3	82.9	75.8	86.7	542.5	G	221.2	140	200	19	65
	1190	95.0	94.1	95.2	94.8	85.2	82.9	75.9	86.8	542.5	G	331.0	135	200	18	65
	893	94.5	93.6	94.9	94.5	76.1	71.7	61.5	97.6	542.5	G	441.1	125	200	29	70
100	3540	93.0	91.7	93.5	93.2	88.2	88.2	85.2	114	725.0	G	148.0	105	200	16	75
	1785	95.4	94.5	95.5	95.1	86.3	84.5	78.5	114	725.0	G	294.2	125	200	22	70
	1192	95.8	95.0	95.8	95.3	85.0	82.5	75.1	115	725.0	G	440.6	125	200	25	70
	892	94.1	93.0	94.5	94.1	73.2	67.6	56.3	136	725.0	G	588.8	125	200	46	70
125	3564	94.1	93.0	94.3	93.8	91.5	91.3	88.9	136	907.5#	G	184.2	100	200	17	80
	1784	95.4	94.5	95.6	95.3	86.7	85.2	79.7	142	907.5	G	368.0	110	200	26	70
	1192	95.8	95.0	96.0	95.6	84.9	82.4	75.0	144	907.5	G	550.8	125	200	32	70
150	356	94.1	93.0	94.5	94.2	91.1	90.9	88.1	164	1085.0	G	221.2	100	200	21	80
	1785	96.2	95.4	96.1	95.6	86.3	83.9	77.1	169	1085.0	G	441.4	110	200	35	70
	1191	95.4	94.5	95.7	95.4	82.3	78.8	69.8	179	1085.0	G	661.5	120	200	46	70
200	3565	94.5	93.6	94.9	94.3	90.5	90.0	86.8	219	1450.0	G	294.6	100	200	30	85
	1784	96.2	95.4	96.2	95.8	85.4	82.4	74.6	228	1450.0	G	588.8	100	200	52	70
250	356	94.5	93.6	95.1	94.7	89.8	89.1	85.4	275	1825.0	G	368.7	70	175	40	85
	1782	95.8	95.0	96.0	95.7	83.9	80.4	71.7	291	1825.0	G	736.8	80	175	72	70

- The above performance values are based on NEMA guidelines for Design B motors; Locked Rotor Amps, NEMA Code Letter, Locked Rotor Torque and Breakdown Torque
- Sound Pressure measurements in DBA per IEEE 85, corrected to a free field under 60 Hz sine wave power at a reference level of 0.0002 dyne/cm².
- # 575 volt design is NEMA design A code G.
- * Not available on RUS (Holloshaft)

Figura 7. Tabla de Eficiencia Motores US.

CONCLUSIONES

Como se ha 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 deben 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 ellos es necesario que no pase un tiempo prolongado para dar mantenimiento y cuidar que cada una de las partes que conforman el equipo cumplan con la función para la cual fueron diseñadas. Asimismo, después de un análisis técnico-económico, sustituir partes y componentes del equipo para conservar una alta eficiencia.

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

En los tiempos actuales que atraviesa el sector agropecuario en el país, es necesario y prioritario hacer eficientes todas las actividades referentes a la producción agrícola. La disminución de los costos de bombeo para el riego agrícola, es un tema de gran interés e importancia para todos los productores, ya que gran parte de ello tiene relación directa con los costos de producción y la rentabilidad de algún cultivo en especial que se quiera producir y venderlo al mercado local o nacional, pero para poder tener éxito, se necesita optimizar los costos energéticos y de insumos agrícolas, para ofrecer un excelente precio en el mercado, de lo contrario, puede ser contraproducente la producción de cualquier cultivo.

La eficiencia electromecánica es un tema muy importante dentro de la producción agrícola, ya que la mayor parte de los productores en el país, lo hacen a través de riego agrícola mediante sistemas de bombeo, cuando el equipo está muy bien diseñado y

calculado con alta eficiencia, el productor puede estar confiado en que está optimizando el consumo de energía eléctrica.

En este ejemplo real, nos podemos dar cuenta de que tan ineficiente es el equipo de bombeo instalado hace 10 años, no solamente es la baja eficiencia, sino también, la capacidad innecesaria del sistema, ya que para las necesidades de gasto y carga, es un equipo de bombeo sobredimensionado, que aunado a una muy baja eficiencia, resulta tener mayores costos de producción para el agricultor.

Con ese ahorro mensual o anual en costos de energía, el productor está confiado que con este nuevo sistema eficiente, solamente se consumirá lo necesario de energía, sin tener que pagar de más.

RECOMENDACIONES

Implementar el estudio de eficiencia electromecánica con todos los productores del país, ya que son muchos los que tienen o pasan por el mismo problema, pero por falta de apoyos para el estudio y diagnóstico, desconocen la situación de sus equipos de bombeo, y por consiguiente siguen trabajando con tal equipo pagando altas tarifas de energía eléctrica que no corresponden a la demanda para la producción agrícola.

El gobierno federal brinda apoyos de hasta el 50% del valor total del equipo de bombeo de alta eficiencia, el cual, se debe de aprovechar para sustituir los equipos obsoletos, además de aprovechar el subsidio en los costos que ofrece el gobierno mediante la tarifa 9N preferencial.

BIBLIOGRAFÍA

- Admin; 2008; Bombas Centrífugas; <http://bombascentrifugas.info-tecnica.org/>
- Buenas Tareas; 2011; Bombas de turbina vertical; <http://www.buenastareas.com/ensayos/Bombas-De-Turbina-Vertical/1619195.html>
- Comisión Nacional del Agua; 2009; Eficiencia en sistemas de bombeo; Segunda edición; <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/EficienciaenSisdeBombeo2daEdic.pdf>; México
- Departamento de Electrificación y Ahorro de Energía del Gobierno del Estado de Chihuahua; 2010; Ahorro de Energía Eléctrica y Agua en Bombeo Agrícola; <http://congreso.cimav.edu.mx/2010/wp-content/uploads/2010/10/Potencial-de-Energias-Renovables-en-el-Estado-de-Chihuahua-2A.-PARTE.pdf>
- Fundación Wikimedia, Inc; 2012; Sistemas de Bombeo; Bomba sumergible; http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_sumergible
- Fundación Wikimedia, Inc; 2013; Sistemas de Bombeo; Bomba hidráulica; http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_hidr%C3%A1ulica
- Pérez, M. J. M.; 2002; Ahorro de Energía en Sistemas de Bombeo; <http://seia.guanajuato.gob.mx/panel/document/phpver.php?Id=2002>; México
- Bustamante, L.; 2004, Tercera edición; Bombas; Teoría, Diseño y Aplicaciones; <http://www.slideshare.net/RakelAlcoser/bombas-y-tipos-9276866>; México
- Microsoft; Encarta 2006; Microsoft Corporation; Bombas Centrífugas; <http://es.scribd.com/doc/6057846/Bombas-Centrifugas>
- National Pump Company; Arizona; Instrucciones de instalación, operación, mantenimiento y lista de piezas para bombas verticales de turbina; http://www.nationalpumpcompany.com/pdf/VTP-IOM1008_ES_revNRPf1.pdf; USA