

EFEL 1.0

Programa para el cálculo de las eficiencias electromecánicas en pozos profundos

Juan Estrada Ávalos, Gerardo Delgado Ramírez, Antonio Anaya Salgado,
Ramón Trucíos Caciono y Miguel Rivera González



CENID-RASPA

Gómez Palacio, Dgo. Diciembre de 2012

Folleto Técnico Num. 26

Serie: MX-0-330699-52-10-00-09-26 ISBN: 978-607-425-901-8



Vivir Mejor

inirap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

**GOBIERNO
FEDERAL**

SAGARPA



DIRECTORIO INSTITUCIONAL

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda
Secretario

M.Sc. Mariano Ruiz-Funes Macedo
Subsecretario de Agricultura

Ing. Ignacio Rivera Rodríguez
Subsecretario de Desarrollo Rural

Ing. Ernesto Fernández Arias
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

M.Sc. Jesús Antonio Berumen Preciado
Oficial Mayor

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M.C. Arturo Cruz Vázquez
Encargado del Despacho de la Coordinación de Planeación y
Desarrollo

Lic. Marcial A. García Morteo
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director

EFEL 1.0

Programa para el cálculo de las eficiencias
electromecánicas en pozos profundos

Editores

Dr. Juan Estrada Ávalos
M.C. Gerardo Delgado Ramírez
M.C. Antonio Anaya Salgado
M.C. Ramón Trucíos Caciono
M.C. Miguel Rivera González

CENID - RASPA

2012

**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias**

Progreso N°. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán, C. P. 04010 México D. F.
Teléfono: (55) 3871-8700

**Los recursos agua, suelo y vegetación y su relación
con el desarrollo del sector agropecuario y forestal
de México**

ISBN: 978-607-425-901-8

Primera Edición 2012

Derechos Reservados ©

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

CONTENIDO

	Página
Introducción	1
Objetivos	2
1. Requerimiento del Equipo	2
2. Instalación del Software	2
3. Descripción del Software	3
3.1 Registro de predio y pozo	4
3.2 Evaluaciones	6
3.3 Bitácora de evaluaciones	15
3.4 Bitácora de mantenimiento	18
3.5 Análisis de conductores	20
4. Metodología para estimar la eficiencia electromecánica	21
Literatura Citada	30
Anexo	33

INTRODUCCIÓN

Diversos especialistas definen eficiencia electromecánica como la relación entre la energía eléctrica suministrada a un motor eléctrico (potencia eléctrica) y la energía mecánica que realiza un motor para extraer agua del subsuelo, también llamada potencia hidráulica (Cisneros, 1977; Karassik, 1978; Peña, 1989; Novelo, 1998; Viejo, 2000; CNA, 2009; CONUEE, 2011). En otras palabras, es la relación entre la energía eléctrica consumida y el volumen de agua extraído por la bomba.

La importancia de estimar la eficiencia electromecánica en la agricultura de riego, radica en determinar el costo de la energía eléctrica necesaria para la extracción de agua subterránea. Generalmente, el valor de esta energía representa del 30 al 33% de los costos de producción de cultivos básicos (Sector Agrícola y Ganadero, 2012). Por ello, la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo de pozo profundo debe monitorearse periódicamente para mejorar la relación entre la energía consumida y el volumen de agua extraído, con el fin de mantener la eficiencia en sus máximos potenciales, sin el monitoreo no es posible. Se debe disponer de herramientas que permitan el cumplimiento de recomendaciones y la obtención de valores mínimos de eficiencia establecidos en la NOM-006-ENER-1995.

Ante esta necesidad, personal del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua–Suelo–Planta–Atmósfera (CENID - RASPA), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), elaboró el software EFEL 1.0. Este programa de cómputo estima la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo de pozos profundos, tomando como base la metodología descrita por la NOM-006-ENER-1995. Asimismo, una vez que se establece la eficiencia, el software genera una serie de recomendaciones encaminadas a incrementar y/o mantener dichas eficiencias en sus máximos potenciales. Lo anterior, facilita al usuario final, el cotejo de las recomendaciones con sus proveedores del servicio (mantenimiento o instalación). De igual forma, el software cuenta con una herramienta de optimización sobre el calibre del cable conductor de energía eléctrica, desde el arrancador hasta el motor eléctrico. Además, genera una base de datos sobre las evaluaciones y mantenimientos que se realicen a cada pozo y/o equipo de bombeo. Esta última aplicación facilita el control de los servicios de instalación y mantenimiento de la bomba, arrancador, transformador, motor eléctrico, banco de capacitores, cables conductores, etc. Finalmente, el software permite comparar las diferentes evaluaciones con la finalidad de que el usuario final cuente con elementos que contribuyan a la disminución del consumo de energía eléctrica y por tanto en los costos de producción en el sector agropecuario.

Los detalles de cada uno de los módulos que integran el software EFEL 1.0 y sus aplicaciones se mencionan en los siguientes apartados.

OBJETIVOS

Los objetivos de este folleto son:

- Proporcionar a productores, técnicos y prestadores de servicio en el mantenimiento de equipos de bombeo, una herramienta computacional que les permita estimar la eficiencia electromecánica de equipos de bombeo; así como generar recomendaciones para alcanzar, al menos, los valores mínimos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-1995, con la finalidad de contribuir al uso eficiente de la energía eléctrica, y por tanto en la reducción de costos en el sector agropecuario.
- Describir de manera detallada, cada una de las aplicaciones disponibles en esta herramienta computacional, con la finalidad de que el usuario cuente con los elementos necesarios para su instalación y operación. Parte de estas aplicaciones se relacionan con el cálculo, registro y seguimiento de las eficiencias electromecánicas, con el propósito de identificar áreas de oportunidad que permitan la reducción del consumo de la energía eléctrica.

1. REQUERIMIENTO DEL EQUIPO

El equipo necesario para ejecutar el Programa Computacional es el siguiente:

- Sistema operativo: Windows XP, Windows 7 (de 32 bits).
- Procesador: Intel Pentium IV, Intel Dual Core o posterior.
- Memoria RAM mínima: 512 Mb.
- Espacio mínimo disponible en disco: 50 Mb.
- Microsoft Office: versión 2003 o posterior.

2. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

El proceso de instalación del software se inicia insertando el disco compacto (DVD) en la unidad lectora de la PC. En la pantalla aparecen cinco archivos y una carpeta; deben seleccionar el archivo "EFEL 1.0". En seguida se presentará una ventana asistente de instalación, en la cual oprimirán el botón "siguiente". A continuación, se mostrará la ventana de licencia para la instalación, donde

debe seleccionarse la opción “aceptar los términos de contrato de la licencia” para continuar con la instalación del software, después hay que oprimir el botón “siguiente”. Entonces aparecerá la ventana de información del usuario, en la que pueden ingresar el nombre, así como la organización a la cual pertenece; no obstante, esta información es opcional, o sea puede omitir este registro, seleccionando el botón “siguiente” para continuar con la instalación. El asistente preparará el inicio de la instalación, donde debe oprimirse el botón “instalar”. Una vez finalizada la instalación, aparecerá una ventana para terminar la instalación, haciendo clic en el botón “finalizar”. En el escritorio se activará un icono de acceso directo, el cual tendrá por nombre “eficiencia electromecánica.exe”. Si al iniciar el software se marca el error “525 data Access”, se deberá abrir la carpeta denominada “extras” que se encuentra en el mismo disco de instalación. Esta carpeta tiene dos archivos (mdac_typ2.7 y dao35), los cuales tienen objetivo agregar a la PC archivos que permitan el acceso a la base de datos. Es recomendable que el archivo “dao35” sea el primero en instalar; en caso de no eliminar el error, se debe instalar el archivo “mdac_typ2.7”.

3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

En este apartado se describen los pasos para ejecutar el software; es decir, el orden con que deben introducirse los datos de entrada, así como los resultados generados por el mismo. La primera ventana corresponde a la presentación del programa (Figura 1).



Figura 1. Ventana de presentación del software.

La ventana principal del software está conformada por cinco secciones, estas son:

- 1) Registro de Predio y Pozo.
- 2) Evaluaciones.
- 3) Bitácora de Evaluaciones.
- 4) Bitácora de Mantenimiento.
- 5) Análisis de los Conductores.

3.1. Registro de Predio y Pozo

En este apartado se lleva a cabo el registro del predio y pozos asociados al mismo; información requerida para el inicio del proceso del programa. Al seleccionar el botón de registro de predio y pozo, se muestra la ventana de la Figura 2, la cual indica si se desea registrar un predio nuevo o, en su caso, seleccionar uno predio previamente registrado.

The screenshot shows a software window titled "EFEL 1.0". In the top left corner, there is a logo for "SAGARPA" (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). In the top right corner, there is a logo for "inifap" (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). The main content area has two sections: "Agregar predio nuevo:" with a "SI" button, and "Seleccione predio existente:" with a dropdown menu. To the right of these sections are "Ok" and "Cancelar" buttons. At the bottom of the window, there are two buttons: "Regresar" and "Cerrar".

Figura 2. Ventana de registro de predio y pozos asociados.

Para el registro del predio, los datos requeridos son: nombre del predio, municipio, estado, número de pozo asociado al predio y uso del agua. Una vez capturada la totalidad de la información, se selecciona el botón "Registrar" (Figura 3) para guardar la información; posterior a esta operación, se presenta la opción de agregar otro pozo asociado al predio registrado anteriormente, operación que puede ser repetida hasta completar el número de pozos que se desean asociar al predio registrado.

EFEL 1.0

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Nombre del predio

Municipio

Estado

No. pozo

Uso del agua

Registrar

Regresar

Cerrar

Figura 3. Ventana del registro del predio y pozo.

Si se selecciona un predio registrado, el software omite la información correspondiente al registro del mismo, mostrando únicamente la opción para el registro del número de pozo y el uso del agua (Figura 4).

EFEL 1.0

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Nombre del predio

Municipio

Estado

Agregar pozo nuevo

No. pozo

Uso del agua

Registrar

Regresar

Cerrar

Figura 4. Ejemplo de un predio registrado con diferente número de pozo.

En la parte inferior de esta ventana, se encuentran dos botones; el primero permite regresar a la ventana principal "Regresar", y el segundo es para salir del software "Cerrar".

3.2. Evaluaciones

La estimación de las eficiencias electromecánicas se realizan en esta sección y únicamente aparecerán los predios y pozos registrados con anterioridad, por ello es imposible registrar un predio y pozo nuevo (Figura 5).



Figura 5. Ventana que corresponde a la sección “Evaluaciones”.

Una vez seleccionado el predio y pozo a evaluar, en el tercer campo de esta ventana se introduce la fecha en la que se realizó la evaluación del equipo de bombeo; el formato de este campo es de dos dígitos para el caso del día y mes, y cuatro dígitos para el caso del año. Éstos deben ser separados por una línea diagonal tal y como se muestra en el siguiente ejemplo: el día 20 de Mayo de 2010 corresponde a “20/05/2010”. Posteriormente, se selecciona el botón “Iniciar” para empezar la captura de la información de la evaluación del equipo de bombeo con referente a la eficiencia electromecánica.

A continuación se procede a capturar las características del pozo (Figura 6), introduciendo los siguientes datos: diámetro de la tubería de succión, diámetro de la tubería de descarga, longitud de la tubería de descarga y la elevación de descarga o proyección vertical. Las dos primeras son representadas en pulgadas y el resto en metros. Una vez capturada esta información, el botón “Siguiente” permite continuar con el proceso del cálculo del programa, en tanto que el botón “Cerrar” finaliza el software sin haberse guardado los datos.



EFICIENCIA ELECTROMAGNETICA

Características del pozo

Diámetro de succión (in)

Diámetro de descarga (in)

Longitud de descarga (m)

Elevación de descarga (m)

Siguiente

Figura 6. Ventana de características del pozo.

En la Figura 7 se aprecia la ventana para seleccionar el tipo de bomba existente en el pozo. El software presenta dos opciones de selección: “Bomba no sumergible” comúnmente conocido como bomba con motor externo y la “Bomba sumergible”, que aparecen en imagen para su facilidad de selección. Al momento de seleccionar cualquier tipo de bomba, aparece de forma simultánea un campo para capturar la capacidad del motor eléctrico en unidades caballos de fuerza (hp, en sus siglas en ingles). En la selección de la bomba con motor externo, el software adiciona otro campo para capturar el diámetro de la flecha en pulgadas, este dato es importante para el cálculo de las pérdidas de carga en la tubería de succión o columna (Figura 8).



Figura 7. Ventana para seleccionar el tipo de bomba.



Figura 8. Campos para capturar capacidad del motor eléctrico y diámetro de flecha en bombas con motor externo.

Posteriormente, se selecciona el botón “Siguinte” para continuar con la captura de datos correspondiente a la determinación del gasto, para lo cual se presentan las tres técnicas de aforo más utilizadas (Figura 9); estas son:

1. Volumétrico.
2. Molinete.
3. Medidor volumétrico.



Figura 9. Selección de la técnica de aforo para determinar el gasto.

A continuación se describen los campos necesarios en cada una de las técnicas de aforo.

En la Figura 10 se observa la ventana de captura de datos para la determinación del gasto, mediante la técnica del método volumétrico; aparecen los campos de número de observaciones y volumen del recipiente en litros. Al introducir el número de observaciones, en la parte derecha de la ventana se adicionan los renglones según el número indicado, después se oprime el botón “Calcular” para que muestre el resultado del gasto en unidades de litros por segundo.



Figura 10. Ventana para determinar el gasto por la técnica del método volumétrico.

La siguiente técnica de aforo es la del molinete, esta presenta dos opciones: con tubo lleno y tubo parcialmente lleno (Figura 11).

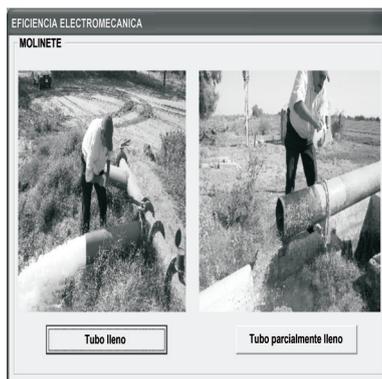


Figura 11. Ventana para seleccionar las opciones por el método molinete.

Si se selecciona la primera opción (tubo lleno), aparecerá la siguiente ventana (Figura 12), que al igual que el método volumétrico existe un número de observaciones para capturar las velocidades promedio del molinete; además de introducir el diámetro interior de la tubería. Después de esta captura, se selecciona el botón “Calcular” para que muestre el resultado del gasto en unidades en litros por segundo.



Figura 12. Ventana para determinar el gasto por la técnica del molinete (opción tubo lleno).

Si se elige la opción del tubo parcialmente lleno, se muestra la siguiente ventana (Figura 13), la cual tiene una diferencia con respecto a la ventana anterior, ya que en esta se introduce el dato del tirante hidráulico para calcular el área de mojado y a su vez determinar el gasto o caudal de la bomba en litros por segundo.



Figura 13. Ventana para determinar el gasto por la técnica del molinete (tubo parcialmente lleno).

La última técnica propuesta para el cálculo del gasto en este software es el medidor volumétrico, instalado en el cabezal de la bomba. En esta técnica se introducen los datos de lectura del volumen extraído del pozo en un lapso de tiempo determinado (Figura 14). El último campo corresponde a la unidad del tiempo transcurrido en la medición de las lecturas, el formato para introducir al software es el siguiente: minutos, segundos y décimas segundo. Un ejemplo de estas observaciones es el siguiente “07:10.25” el cual es equivalente 7 minutos con 10 segundos y 25 décimas de segundo, el formato se tomó de un cronómetro convencional. Posteriormente se selecciona el botón “Calcular” para que muestre el resultado del gasto en unidades de litros por segundo. Enseguida, se selecciona el botón “Siguiete” para continuar con el proceso del software.



Figura 14. Ventana para determinar el gasto por la técnica del medidor volumétrico.

La siguiente parte de la evaluación es la determinación del nivel dinámico; para esto, el software utiliza tres metodologías en su determinación (Figura 15), las cuales son:

1. Sondeo
2. Número de tramos de tubería de columna
3. Sonda neumática

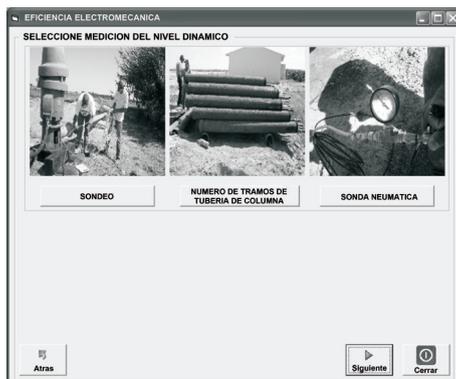


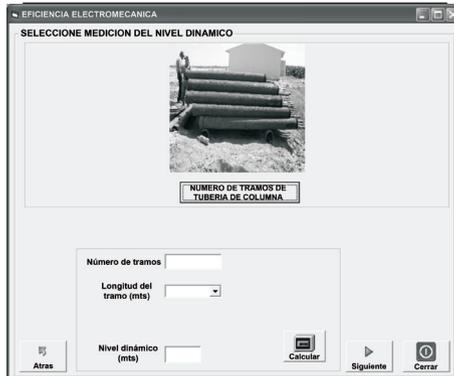
Figura 15. Ventana para seleccionar el método de medición del nivel dinámico.

Si se elige el método por sondeo solo aparece en la parte inferior de la ventana (Figura 16), el campo del nivel dinámico, en el cual se introduce el dato para posteriormente guardarlo en el software mediante el botón “Guardar”. Enseguida de esto, se selecciona el botón “Siguiente” para continuar con el proceso de captura.



Figura 16. Determinación del nivel dinámico por el método de sondeo.

En el caso del método por número de tramos de tubería de columna, aparecerá la siguiente ventana (Figura 17). En la parte inferior de la ventana se presentan los siguientes campos: número de tramos y longitud del tramo, el cual tiene dos opciones: 3.1 y 6.2 m. Al introducir dichos datos se selecciona el botón “Calcular” para que el programa muestre el resultado del nivel dinámico. En seguida, se oprime el botón “Siguiente” para continuar con el proceso.



The screenshot shows a software window titled "EFICIENCIA ELECTROMECANICA" with a subtitle "SELECCIONA MEDICION DEL NIVEL DINAMICO". The window contains a central image of a person standing next to several large pipes. Below the image is a button labeled "NUMERO DE TRAMOS DE TUBERIA DE COLUMNA". The main area of the window contains a form with the following fields: "Número de tramos" (a text input field), "Longitud del tramo (mts)" (a dropdown menu), and "Nivel dinámico (mts)" (a text input field). At the bottom of the window, there are four buttons: "Atras" (Back), "Calcular" (Calculate), "Siguiente" (Next), and "Cerrar" (Close).

Figura 17. Ventana para determinar el nivel dinámico por el método de número de tramos.

En el caso de seleccionar el método por sonda neumática, aparecerá la siguiente ventana (Figura 18), donde se muestran campos de captura similares al del método anterior, con excepción de la presión del manómetro. Al introducir todos los datos se selecciona el botón “Calcular” para observar el dato calculado del nivel dinámico. Después se oprime el botón “Siguiente” para continuar con el proceso de captura del software.



The screenshot shows a software window titled "EFICIENCIA ELECTROMECANICA" with a subtitle "SELECCIONA MEDICION DEL NIVEL DINAMICO". The window contains a central image of a pneumatic probe. Below the image is a button labeled "SONDA NEUMATICA". The main area of the window contains a form with the following fields: "Número de tramos" (a text input field), "Longitud del tramo (mts)" (a dropdown menu), "Presión del manómetro (Kg/cm²)" (a text input field), and "Nivel dinámico (mts)" (a text input field). At the bottom of the window, there are four buttons: "Atras" (Back), "Calcular" (Calculate), "Siguiente" (Next), and "Cerrar" (Close).

Figura 18. Ventana para determinar el nivel dinámico por el método de sonda neumática.

En los tres casos anteriores, una vez que se establece el nivel dinámico, se capturan los parámetros eléctricos de la evaluación de la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo (Figura 19). En esta ventana se capturan los datos del voltaje, corriente, factor de potencia y kilowatts. Estos se introducen de izquierda a derecha, de la parte superior a la parte inferior. Al introducir cada dato es recomendable utilizar la tecla “enter”, de tal forma que se calculen de manera automática los resultados de los tres campos que se encuentran en la parte inferior de la ventana. Estos valores corresponden al promedio del factor de potencia y a la estimación del recargo por bajo factor de potencia. En este último se utiliza la fórmula establecida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2011), disponible en su página web⁽¹⁾. En esta ventana también se calcula la potencia real consumida en unidades de caballos de fuerza (hp). Para continuar con el proceso de captura se oprime el botón “Siguiente”.

	Linea 1	Linea 2	Linea 3
Voltaje (Volt)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Corriente (Amp)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Factor de potencia	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Potencia real consumida (KW)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Promedio del factor de potencia	<input type="text"/>		<input type="text"/>
Estimación del recargo por factor de potencia por comisión federal (CFE) %	<input type="text"/>		<input type="text"/>
Potencia consumida del motor (HP)	<input type="text"/>		<input type="text"/>

Atras Siguiente Cerrar

Figura 19. Ventana para capturar los parámetros eléctricos medidos en la evaluación.

En la Figura 20 se observa la última ventana de la sección “Evaluaciones” donde se presentan los siguientes resultados: carga total dinámica; eficiencia electromecánica mínima, de acuerdo a la NOM-006-ENER-1995; además de la eficiencia electromecánica calculada y las sugerencias generadas por el software para mejorar la eficiencia del equipo. En estos campos no se ingresa ningún dato solo se selecciona el botón “Calcular” y enseguida el botón “Guardar” para concluir la sección “Evaluaciones”. Al guardar, el software presenta la opción del análisis de los conductores. Si la respuesta es negativa, éste regresa a la ventana inicial.

1

<http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/disposicionescomplementarias/Paginas/2011.aspx>

EFICIENCIA ELECTROMECÁNICA

Eficiencia electromecánica

Carga total dinámica (m)

Eficiencia electromecánica mínima recomendada (NOM-006%) 0.00

Eficiencia electromecánica del equipo (%)

Sugerencias para consultar con su proveedor de mantenimiento

Calcular

Atras Guardar Cerrar

Figura 20. Ventana de los resultados de la sección “Evaluaciones”.

3.3. Bitácora de Evaluaciones

Esta sección del software, se encuentra diseñada para consultar el historial de las evaluaciones de un pozo determinado, en cuyo caso se selecciona el nombre del predio y el número de pozo registrado previamente (Figura 21), después se selecciona el botón “Mostrar información” para visualizar las evaluaciones registradas con anterioridad.

EFEL 1.0

SAGARPA

iniqap

Nombre del predio

No. pozo

Mostrar información

Regresar Cerrar

Figura 21. Ventana previa de la bitácora de evaluaciones.

Para imprimir los resultados de las evaluaciones registradas en el programa, se selecciona el pozo de interés (el software sólo puede imprimir un resultado a la vez), posterior a esto se oprime el botón “Imprimir resultados”, el cual se encuentra en la parte superior izquierda de la ventana (Figura 22).

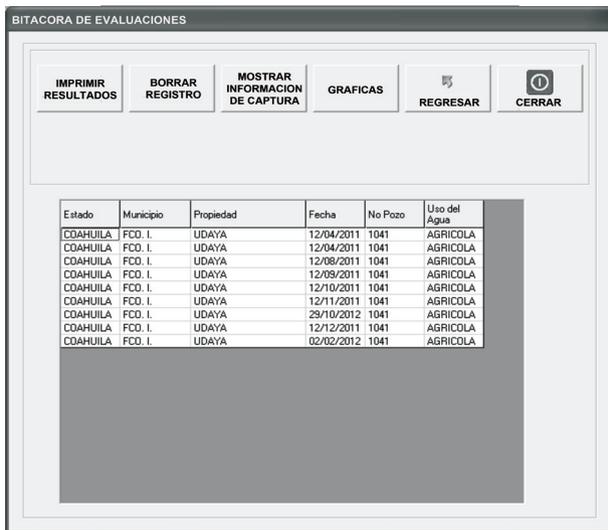


Figura 22. Ventana de la bitácora de evaluaciones.

En la siguiente ventana (Figura 23), se presentan los resultados a detalle de la evaluación de la eficiencia electromecánica. Esta hoja puede imprimirse, si se da un clic en el botón del ícono de la impresora, ubicado en la parte superior izquierda de la ventana, en el cual se selecciona el tipo de impresora y el ajuste de la impresión. Al terminar, se cierra la ventana para regresar a la bitácora de evaluaciones.

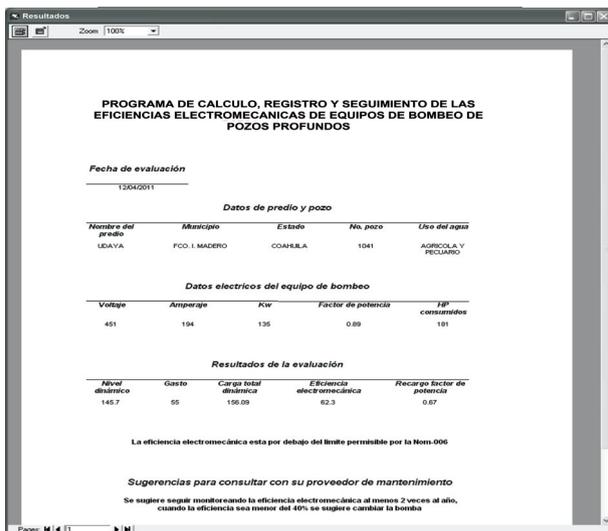


Figura 23. Ventana de impresión de resultados de las evaluaciones.

En la ventana bitácora de evaluaciones (Figura 22), se encuentra el botón “Borrar registro”; su función primordial es el de eliminar cualquier evaluación registrada en el software. Para ésto, se debe de seleccionar previamente la evaluación que se desea eliminar. Al oprimir dicho botón, aparece a manera de seguridad, la pregunta: ¿Qué si se desea eliminar dicha evaluación?

El tercer botón corresponde a “Mostrar información de captura”, el cual muestra una hoja de impresión. La diferencia en este caso con el anterior, es que en esta hoja se presentan los datos obtenidos en campo durante la evaluación y no los resultados de ésta (Figura 24).

Información de captura

Zoom: 100%

PROGRAMA DE CALCULO, REGISTRO Y SEGUIMIENTO DE LAS EFICIENCIAS ELECTROMECANICAS DE EQUIPOS DE BOMBEO DE POZOS PROFUNDOS

Fecha de evaluación	Nombre del pozo	Municipio	Estado	No pozo
12042011	UCAYA	CO. I. MADERO	COAHUILA	1041

Tipo de bomba	HP motor	Uso del agua	Dímetro de succión	Dímetro de descarga	Longitud de descarga	Elev. de descarga
SUMERGIBLE	200	AGRICOLA Y RIEGALARIO	6	6	9	0.5

Parametros eléctricos medidos

	Línea 1	Línea 2	Línea 3
Voltaje	451	452	451
Amperaje	197	189	198
Factor de pot.	0.99	0.99	0.9
Kilowatts	135	131	140

gasto

EL metodo utilizado fue volumetrico

Tiempo	
1	4
2	4
3	4
4	4
5	
6	

Volumen del recipiente (g)
200

Nivel dinámico

La medición fue por número de tramos

Número de tramos	Longitud del tramo (mts)
10	3.3 m

Página: 1/1

Figura 24. Ventana de impresión de información de captura.

En la figura anterior, se observan todos los datos obtenidos en campo, así como la metodología aplicada para las determinaciones del gasto y nivel dinámico. El proceso de impresión es similar al del reporte de resultados de la evaluación.

El botón “Graficas” (Figura 22) tiene como finalidad generar gráficos de dispersión sobre los resultados obtenidos en la evaluación, como lo son: gasto, nivel dinámico, eficiencia electromecánica y el factor de potencia. Además de lo anterior, se ilustran las fechas de mantenimiento capturados previamente. Para ello, se seleccionan en la parte superior al menos dos opciones de los resultados de la evaluación antes mencionada. En este paso, se tiene que oprimir el botón “Graficar”, este éste se encuentra en la superior derecha de la ventana (Figura 25).

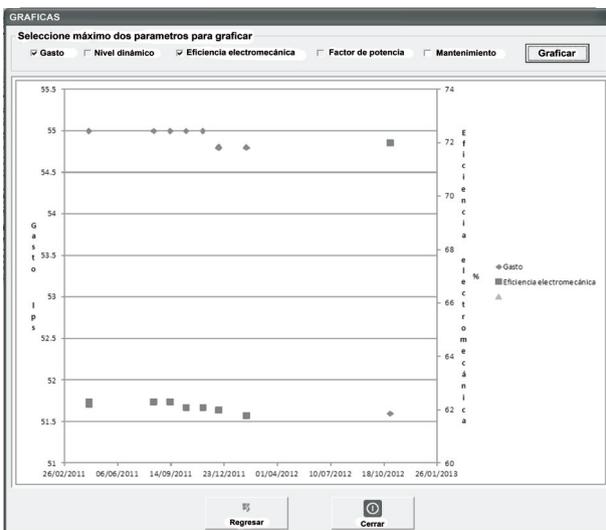


Figura 25. Gráficos a partir de los resultados generados por el software.

3.4. Bitácora de Mantenimiento

En esta sección se pueden capturar los datos de mantenimiento que se realicen a los pozos y equipos de bombeo. Para ello, es importante seleccionar el predio y el número de pozo registrado con anterioridad, para proceder a capturar los siguientes campos: fecha, datos del pozo, datos del arrancador del motor, datos nominales del motor eléctrico, datos del transformador y datos de la bomba o cuerpo de tazones, así como algunas observaciones si éstas existen. Posterior a la captura, se selecciona el botón “Guardar”, con lo cual se agrega la información a la base de datos correspondiente. Enseguida, los campos de la ventana quedan en blanco (sin datos) para una nueva captura de mantenimiento (Figura 26).

BITACORA DE MANTENIMIENTO

Predio: Pozo: Fecha:

Datos del pozo

Diámetro de ademe (m):

Medidor volumétrico:

Funciona el medidor:

Datos del arrancador del motor

Tipo de arrancador:

Capacidad (hp):

Datos nominales del motor eléctrico

Voltaje (volts):

Corriente (amperes):

Factor de servicio (%):

Revoluciones por minuto:

Datos del transformador

Capacidad (KVA):

Datos de la bomba o cuerpo de tazones

Tipo de bomba:

Observaciones:

Figura 26. Ventana de bitácora de mantenimiento.

El botón “Histórico” conduce a otra ventana, la cual muestra la base de datos de los mantenimientos capturados para cada pozo, previa selección del predio y número de pozo, para visualizar la información se debe seleccionar el botón “ver”, ubicado en la parte superior de la ventana (Figura 27).

BITACORA DE MANTENIMIENTO

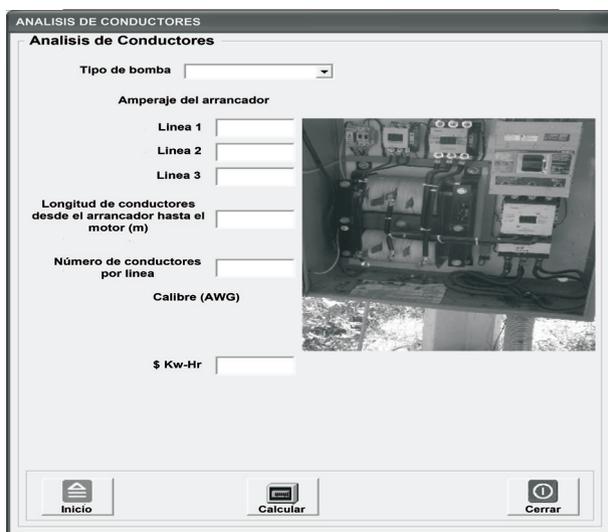
Predio: Pozo:

	ALGODONERA STA MAFIA	ALGODONERA STA MAFIA	ALGODONERA STA MAFIA
Nombre del Predio	ALGODONERA STA MAFIA	ALGODONERA STA MAFIA	ALGODONERA STA MAFIA
Número de Pozo	1012	1012	1012
Fecha de Mantenimiento	22/06/2011	22/08/2012	22/10/2011
Datos del Pozo			
Diámetro de Ademe (m)	16	16	16
Medidor Volumétrico	SI	SI	SI
Funciona el Medidor	No	No	SI
Datos del Arrancador del Motor			
Tipo de Arrancador	Automático	Automático	Automático
Capacidad (Hp)	150	150	150
Datos Nominales del Motor Eléctrico			
Voltaje (volts)	460	460	460
Corriente (amperes)	164	164	164
Factor de Servicio (%)	1.15	1.15	1.15
Revoluciones por Minuto	1780	1780	1780
Datos del Transformador			
Capacidad (KVA)	225	225	225
Datos de la Bomba o Cuerpo de Tazones			
Tipo de Bomba	No Sumergible	No Sumergible	No Sumergible
Número del Tazon	8	8	8
Número de Tazones o pasos	6	6	6
Observaciones			

Figura 27. Ventana de los datos históricos de mantenimiento.

3.5. Análisis de Conductores

Esta opción es la última sección del software. En ella se realiza el análisis de los conductores del equipo de bombeo, con el objeto de conocer el calibre óptimo para dicha instalación (Figura 28). En primera instancia, es necesario capturar el tipo de bomba que se encuentra instalada, posteriormente se captura el amperaje promedio consumido de las tres líneas, luego la longitud de los conductores desde el arrancador hasta el motor eléctrico, enseguida se introduce el número de conductores por línea así como el calibre del conductor y por último el costo del kilowatt-hora.



ANÁLISIS DE CONDUCTORES

Análisis de Conductores

Tipo de bomba

Amperaje del arrancador

Linea 1

Linea 2

Linea 3

Longitud de conductores desde el arrancador hasta el motor (m)

Número de conductores por línea

Calibre (AWG)

\$ Kw-Hr

Inicio Calcular Cerrar

Figura 28. Ventana de análisis de los conductores.

Al capturar toda esta información, se selecciona el botón “Calcular” para que muestre el resultado del análisis, indicando el calibre óptimo para cada uno de los casos, así como el ahorro que puede obtener el usuario o productor si realiza el cambio de calibre sugerido por el software en caso de la existencia de cables ya instalados.

Con la finalidad de dar soporte técnico al proceso de estimación de la eficiencia electromecánica, empleado en este programa.

A continuación se detallan tanto la metodología como las técnicas de medición utilizadas en dicha determinación.

4. METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA EFICIENCIA ELECTROMECAÁNICA

El software estima la eficiencia electromecánica, de acuerdo a la metodología establecida por la Norma Oficial Mexicana 006 (NOM-006-ENER-1995). Esta norma hace referencia a la eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación; cuya finalidad es establecer el nivel mínimo de eficiencia energética electromecánica en la operación de sistemas de bombeo para la extracción de agua de pozo profundo, cuando se utilizan en riego agrícola o servicios municipales. Aplica para bombas con motor eléctrico externo (verticales tipo turbina) o en sumergible, con intervalo de potencias que varía entre 7.5 y 350 hp.

En este caso la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo se define como el cociente de la potencia medida a la salida de la bomba y la potencia de entrada al motor eléctrico, expresada en porcentaje (Román et al., 2004; Reyes, 2005). Esta relación se expresa como:

$$n = \frac{P_s}{P_e} * 100 \quad (1)$$

Donde:

- n = Eficiencia Electromecánica (%).
- P_s = Potencia de salida de la bomba (w).
- P_e = Potencia de entrada al motor (w).

La potencia de entrada al motor (P_e), es la energía (en watts) que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba y en operación normal. Para motores trifásicos se define como:

$$P_e = \sqrt{3} * V * I + F_p \quad (2)$$

Donde:

- V = Voltaje (volts).
- I = Corriente eléctrica (amp).
- F_p = Factor de potencia (adimensional).

La potencia de salida de la bomba (P_s), es la energía mecánica (en watts) transferida al agua por la bomba, medida lo más cerca posible del cabezal de descarga. Su expresión matemática es:

$$P_s = q_v * t + g * CTD \quad (3)$$

Donde:

- q_v = Gasto o caudal bombeado ($m^3 \cdot seg^{-1}$).
- t = Densidad del agua bombeada ($kg \cdot m^{-3}$).
- g = Aceleración de la gravedad ($m \cdot seg^2$).
- CTD = Carga total dinámica de bombeo (m.c.a.).

4.1. Determinación del gasto bombeado

Para facilitar la estimación del gasto en el pozo a evaluar, se proponen tres técnicas para su determinación: volumétrico, método con molinete y medidor volumétrico instalado en el pozo. Cada una de estas técnicas requiere diferente instrumentación y por tanto su exactitud puede variar en cada caso. El uso de molinete resulta ser práctico, de fácil manejo y sus resultados son consistentes con la técnica de referencia, la de aforo volumétrico. A continuación se detallan cada una de estas técnicas consideradas dentro del software.

4.1.1. Método volumétrico

Este método consiste en cuantificar el tiempo necesario, a través del uso de un cronómetro, para el llenado de un recipiente (balde, tambo, etc.) previamente aforado, el cual puede llenarse hasta su derrame para mayor facilidad y precisión (Figura 29).



Figura 29. Determinación del gasto con la técnica del método volumétrico.

El gasto se determina dividiendo el volumen de agua entre el tiempo promedio de llenado del recipiente (Ochoa, 1996; Briones et al., 1997). Su expresión es la siguiente:

$$Q = \frac{V}{t_{pr\ om}} \quad (4)$$

Donde:

- Q = Gasto o caudal bombeado (l·seg⁻¹).
 V = Volumen conocido (l).
 $t_{pr\ om}$ = Tiempo promedio (s).

4.1.2. Método con molinete. Esta técnica utiliza el molinete para medir la velocidad del agua. Este aparato es preciso en la medición de flujos en canales abiertos y tuberías (Figura 30). En este último, pueden realizarse mediciones de velocidad de agua en tubos llenos y parcialmente llenos (Tezeta, 2011).



Figura 30. Determinación del gasto por la técnica del molinete.

Cada molinete está calibrado de fábrica y cuenta con una tabla o una ecuación para transformaciones de datos. La velocidad del agua se mide, colocando el molinete a una profundidad del 60% del tirante hidráulico, tomando lecturas a un intervalo de un minuto; cuanto mayor sea el número de registros realizados, más confiable será la apreciación de la velocidad medida.

a) Aforo para tubo lleno. El caudal en una tubería totalmente llena (en litros por segundo) se determina con la siguiente ecuación:

$$Q = 785.4 * (d)^2 * (v) \quad (5)$$

Donde:

- Q = Gasto o caudal bombeado (l·seg⁻¹).

d = Diámetro interior de la tubería (m).

v = Velocidad del agua dentro del tubo (m·seg⁻¹).

b) Aforo para tubo parcialmente lleno. La determinación del caudal o gasto bombeado en esta situación, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Q = (c) * (d)^2 * (v) \quad (6)$$

Donde:

c = Coeficiente de ajuste del área que depende de la relación tirante (h) y diámetro interior de la tubería (d); ver Figura 31 y Anexo 1.

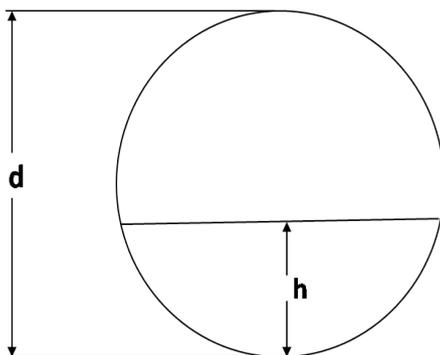


Figura 31. Relación del tirante de agua y diámetro interior de la tubería.

4.1.3. Medidor volumétrico instalado en el pozo. Este método es el menos recomendado; sin embargo, es una opción en caso de no contar con el material o la instrumentación necesaria para medir el gasto bombeado. En este caso, se sugiere que las lecturas del volumen de agua extraído se registren del medidor volumétrico del pozo en un período no menor de seis horas (Figura 32), con el objeto de garantizar un dato de gasto confiable (Saldivar, 2010). El gasto se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(Lec_{inicial} - Lec_{final})}{T} * 0.277 \quad (7)$$

Donde:

$Lec_{inicial}$ = Lectura inicial del volumen de agua extraído (m³).

Lec_{final} = Lectura final del volumen de agua extraído (m³).

T = Tiempo de medición entre las dos lecturas (hr).



Figura 32. Medidor volumétrico instalado en el pozo.

El medidor debe estar instalado sobre el cuerpo de la tubería, libre de cualquier obstrucción antes y después para su buen funcionamiento, por tal motivo es conveniente respetar las longitudes de separación (Ruiz, 2001). En el Cuadro 1 se presentan algunas recomendaciones de longitudes que deben ser consideradas para la instalación de los medidores después de un accesorio.

Cuadro 1. Longitudes recomendadas para la instalación de medidores después de un accesorio.

Tipo de accesorio	Distancia
Después de un codo	5 veces el diámetro
Después de una "T"	5 veces el diámetro
Después de dos codos	25 veces el diámetro
Después de una Te y un codo	25 veces el diámetro
Después de una válvula	12 veces el diámetro

4.2. Determinación de la carga total dinámica

La carga total dinámica es la cantidad de presión o energía que demanda el equipo de bombeo. El movimiento del agua a través de la tubería origina una fricción, la cual debe ser vencida, lo que representa una pérdida de energía para la bomba (Tylerg, 1979). La carga total dinámica se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$CTD = N.D. + hf_{succión} + hf_{descarga} + P_v \tag{8}$$

Donde:

- CTD = Carga total dinámica (m.c.a.).
- N.D. = Nivel dinámico (m).
- $Hf_{succión}$ = Pérdidas de carga en la succión (m).
- $Hf_{descarga}$ = Pérdidas de carga en la descarga (m).
- P_v = Proyección vertical o elevación de descarga (m).

4.2.1. Nivel dinámico. El nivel dinámico representa la distancia vertical que existe entre el nivel de referencia (base del motor) hasta la superficie del agua cuando el equipo de bombeo se encuentra en operación, sus unidades son metros (Reyes, 2005). Este nivel depende prácticamente del caudal de bombeo, del tiempo de bombeo y de las características hidrogeológicas del acuífero (Quintero, 1994). Para determinar este valor se proponen tres técnicas en el software (sondeo, por número de tramos de tubería de columna y sonda neumática).

a) Sondeo. Para determinar el nivel dinámico bajo esta metodología, se recomienda utilizar un dispositivo de conductores eléctricos. Existen en el mercado equipos de sondeo especialmente diseñados para ello, con graduación en metros y contrapeso en la sonda. Sin embargo, de manera práctica también se puede contar con un dispositivo adecuadamente aislado, que contenga una fuente de energía eléctrica (baterías) y un amperímetro de capacidad de 15 volts (Figura 33); en este caso la sonda puede ser sustituida por cable dieléctrico de calibre 16, de tal forma que no represente riesgo para la bomba y técnico responsable de la evaluación.



Figura 33. Dispositivo para realizar sondeo a los pozos.

El cable dieléctrico se introduce lentamente en el pozo, y a su vez se observa el amperímetro, cuando marque corriente (15 volts) nos indica que las puntas del cable están en la superficie del agua, por lo que se mide la longitud del cable desde su extremo inferior hasta el nivel de referencia para determinar el nivel dinámico (Figura 34). Esta metodología tiene las siguientes restricciones para su uso: depende de las condiciones que se encuentra el pozo, no debe estar sellado, desviado, colapsado ni tener presencia de parches en el ademe.



Figura 34. Determinación del nivel dinámico de un pozo mediante el sondeo.

b) Número de tramos de tubería de columna. Este método es recomendable cuando no se puede sondear el pozo por los motivos mencionados anteriormente, aunque también es recomendado si el pozo dispone de una bomba sumergible. La utilización de este método depende del conocimiento del número exacto de tramos de tubería de columna o succión que tiene el equipo de bombeo. En este caso se asume que la bomba (cuerpo de tazones) se encuentra sumergida dentro del nivel de agua a una profundidad de 9.3 m (tres tramos de tubería de columna), y también considera que la longitud de la tubería se encuentra estandarizada a 3.1 m (Saldivar, 2010). Para determinar el nivel dinámico se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{N.D.} = (\text{No. tramos} * 3.1) - 9.3 \quad (9)$$

Donde:

N.D. = Nivel dinámico (m).

No. tramos = Número de tramos de tubería de columna o succión.

c) Sonda neumática. La sonda neumática se compone prácticamente de una manguera de plástico de diámetro de 3/8"; el propósito de esta sonda es facilitar el sondeo y evitar un posible riesgo de daño a la bomba, ya que no se introduce ningún tipo de cable al pozo. Para utilizar esta técnica es conveniente contar con el siguiente material: un manómetro de una escala al menos de 100 lb·in⁻² (psi) o su equivalente a 7 kg·cm⁻² y un compresor o bomba de aire para presurizar la sonda (manguera), todo esto es necesario para realizar la medición del nivel dinámico (Figura 35). En esta técnica también es necesario

conocer de una forma correcta el número de tramos de tubería de columna o succión del pozo (Saldívar, 2010). La ecuación o expresión matemática que se utiliza para la determinación del nivel dinámico es la siguiente:

$$N.D. = N_o \text{ tramos} - \text{Lec manómetro} \cdot 0.7031 \tag{10}$$

Donde:

Lec manómetro = Lectura del manómetro (lb · in⁻²).



Figura 35. Determinación del nivel dinámico mediante la sonda neumática.

4.2.2. Pérdidas de carga en la succión. Para determinar la pérdida de carga en la succión, es necesario tener los siguientes datos del pozo: diámetro de la tubería de columna o succión, diámetro de cubierta, diámetro de flecha y el gasto bombeado. Toda esta información se relaciona en las tablas proporcionadas por los fabricantes de las bombas o por la misma norma oficial NOM-006-ENER-1995 (Anexos 2 y 3). En dichos anexos se presentan las pérdidas por succión en pies por cada 100 pies de tubería de columna, o en metros por cada 100 m de tubería de columna, para los dos tipos de bomba (con motor externo o sumergible), y en función al gasto bombeado (Munson et al., 2003).

4.2.3. Pérdidas de carga en la descarga. Estas pérdidas se generan por el rozamiento de los fluidos en la pared rugosa de las tuberías, y se manifiesta como una disminución de presión en el sentido del flujo (Streeter, 1979). Para la determinación de estas pérdidas se utiliza la ecuación de Manning, su expresión es la siguiente:

$$h_{f \text{descarga}} = \frac{10.29 \cdot n^{2.486} \cdot (L) \cdot Q^{2.486}}{D^{16/3}} \tag{11}$$

Donde:

n = coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional).

l = longitud de la tubería de descarga (m).

Q = gasto bombeado ($m^3 \cdot s^{-1}$).

D = diámetro interior de la tubería (m).

En el cuadro 2 se presentan los valores de rugosidad (n) para diferentes materiales, siendo el más común el poli cloruro de vinilo "PVC" (Sotelo, 1982).

Cuadro 2. Valores de rugosidad "n" para diferente tipo de materiales.

Material	n
Tuberías de PVC.	0.0079
Hormigón.	0.0120
Asbesto – Cemento.	0.0150
Fierro Fundido Galvanizado.	0.0170

4.2.4. Proyección vertical. Es la altura de la base del equipo de bombeo al punto de descarga de la bomba, ésta se suma (+) si es elevación ó se resta (-) si es depresión.

LITERATURA CITADA

- Briones S. G. y I. García., 1997. Aforo del agua en canales y tuberías. Editorial Trillas. Segunda Edición. México, D.F.
- Cisneros M. L., 1977. Manual de Bombas. Barcelona España. 2ª Edición, Editorial Imbursa.
- CFE, 2011. Comisión Federal de Electricidad. Disposiciones complementarias con referente al factor de potencia. Secretaría de Energía. Disponible en: <http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/disposicionescomplementarias/Paginas/2011.aspx>. [consulta: 26 de octubre de 2012].
- CNA, 2009. Comisión Nacional del Agua. Eficiencia en sistemas de bombeo. Gerencia de estudios y proyectos de agua potable y redes de alcantarillado. Coordinación de Electromecánica. México, D.F.
- CONUEE, 2011. Estudio de sistemas de bombeo agropecuarios en México. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. México, D.F.
- Karassik I. I., 1978. Bombas Centrifugas. Continental S.A., México D.F., México.
- Munson B. y D. Young., 2003. Fundamentos de Mecánica de Fluidos. Ed. Limusa., México, D.F.
- NOM-006-ENER-1995, 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-006-ENER-1995. Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/res/Acerca_de/nom-006-ener-95.pdf. [consulta: 22 de octubre de 2012].
- Novelo M., 1998. Participación de FIRA en el Uso Racional del Agua y la Energía en el Sector Rural. Primer Seminario Internacional del Uso Integral del Agua. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México.
- Ochoa A. L., 1996. Métodos y Sistemas de Medición de Gasto. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). México D.F., México.
- Peña C., 1989. Eficiencias Electromecánicas de los Equipos de Bombeo y de las condiciones Hidráulicas en los Pozos. Ingeniería Hidráulica en México. México D.F., México.
- Quintero. S. J., 1994. Hidráulica de pozos. Curso Internacional de manejo y protección de acuíferos. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Reyes G. R., 2005. Ahorro de Energía Eléctrica en Equipos de Bombeo

- mediante ajustes electromecánicos. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.
- Román L. A. y I. Sánchez C., 2004. Uso y manejo de bombas de pozo profundo. Folleto técnico. Publicación especial No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Cenid – Raspa. Gómez Palacio Dgo., México.
- Ruiz A. A., 2001. Medidores de velocidad (hélice, turbina y molinete). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México.
- Saldivar C. O., 2010. Metodología de Cálculo para determinar el Gasto Promedio Extraído de un Pozo Profundo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.
- Sector Agrícola y Ganadero, 2012. Revista oficial de la Cámara Agrícola y Ganadera de Torreón y de la Unión Ganadera Regional de la Laguna. Junio de 2012, Torreón Coahuila.
- Sotelo A. G., 1982. Hidráulica general. Volumen I. Editorial Limusa. Sexta edición, México, D.F.
- Streeter V., 1979. Mecánica de fluidos. McGraw-Hill. México, D.F.
- Tezeta S. J., 2011. Evaluación de la eficiencia electromecánica del sistema de bombeo de agua potable estación 4. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Veracruzana, Región Poza Rica – Tuxpan, México.
- Tyler H. B., 1979. Bombas, su Elección y Aplicación. Editorial Continental s.a., México D.F., México.
- Viejo Z. M., 2000. Bombas: teoría, diseño y aplicaciones. Editorial Limusa. Serie Tecnologías Mecánicas. Instituto Politécnico Nacional (IPN). México, D.F.

ANEXOS

Anexo 1. Valores de "c" para la relación tirante – diámetro ("h/d").

Relación (h/d)	c								
0.01	0.0130	0.21	0.1190	0.41	0.3032	0.61	0.5018	0.81	0.6815
0.02	0.0037	0.22	0.1281	0.42	0.3130	0.62	0.5115	0.82	0.6893
0.03	0.0067	0.23	0.3727	0.43	0.3229	0.63	0.5212	0.83	0.6969
0.04	0.0105	0.24	0.1449	0.44	0.3328	0.64	0.5308	0.84	0.7043
0.05	0.0147	0.25	0.1535	0.45	0.3428	0.65	0.5404	0.85	0.7115
0.06	0.0192	0.26	0.1623	0.46	0.3527	0.66	0.5499	0.86	0.7186
0.07	0.0242	0.27	0.1711	0.47	0.3627	0.67	0.5594	0.87	0.7254
0.08	0.0294	0.28	0.1800	0.48	0.3727	0.68	0.5687	0.88	0.7320
0.09	0.0350	0.29	0.1890	0.49	0.3827	0.69	0.5780	0.89	0.7384
0.10	0.0409	0.30	0.1982	0.50	0.3927	0.70	0.5872	0.90	0.7445
0.11	0.0470	0.31	0.2074	0.51	0.4027	0.71	0.5964	0.91	0.7504
0.12	0.0534	0.32	0.2167	0.52	0.4127	0.72	0.6054	0.92	0.7560
0.13	0.0600	0.33	0.2266	0.53	0.4227	0.73	0.6143	0.93	0.7612
0.14	0.0668	0.34	0.2355	0.54	0.4327	0.74	0.6231	0.94	0.7662
0.15	0.0739	0.35	0.2450	0.55	0.4427	0.75	0.6318	0.95	0.7707
0.16	0.0811	0.36	0.2546	0.56	0.4526	0.76	0.6404	0.96	0.7749
0.17	0.0885	0.37	0.2644	0.57	0.4625	0.77	0.6489	0.97	0.7785
0.18	0.0961	0.38	0.2743	0.58	0.4723	0.78	0.6573	0.98	0.7816
0.19	0.1036	0.39	0.2836	0.59	0.4822	0.79	0.6655	0.99	0.7841
0.20	0.1118	0.40	0.2934	0.60	0.4920	0.80	0.6736	1.00	0.7854

Anexo 2. Pérdidas de carga por fricción en la columna de Bombas Tipo Turbina con motor externo (m/100 m ó pies/100pies). Para gastos de 3.15 a 41.31 lps (50 a 750 GPM).

Diámetro de columna		4"		6"		8"		10"			
Diámetro de flecha (pulgadas)		1	1 1/4	1 1/4	1 1/2 1 11/16	1 15/16	1	1 1/4	1 1/2 1 11/16	1 5/16	2 3/16 2 7/16
GPM	lps										
50	3.15	0.90	1.60								
60	3.78	1.20	2.20								
70	4.42	1.50	2.90								
80	5.05	1.90	3.60								
90	5.68	2.40	4.40								
100	6.31	2.80	5.30								
125	7.89	4.20	7.70								
150	9.46	5.70	10.50		0.90	1.30					
175	11.04	7.50	13.50		1.10	1.70					
200	12.62	9.50		1.00	1.40	2.20					
225	14.19	11.50		0.90	1.20	2.70					
250	15.77	14.00		1.10	1.40	3.30					
275	17.35			1.30	1.70	3.90					
300	18.92			1.50	2.00	4.50					
325	20.50			1.70	2.30	5.20					
350	22.08			2.00	2.60	6.00					
375	23.66			2.20	2.90	6.70				0.90	1.30
400	25.23			2.50	3.30	7.50				1.00	1.50
450	28.39			3.10	4.10	9.30			0.90	1.20	1.80
500	31.54			3.70	4.90	11.50		0.90	1.10	1.50	2.20
550	34.69			4.40	5.00	8.10		1.10	1.30	1.80	2.60
600	37.85			5.20	6.80	9.50	1.00	1.30	1.50	2.10	3.00
650	41.00			6.00	7.80	11.00	1.20	1.50	1.80	2.40	3.50
700	44.16			6.80	9.00		1.40	1.70	2.00	2.80	4.10
750	47.31			7.70	10.10		1.70	1.90	2.30	3.20	4.60

Anexo 2. Continuación... Pérdidas de carga por fricción en la columna de Bombas Tipo Turbina con motor externo (m/100 m ó pies/100pies). Para gastos de 50.46 a 315.40 lps (800 a 5000 GPM).

Diámetro de columna Diámetro de flecha (pulgadas)	6"					8"					10"					12"												
	1	1 1/4	1 1/2	1 5/8	2 1/8	1	1 1/4	1 1/2	1 5/8	2 1/8	1	1 1/4	1 1/2	1 5/8	2 1/8	1	1 1/4	1 1/2	1 5/8	2 1/8	1	1 1/4	1 1/2	1 5/8	2 1/8			
	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps	GPM	lps		
800	50.46	8.60	2.0	2.2	2.60	3.6	5.2																					
900	56.77	10.70	2.5	2.7	3.2	4.5	6.4																					
100	63.08		3.0	3.2	3.9	5.4	7.8																					
110	69.39		3.5	3.8	4.6	6.4	9.4																					
120	75.70		4.2	4.5	5.4	7.5		1.1	1.2	1.4	1.6	2.0	2.6															
130	82.00		4.8	5.2	6.2	8.8		1.2	1.4	1.6	1.9	2.3	3.0															
140	88.31		5.5	6.0	7.2	10.0		1.4	1.6	1.8	2.2	2.7	3.5															
1500	94.62		6.2	6.8				1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.9															
1600	100.93		6.9	7.6				1.8	2.0	2.3	2.8	3.4	4.5															
1800	113.54		8.6	9.4				2.2	2.5	2.8	3.4	4.3	5.5															
2000	126.16		10.5	11.4				2.7	3.0	3.5	4.2	5.2	6.7															
2200	138.78							3.2	3.6	4.1	5.0	6.1	7.9															
2400	151.39							3.7	4.2	4.8	5.8	7.2	9.3															
2600	164.01							4.3	4.9	5.6	6.8	8.2																
2800	176.62							5.0	5.6	6.4	7.8	9.4																
3000	189.24							5.6	6.4	7.2	8.9																	
3200	201.39							6.3	7.1	8.2	10.0																	
3400	214.47							7.0	8.0	9.1																		
3600	227.09							7.8	8.9																			
3800	239.70							8.7	9.8																			
4000	252.32							9.6																				
4250	268.09																											
4500	283.86																											
4750	299.63																											
5000	315.40																											

Anexo 3. Pérdidas de carga por fricción en columna de Bombas Sumergibles (m/100 m ó pies/100pies): gastos de 1.58 a 31.54 lps (25 a 500 GPM) léase a la izquierda de la línea; gastos de 37.85 a 378.48 lps (600 a 6000 GPM) léase a la derecha de la línea.

Diámetro de columna		2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	Diámetro de columna	
GPM	Lps											lps	GPM
25	1.58	1.27	0.54			5.89	2.41	0.60				37.85	600
30	1.89	1.78	0.75			7.82	3.20	0.80				44.16	700
35	2.21	2.36	0.99			10.00	4.10	1.02	0.35			50.46	800
40	2.52	3.02	1.27	0.44		12.50	5.10	1.27	0.44			56.77	900
45	2.84	3.76	1.58	0.55		15.20	6.20	1.54	0.53			63.08	1000
50	3.15	4.57	1.92	0.67		17.40	7.40	1.84	0.63	0.26		63.39	1100
60	3.78	6.42	2.69	0.94	0.25	8.70	8.70	2.16	0.74	0.30		75.70	1200
70	4.42	8.52	3.58	1.25	0.33	10.00	10.00	2.52	0.86	0.35		82.00	1300
80	5.05	10.90	4.59	1.60	0.42	11.50	11.50	2.88	0.99	0.40		88.31	1400
90	5.68	13.50	5.72	1.98	0.54			3.27	1.12	0.45		94.62	1500
100	6.31	16.50	6.91	2.41	0.64	0.21		3.68	1.26	0.51	0.33	100.93	1600
120	7.57	23.10	9.71	3.38	0.90	0.30		4.13	1.42	0.57	0.37	107.24	1700
140	8.83		12.90	4.50	1.20	0.40		4.57	1.57	0.64	0.41	113.54	1800
160	10.09		16.60	5.77	1.53	0.51		5.08	1.74	0.71	0.45	119.85	1900
180	11.35		20.60	7.12	1.91	0.64		5.59	1.91	0.78	0.50	126.16	2000
200	12.62			8.70	2.32	0.77		6.43	2.88	1.17	0.76	157.70	2500
220	13.88			10.40	2.77	0.92			4.04	1.64	1.06	189.24	3000
240	15.14			12.20	3.25	1.08			5.50	2.18	1.40	220.78	3500
260	16.40			14.10	3.77	1.25			6.90	2.79	1.79	252.32	4000
280	17.66			16.20	4.32	1.44				3.46	2.23	283.86	4500
300	18.92				4.91	1.64	0.67			4.21	2.71	315.40	5000
350	22.08				6.54	2.17	0.88				3.24	346.94	5500
400	25.23				8.36	2.78	1.14				3.80	378.48	6000
450	28.39				10.40	3.46	1.42						
500	31.54				12.60	4.21	1.72						



Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
- Campo Experimental

Comité Editorial del CENID-RASPA

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong

Secretario: Dr. Miguel A. Velásquez Valle

Vocales: Dr. Juan Estrada Ávalos
M. C. Miguel Rivera González

Revisores Técnicos

Dr. Miguel Ángel Segura Castruita

Dr. José Alfredo Montemayor Trejo

Diseño:

Ing. Alan J. Servín Prieto

La presente publicación se terminó de imprimir en Diciembre de 2012 en la imprenta Carmona, Impresores. Calzada Lázaro Cárdenas No. 850, Col. Eduardo Guerra, Torreón, Coahuila.

Su tiraje consta de 500 ejemplares

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
DISCIPLINARIA RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-
ATMÓSFERA**

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG

Director

ING. ARMANDO ESTRADA GONZÁLEZ

Jefe de Operación

LIC. FLOR CARINA ESPINOZA DELGADILLO

Jefe Administrativo

PERSONAL INVESTIGADOR

Bueno Hurtado Palmira

Burgos Córdova David Aarón

Catalán Valencia Ernesto Alonso

Cerano Paredes Julián

Cerda Cerda Alma Yadira

Cervantes Martínez Rosalinda

Constante García Vicenta

Delgado Ramírez Gerardo

Esquivel Arriaga Gerardo

Estrada Ávalos Juan

González Barrios José Luis

González Cervantes Guillermo

Inzunza Ibarra Marco Antonio

Macías Rodríguez Hilario

Muñoz Villalobos Jesús Arcadio

Potisek Talavera María del Carmen

Rivera González Miguel

Román López Abel

Sánchez Cohen Ignacio

Trucíos Caciano Ramón

Velásquez Valle Miguel Agustín

Villa Castorena María Magdalena

Villanueva Díaz José



Vivir Mejor

www.gobiernofederal.gob.mx
www.sagarpa.gob.mx
www.inifap.gob.mx



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias