



EVALUACIÓN PARA SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA

Guía para la hoja de cálculo
de eficiencia energética

Primera edición



Iniciativa de Agua y Saneamiento



Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático

Banco Interamericano de Desarrollo

EVALUACIÓN PARA SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA

**Guía para la hoja de cálculo
de eficiencia energética**

Primera edición

Iniciativa de Agua y Saneamiento
Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático
Washington, D.C.
2011

La producción de esta publicación estuvo a cargo de la Oficina de Relaciones Externas del BID.

© Banco Interamericano de Desarrollo, 2011. Todos los derechos reservados.
Las opiniones expresadas en esta publicación pertenecen a los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista del BID.

Para mayor información o consultas, por favor dirigirse a: agua@iadb.org o secci@iadb.org.

IDB-MG-114

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	v
INTRODUCCIÓN	1
DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE EQUIPOS DE BOMBEO	3
PASO 1. RELEVACIÓN DE DATOS	3
1.1 Sistema eléctrico	3
1.2 Datos nominales del motor	6
1.3 Datos nominales de la bomba	7
1.4 Características del fluido	9
PASO 2. MEDICIONES DE CAMPO	9
2.1 Mediciones hidráulicas	9
2.2 Mediciones eléctricas	13
2.3 Mediciones de temperatura	16
PASO 3. EVALUACIÓN Y PROCESO DE INFORMACIÓN	17
3.1 Evaluación de los conductores eléctricos	17
3.2 Evaluación del motor eléctrico	19
3.3 Evaluación de la bomba	22
3.4 Balance de energía actual	25
3.5 Comentarios y oportunidades de ahorro	27
PASO 4. PROYECTO DE AHORRO DE ENERGÍA	31
4.1 Descripción de las propuestas de ahorro	31
4.2 Especificaciones del equipo	32
4.3 Plan de acción	33
PASO 5. EVALUACIÓN DE LOS AHORROS	33
5.1 Evaluación de los conductores eléctricos	33
5.2 Evaluación de la eficiencia del motor	34
5.3 Balance de energía esperado	34
PASO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO	35
6.1 Cálculo de ahorros	35
6.2 Cálculo del costo de las inversiones	36
6.3 Análisis de la tasa de retorno de la inversión	36

PRESENTACIÓN

Con el propósito de mejorar el servicio de agua potable que se brinda a la sociedad de los países de América Latina, a través del desarrollo de una metodología regional de eficiencia energética y mantenimiento que pueda ser aplicada por empresas de agua, en el marco del Programa de Cooperación Técnica “Eficiencia Energética en Empresas de Agua y Saneamiento en Centroamérica” financiado por el Fondo Especial de Operaciones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se ha contado con los servicios de consultoría de Econoler Internacional y Alliance to Save Energy, con el fin de desarrollar dicha metodología de eficiencia energética y mantenimiento en el sector de agua y saneamiento. La presente publicación corresponde a la Guía para la hoja de cálculo de eficiencia energética para sistemas de bombeo en empresas de agua y saneamiento, que se ha diseñado a estos efectos. También están disponibles un Manual de mantenimiento para sistemas de bombeo de agua, un Manual de evaluación de eficiencia energética para sistemas de bombeo en empresas de agua y saneamiento, un Manual de mantenimiento para sistemas de bombeo de agua y una Hoja de cálculo de eficiencia energética para sistemas de bombeo.

La elaboración del presente manual fue dirigida por la Unidad de Energía Sostenible y Cambio Climático (ECC) y la División de Agua y Saneamiento (WSA), por Christoph Tagwerker (ECC), Marcello Basani (WSA), Rodrigo Riquelme (WSA) y Gerhard Knoll (WSA). El trabajo fue desarrollado por las firmas Econoler Internacional y Alliance to Save Energy, dirigidas por los ingenieros Arturo Pedraza y Ramón Rosas.

Iniciativa de Agua y Saneamiento
Iniciativa de Energía Sostenible y Cambio Climático

INTRODUCCIÓN

Si bien no es una panacea, comprender la complejidad de la problemática del sector agua y las medidas de eficiencia en agua y energía dentro de un sistema de agua potable y saneamiento pueden significar un largo camino para abordar los problemas dentro de esta área. La eficiencia en materia de energía y agua, cuando se aplica dentro de un proceso de planificación integrado, puede aplazar y, en algunos casos, eliminar la necesidad de inversión en infraestructura adicional.

Las mejoras en la eficiencia de los servicios de agua municipales constituyen también las inversiones que más valen la pena porque retornan impresionantes rendimientos en forma de ahorros operacionales y generales, lo cual se traduce en un mejor servicio y en la optimización de la sostenibilidad financiera del operador.

Con el fin de seguir ordenadamente una metodología, la evaluación de la eficiencia energética consiste en la aplicación de un conjunto de técnicas para determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía, además de especificar cuánta se desperdicia.

La parte concluyente de la evaluación de la eficiencia energética es la identificación y cuantificación de medidas de bajo costo o con inversiones rentables para el ahorro de energía en la instalación; esta parte es una pieza clave del desarrollo de un proyecto integral de eficiencia energética.

Para ejecutar la evaluación de eficiencia energética, se sugiere seguir una secuencia ordenada, lo cual conducirá a mejores resultados.

Sobre la base de la distribución de pérdidas, la evaluación de la eficiencia energética en un sistema de agua potable y saneamiento debe incluir el análisis de los sistemas típicos donde se consume la energía, que en orden de importancia son:

- Conjunto motor-bomba, teniendo en cuenta eficiencias, condiciones de operación y aspectos de mantenimiento.
- Sistema de distribución, lo cual abarca conducciones, tanques de regulación y otros accesorios.
- Sistema electromotriz, incluido el transformador.
- Suministro energético, lo cual implica considerar las características del contrato de suministro.

Las medidas de ahorro típicas que se obtienen mediante esta metodología de análisis son las siguientes:

- Optimización del factor de potencia.
- Operación de bombas en zonas de máxima eficiencia.
- Utilización de motores de alta eficiencia.
- Disminución de pérdidas de carga en tuberías.
- Selección del calibre óptimo de conductores.

La aplicación de otras medidas de ahorro –entre ellas: selección de la tarifa más económica, tarifa HM y paro de equipos en horas punta, autogeneración en horas punta, aplicación de velocidad variable y ahorros de energía por optimización de la operación hidráulica– podrá sugerirse como resultado de otro tipo de análisis.

En este manual se describe la metodología de cálculo a aplicar durante la evaluación de eficiencia energética en un sistema de bombeo, con la ayuda de una hoja de cálculo que precisamente contiene dicha metodología paso a paso.

Nota: Esta hoja de cálculo se ha llenado con datos de un ejemplo, los cuales deben ser reemplazados en cada sistema y equipo en estudio con la información correspondiente. En la hoja de cálculo se han marcado con color AMARILLO los campos que deben ser reemplazados o ingresados, y con color VERDE los que responden a cálculos efectuados en forma automática y, por lo tanto, no deben ser alterados. Se sugiere guardar el archivo con el nombre del sistema de bombeo correspondiente antes de empezar a llenar la hoja de cálculo.

OBJETIVO

La presente metodología tiene el objetivo de evaluar y analizar un sistema de bombeo, mediante la evaluación del balance energético de dicho sistema, así como también de la evaluación de las medidas de ahorro de energía propuestas.

Las fórmulas que se utilizan en este formato están relacionadas con las unidades de medida que se describen en cada punto; por ello, es crucial que se respeten las unidades con las que se debe llenar el formato, de modo que los datos que se piden deben ser convertidos a las unidades de medida correspondientes para el buen funcionamiento del equipo.

Para completar el formato se deberá seguir la metodología que se refiere en los párrafos siguientes.

ENCABEZADO

Para empezar se deberá colocar en el encabezado del formato los datos de:

Sitio. Lugar o región donde se ubica el equipo en estudio.

Fecha. Día, mes y año en que se realizan las mediciones y el estudio del equipo.

Agencia. Compañía, empresa u organismo responsable de la operación del equipo en estudio.

Sistema. Sistema hidráulico al que pertenece el equipo en estudio. Si es parte de un subsistema de uno principal, también deberá escribirse el sistema y el subsistema al que pertenece.

Equipo. Nombre del equipo en estudio.

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE EQUIPOS DE BOMBEO

LUGAR: GÓMEZ PALACIO, DGO. **FECHA:** 24 DE MARZO DE 2009

ORGANISMO: SIDEPA, GÓMEZ PALACIO, ÁREA URBANA

SISTEMA: Frankie Ejido Cuba **EQUIPO:** P37

Una vez completo el encabezado se debe llenar el formato de acuerdo con los pasos que se detallan a continuación.

PASO 1. RELEVACIÓN DE DATOS

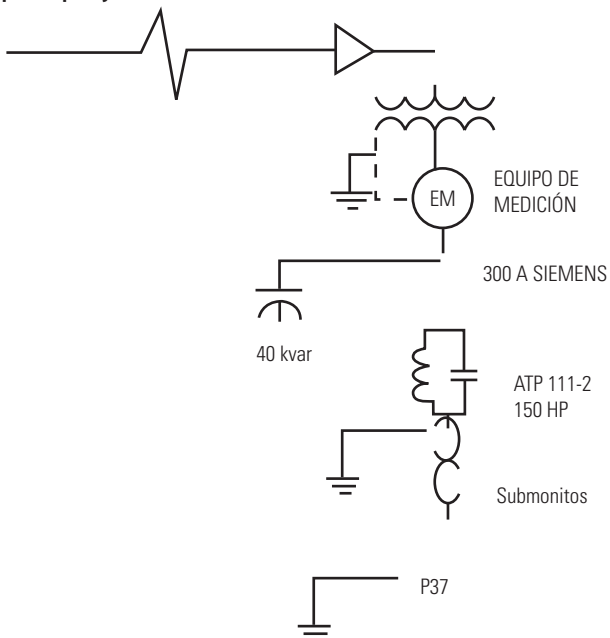
Llenar con unidades del Sistema Internacional los siguientes apartados.

1.1 SISTEMA ELÉCTRICO

Se deben completar los siguientes datos:

DIAGRAMA UNIFILAR. Es sumamente importante esquematizar el diagrama unifilar de las conexiones del equipo, acometida, cableado, transformador, interruptor principal y si tiene arrancador o no.

DIAGRAMA UNIFILAR. Es sumamente importante esquematizar el diagrama unifilar de las conexiones del equipo, acometida, cableado, transformador, interruptor principal y si tiene arrancador o no.



SUMINISTRO ELÉCTRICO. Se refiere al prestador del servicio eléctrico y a los datos correspondientes al contrato con esta compañía.

SUMINISTRO ELÉCTRICO	
Suministrador:	CFE
Nº de servicio:	632001006521
Tarifa contratada:	06

Suministrador. Nombre de la empresa que presta el servicio eléctrico.

Número del servicio. El número de contrato del recibo o de la factura de electricidad para este equipo.

Tarifa contratada. La clave o nombre del esquema tarifario en el que se encuentra dicho contrato.

TRANSFORMADOR

TRANSFORMADOR	
Tipo:	OA COSTA
Capacidad:	112,5 kva
Rel. de transf.:	13200/440/254 V

Tipo. El tipo de transformador que alimenta el equipo; en caso de suministro directo, poner la leyenda SUMINISTRO DIRECTO.

Capacidad. La capacidad del transformador o de los transformadores; si el suministro se efectúa por medio de más de uno, consignar la capacidad de kva de cada uno de ellos.

Rel. de transf. Se debe anotar el voltaje de entrada y salida del transformador o la relación de voltaje de transformación, en voltios separados por una diagonal. En caso de que el transformador tenga más de un voltaje de salida, se deberá escribir el voltaje real al que está funcionando actualmente.

INTERRUPTOR PRINCIPAL. Consignar en este caso los datos del interruptor principal del equipo, es decir el interruptor al cual llega la energía proveniente del transformador o la alimentación principal del equipo.

INTERRUPTOR PRINCIPAL	
Marca:	SIEMENS
Capacidad:	125
Ajuste:	RÁPIDO

Marca. La marca del interruptor o fabricante.

Capacidad. La capacidad nominal del interruptor en amperes (A).

Ajuste. Si el interruptor es de tipo ajustable, se debe anotar la capacidad nominal a la que está ajustado, en amperes (A).

ARRANCADOR. Si el equipo de bombeo cuenta con un arrancador, debe detallarse la siguiente información:

ARRANCADOR		
Tipo:	ATP111-12	
Capacidad:	60	HP

Tipo. Tipo de arrancador.
Capacidad. Capacidad del arrancador en HP. Debe indicarse si es directo, D-Y, PS, VDF.

PROTECCIÓN. Consignar aquí los datos de la protección de sobrecarga del motor que se encuentra en el arrancador.

PROTECCIÓN		
Marca:	SUB MONITOR	
Capacidad:		
Ajuste:		

Marca. Fabricante o marca del elemento térmico de protección del motor.
Capacidad. Poner el rango de calibración del elemento térmico en amperes (A).
Ajuste. El punto en que se encuentra calibrado el elemento térmico.

CAPACITORES. Si el equipo cuenta con un banco de capacitores, anotar la capacidad total del banco en kvar.

CAPACITORES		
Capacidad:	40	kvar

SISTEMA DE TIERRAS. Se deberá cruzar el casillero correspondiente de acuerdo con la pregunta y colocar el calibre del cable con el que se encuentra puesto a tierra el elemento descrito.

SISTEMA DE TIERRAS				
¿Hay sistema de tierras?	SÍ	NO		
¿Están separados el neutro y la tierra?	SÍ	NO		
¿Está aterrizado el transformador?	SÍ	NO	Calibre:	8
¿Está aterrizado el arrancador?	SÍ	NO	Calibre:	8
¿Está aterrizado el motor?	SÍ	NO	Calibre:	-

CONDUCTORES. Los datos requeridos en este recuadro se refieren al calibre y a la longitud de los conductores en dos tramos: primero, el que se extiende desde el punto de alimentación del servicio (ya sea un transformador o una acometida de entrada) hasta el arrancador o interruptor del motor; y segundo, el que va desde el arrancador o interruptor del motor hasta el motor. En ambos casos se debe consignar lo siguiente:

CONDUCTORES	
Transformador-Arrancador	
Calibre:	1HXF-4/0 AWG
Longitud:	18 m
Agrupamiento:	C-3H+N-8
Arrancador- Motor	
Calibre:	1XHF-4/0 AWG
Longitud:	152,50 m
Agrupamiento:	C-3H+N-8

- Calibre.** Es el calibre del conductor ya sea en mm² o en AWG; éste puede obtenerse en el forro del conductor.
- Longitud.** Se trata de la longitud total de los conductores en el tramo descrito.
- Agrupamiento.** Es la descripción de cómo van agrupados dichos conductores y el medio de canalización utilizado.

OBSERVACIONES. En este recuadro se deberá describir cualquier situación específica que presente el sistema eléctrico del equipo y que pueda ayudar a comprender mejor dicho sistema.

OBSERVACIONES:	El arrancador está aterrizado por la estructura de la tubería del poste al arrancador y el motor
-----------------------	--

1.2 DATOS NOMINALES DEL MOTOR

Se deberá obtener la información de los datos nominales del motor y de la bitácora de mantenimiento del equipo en estudio.

DATOS DE PLACA O NOMINALES. Esta información se encuentra descrita en la placa del motor, o en su defecto, si la placa es ilegible, se deberá buscar la orden de compra o el documento en que se describan las características del motor del equipo en estudio.

DATOS DE PLACA O NOMINALES					
Marca:	Saers	Tensión:	440 V	Tipo:	Sumergible
Capacidad:	40 HP	Corriente:	53 A	Frame:	-
Velocidad:	3600 RPM	Eficiencia:	84,0%	F.S.:	1,15

- Marca.** Marca o fabricante del motor.
- Capacidad.** La capacidad nominal del motor en HP.
- Velocidad.** La velocidad de giro del motor en RPM.
- Tensión.** La tensión nominal del motor en voltios (V).

Corriente. La corriente nominal del motor (A).

Eficiencia. La eficiencia que consigne el fabricante o la del motor nuevo en porcentaje.

Tipo. Tipo de motor.

Frame. Es el tipo de armazón o número de armazón que tiene el motor.

F.S. Es el factor de servicio que también se lee en la placa; cuando no se encuentre en la placa, el F.S. deberá tener el valor de 1. Como indica el porcentaje de sobrecarga de trabajo del motor, un factor mayor a 1 significa que el motor aguanta dicha sobrecarga.

HISTORIAL. Es el historial de mantenimiento del motor; los datos que interesan para la auditoría energética para el equipo son los siguientes:

HISTORIAL			
Antigüedad:	0,5 años	Operación:	8.736 h/año # de rebobinados: 0

Antigüedad. La edad o el tiempo que ha trabajado el motor desde su primera instalación, en años.

Operación. Las horas en promedio de trabajo del motor en un año, en h/año.

Cantidad de rebobinados. El número de rebobinados que se le han realizado al motor en la vida de servicio.

OBSERVACIONES. Se debe describir cualquier situación particular de este motor, ya sea en cuanto a su mantenimiento, cambio de piezas o cambio de operación.

OBSERVACIONES:	Motor sumergible controlado por un arrancador a tensión reducida, modelo ATP112-2 de 150 HP. Falta que los datos de placa del motor instalado estén visibles en la tapa del arrancador.
-----------------------	---

1.3 DATOS NOMINALES DE LA BOMBA

En este apartado se deberán describir los datos nominales o de diseño de la bomba; para esto, en caso de que no se tengan los datos en campo o que resulte ilegible su placa, será necesario contar con los documentos del equipo al momento de la compra. Los datos requeridos se detallan a continuación.

CUERPO. Los datos referentes al cuerpo de la bomba son los siguientes:

CUERPO	
Marca:	Grundfoss
Tipo:	Sumergible
Modelo:	0
Antigüedad:	años

Marca. Marca o fabricante de la bomba.

Tipo. Tipo de bomba, sumergible, de turbina vertical u horizontal, centrífuga, etc.

Modelo. El modelo de bomba de acuerdo con el fabricante.

Antigüedad. La edad o tiempo que el equipo ha estado en operación, desde su instalación, en años.

IMPULSOR. Colocar aquí los datos correspondientes al impulsor de la bomba:

IMPULSOR	
Tipo:	Cerrado
Material:	A Inox.
Diámetro:	_____ m
Antigüedad:	_____ años

Tipo. El tipo de impulsor de la bomba.

Material. El material con el que está fabricado el impulsor.

Diámetro. El diámetro nominal del impulsor en m.

Antigüedad. La edad del impulsor o el tiempo que ha estado en operación, en años. Cabe señalar que el impulsor podría tener una antigüedad diferente a la bomba, si este elemento ha sido cambiado durante la vida de esta última.

FLECHA. Se trata de los datos de la flecha de transmisión entre el motor y la bomba.

FLECHA: **Diámetro:** _____ pulg. **Longitud:** _____ m

Diámetro. El diámetro de la flecha en pulgadas (pulg.).

Longitud. La longitud de la flecha en metros (m).

DATOS DE DISEÑO. Son las características hidráulicas de diseño del equipo de bombeo, y que –de acuerdo con el modelo del fabricante– se describen en el punto de operación óptima de la bomba de la curva característica, con los siguientes datos:

DATOS DE DISEÑO: **Carga:** 150 m.c.a. **Gasto:** _____ 10 l/s

Carga. La carga de diseño en metros de columna de agua (m.c.a.).

Gasto. El gasto de diseño en litros por segundo (l/s).

OBSERVACIONES. Se debe describir cualquier situación particular de la bomba, ya sea en relación con su mantenimiento, cambio de piezas o cambio de operación.

OBSERVACIONES:	Bomba lubricación por aceite. Descarga a red interconectada.
-----------------------	---

1.4 CARACTERÍSTICAS DEL FLUIDO

En este apartado sólo se especificarán las características principales del fluido a bombear, las que variarán según se trate de agua potable o agua tratada. Los datos que se deberán obtener son los siguientes:

Fluido:	Agua	Temp.:	22 °C	Peso específico:	1.000 kg/m ³
OBSERVACIONES					

Fluido. Descripción del fluido: agua potable, agua tratada u otro.

Temp. Temperatura de trabajo o temperatura media a la que se encuentra el fluido en °C.

Peso específico. El peso específico del fluido a bombear, en kg/m³.

Observaciones. Describir cualquier condición particular del fluido que se está bombeando.

Con la obtención de estos datos, se termina el primer paso de la auditoría energética.

PASO 2. MEDICIONES DE CAMPO

El segundo paso de esta metodología consiste en la obtención de datos de campo mediante la medición de parámetros hidráulicos, eléctricos y de temperatura. A continuación se describen las mediciones que deberán ser realizadas para cada uno de los rubros señalados.

2.1 MEDICIONES HIDRÁULICAS

Las mediciones de parámetros hidráulicos se refieren a la obtención de presiones, flujos y niveles de acuerdo con los siguientes detalles:

NIVELES. La medición de los niveles de trabajo del equipo de bombeo es sumamente importante para una correcta interpretación de los resultados de eficiencia. En este caso se deberá obtener un detalle de los siguientes niveles de trabajo:

NIVELES					
Nivel de depósito de succión (A):	137	m	Longitud de tubería en succión (B):	142,50	m
Distancia de descarga a manómetro (C):	4	m	Altura del manómetro de descarga (D):	0	m

Nivel del depósito de succión (A). Es la distancia que existe entre el nivel del agua y un punto de referencia en metros (m); de acuerdo con el tipo de sistema, esta medición se realizará del siguiente modo:

- **En pozos profundos:** distancia entre el nivel dinámico y el cabezal del pozo por donde se introduce la sonda (véase el gráfico 1).
- **En cárcamos de bombeo:** distancia entre el nivel del agua y la base de apoyo de la bomba (véase el gráfico 2).
- **En rebombes directos de red:** en este caso se sustituye el nivel del depósito de succión por el nivel del manómetro de succión, y se mide la distancia entre el nivel de

referencia (Nr) y el centro del manómetro de succión. El nivel de referencia puede ser el nivel del piso o el nivel del centro de la tubería de succión, siempre y cuando se respete este mismo nivel de referencia para todas las mediciones en el bombeo (véase el gráfico 3).

Longitud de tubería en succión (B). Es la longitud de la tubería medida del punto de succión al nivel del cabezal de descarga en metros (m). De acuerdo con el tipo de sistema de bombeo, esta distancia se podrá medir del siguiente modo:

- **En pozos profundos:** si la bomba es sumergible, se medirá la distancia entre la bomba y el codo de salida en el cabezal del pozo; si la bomba es de tipo turbina, se tomará la distancia entre los impulsores y la salida en el cabezal del pozo (véase el gráfico 1).
- **En cárcamos de bombeo:** se tomará la distancia o longitud de la tubería que se encuentra dentro del cárcamo, hasta el nivel de la losa o nivel del piso (véase el gráfico 2).
- **En rebombes directos de red:** en este caso la distancia B será cero.

Distancia de descarga a manómetro (C). Es la distancia que existe desde el punto de descarga de la bomba hasta el punto donde se encuentra ubicado el manómetro, en metros (m). De acuerdo con el tipo de sistema de bombeo, esta medición se podrá realizar en función de lo siguiente:

- **En pozos profundos:** distancia entre la tubería de salida y el manómetro en caso de que la bomba sea sumergible, y entre el punto de inicio de la tubería de descarga y el manómetro en caso de que se trate de una bomba tipo turbina (véase el gráfico 1).
- **En cárcamos de bombeo:** distancia entre el punto de inicio de la tubería de descarga y el manómetro (véase el gráfico 2).
- **En rebombes directos de red:** en este caso la distancia (C) será cero, ya que para la evaluación de las pérdidas, estas últimas estarán consideradas con la diferencia de presiones de succión y descarga.

Altura del manómetro de descarga (D). Es la distancia entre el nivel del piso y el manómetro de descarga en metros (m); ésta no varía de acuerdo con el tipo de sistema de bombeo (véanse los gráficos).

GRÁFICO 1 Mediciones hidráulicas para pozos profundos

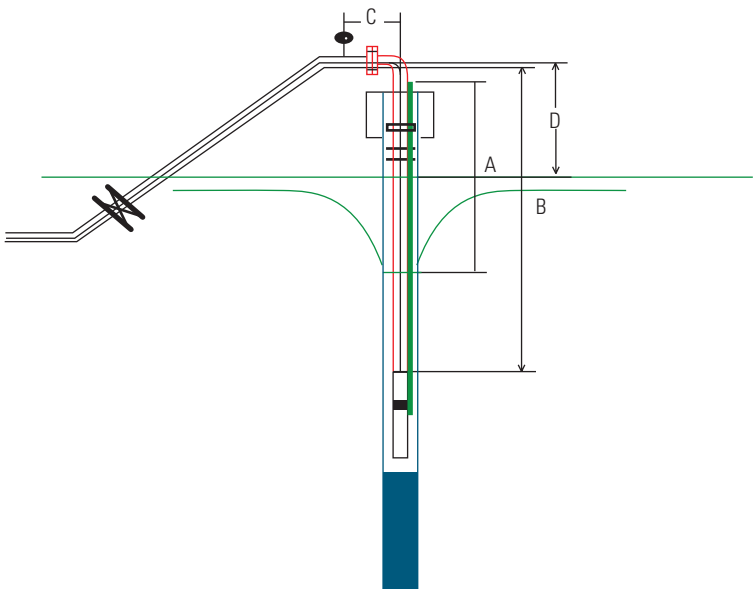


GRÁFICO 2 Mediciones hidráulicas para cárcamos de bombeo

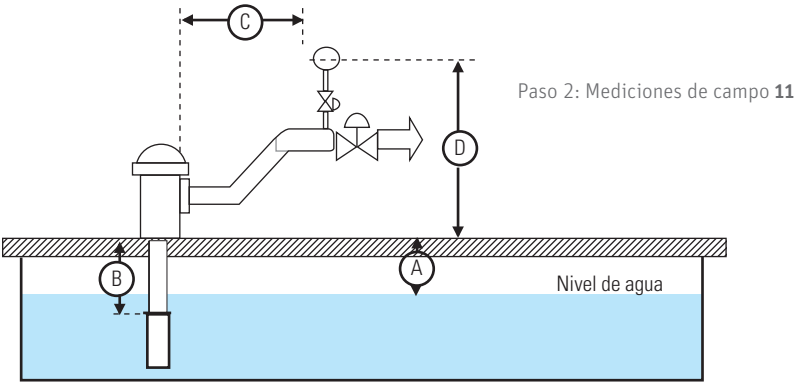
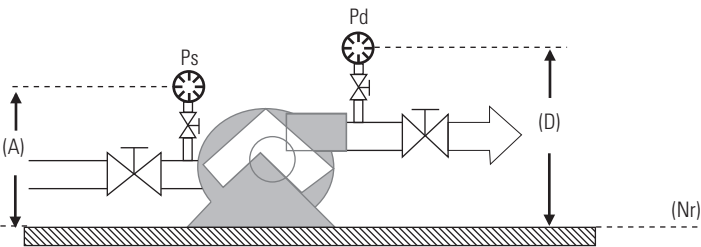


GRÁFICO 3 Mediciones hidráulicas para rebombes directos de red



SUCCIÓN Y DESCARGA. Se deben medir las características hidráulicas de la succión y la descarga de acuerdo con el siguiente cuadro y los siguientes datos:

	Diámetro (m)	Material	Presión (kg/cm ²)	Gasto (l/s)	Velocidad (m/s)
Succión	0,2032	A.C.- C40	0,62	9,2	0,2837
Descarga	0,1016	A.C.- C40	0,59	9,2	1,1348

Diámetro. Es el diámetro de la tubería según corresponda en metros (m).

Material. Se debe consignar el tipo de material de la tubería de succión y de descarga para obtener así el coeficiente de fricción que corresponda.

Presión. Se deberán colocar manómetros o, si el sistema ya tiene un manómetro instalado, se pondrá la presión de succión y descarga que marque el mismo en kg/cm². Si no existe manómetro en la tubería de succión y no es posible medir la presión en este punto, se deberá dejar este recuadro en blanco.

Gasto. Se debe medir el flujo tanto en la tubería de succión como en la descarga, en litros por segundo (l/s); cuando el flujo sólo se puede medir en la tubería de descarga, el valor será el mismo que en la tubería de succión.

Velocidad. Es la velocidad del fluido tanto en la tubería de succión como en la de descarga en m/s. Si el medidor de flujo utilizado cuenta con este dato, el mismo se podrá anotar en el recuadro correspondiente; en caso contrario, se deberá calcular con base en el diámetro y el flujo (gasto) obtenidos. El formato tiene ya insertada la fórmula de cálculo de velocidad correspondiente.

TOPOGRAFÍA. Se deben obtener los datos topográficos de las elevaciones de los puntos del sitio donde se encuentra el equipo de bombeo y también del punto de entrega; esto permitirá posteriormente poder calcular el desnivel en (m) que la bomba deberá librar para la entrega del fluido.

TOPOGRAFÍA Elevación en sitio de equipo 2345 msnm Elevación en sitio más alto de entrega 2346 msnm

ELEVACIÓN DEL SITIO DE EQUIPO. Es la elevación donde se encuentra situado el equipo de bombeo expresada en metros sobre el nivel medio del mar.

ELEVACIÓN SITIO MÁS ALTO DE ENTREGA. Es la elevación del punto más alto de entrega, para lo cual habrá que tener en cuenta lo siguiente:

- **Si la entrega se realiza a tanque,** la elevación del sitio más alto de entrega será el punto donde se encuentra la tubería de descarga de dicho tanque.
- **Si la entrega se efectúa a la red de distribución,** se deberá poner el punto más alto o con mayor elevación dentro del área de influencia de la red de distribución.

OBSERVACIONES. Se deben anotar las condiciones en que se hicieron las mediciones o las particularidades del sistema hidráulico correspondiente.

OBSERVACIONES: Sonda neumática, referencia gasto 9,2 LPS instalado.

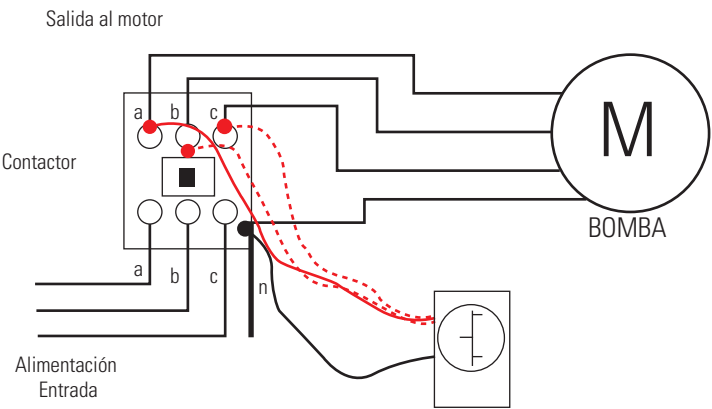
2.2 MEDICIONES ELÉCTRICAS

Las mediciones eléctricas son fundamentales para el análisis del balance y la auditoría energética. Es de suma importancia que los parámetros eléctricos se midan de acuerdo con los elementos que se describen a continuación.

TENSIÓN POR FASE. Es el voltaje de suministro al motor y deberá ser medido por medio de un voltímetro, tomando las lecturas en cada una de las fases a tierra o en su defecto a neutro, en los cables de salida del interruptor o contactor que alimentan directamente el motor (véase el gráfico de referencia).

TENSIÓN POR FASE **Van:** 265,59 **Vbn:** 267,32 **Vcn:** 267,9

GRÁFICO 4 Medición de la tensión por fase



Van. Voltaje medido de la fase “a” a neutro o tierra en voltios (V).

Vbn. Voltaje medido de la fase “b” a neutro o tierra en voltios (V).

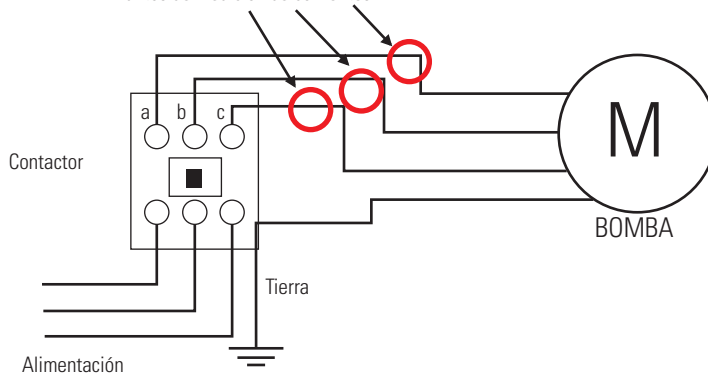
Vcn. Voltaje medido de la fase “c” a neutro o tierra en voltios (V).

Nota: En el caso en que se cuente con un analizador de redes eléctricas con el cual se obtienen los voltajes entre fases (ab, ac, bc), se debe dividir el valor obtenido entre 1.732, y luego anotar el voltaje de la fase correspondiente en forma particular.

CORRIENTE POR FASE. Es la medición de la corriente eléctrica en cada uno de los conductores que alimentan el motor, es decir en cada una de las fases, y debe hacerse por medio de un amperímetro, colocando los anillos de medición en cada uno de los conductores (véase el gráfico 5).

CORRIENTE POR FASE **Ia:** 37 **Ib:** 43 **Ic:** 38

GRÁFICO 5 Medición de la tensión por fase
Puntos de medición de corrientes



- Ia.** Corriente eléctrica que pasa por la fase “a” en amperes (A).
- Ib.** Corriente eléctrica que pasa por la fase “b” en amperes (A).
- Ic.** Corriente eléctrica que pasa por la fase “c” en amperes (A).

Cabe destacar que además del esquema presentado, existen partidas directas, D-Y, PS, VDF, las cuales no están consideradas aquí.

POTENCIA ACTIVA. La potencia activa es la potencia que está siendo suministrada al motor en watts (W) y se mide por medio de un vatímetro, tomando las mediciones siempre entre cada fase y tierra o neutro.

POTENCIA ACTIVA **Pa:** 7,4 **Pb:** 8,9 **Pc:** 8,3

- Pa.** Potencia activa en la fase “a” en watts (W).
- Pb.** Potencia activa en la fase “b” en watts (W).
- Pc.** Potencia activa en la fase “c” en watts (W).

FACTOR DE POTENCIA. Este factor debe medirse en cada una de las fases.

FACTOR DE POTENCIA **Fpa:** 0,77 **Fpb:** 0,78 **Fpc:** 0,77

- Fpa.** Factor de potencia medido en la fase “a” en decimales.
- Fpb.** Factor de potencia medido en la fase “b” en decimales.
- Fpc.** Factor de potencia medido en la fase “c” en decimales.

DISTORSIÓN ARMÓNICA. Este parámetro sólo se puede medir si se tiene un analizador de armónicos, por lo que si no se cuenta con este aparato no será necesaria la medición.

DISTORSIÓN ARMÓNICA **THD-V** 2,3 **THD-I** 3,1

THD-V. Factor de distorsión obtenida con el analizador referente a los cambios y oscilación del voltaje.

THD-I. Factor de distorsión obtenida con el analizador referente a los cambios y oscilación de la corriente.

PUNTO DE MEDICIÓN. Se debe anotar como referencia el punto de la instalación eléctrica donde se realizaron las mediciones de los parámetros eléctricos mencionados.

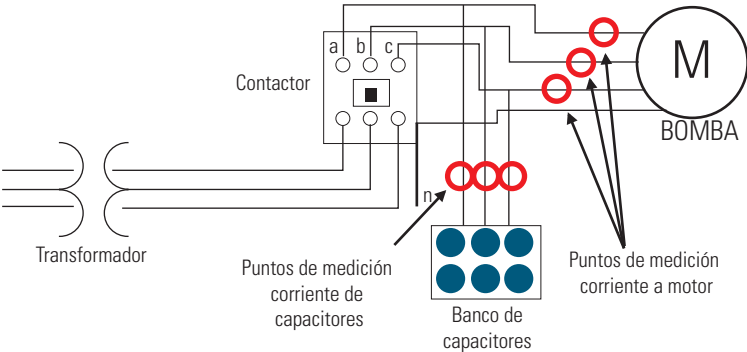
Punto de medición: En la entrada del interruptor principal.

CORRIENTE DEL CAPACITOR. Si se cuenta con un banco de capacitores, se deberá medir la corriente en cada uno de los conductores de dicho banco, de acuerdo con el gráfico 6; así mismo se debe tener cuidado con el punto de medición de la corriente al motor (en el gráfico se ilustran los puntos donde deberán ser medidas las corrientes correspondientes).

CORRIENTE DEL CAPACITOR

Ia: 28**Ib:** 31**Ic:** 29

GRÁFICO 6 Medición de la corriente del capacitor



Ia. Corriente eléctrica que pasa por la fase “a” del banco de capacitores en amperes (A).

Ib. Corriente eléctrica que pasa por la fase “b” del banco de capacitores en amperes (A).

Ic. Corriente eléctrica que pasa por la fase “c” del banco de capacitores en amperes (A).

SISTEMA DE TIERRA. Es conveniente también revisar la red de tierras mediante la medición de los parámetros que se presentan a continuación. Para la medición de estos parámetros es necesario un medidor de tierras.

SISTEMA DE TIERRA

Continuidad: ☐ SÍ ☐ NO**Corriente:** A**Resistencia:** Ω

Continuidad. Revisar que el cable de puesta a tierra no esté roto en algún punto. Poner una cruz en la casilla correspondiente.

Corriente. Se trata de la corriente medida en el cable de puesta a tierra en amperes (A) con el medidor de tierras.

Resistencia. Lectura obtenida de la resistencia de la red de tierras en ohm (Ω), con el medidor de tierras.

OBSERVACIONES. Se deben anotar los incidentes sucedidos durante el proceso de medición de los parámetros eléctricos, así como las causas en el caso de no haber podido realizar alguna de las mediciones señaladas.

2.3 MEDICIONES DE TEMPERATURA

Las mediciones de temperatura son importantes, ya que pueden proporcionar información adicional sobre el comportamiento, la operación y las acciones de mantenimiento que deberán realizarse en el sistema eléctrico del equipo de bombeo.

Se deberán tomar mediciones de temperatura en los elementos que se describen a continuación.

EN EL EQUIPO DE CONTROL. Las mediciones de temperatura en el equipo de control se realizan para determinar una posible sobrecarga de corriente en los conductores, o una falta de ajuste de los tornillos o elementos de sujeción de las terminales de los conductores. Para esto deberá tomarse una medición de la temperatura en los siguientes elementos del equipo de control:

En el equipo de control	Entrada al interruptor			Salida del interruptor			Entrada al arrancador			Salida del arrancador		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
	39	41	39	37	37	37	33	34	34	37	38	38

Entrada al interruptor. Tomar la medición de temperatura en las terminales de los conductores que vienen del transformador al interruptor principal en cada una de las fases (A, B y C).

Salida del interruptor. Medir la temperatura en las terminales de salida del interruptor principal hacia el motor en cada una de sus fases (A, B y C).

Entrada al arrancador. Medir la temperatura de las terminales en los conductores de entrada al arrancador en cada una de sus fases (A, B y C).

Salida del arrancador. Medir la temperatura de las terminales de los conductores de salida que van hacia el motor en el arrancador, en cada una de sus fases (A, B y C).

EN EL MOTOR. La medición de temperatura en el motor puede determinar falta de mantenimiento en este, una sobrecarga del mismo o rozamiento o inestabilidad de las flechas. Para el motor se deberán tomar las mediciones de temperatura en los siguientes elementos:

MOTOR		
Carcasa	Rodamientos	
	Sup.	Inf.
N/A	N/A	N/A

Carcasa. Medir la temperatura en la carcasa del motor.

Rodamientos. Se debe medir la temperatura en los rodamientos o elementos rotativos del motor, es decir al inicio de la flecha y al final de la flecha (Sup./Inf.).

EN EL TRANSFORMADOR. Al igual que en el equipo de control, las mediciones de temperatura se realizan para determinar una posible sobrecarga de corriente en los conductores, o una falta de ajuste de los tornillos o elementos de sujeción de las terminales de los conductores en el transformador, así como también la falta de mantenimiento del transformador. Para esto, deberá tomarse una medición de temperatura en los siguientes elementos del transformador:

TRANSFORMADOR										
Bornes del alimentador			Bornes de baja tensión				Bote		Radiador	
X1	X2	X3	X0	X1	X2	X3	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
N/A	N/A	N/A	31	28	27	36	26	23	23	19

Bornes del alimentador. Se debe medir la temperatura en las terminales o bornes del alimentador de la acometida principal del servicio de energía eléctrica que conecta con el transformador, es decir en el lado de alta tensión en cada una de sus fases (X1, X2 y X3).

Bornes de baja tensión. Se debe medir la temperatura en las terminales de salida del transformador, es decir en las terminales de baja tensión, tanto en la terminal de conductor neutro (X0), como en cada una de las fases (X1, X2 y X3).

Bote. Habrá que medir la temperatura del bote del transformador en la parte superior y en la parte inferior. Esta medición ayuda a determinar la temperatura del trabajo del transformador y establecer la existencia de una posible sobrecarga.

Radiador. Tendrá que medirse la temperatura en el radiador del transformador, siempre y cuando el tipo de transformador tenga este elemento; las mediciones deberán hacerse tanto en la parte superior del radiador como en su parte inferior. Esta medición determina de manera indirecta el diferencial de temperatura del aceite del transformador.

OBSERVACIONES. Se deberán anotar las incidencias que hubo al realizar las mediciones de temperatura.

Observaciones:	Pte. medir las temperaturas de los equipos.
-----------------------	---

PASO 3. EVALUACIÓN Y PROCESO DE INFORMACIÓN

El siguiente paso es realizar la evaluación y el análisis de los datos obtenidos y de las mediciones realizadas. Esta evaluación tendrá por objeto principal determinar las pérdidas energéticas y la eficiencia de los distintos componentes del sistema de bombeo.

La evaluación debe realizarse de acuerdo con las indicaciones que se presentan a continuación.

3.1 EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Se deben analizar las pérdidas en los conductores eléctricos, ya que en ellos se presentan pérdidas por efecto Joule, las cuales son función de la resistencia del conductor y el cuadrado de la corriente eléctrica que circula por él.

La hoja de cálculo de esta metodología determina las pérdidas en forma automática, con el ingreso de algunos datos adicionales requeridos de acuerdo con el siguiente recuadro:

	Tramo	Calibre	Long.	Resistencia		Corriente	Oper.	Pérdidas	
			m	Ω/km	Ω			kW	kWh/año
Condición actual	Transf.-Arrancador	40 AVG	18	0,1640	0,002952	39,3	8736	0,014	120
	Arrancador-Motor	40 AVG	152,5	0,1640	0,02501	39,3	8736	0,116	1,014

DATOS QUE DEBEN INGRESARSE

CALIBRE. Es el calibre de los conductores eléctricos en el tramo correspondiente, hay que anotarlo de acuerdo con lo visto en el punto 1.1. sobre el sistema eléctrico.

RESISTENCIA (Ω/km). Es la resistencia del conductor por kilómetro, y depende del calibre y material del conductor. El valor que se debe anotar se obtiene de la tabla del fabricante. En el siguiente cuadro se muestran los valores de resistencia de conductores de cobre para algunos calibres comunes.

Calibre	Resistencia
AWG	ohms/km
Dic. 95	0,329
Ene. 96	0,261
Feb. 96	0,207
Mar. 96	0,164
250	0,139
300	0,116
350	0,099
400	0,087
500	0,070
600	0,058

DATOS CALCULADOS POR LA HOJA DE CÁLCULO

Una vez ingresados estos datos, la hoja de cálculo determina en forma automática los siguientes valores para cada tramo correspondientemente:

LONG. (m). Longitud de los conductores eléctricos en el tramo correspondiente, y la hoja de cálculo la toma en forma automática de los datos del punto 1.1.

RESISTENCIA (Ω). Resistencia total del conductor en el tramo; se obtiene multiplicando la resistencia por kilómetro por la longitud de los conductores.

CORRIENTE (A). Promedio de la corriente medida en las tres fases, de acuerdo con lo anotado en el punto 2.2, y también se calcula en forma automática.

OPER. (h/año). Tiempo de operación, y la hoja de cálculo lo toma de acuerdo con lo anotado en el punto 1.2.

PÉRDIDAS. La hoja de cálculo determina, asimismo en forma automática, las pérdidas que generan los conductores eléctricos por tramo, primero en kW (resistencia por el cuadrado de la corriente), y luego multiplicando éstas por el tiempo de operación anual, para obtener las pérdidas en kWh/año.

3.2 EVALUACIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

La evaluación del motor eléctrico en el caso de la presente metodología se refiere principalmente a la determinación de la eficiencia real de dicho motor, ya que la eficiencia de un motor eléctrico es la medida de su habilidad para convertir la potencia eléctrica que toma de la línea en potencia mecánica útil. Dicha eficiencia se expresa usualmente en un porcentaje de la relación entre potencia mecánica y potencia eléctrica. Para el cálculo de esta eficiencia existen varios métodos.

El método aquí propuesto se basa en el factor de carga, y consiste en determinar primero los parámetros de desbalance/desequilibrio de parámetros eléctricos y sobre todo el voltaje (por razones técnicas lo mejor sería que el desbalance/desequilibrio sea equivalente a 0), luego calcular las pérdidas de eficiencia en el motor debidas a la antigüedad, o a los rebobinados o tareas de mantenimiento, y al factor de carga de acuerdo con lo siguiente:

	Promedio	Desbalance	Calificativo	V/vn
TENSIÓN (V)	461,35	0,51%	mínimo	4,9%
CORRIENTE (A)	39,33	9,92%	alto	
POTENCIA (kW)	24,48	9,76%	alto	
FACT. POT.	77,9%	0,86	mínimo	

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA	
F. carga	69,37%
η nominal	84,61%
Depreciación	0,07%
η real	84,54%

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR									
HP	Efic'	FC	Efic. nom	Efic. 75%	Efic. 100%	FA ant	FA reb	FA vv	FA dv
40	0,8454	0,6936564	84,61%	84,5%	84,0%	0,00%	0,00%	-0,0006443	99,99%

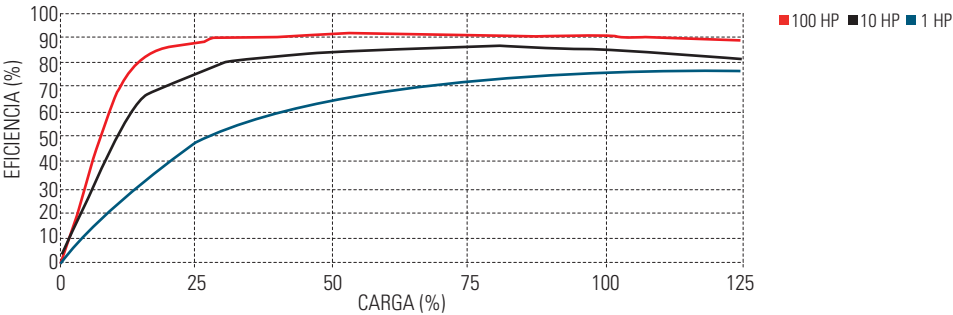
En este caso la hoja de cálculo realiza en forma automática los cálculos correspondientes, una vez que se consignen los datos requeridos en los recuadros.

DATOS QUE DEBEN INGRESARSE

Recuadro EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR

Efic. 75% y Efic. 100%. Estos datos deben ingresarse de acuerdo con la curva nominal de eficiencia del motor, de acuerdo al fabricante. Se debe consignar la eficiencia al 75% de la carga, y la eficiencia al 100% de la carga según esta curva. En el gráfico 7 se muestran algunas curvas de eficiencia típicas para los motores de 1 HP, 10 HP y 100 HP.

GRÁFICO 7 Eficiencia típica de motores estándar de inducción tipo jaula de ardilla de 1800 RPP



Efic’. El dato que se debe ingresar en este recuadro es iterativo; en un principio se debe ingresar el valor de la eficiencia de la placa. Cabe destacar que algunos motores no traen este dato en la placa. Una vez ingresado este valor, la hoja de cálculo generará los valores correspondientes y calculará una eficiencia real del motor (real) en el bloque EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA. Se debe ingresar entonces el valor (real) en este recuadro y volverá a calcularse una nueva (real). Se debe colocar iterativamente el valor de la eficiencia real del motor (real) en este recuadro hasta que no exista diferencia entre los valores (véase el gráfico).

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA			
F carga	69,37%		
η nominal	84,61%		
Depreciación	0,07%	HP	Efic’
η real	84,54%	46	0,8454
			FC
			0,6936564

DATOS CALCULADOS POR LA HOJA DE CÁLCULO

Una vez ingresados estos valores, la hoja de cálculo determinará los valores correspondientes en los recuadros siguientes:

CÁLCULO DE VALORES ELÉCTRICOS				
	Promedio	Desbalance	Calificativo	V/Vn
TENSIÓN (V)	461,35	0,51%	mínimo	4,9%
CORRIENTE (A)	39,33	9,92%	alto	
POTENCIA (kW)	24,48	9,76%	alto	
FACT. POT.	77,9%	0,86	mínimo	

TENSIÓN (V). Calcula el promedio de la tensión de acuerdo con los valores medidos en el punto 2.2, el desbalance de tensión entre el promedio establecido y la tensión medida en cada fase; coloca un calificativo al desbalance correspondiente de acuerdo con el calculado entre fases y, por último, determina la relación de la tensión promedio medida contra la tensión nominal de la placa del motor obtenida en el punto 1.2.

CORRIENTE (A). Calcula el promedio de la corriente de acuerdo con las medidas en el punto 2.2, el desbalance de la corriente promedio y cada una de las mediciones de cada fase y, por último, coloca un calificativo al desbalance correspondiente de acuerdo con el calculado entre fases.

POTENCIA (kW). Calcula el promedio de la potencia activa de acuerdo con las mediciones del punto 2.2, el desbalance de la potencia activa promedio y cada una de las mediciones de cada fase y, por último, coloca un calificativo al desbalance correspondiente de acuerdo con el calculado entre fases.

FACT. POT. Calcula el promedio del factor de potencia de acuerdo con las mediciones del punto 2.2, el desbalance de los factores de potencia promedio y cada una de las mediciones de cada fase y, por último, coloca un calificativo al desbalance correspondiente en función del calculado entre fases.

RECUADRO EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR									
HP	Efic'	F.C.	Efic. nom	Efic. 75%	Efic. 100%	FA ant	FA reb	FA vv	FA dv
40	0,8454	0,6936564	84,61%	84,5%	84,0%	0,00%	0,00%	-0,0006443	99,99%

HP. Valor de la potencia mecánica nominal del motor, obtenida de la placa del motor en el punto 1.2.

F.C. Factor de carga de operación del motor, y se obtiene con la fórmula $F.C. = P_e / Efic' \times HP \times 0,746$, calculada automáticamente por la hoja de cálculo.

Efic. nom. Eficiencia nominal del motor y la hoja de cálculo la obtiene haciendo una interpolación entre las eficiencias ingresadas al 75% y al 100% de la curva nominal del motor.

FA ant. Factor de pérdida de eficiencia nominal de acuerdo con la antigüedad del motor, y se calcula en forma automática sobre la base de los datos de antigüedad del punto 1.2.

FA reb. Factor de pérdida de eficiencia nominal de acuerdo con el número de rebobinados realizados en tareas de mantenimiento al motor, y se basa en los datos de rebobinados obtenidos en el punto 1.2.

FA vv. También es un factor de pérdida de eficiencia del motor, que depende en este caso del desbalance o la relación de tensión real suministrada al motor y la tensión nominal de placa (V/V_n) del recuadro de cálculos eléctricos.

FA dv. Factor de pérdida de eficiencia del motor relacionado en este caso con el desbalance de tensión entre fases del recuadro de cálculos eléctricos.

RECUADRO EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA

Este recuadro sólo muestra un resumen de lo calculado anteriormente.

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA	
F. carga	69,37%
η nominal	84,61%
Depreciación	0,07%
η real	84,54%

F. carga. Factor de carga calculado anteriormente y se toma del recuadro correspondiente.

η nominal. Eficiencia nominal del motor calculada anteriormente y obtenida del recuadro correspondiente.

Depreciación. Pérdida de eficiencia debida a tareas de mantenimiento, desbalances de voltaje, trabajo en tensión diferente de la nominal y antigüedad, que ya han sido calculadas anteriormente.

η real. Eficiencia real del motor y se obtiene restando la eficiencia nominal menos las pérdidas de eficiencia correspondientes. Este valor es el resultado esperado con la evaluación del motor eléctrico.

3.3 EVALUACIÓN DE LA BOMBA

La evaluación de la bomba consiste, al igual que la evaluación del motor, en determinar la eficiencia de la misma. La eficiencia global a la que la bomba opera se calcula como el cociente entre la potencia hidráulica de salida (Ph) y la potencia mecánica absorbida (Pm). Para establecer esta eficiencia, se debe obtener la carga neta de bombeo tomando en cuenta las pérdidas en las líneas de succión y descarga y la potencia manométrica.

La metodología consiste en obtener los siguientes parámetros hidráulicos:

CARGA DE BOMBEO									
Pérdidas en la línea de succión: 0,06 m					Pérdidas en la línea de descarga: 0,053 m				
Peso específico del fluido: 1000 kg/m ³					Velocidad en la línea de desc.: 1,171 m/s				
Carga neta de bombeo: 143,19 m.c.a.					Desviación con respecto al diseño: -4,8%				
GASTO									
Gasto medido: 0,0092 m ³ /s					Desviación con respecto al diseño: -8,0%				
POTENCIA MANOMÉTRICA									
De diseño: 14,748354 kW					De acuerdo a mediciones: 12,92 kW				
					Desviación: -12,38%				
EFICIENCIA									
Eficiencia electromecánica: 52,78%					Eficiencia de la bomba: 62,43%				
Pérdidas en la tubería									
	Q	A	v	Visco	Reynolds	Rug. abs.	Rug. rel.	fr	Hfr
	m ³ /s	m ²	m/s	m ² /s		mm			m.c.a.
Succión	0,0092	0,0314	0,293	9,6E-07	6,117E+04	0,046	2,30E-04	0,0200	0,0599
Descarga	0,0092	0,0079	1,171	9,6E-07	1,223E+05	0,046	4,60E-04	0,0190	0,0532

En este caso, la hoja de cálculo realiza en forma automática los cálculos correspondientes para la obtención de la eficiencia de la bomba a partir de la medición de los parámetros hidráulicos y eléctricos obtenidos en los puntos 2.1 y 2.2, una vez ingresados los siguientes datos en los recuadros:

DATOS QUE DEBEN INGRESARSE

En este caso, el cálculo de pérdida de carga en las tuberías de succión y descarga es fundamental para la obtención de la carga neta de bombeo; por eso, sólo se ingresarán los datos siguientes en el recuadro PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA.

Pérdidas en la tubería									
	Q	A	v	Visco	Reynolds	Rug. abs.	Rug. rel.	fr	Hfr
	m ³ /s	m ²	m/s	m ² /s		mm			m.c.a.
Succión	0,0092	0,0314	0,293	9,6E-07	6,117E+04	0,046	2,30E-04	0,0209	0,0649
Descarga	0,0092	0,0079	1,171	9,6E-07	1,223E+05	0,046	4,60E-04	0,0197	0,0552

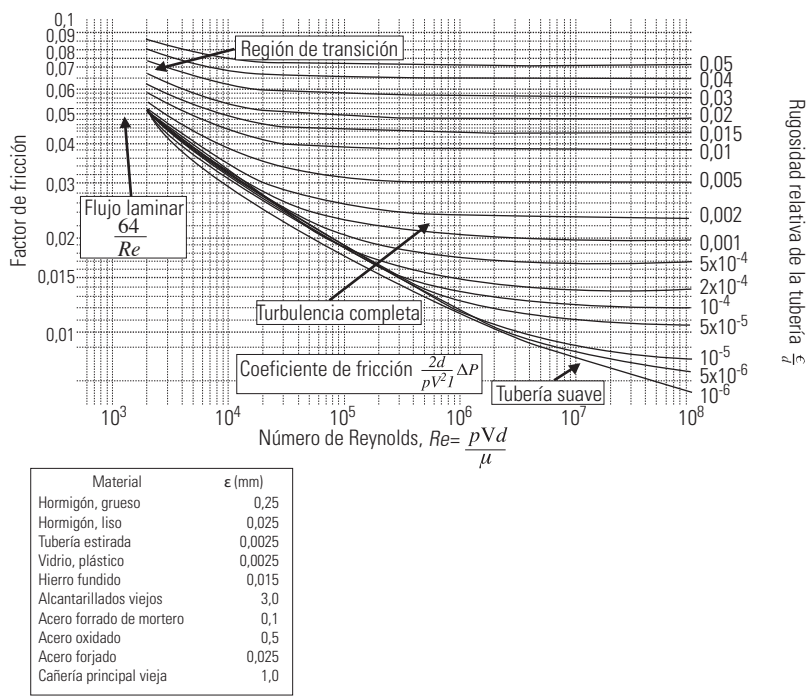
Rug. abs. (mm). Rugosidad absoluta del material de la tubería en estudio y depende de dicho material. Este valor se obtiene con la información del cuadro 1.

CUADRO 1
Rugosidad absoluta del material de la tubería

Material	Valores de e para diferentes tuberías (mm)
Acero remachado	0,9 - 9
Concreto	0,3 - 3
Hierro fundido	0,25
Hierro galvanizado	0,15
Hierro fundido asfaltado	0,12
Acero comercial o hierro forjado	0,046
Tubería estirada (PVC)	0,002

fr. Factor de fricción o coeficiente de fricción y se obtiene del diagrama de Moody (véase el gráfico 8) para cada una de las tuberías de succión y descarga, entrando con el valor de la rugosidad relativa calculada según el cuadro 1 y el valor del número de Reynolds también determinado por la hoja de cálculo en este cuadro. El valor obtenido en el diagrama deberá consignarse en el cuadro correspondiente.

GRÁFICO 8 Diagrama de Moody



La fórmula anterior es de tipo implícito, por lo que debe iterarse. Alternativamente, se puede utilizar la siguiente fórmula, que es explícita (sin necesidad de iterar) y en ella se emplean los mismos parámetros:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Fuente: Guerrero O. (1995). Ecuación modificada de Colebrook-White. Revista Ingeniería hidráulica de México, Vol. X, pp. 43-48, enero-abril.

DATOS CALCULADOS POR LA HOJA DE CÁLCULO

Una vez ingresados estos valores, la hoja de cálculo determinará los valores correspondientes en los recuadros siguientes:

Pérdidas en la tubería									
	Q	A	v	Visco	Reynolds	Rug. abs.	Rug. rel.	fr	Hfr
	m ³ /s	m ²	m/s	m ² /s		mm			m.c.a.
Succión	0,0092	0,0314	0,293	9,6E-07	6,117E+04	0,046	2,30E-04	0,0209	0,0649
Descarga	0,0092	0,0079	1,171	9,6E-07	1,223E+05	0,046	4,60E-04	0,0197	0,0552

Q (m³/s). Gasto de trabajo de la bomba, tomado de las mediciones del punto 2.1.

A (m). Área de la tubería correspondiente, de acuerdo con el diámetro del punto 2.1.

V (m/s). Velocidad del fluido calculado como gasto entre área.

Visco (m²/s). Viscosidad cinemática del fluido, calculada en función de las características del fluido en cuanto a temperatura y peso específico obtenidas en el punto 1.4.

Reynolds. Número de Reynolds, que se obtiene multiplicando la velocidad del fluido por el diámetro y dividiendo por la viscosidad cinemática del fluido.

Rug. rel. Rugosidad relativa de la tubería y se obtiene dividiendo la rugosidad absoluta por el diámetro de la tubería.

Hfr. Pérdidas totales de carga por efecto de la fricción del fluido con las paredes de la tubería correspondiente, y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Hfr = fr \cdot \frac{\text{Longitud tubería}}{\text{diámetro}} \times \frac{v^2}{2g}$$

RECUADRO DE CÁLCULOS PARA LA EFICIENCIA DE LA BOMBA

CARGA DE BOMBEO

Pérdidas en la línea de succión:	0,06 m	Pérdidas en la línea de descarga:	0,053 m
Peso específico del fluido:	1000 kg/m ³	Velocidad en la línea de desc.:	1,171 m/s
Carga neta de bombeo:	143,19 m.c.a.	Desviación con respecto al diseño:	-4,8%

GASTO

Gasto medido:	0,0092 m ³ /s	Desviación con respecto al diseño:	-8,0%
----------------------	--------------------------	---	-------

POTENCIA MANOMÉTRICA

De diseño:	14,748354 kW	De acuerdo a mediciones	12,92 kW	Desviación:	-12,38%
-------------------	--------------	--------------------------------	----------	--------------------	---------

EFICIENCIA

Eficiencia electromecánica:	52,78%	Eficiencia de la bomba:	62,43%
------------------------------------	--------	--------------------------------	--------

Una vez calculadas las pérdidas de carga en las tuberías de succión y descarga, se establecen de forma automática los siguientes valores:

- CARGA DE BOMBEO.** Determina la carga neta de bombeo, tomando en cuenta los datos de los niveles medidos en el punto 2.1, y de las pérdidas en las líneas de succión y descarga calculadas en el punto anterior. Así mismo, se especifica la desviación de esta carga con respecto a la carga de diseño obtenida en el punto 1.3.
- GASTO.** Determina el gasto en m³/s y su desviación con respecto al gasto de diseño o nominal de la bomba obtenido en el punto 1.3.
- POTENCIA MANOMÉTRICA.** Calcula la potencia manométrica de diseño, potencia real de trabajo y su desviación, en kW, en función de la carga y los gastos correspondientes.

EFICIENCIA. Por último, determina la eficiencia de la bomba de acuerdo con los siguientes parámetros: Eficiencia electromecánica. Se calcula dividiendo la potencia manométrica, de acuerdo con mediciones calculadas anteriormente, por la potencia eléctrica establecida en el punto 3.2.
Eficiencia de la bomba. Esta eficiencia se obtiene dividiendo la eficiencia electromecánica obtenida por la eficiencia real del motor determinada en el punto 3.2.

3.4 BALANCE DE ENERGÍA ACTUAL

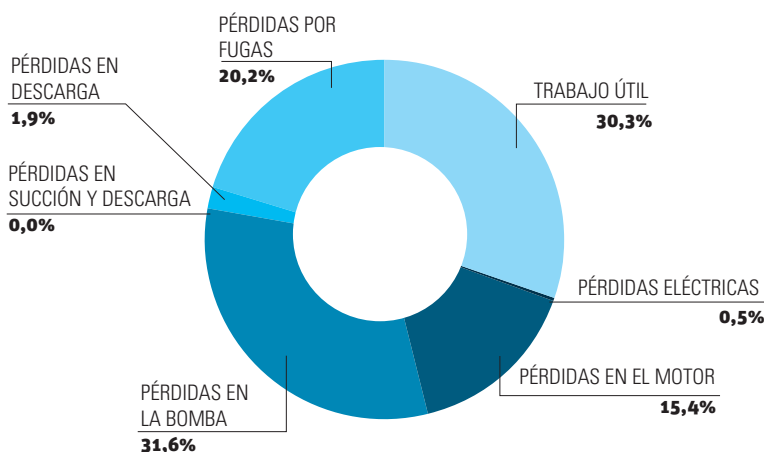
El fin del balance de energía es identificar las instalaciones o los elementos del sistema de bombeo donde se observan los mayores consumos energéticos, y sirve de base para la planificación de las medidas de ahorro correspondientes. El valor más significativo que se obtiene de este balance es el TRABAJO ÚTIL, el cual indica la cantidad de energía que el sistema utiliza realmente, mientras que todos los demás valores obtenidos en el balance son pérdidas de energía.

Para realizar este balance según la metodología propuesta, la hoja de cálculo efectúa las operaciones correspondientes sobre la base de los resultados obtenidos en los puntos 3.1 a 3.3, y del resultado de las mediciones de los puntos 2.1 y 2.2, y obtiene la disgregación de los consumos de energía en cada elemento del sistema de acuerdo con los detalles del siguiente ejemplo:

CUADRO 2
Ejemplo de disgregación de parámetros para el cálculo del balance de energía actual

Parámetro	Unidades	Cantidad
Consumo total de energía	kWh/año	215.025
Eficiencia del motor	%	84,54%
Eficiencia de la bomba	%	62,43%
Pérdidas por fugas	%	40%
Carga útil	m.c.a.	138
Pérdidas eléctricas	kWh/año	1.134
Pérdidas en el motor	kWh/año	33.060
Pérdidas en la bomba	kWh/año	67.934
Pérdidas en la succión y descarga	kWh/año	89
Pérdidas en la carga	kWh/año	4.092
Pérdidas por fugas	kWh/año	43.486
Trabajo útil	kWh/año	65.229

GRÁFICO 9 Ejemplo de cálculo del balance de energía actual



Para determinar el balance de energía sólo se tendrá que ingresar el porcentaje de pérdidas por fugas, de acuerdo con la estimación o el estudio previo del balance de agua que se haya efectuado de todo el sistema de distribución en la red hidráulica; éste depende del estado de la red de distribución y puede variar desde 20% hasta 65%.

De esta manera, se calculan los parámetros del balance de energía de acuerdo con los siguientes detalles:

Consumo total. Energía total consumida por el sistema eléctrico en un año de operación, calculada como la suma del promedio de la potencia activa en todas las fases más las pérdidas de energía en los conductores del tramo que se extiende desde el transformador hasta el interruptor principal calculada en el punto 3.1, multiplicada por el tiempo de operación. De esta forma, se obtiene el consumo total de energía en kWh.

Eficiencia del motor. Eficiencia real del motor calculada en el punto 3.2, en porcentaje.

Eficiencia de la bomba. Eficiencia de la bomba calculada en el punto 3.3, en porcentaje.

Pérdidas por fugas. Se debe consignar la estimación de pérdidas por fugas en la red de distribución de acuerdo con estudios previos.

Carga útil. Carga que debe tener la bomba en función del desnivel físico por cuestiones topográficas del sistema, más la distancia que existe entre la succión y el cabezal de la bomba, y se expresa en metros de columna de agua (m.c.a.).

Pérdidas eléctricas. Pérdidas de energía debidas a los elementos eléctricos; en este caso, se trata de las pérdidas de energía en los conductores calculadas en el punto 3.1.

Pérdidas en el motor. Pérdidas de energía que hay en el motor por la eficiencia real de trabajo de éste, de acuerdo con lo calculado en el punto 3.2.

Pérdidas en la bomba. Pérdidas de energía que hay en la bomba por la eficiencia de trabajo de ésta, de acuerdo con lo calculado en el punto 3.3.

Pérdidas en succión y descarga. Pérdidas de energía provocadas por la fricción del fluido en las tuberías de succión y descarga, de acuerdo con lo calculado en el punto 3.3.

Pérdidas de carga. Pérdidas totales de carga de la bomba calculadas en relación con la carga neta de la bomba y la carga útil correspondiente (desnivel).

Pérdidas por fugas. Pérdidas de energía estimadas a partir del fluido perdido en fugas en la red de distribución, calculadas en función del factor de fugas.

Trabajo útil. Trabajo real expresado en unidades de energía que requiere realmente el sistema de bombeo, es decir: la energía que realmente se utiliza para que el sistema de bombeo cumpla con el trabajo encomendado.

3.5 COMENTARIOS Y OPORTUNIDADES DE AHORRO

En este punto se deberán describir los comentarios finales del balance de energía y el análisis de los resultados evaluados.

A continuación se presentan algunas recomendaciones ilustrativas que pueden tomarse en cuenta para los comentarios y para definir las oportunidades de ahorro.

Éste es un ejemplo del formato y estilo de redacción:

- a) Hay varias anomalías en el sistema de tierras, por lo que se recomienda una evaluación completa de la norma.
- b) El factor de potencia es bajo (77,9%), por lo que se recomienda instalar bancos de capacitores para reducir las pérdidas en conductores eléctricos por efecto Joule.
- c) La temperatura en el interruptor, en la fase B de entrada es alta, por lo que se recomienda ajustar los bornes de conexión.
- d) Los desbalances de corriente y potencia activa en el motor son altos, por lo que determina que el motor está trabajando pobremente.
- e) La eficiencia de la bomba es baja (63%) y la desviación de carga y gasto respecto al diseño sugieren reemplazarla por una de mayor eficiencia, tomando en cuenta la curva del trabajo.

Análisis respecto de la evaluación del motor y parámetros eléctricos

La influencia que tiene un factor de potencia bajo sobre el valor de la corriente demandada en el sistema ocasiona pérdidas, entre las que se destacan:

- a) Un aumento de las pérdidas por efecto Joule (RI^2); estas pérdidas se manifestarán en:
 - Los conductores entre la acometida y el (los) motor (es).
 - Los bobinados de los transformadores de distribución.
 - Los dispositivos de operación y protección.
- b) Un aumento en la caída del voltaje en los cables alimentadores, que puede resultar en un menor voltaje de entrada a los motores y con ello producirse pérdidas de eficiencia en estos últimos.
- c) Un incremento de la potencia aparente, con lo que se reduce la capacidad de carga instalada. Esto es importante en el caso de los transformadores de distribución.

Estas pérdidas afectan al productor y distribuidor de energía eléctrica y, en consecuencia, se penaliza al usuario haciendo que pague más por su consumo de energía eléctrica.

Una de las causas del bajo factor de potencia se encuentra en motores que trabajan con un bajo factor de carga, esto es: motores sobredimensionados.

En el cuadro 3 se muestra una relación de las principales condiciones de operación ineficientes que suelen presentarse en el caso de los motores eléctricos, así como también el diagnóstico del origen de dicha condición.

CUADRO 3
Ineficiencia en la operación de los motores eléctricos

Condición observada	Diagnóstico
Voltaje de alimentación por debajo del nominal	El voltaje en el punto de acometida está por debajo del nominal.
	El voltaje en el punto de acometida presenta variaciones mayores al 5%.
	El voltaje en el punto de acometida es el nominal y no presenta variaciones significativas.
Desbalance del voltaje de alimentación al motor	El voltaje en el punto de acometida está desequilibrado.
	El voltaje en la acometida está balanceado y en el secundario del transformador no.
	El voltaje en los bornes del secundario del transformador está balanceado y en la alimentación al motor no.
Desbalance en la corriente demandada por el motor	El desbalance en corriente es inversamente proporcional al desbalance en voltaje.
	El desbalance se produce por una demanda desequilibrada por las fases del motor.
La velocidad de operación del motor está por debajo de la velocidad a plena carga	Problemas con rodamientos y/o cojinetes.
Alta temperatura y/o alta vibración en cojinetes y/o rodamientos	
El motor es de eficiencia estándar y tiene más de 10 años de operación	La eficiencia de operación del motor es baja.
El motor ha sido reparado (rebobinado), más de dos veces	La eficiencia del motor se encuentra depreciada.
El motor se encuentra trabajando con un factor de carga menor a 45%	El motor se encuentra trabajando en una zona donde su eficiencia de operación es baja.
El motor se encuentra trabajando con un factor de carga mayor a 100%	El motor se encuentra trabajando en una zona donde su eficiencia de operación es baja.

Análisis de la evaluación de la bomba

En el equipo de bombeo es importante diagnosticar varios aspectos que pueden ser la causa de un excesivo consumo energético y al mismo tiempo la oportunidad para ahorrar energía de manera sustancial.

Los valores determinados de eficiencia, tanto electromecánica como de la bomba, deben compararse con al menos los valores recomendados en algunas normas y estándares de eficiencia energética aplicables a

los motores y equipos de bombeo existentes, a fin de determinar los niveles de ahorro de energía potenciales. Esto servirá como una buena base para considerar la sustitución de equipos durante la posterior integración de la cartera de proyectos de ahorro de energía.

Algunas normas establecen los siguientes valores mínimos de eficiencia electromecánica (cuadro 4).

CUADRO 4
Valores mínimos de eficiencia electromecánica

Intervalos de potencias		Eficiencia electromecánica porcentaje
kW	HP	
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

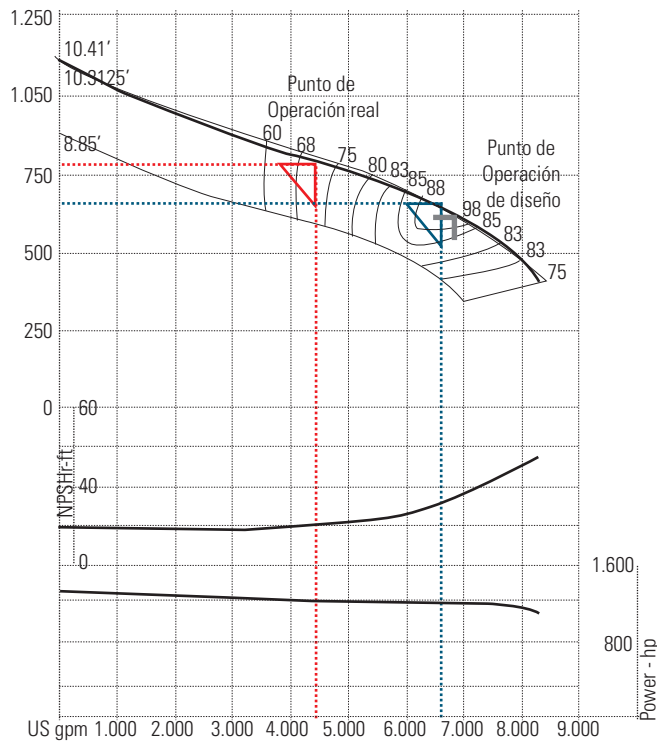
Por otro lado, es muy común encontrar que los sistemas de bombeo operan en condiciones diferentes de aquellas para las que han sido diseñados. De acuerdo con su diseño, todos los equipos tienen un punto de operación óptimo carga-caudal, donde todas las pérdidas se minimizan. Fuera de este punto se presentan problemas como los siguientes:

- Bajo rendimiento energético.
- Reducción del tiempo de vida de los componentes, particularmente de los impulsores y anillos de desgaste.
- Cavitación por bajo flujo en la succión.

El efecto en la reducción de la eficiencia del sistema de bombeo se ilustra en el gráfico 10, donde se puede observar que una variación significativa en las condiciones de operación carga-caudal puede significar variaciones de hasta 20% en la eficiencia del equipo.

Esta condición se puede detectar de acuerdo con los resultados de la desviación de la carga y del gasto respecto de los del diseño calculada en el punto 3.3.

GRÁFICO 10 Ejemplo de reducción de la eficiencia del sistema de bombeo



El resultado de la desviación indica el porcentaje de desviación que existe entre la línea verde y la línea roja; si el porcentaje es negativo, quiere decir que la bomba se encuentra operando a la izquierda de la línea verde, y si el porcentaje de desviación es positivo, significa que la bomba está operando a la derecha de la línea mencionada.

Análisis de las temperaturas obtenidas

También se deben analizar las temperaturas medidas en el punto 1.4, a partir de lo cual se podrá observar si hay una falta de mantenimiento en las instalaciones eléctricas, ya sea en los bornes de las terminales de los conductores o en el equipo eléctrico. Con el análisis de estas temperaturas se debe proponer una campaña de acciones de mantenimiento correctivo para solucionar el problema y evitar posibles desperdicios de energía.

En general, éstos son algunos de los aspectos recomendados que se deben analizar para completar el recuadro de COMENTARIOS Y MEDIDAS DE AHORRO, como resultado de la evaluación energética del sistema de bombeo.

PASO 4. PROYECTO DE AHORRO DE ENERGÍA

El proyecto de ahorro de energía consiste en desarrollar la cartera de proyectos y recomendaciones a implementar de modo que se abarquen todas las oportunidades posibles de ahorro, tanto en materia de consumo energético como en la mera reducción del costo de la facturación energética, sobre la base del análisis de la información obtenida durante la evaluación del sistema de bombeo del paso 3. Esto incluye los análisis de eficiencias, condiciones operativas y de mantenimiento, y demás áreas de oportunidad encontradas, con su respectivo análisis de costo-beneficio.

En esta metodología se debe trabajar de acuerdo con los puntos que se detallan a continuación.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE AHORRO

En el recuadro correspondiente de la hoja de cálculo se deberán describir las propuestas de ahorro de manera general.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE AHORRO
1. Cambiar el conjunto de bomba-motor por uno de mayor eficiencia
2. Instalar banco de capacitores

En el cuadro 5 se resumen algunas de las medidas generales o más comúnmente utilizadas para la reducción del consumo energético.

Las medidas que se describen en términos generales en el cuadro 5 pueden significar diversas acciones a nivel particular, y pueden variar desde la propuesta de remplazar un equipo hasta acciones correctivas de mantenimiento, pasando por acciones de cambios en la operación de los equipos, para llegar a los puntos óptimos.

Las medidas deberán ser descritas en forma particular en el recuadro correspondiente de la hoja de cálculo.

CUADRO 5
Medidas que reducen el consumo energético

Sistema	Medida genérica	Medida específica	
Sistema motor-bomba	Optimización de la eficiencia electromecánica	Baja inversión	Adecuar el equipo de bombeo a los puntos de operación reales.
			Ajustar la posición de los impulsores en bombas de turbina con impulsor abierto.
	Mantenimiento preventivo y predictivo	Media inversión	Sustituir el motor.
			Sustituir el conjunto motor-bomba.
Sistema de distribución hidráulica	Optimización de cargas de bombeo	Baja inversión	Realizar monitoreo periódico de parámetros relacionados con la eficiencia electromecánica.
			Realizar monitoreo de parámetros mecánicos como vibración, temperatura, etc.
	Control de presiones y caudales	Baja inversión	Corregir defectos en la configuración de tuberías de descarga y en la operación.
		Alta inversión	Reducir pérdidas por fricción en conducciones.
Sistema eléctrico	Optimización de las instalaciones eléctricas	Media inversión	Instalar variadores de frecuencia.
		Alta inversión	Instalar tanques de regulación.
		Baja inversión	Optimizar el factor de potencia.
			Corregir los desbalances de voltaje.
			Corregir voltaje de suministro al motor, para que sea igual al valor nominal o de placa.
		Media inversión	Reducir pérdidas eléctricas por efecto Joule.
			Reducir pérdidas en transformadores.

4.2 ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

Si en las medidas de ahorro descritas en el punto 4.1 se contempla la sustitución o el cambio de la bomba o del motor, o de ambos, las especificaciones del equipo propuesto deberán ser anotadas en el recuadro correspondiente de acuerdo con los siguientes detalles:

Especificaciones de bomba	Marca	Goulds
	Modelo	5CHC-9S
	Eficiencia de la bomba	78,0%
Especificaciones de motor	Potencia H.P.	25,0 HP
	Voltaje nominal	440 V
	Eficiencia a plena carga	90%
	Número de fases	3
	Velocidad angular	3600 rpm
	Eficiencia electromecánica nueva	70,2%
Banco de capacitores	Capacidad	9 kVars
	Voltaje normal	440 V

ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA. Se deberán anotar las características principales de la bomba propuesta para cambio, es decir: marca, modelo y eficiencia de la bomba.

ESPECIFICACIONES DEL MOTOR. Se deberán anotar las características nominales del motor propuesto, lo cual incluye: potencia (HP), voltaje nominal, eficiencia a plena carga, número de fases de trabajo y velocidad angular.

Con estas dos especificaciones la hoja de cálculo determina en forma automática la EFICIENCIA ELECTROMECÁNICA NUEVA, multiplicando las eficiencias del motor y de la bomba.

BANCO DE CAPACITORES. Si se propone la conexión de un banco de capacitores, también se deberán consignar la capacidad del banco en kVars y el voltaje nominal correspondiente.

4.3 PLAN DE ACCIÓN

Por último, en este recuadro se deberán listar en orden de prioridad las acciones que se llevarán a cabo en forma cronológica, de acuerdo con las propuestas de ahorro mencionadas en el punto 4.1. Se debe tener especial cuidado en el orden cronológico de las actividades, de que se lleven a cabo cada una de ellas, y darles el seguimiento adecuado, ya que ésta es una guía para revisión.

- Actividades
- i. Reemplazar el equipo sumergible de bombeo por el propuesto.

ii. Mantener en uso la instalación del equipo de control y conductores eléctricos.

iii. Instalar Válvula check.

iv. Instalar banco de capacitores.

PASO 5. EVALUACIÓN DE LOS AHORROS

Una vez que se han determinado las propuestas de ahorro, las especificaciones del equipo a cambiar y las actividades a realizar para el proyecto de ahorro de energía, se deberán evaluar las eficiencias, las pérdidas y el balance energético que se tendrá, y adoptar las medidas para poder determinar el ahorro total potencial esperado al implementar el plan de ahorro. La nueva evaluación contempla los puntos que se exponen a continuación.

5.1 EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Se tendrán que evaluar nuevamente las pérdidas en los conductores eléctricos debidas al efecto Joule, ya que en este caso se está proponiendo la instalación de un banco de capacitores que reducirá este efecto.

	Tramo	Calibre	Long.	Resistencia	Resistencia	Corriente	Pérdidas	
			m	Ω /km	Ω	A	kW	kWh/año
Condición actual	Transf.-Arrancador	4/0 AWG	18	0,1640	0,002952	29,0	0,007	65
	Arrancador-Motor	4/0 AWG	152,2	0,1640	0,02501	34,3	0,088	770

Esta evaluación se realiza de la misma manera que se vio en el punto 3.1 del presente manual, es decir: se deberán ingresar el calibre del conductor y la resistencia del mismo en ohms/km, y la hoja de cálculo determinará las nuevas pérdidas en los conductores en kWh/año.

5.2 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR

Debido a que también se está cambiando el motor, debe realizarse el nuevo cálculo de la eficiencia real del mismo.

F.P.	BHP	HP propuesto	Efic. real	FC	Efic. nom	Efic. 75%	Efic. 100%
0,80	22,21	25,0	0,9002	0,8884	90,09%	90,2%	90,0%

FA ant	FA rew	FA vv	FA dv
0,0%	0,0%	-0,00064	99,99%

Esta evaluación se realizará de manera similar a la descrita en el punto 3.2 del presente manual, con la diferencia de que solamente se deberán ingresar las eficiencias al 75% y al 100% de la curva de eficiencia del motor nuevo, y la hoja de cálculo realizará las operaciones correspondientes.

5.3 BALANCE DE ENERGÍA ESPERADO

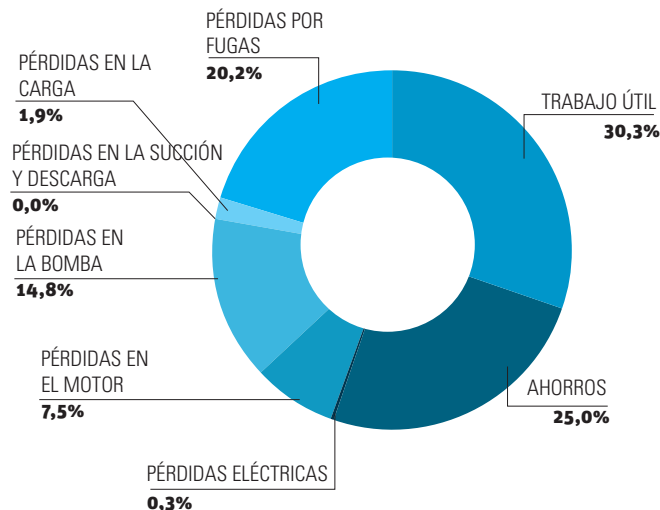
De acuerdo con las evaluaciones de los componentes del motor y los conductores eléctricos, y con las especificaciones de la bomba nueva propuesta, y suponiendo que la bomba trabajará dentro del rango de máxima eficiencia en la curva de carga-caudal, se puede realizar un balance de energía esperado cuando se implementen las medidas de ahorro propuestas.

El cálculo del balance esperado se realiza de la misma forma que se ha descrito en el punto 3.4 del presente manual. En este caso, el balance esperado determina además el porcentaje de ahorro que se tendrá al implementar estas medidas de ahorro, de acuerdo con los parámetros del cuadro.

CUADRO 6
Ejemplo de disgregación de parámetros para el cálculo del balance de energía esperado

Parámetro	Unidad	Cantidad
Consumo de energía	kWh/año	161.372
Potencia demandada	kW	18,4
Corriente	A	28,7
Factor de potencia	%	80%
Pérdidas eléctricas	kWh/año	585
Pérdidas en el motor	kWh/año	16.047
Pérdidas en la bomba	kWh/año	31.843
Pérdidas en la succión y descarga	kWh/año	89
Pérdidas de carga	kWh/año	4.092
Pérdidas por fugas	kWh/año	43.486
Trabajo útil	kWh/año	65.229
Ahorros	kWh/año	53.653

GRÁFICO 11 Ejemplo de cálculo del balance de energía actual



Como se puede observar de acuerdo con el ejemplo, se esperan ahorros hasta de 25% de la energía utilizada actualmente por el sistema de bombeo.

PASO 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

Por último, se debe realizar un análisis económico de las medidas de ahorro propuestas, para lo cual se deberán llevar a cabo las evaluaciones que se describen a continuación.

6.1 CÁLCULO DE AHORROS

El cálculo de ahorros se determina a partir de un costo general de la energía eléctrica y de los ahorros de energía obtenidos en el paso 5, considerando los siguientes detalles:

Costo de la energía		0.12	US\$ kWh
Ahorros directos	Beneficios directos por ahorro en la bomba y el motor		
	Ahorros de energía	53.645,32	kWh/año
	Costo del ahorro de energía	6.437,44	US\$ año
Ahorros adicionales	El motor propuesto trabajará con un factor de potencia mejorado y demandará menor corriente, lo cual significa reducir el efecto Joule en los conductores disminuyendo las pérdidas.		
	Ahorros de energía en los conductores	548,50	kWh/año
	Costo del ahorro de energía	65,82	US\$ año

COSTO DE LA ENERGÍA. Se debe insertar el costo general de la energía eléctrica en unidades monetarias locales o en dólares, por kWh. Este costo depende del suministrador del servicio de energía eléctrica y del esquema tarifario al que esté sujeto el sistema de bombeo en estudio.

AHORROS DIRECTOS. Son los ahorros esperados en forma directa al reducir las pérdidas de energía derivadas del nuevo balance energético luego de sustituir la bomba y el motor del sistema. Este ahorro se obtiene del renglón de Ahorros del balance energético esperado, en kWh/año. El costo del ahorro de energía se obtiene al multiplicar la energía ahorrada por el costo de la energía.

AHORROS ADICIONALES. Aunque el valor de estos ahorros es pequeño, no debe despreciarse. Este parámetro se refiere a los ahorros extra que se tendrán al instalar el banco de capacitores; en el ejemplo sólo se describen los ahorros por reducción de pérdidas en los conductores, pero en el caso en que trabajar con un bajo factor de potencia implique un costo adicional de multa por parte del suministrador del servicio de energía eléctrica, el costo de estas multas en el último año de operación también podrá añadirse a este análisis.

En esta metodología sólo hay que insertar el valor del costo de la energía en el recuadro correspondiente y los ahorros se calcularán en forma automática.

6.2 CÁLCULO DEL COSTO DE LAS INVERSIONES

Debido a que las propuestas de ahorro implican la compra de equipo, se debe considerar el cálculo de la inversión correspondiente.

Partida	Descripción	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Costo total (US\$)
1	Suministro de una bomba sumergible	1	3.431,00	3.431,00
2	Remover el equipo actual e instalación del equipo nuevo	1	1.000,00	1.000,00
3	Suministro e instalación del banco de capacitores	1	245,00	245,00
TOTAL				5.377,40

En este recuadro se deberán insertar todos los costos de inversión que supone realizar los proyectos de ahorro de energía, es decir: se deben desglosar uno por uno los elementos de la propuesta de ahorro que impliquen la compra de equipo, instalación y mano de obra.

6.3 ANÁLISIS DE LA TASA DE RETORNO DE LA INVERSIÓN

Por último, se debe realizar un análisis de la tasa de retorno de la inversión que se tendrá que hacer para llevar adelante los proyectos de ahorro de energía propuestos, para lo cual habrá que completar los siguientes detalles a fin de que el cálculo se efectúe en forma automática:

Ahorros totales

Reducción en el consumo de energía	53.645,32
Ahorro (US\$/año)	6.437,44

Inversiones totales

US\$	5.377,40
-------------	-----------------

Tasa de retorno

0,84 años

AHORROS TOTALES. Estos ahorros comportan el costo del ahorro total calculado en el punto 6.1.

INVERSIONES TOTALES. Abarcan el costo total de las inversiones descritas en el punto 6.2.

TASA DE RETORNO. Esta tasa indica el tiempo de recuperación de la inversión en función de que se contará con recursos monetarios procedentes del ahorro con los que se podrá pagar dicha inversión; se calcula como la división del costo total de la inversión por el costo total de los ahorros y se expresa en años.

CON ESTE CÁLCULO SE TERMINA LA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA Y LA DETERMINACIÓN DE LOS AHORROS POTENCIALES AL APLICAR LAS MEDIDAS CORRESPONDIENTES.



www.iadb.org