

GUÍA TÉCNICA 11

Eficiencia energética en bombeo

Dónde se pierde la energía en un sistema de bombeo, cómo medir el rendimiento real y qué corregir primero

Una bomba que trabaja 8.000 horas al año suele gastar en electricidad, en pocos años, mucho más de lo que costó comprarla. Esa energía casi nunca aparece como un problema: la bomba funciona, el caudal llega y nadie mira la factura por equipo. Pero una válvula semicerrada, un rodete sobredimensionado o unos anillos de desgaste con el juego abierto pueden estar desperdiciando una parte importante de la potencia sin que nada se rompa.

Ideas clave

- En el costo de ciclo de vida de una bomba, la energía suele ser el componente mayor, por encima de la compra.
- Estrangular con válvula convierte potencia en calor y ruido; bajar la velocidad o recortar el rodete evita esa pérdida.
- Antes de cambiar nada, medí: caudal, presiones y potencia eléctrica dan el rendimiento real del grupo.

Dónde está el costo

La guía de costo de ciclo de vida (LCC) del Hydraulic Institute y Europump suma compra, instalación, energía, operación, mantenimiento, paradas, impacto ambiental y disposición final. En equipos de servicio continuo, la energía **suele ser el componente mayor**, y el precio de compra queda muy por debajo.

La consecuencia práctica: elegir una bomba por el menor precio inicial, o dejarla trabajar lejos de su punto de diseño, sale caro durante toda su vida útil. Los puntos de mayor consumo evitable se repiten en casi todas las plantas:

- **Sobredimensionamiento:** márgenes de seguridad sumados en cada etapa del proyecto terminan en una bomba con más altura y caudal que los necesarios.
- **Regulación por estrangulamiento:** la válvula de descarga semicerrada consume la altura sobrante como pérdida de carga.
- **Operación fuera del BEP:** lejos del punto de mejor rendimiento cae la eficiencia y suben la vibración, la recirculación y el desgaste.
- **Desgaste interno:** al abrirse el juego de anillos de desgaste, parte del caudal vuelve de la descarga a la succión dentro de la propia bomba.
- **Bypass y recirculaciones abiertas:** líneas de retorno que quedaron abiertas después de una puesta en marcha o de un cambio de proceso.
- **Motor sobredimensionado o de baja eficiencia:** un motor trabajando a poca carga rinde menos; la clase IE (IEC 60034-30-1) indica su nivel de eficiencia.

La potencia que paga la planta

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / \eta$$

P potencia en el eje de la bomba, W
 ρ densidad del líquido, kg/m³ (agua: 1.000 kg/m³)
g aceleración de la gravedad, 9,81 m/s²
Q caudal, m³/s (m³/h ÷ 3.600)
H altura total entregada por la bomba, m
 η rendimiento de la bomba, como fracción

La potencia eléctrica es la del eje dividida por el rendimiento del motor (y del variador, si lo hay). La energía anual es esa potencia por las horas de marcha. La cuenta muestra que cada metro de altura que se pierde en una válvula y cada punto de rendimiento que se pierde en la bomba se pagan todas las horas del año.

REGLA PRÁCTICA

Si una válvula de descarga trabaja permanentemente semicerrada, la bomba está sobredimensionada para ese servicio. La caída de presión en esa válvula es energía que se paga y se tira.

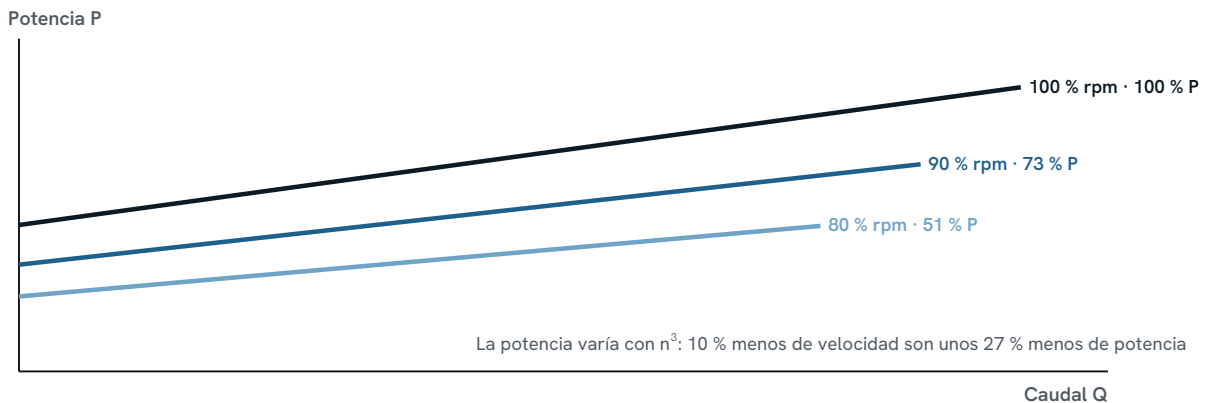
Ejemplo: válvula contra variador

Una bomba de agua con curva de 75 m a caudal cero y 55 m a 200 m³/h (aproximada como parábola). El proceso necesita 160 m³/h; la curva del sistema (20 m estáticos más pérdidas por fricción) pide 45 m a ese caudal. Servicio continuo de 8.000 h/año. Rendimientos supuestos: bomba 72 % estrangulada y 75 % con variador, motor 94 % (93 % a velocidad reducida), variador 97 %.

Concepto	Regulación con válvula	Regulación con variador
Velocidad	100 %	87,8 %
Altura de la bomba a 160 m ³ /h	62,2 m	45 m
Altura perdida en la válvula	17,2 m	0 m
Potencia en el eje	37,7 kW	26,2 kW
Potencia eléctrica	40,1 kW	29,0 kW
Energía anual (8.000 h)	320.600 kWh	232.000 kWh

Diferencia: 11,1 kW, unos 88.600 kWh/año (28 % menos). Multiplicá por la tarifa de energía de tu planta para obtener el ahorro anual. Valores redondeados; los rendimientos son supuestos del ejemplo.

La potencia hidráulica útil es la misma en los dos casos: 19,6 kW para mover 160 m³/h contra 45 m. Con válvula, la bomba entrega además 17,2 m que se disipan en el cierre, unos 7,5 kW hidráulicos convertidos en calor, ruido y desgaste del asiento.



Al 80 % de velocidad la potencia cae al 51 %, pero ese ahorro cúbico completo solo se da en sistemas sin altura estática. Con altura estática alta, la velocidad no puede bajar tanto y el ahorro es menor; por eso el ejemplo se calcula sobre la curva del sistema y no con la ley cúbica directa.

Recorte de rodete y reposición de juegos

Si el caudal reducido es permanente, no hace falta un variador: recortar el diámetro del rodete baja la curva de forma definitiva y es una de las medidas de menor costo. Para recortes chicos, el caudal varía aproximadamente con el diámetro, la altura con su cuadrado y la potencia con su cubo. Ejemplo: un rodete de 330 mm recortado a 313,5 mm (5 %) da alrededor de 90 % de la altura y 86 % de la potencia originales.

- El recorte admisible depende del diseño de la bomba; el rango usual llega hasta un 10 a 20 % del diámetro, según el fabricante. Más allá, el rendimiento cae y conviene otro rodete u otra bomba.
- Después del recorte, balanceá el rodete (ISO 1940-1 / ISO 21940-11) y revisá el NPSH requerido en el nuevo punto.
- **Anillos de desgaste:** cuando el juego diametral crece, la recirculación interna baja el caudal y el rendimiento. Una práctica habitual es reponer cuando el juego llega al doble del valor nominal del fabricante.
- En bombas abiertas o semiabiertas, el equivalente es el juego axial entre rodete y placa de desgaste: regularlo recupera rendimiento sin cambiar piezas.

Cómo medir el rendimiento real en planta

Las curvas de catálogo describen una bomba nueva. Para saber cuánto rinde hoy la tuya, medí en el mismo momento y con el proceso estable. La norma ISO/ASME 14414 describe cómo hacer una evaluación energética de sistemas de bombeo.

- 01 Caudal:** caudalímetro ultrasónico de abrazadera, sin cortar la cañería, con los tramos rectos aguas arriba y abajo que pide el equipo.
- 02 Presiones:** manómetros calibrados en succión y descarga, lo más cerca posible de las bridas. Anotá la diferencia de altura entre las tomas.
- 03 Potencia eléctrica:** analizador de redes en el tablero (tensión, corriente y potencia activa por fase). No uses solo la corriente: sin $\cos \phi$ no hay potencia.
- 04 Cálculo:** altura total $H = (P_{\text{descarga}} - P_{\text{succión}}) / (\rho \cdot g) + \text{diferencia de cotas de los manómetros (más la diferencia de alturas de velocidad, si los diámetros de brida son distintos)}$.
- 05 Comparación:** ubicá el punto medido en la curva del fabricante y compará altura, caudal y rendimiento.

Ejemplo: 120 m³/h, descarga 5,2 bar, succión 0,3 bar, manómetro de descarga 0,5 m más alto y 24,0 kW eléctricos. $H = 490.000 \text{ Pa} \div (1.000 \times 9,81) \approx 49,9 \text{ m}$, más 0,5 m de cota = 50,4 m; potencia hidráulica = $1.000 \cdot 9,81 \cdot 0,0333 \cdot 50,4 \approx 16,5 \text{ kW}$. Rendimiento del grupo motor-bomba: $16,5 / 24,0 \approx 69 \%$. Si la curva y la placa del motor prometían bastante más en ese punto, hay pérdida interna para buscar.

Qué hacer primero

Ordenado de mayor a menor retorno habitual sobre lo invertido:

Acción	Cuándo conviene	Inversión
Cerrar bypass y recirculaciones innecesarias; apagar bombas en paralelo que sobran	Siempre: es operación, no obra	Mínima
Medir el punto de trabajo real de los equipos de más horas	Antes de cualquier cambio	Baja
Reponer juegos de anillos o regular el juego axial	Rendimiento medido muy por debajo de la curva	Baja a media
Recortar el rodete	Caudal reducido permanente, válvula siempre estrangulada	Baja a media
Instalar variador de velocidad	Caudal variable en el tiempo y poca altura estática	Media
Reemplazar bomba o motor (IE3/IE4)	Equipo muy sobredimensionado o al final de su vida útil	Alta

Checklist para planta

- ☐ Listá las bombas de más de 15 kW con sus horas de marcha anuales.
- ☐ Medí caudal, presión de succión y descarga y potencia eléctrica en las de más horas.
- ☐ Ubicá cada punto medido en la curva del fabricante y anotá la distancia al BEP.
- ☐ Calculá los kWh/año perdidos en estrangulamiento y en rendimiento bajo.
- ☐ Evaluá recorte de rodete o variador según el caudal sea fijo o variable.
- ☐ Repetí la medición después de cada cambio para confirmar el ahorro.

Cómo te ayuda WPM

Medimos en campo caudal con ultrasonido, presiones de succión y descarga y potencia eléctrica en el tablero, calculamos el rendimiento real del grupo y lo comparamos con la curva. Con esa medición te proponemos la corrección que corresponde: recorte de rodete en taller, reposición de juegos, variador o cambio de equipo.

WhatsApp +54 9 299 455-3106 · ventas@wpmweb.com.ar

www.wpmweb.com.ar/contacto

Taller y oficinas: Tita Merello 3200, Neuquén Capital. Más de 25 años en bombas y motores.

Referencias. Hydraulic Institute y Europump, Pump Life Cycle Costs: A Guide to LCC Analysis for Pumping Systems · ISO/ASME 14414, Pump system energy assessment · IEC 60034-30-1, Clases de eficiencia de motores (código IE) · ANSI/HI 9.6.3, Rotodynamic pumps: guideline for operating regions · ISO 21940-11 (ex ISO 1940-1), Balanceo de rotores rígidos

Contenido orientativo. Los valores de referencia no reemplazan las indicaciones del fabricante del equipo ni la evaluación en sitio.