

Cavitación en bombas centrífugas

Cómo se reconoce, cómo se calcula el NPSH disponible y qué corregir en la instalación

Una bomba que suena como si tuviera piedras adentro casi nunca tiene piedras: tiene burbujas de vapor que se forman en la entrada del rodete e implotan unos milímetros más adelante. Ese ruido viene con vibración, caída de presión y un rodete que puede quedar picado como una esponja en pocos meses. Cambiar el rodete no lo resuelve si la instalación sigue igual. Esta ficha explica qué pasa, cómo hacer la cuenta y qué tocar primero.

Ideas clave

- Cavita cuando el NPSH disponible de la instalación no supera con margen al NPSH requerido por la bomba.
- Cada metro de aspiración, cada pérdida en la succión y cada grado de temperatura le restan NPSH disponible.
- Nunca regules caudal cerrando la válvula de succión: es la forma más rápida de provocar cavitación.

Qué es y cómo se reconoce

En el ojo del rodete el líquido se acelera y su presión baja. Si cae por debajo de la **presión de vapor** del líquido a esa temperatura, se forman burbujas. Al avanzar por el canal del rodete la presión vuelve a subir y las burbujas colapsan de golpe contra el metal. Cada implosión es mínima, pero son millones y van arrancando material.

- **Ruido:** crepitación continua, como grava o piedras pasando por la bomba, más fuerte cerca de la brida de succión.
- **Vibración:** aumento de banda ancha en alta frecuencia, sin un pico limpio a $1 \times$ ni a la frecuencia de paso de álabes.
- **Operación:** presión de descarga y corriente del motor que oscilan; caudal y altura menores que los de la curva.
- **Al desarmar:** picado en la cara de baja presión de los álabes, cerca del borde de entrada. Si el daño aparece en la cara de presión del álabe, a la entrada, apunta más a recirculación por bajo caudal.

No todo ruido a piedras es cavitación. El **aire que entra** por un vórtice en la pileta, por una junta de la succión o por un prensaestopas en vacío suena parecido. La diferencia se ve en la pileta (remolinos en la superficie) o probando con agua o grasa en las juntas sospechosas.

La cuenta: NPSH disponible contra NPSH requerido

El **NPSH requerido** (NPSHr) es un dato de la bomba, figura en la curva del fabricante y crece con el caudal. El **NPSH disponible** (NPSHd) es un dato de la instalación y se calcula así:

$$\text{NPSHd} = (\text{Pa} - \text{Pv}) / (\rho \cdot g) + \text{Hs} - \text{hf}$$

Pa presión absoluta sobre la superficie del líquido, en Pa (atmosférica si el tanque está abierto)

Pv presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, en Pa

ρ densidad del líquido, en kg/m³

g aceleración de la gravedad, 9,81 m/s²

Hs desnivel entre la superficie del líquido y el eje de la bomba, en m: + si el líquido está arriba (carga), - si está abajo (aspiración)

hf pérdidas por fricción en la cañería de succión al caudal de trabajo, en m

Altitud. La presión atmosférica baja con la altura, unos 0,12 m de columna de agua cada 100 m. En Neuquén, a unos 270 m s.n.m., la atmósfera estándar da cerca de 98,1 kPa, es decir unos 10,0 m de columna de agua contra 10,35 m a nivel del mar. A 1.000 m queda en unos 9,2 m y a 3.000 m en unos 7,2 m: una bomba que anda bien en el valle puede cavitarse en una locación de altura.

Ejemplo. Tanque abierto en Neuquén, agua a 20 °C, bomba 3 m por encima del nivel del líquido (Hs = -3 m) y 1,2 m de pérdidas en la succión. $\text{NPSHd} = (98.120 - 2.339) / (998,2 \times 9,81) - 3 - 1,2 = 9,78 - 4,2 \approx 5,6$ m. Si la curva marca NPSHr = 4,0 m en el punto de trabajo, la relación es $5,6 / 4,0 \approx 1,4$. Si el filtro de succión se ensucia y las pérdidas suben a 2,7 m, el NPSHd cae a 4,1 m: prácticamente sin margen.

Temperatura del agua	Presión de vapor	$\text{Pv}/(\rho \cdot g)$	NPSHd del ejemplo
20 °C	2,3 kPa	0,24 m	5,6 m
40 °C	7,4 kPa	0,76 m	5,1 m
60 °C	20,0 kPa	2,07 m	3,9 m
80 °C	47,4 kPa	4,97 m	1,1 m

Mismo ejemplo: Neuquén (98,1 kPa), aspiración de 3 m y 1,2 m de pérdidas. Presión de vapor y densidad del agua según tablas de vapor.

Con la misma instalación, el agua a 60 °C ya queda por debajo del NPSHr de 4,0 m. Con líquidos calientes o volátiles (condensado, hidrocarburos livianos) la bomba tiene que trabajar con carga positiva en la succión.

Margen de NPSH

El NPSHr de catálogo suele ser el **NPSH3**: el valor al que la altura de la bomba cae 3 % por la cavitación. Es decir, en el NPSHr la bomba ya está cavitando. Por eso no alcanza con que NPSHd sea apenas mayor que NPSHr.

La guía **ANSI/HI 9.6.1** propone márgenes según el tipo de servicio, del orden de 1,1 a 2,5 veces el NPSH3; los valores altos corresponden a bombas de alta energía de succión. Una regla práctica de planta es no bajar de 1 m por encima del NPSHr y dejar más margen con agua caliente, hidrocarburos o caudales que varían mucho.

REGLA PRÁCTICA

Hacé la cuenta al caudal máximo real, con el nivel mínimo del tanque, la temperatura máxima y el filtro sucio. Esa es la condición en la que la bomba va a cavitarse.

Seis causas frecuentes

- 01 Aspiración excesiva o nivel bajo:** la bomba quedó alta respecto del nivel mínimo, o el tanque se vacía más de lo previsto.
- 02 Pérdidas en la succión:** filtro o canasto tapado, válvula de succión parcialmente cerrada, diámetro chico, cañería larga, demasiados accesorios o un codo pegado a la brida.
- 03 Líquido caliente o volátil:** la presión de vapor sube mucho con la temperatura; un retorno caliente al tanque alcanza para cambiar la situación.
- 04 Operación a la derecha del BEP:** más caudal que el de diseño (descarga abierta, rotura aguas abajo, bomba en paralelo que salió de servicio) sube el NPSHr y también las pérdidas de succión.
- 05 Más velocidad:** con variador por encima de la frecuencia nominal, el NPSHr crece aproximadamente con el cuadrado de la velocidad.
- 06 Cambio de bomba o rodete sin revisar el NPSHr:** un equipo de reemplazo con otra curva puede pedir más NPSH que el original en la misma instalación.

Qué se hace y qué no

Hacer	No hacer
Subir el nivel mínimo del tanque o bajar la bomba	Regular el caudal con la válvula de succión
Limpiar el filtro y definir una frecuencia de limpieza	Poner un filtro sin plan de limpieza ni forma de saber si está tapado
Agrandar el diámetro de succión y sacar accesorios	Poner reducciones concéntricas en la succión horizontal (atrapan aire)
Usar reducción excéntrica con el lado plano arriba y un tramo recto antes de la brida, del orden de 5 diámetros o lo que indique el fabricante	Colocar un codo pegado a la brida de succión
Llevar la bomba hacia su BEP estrangulando la descarga o bajando velocidad	Cambiar el rodete por uno nuevo sin corregir la instalación: vuelve a picarse
Enfriar el líquido, presurizar el tanque o elegir una bomba de menor NPSHr (o con inductor)	Aumentar la velocidad para recuperar caudal sin rehacer la cuenta

Prueba simple en campo y sus límites

Con la bomba centrífuga en marcha, **cerrá un poco la válvula de descarga** y escuchá. Al bajar el caudal baja el NPSHr y también bajan las pérdidas en la succión (crecen con el cuadrado del caudal), así que el NPSHd sube. Si el ruido a piedras baja o desaparece, el problema es falta de NPSH a ese caudal.

Si el ruido **aumenta** al cerrar, o aparece justamente cuando la bomba trabaja a bajo caudal, lo más probable es **recirculación** en la entrada del rodete: la bomba trabaja muy a la izquierda del BEP. Ahí la solución es la contraria: más caudal, una línea de recirculación o una bomba más chica.

- Cerrá de a poco y por poco tiempo: con la descarga muy cerrada el líquido se calienta y puede dañar el sello.
- Mirá la corriente del motor y la presión de descarga mientras probás.
- Nunca hagas esta prueba en una bomba volumétrica (diafragma, lóbulos, tornillo, pistón): cerrar la descarga sube la presión hasta romper algo.
- Para confirmar, medí la presión en la brida de succión: con presión absoluta, cota del manómetro y velocidad en la brida se obtiene el NPSHd real y se compara con la curva.

Checklist para planta

- ☐ Buscá el NPSHr en la curva de la bomba al caudal máximo real de trabajo.
- ☐ Calculá el NPSHd con nivel mínimo, temperatura máxima y filtro sucio.
- ☐ Verificá que la válvula de succión esté totalmente abierta y señalizada.
- ☐ Definí una frecuencia de limpieza del filtro de succión.
- ☐ Revisá que la reducción de succión sea excéntrica con el lado plano arriba.
- ☐ Instalá un manómetro de vacío o presión en la brida de succión.
- ☐ Antes de cambiar el rodete, corregí la causa en la instalación.
- ☐ Si la bomba trabaja con variador, rehacé la cuenta para la velocidad máxima.

Cómo te ayuda WPM

Revisamos la instalación en campo: medimos presión de succión, caudal con equipo ultrasónico y vibraciones, y comparamos el NPSH disponible con la curva de la bomba. Con ese diagnóstico definimos si conviene corregir la succión, mover el punto de trabajo o cambiar el equipo, y en el taller reparamos el rodete y la carcasa dañados.

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

www.wpmweb.com.ar/diagnostico

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

Referencias. ANSI/HI 9.6.1, Rotodynamic Pumps Guideline for NPSH Margin · ANSI/HI 9.6.3, Rotodynamic Pumps Guideline for Operating Regions · ISO 9906, Rotodynamic pumps — Hydraulic performance acceptance tests (definición de NPSH3) · Tablas de propiedades del agua (IAPWS) para presión de vapor y densidad

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