

Alineación láser de ejes

Tipos de desalineación, pie blando, crecimiento térmico, tolerancias según velocidad y procedimiento en campo

Se cambian rodamientos y sello, la bomba vuelve a servicio y a los pocos meses falla de nuevo en el mismo lugar. Una causa frecuente de esa repetición es la desalineación entre bomba y motor que quedó después de la reparación: no se ve a simple vista, el acople la disimula y la carga extra la pagan rodamientos y sellos.

Ideas clave

- El acople flexible tolera la desalineación sin romperse, pero no la absorbe: la carga pasa a rodamientos y sellos.
- Sin corregir el pie blando y los esfuerzos de cañería, ninguna alineación se sostiene.
- La tolerancia depende de la velocidad: a 2.950 rpm se exige bastante más que a 1.475 rpm.

Qué es la desalineación y qué rompe

Dos ejes están alineados cuando, en operación, sus líneas de centro de rotación forman una sola recta. Cuando no, la desalineación se describe con dos valores en cada plano, vertical y horizontal: **offset** (desplazamiento paralelo entre ejes, en mm, medido en el centro del acople) y **angularidad** (diferencia de inclinación entre ejes, en mm por cada 100 mm). En la práctica casi siempre aparecen combinados.

El acople flexible tolera cierta desalineación sin romperse, y su catálogo suele admitir valores mucho mayores que los que acepta la máquina. Ese margen es del acople, no de los rodamientos: la desalineación genera fuerzas cíclicas que cargan rodamientos y sello, calientan el acople y suelen aparecer en el espectro como componentes a 1x y 2x la velocidad de giro, con fuerte componente axial en el caso angular.

REGLA PRÁCTICA

La tolerancia del acople no es la tolerancia de alineación. Se alinea según la velocidad de la máquina y la especificación del fabricante, no según lo que aguanta el elemento elástico.

Métodos de medición

Método	Cómo mide	Limitaciones
Regla y galgas	Regla sobre los cubos para el offset y galgas entre caras para la angularidad	Depende del estado de los cubos y del operador; sirve como alineación gruesa
Comparadores rim-face	Un comparador en la periferia (rim) y otro en la cara del cubo (face)	Error por juego axial del eje al medir la cara; flexión del soporte de los comparadores

Método	Cómo mide	Limitaciones
Comparadores reverse indicator	Dos comparadores en la periferia, uno sobre cada cubo, girando ambos ejes	Requiere corregir la flexión del soporte y calcular o graficar las correcciones
Láser	Emisor y detector sobre cada eje; el equipo calcula offset, angularidad y correcciones en las patas	Sensible al sol directo, vibración externa y fijación floja de las ménsulas

El ángulo medido como abertura entre caras se convierte así: $\text{angularidad} = \text{abertura} / \text{diámetro de medición} \times 100$. Ejemplo: 0,12 mm de abertura en 150 mm de diámetro son 0,08 mm/100 mm.

El láser no elimina la técnica, pero quita fuentes de error: no hay flexión de soportes que corregir ni escalas que leer, calcula las correcciones en las patas, muestra el movimiento horizontal en vivo y guarda los valores de antes y después.

Pie blando y esfuerzos de cañería

Hay **pie blando** cuando una pata no apoya del todo sobre la base y, al ajustar su bulón, la carcasa se deforma. Eso tuerce la caja de rodamientos o el estator y cambia la alineación cada vez que se tocan los bulones.

- **Paralelo:** la pata queda corta, con una luz pareja debajo. Se corrige con laines.
- **Angular:** la pata o la base están inclinadas y apoyan solo en un borde. Requiere laines escalonadas o en cuña, o mecanizar la pata o la base.
- **Inducido:** una fuerza externa (cañería, conducto rígido, soporte) deforma la carcasa. Se corrige eliminando la fuerza, no con laines.
- **Resorte:** demasiadas laines, dobladas o sucias, que se comprimen bajo el bulón.

Se mide con todos los bulones al torque: se afloja una pata por vez y se registra cuánto se mueve, con comparador o con la función de pie blando del láser. Como criterio orientativo se corrige toda pata que se mueva más de 0,05 mm (2 milésimas de pulgada). Usá laines de acero inoxidable limpias y, como regla práctica, no más de tres o cuatro por pata.

Los **esfuerzos de cañería** (pipe strain) se detectan con la máquina alineada y el acople monitoreado con comparadores o láser, aflojando las bridas de succión y descarga. API RP 686 toma como criterio un movimiento máximo del eje de 0,05 mm, en vertical y en horizontal, medido en el acople. Si se mueve más, se corrigen soportes o carretes; no se compensa alineando.

Tolerancias según la velocidad

No hay una tolerancia universal: cuanto mayor la velocidad, más estrecha. Manda la especificación del fabricante de la máquina, del acople o de la planta; si no existe, se usan tablas orientativas como la siguiente, para acoples cortos flexibles. Los valores son desviación máxima respecto del valor objetivo, que puede ser cero o el valor de compensación térmica.

Velocidad (rpm)	Offset excelente (mm)	Offset aceptable (mm)	Angular excelente (mm/100 mm)	Angular aceptable (mm/100 mm)
0 a 1.000	0,07	0,13	0,06	0,10
1.000 a 2.000	0,05	0,10	0,05	0,08
2.000 a 3.000	0,03	0,07	0,04	0,07
3.000 a 4.000	0,02	0,04	0,03	0,06

Valores orientativos para acople corto flexible, del tipo que publican los fabricantes de alineadores láser. Mandan la especificación del fabricante del equipo y la del acople. Un motor de 4 polos a 50 Hz gira a unas 1.475 rpm y uno de 2 polos a unas 2.950 rpm.

Las tablas de cada marca de alineador difieren entre sí; por eso conviene dejar escrita en la ficha del equipo qué tabla se usó. Para unificar criterios existe **ANSI/ASA S2.75-2017**, que define tres grados de calidad en función de la velocidad: AL4.5 (mínimo), AL2.2 (aceptable) y AL1.2 (excelente), expresados como ángulo en cada plano de flexión del acople. Como referencia, a 1.800 rpm el grado AL1.2 pide ángulos menores a 0,072 mm/100 mm en ambos planos. Los acoples con espaciador se evalúan con otros criterios; consultá al fabricante del acople.

Crecimiento térmico

Una máquina alineada a cero en frío puede quedar desalineada en caliente: carcasa y soportes se dilatan y la línea de centro sube. Usá los **valores objetivo** del fabricante (offset y ángulo en frío que compensan la dilatación) o estimalos con la dilatación lineal.

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

ΔL crecimiento vertical de la línea de centro, mm

α coeficiente de dilatación del material de los soportes; acero al carbono ≈ 11 a $12 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$; en el ejemplo, $11,5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

L distancia de la base al eje, mm

ΔT aumento de temperatura del soporte entre frío y operación, $^\circ\text{C}$

Ejemplo: una bomba con soportes de acero, 400 mm de la base al eje, cuyo soporte pasa de 20 $^\circ\text{C}$ a 60 $^\circ\text{C}$ ($\Delta T = 40$ $^\circ\text{C}$), crece $\Delta L = 11,5 \cdot 10^{-6} \times 400 \times 40 = 0,184$ mm. Si el motor crece menos, la diferencia queda como valor objetivo en frío: la bomba más baja que el motor. Si el motor creciera la mitad, quedarían unos 0,09 mm, el triple de la tolerancia excelente de offset a 2.950 rpm (0,03 mm). Cuenta la temperatura del soporte, no la del fluido; medila en operación estable o verificá la alineación en caliente, con la máquina recién parada.

Procedimiento en campo

- 01 Seguridad:** bloqueo y etiquetado del motor, válvulas cerradas y bomba despresurizada; verificá que el eje no pueda girar por flujo inverso.
- 02 Inspección:** base, bulones, acople, patas y laines. Retirá laines oxidadas o dobladas.
- 03 Runout:** medí con comparador el descentramiento de cubos y ejes; un cubo descentrado o un eje doblado falsean la medición.
- 04 Pie blando:** corregilo en ambas máquinas hasta quedar por debajo de 0,05 mm en cada pata.
- 05 Alineación gruesa** con regla y galgas, para que el láser trabaje dentro de su rango.
- 06 Medición:** láser bien fijo, ejes girando juntos, distancias reales cargadas; registrá los valores iniciales.
- 07 Corrección vertical** con laines en las patas del equipo móvil, normalmente el motor.
- 08 Corrección horizontal** con tornillos de empuje, siguiendo los valores en vivo y sin golpear la carcasa.
- 09 Verificación final:** bulones al torque en secuencia, nueva medición y control de pie blando.
- 10 Informe** con valores de antes y después, entregado al responsable del equipo.

$$C(x) = O + A \cdot x / 100$$

$C(x)$ corrección en una pata a la distancia x , mm

O offset medido en el centro del acople, mm

A angularidad, mm/100 mm, con el signo que indica el equipo

x distancia del centro del acople a la pata, mm

Ejemplo: el motor está 0,15 mm alto en el acople y su eje sube 0,05 mm/100 mm hacia atrás. Con patas delanteras a 200 mm y traseras a 600 mm del acople, sobran $0,15 + 0,05 \times 2 = 0,25$ mm de laines adelante y $0,15 + 0,05 \times 6 = 0,45$ mm atrás. El láser hace la cuenta solo; entenderla sirve para detectar una distancia mal cargada.

El **informe de alineación** incluye: equipo, velocidad, tipo de acople, tolerancia usada y su origen, valores objetivo térmicos, pie blando por pata, verificación de esfuerzos de cañería, offset y angularidad vertical y horizontal antes y después, laines colocadas, torque de bulones, fecha y responsable.

Checklist para planta

- ☐ Exigí informe de alineación con valores de antes y después en cada intervención de bomba o motor.
- ☐ Definí la tolerancia por equipo según fabricante o, si no la hay, según velocidad, y dejala escrita en la ficha.
- ☐ Medí y corregí pie blando antes de alinear; criterio orientativo, 0,05 mm por pata.
- ☐ Verifiqué esfuerzos de cañería aflojando bridas con el acople monitoreado.
- ☐ Registré los valores objetivo de compensación térmica de los equipos que trabajan calientes.
- ☐ Repetí la alineación de equipos nuevos después de los primeros meses de operación, por asentamiento de la base.
- ☐ Si en el espectro aparecen 1x y 2x con alta componente axial, revisé la alineación antes de cambiar rodamientos.

Cómo te ayuda WPM

Alineamos ejes con equipo láser en campo: medimos y corregimos pie blando, verificamos esfuerzos de cañería, aplicamos la tolerancia del fabricante o la que corresponde a la velocidad, y entregamos informe con valores de antes y después. Podemos sumar una medición de vibraciones para dejar la línea de base del equipo alineado.

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

www.wpmweb.com.ar/servicio-en-campo/alineacion-laser

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

Referencias. ANSI/ASA S2.75-2017 — Shaft Alignment Methodology, Part 1: General Principles, Methods, Practices, and Tolerances · API RP 686 — Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design · ISO 10816-3 / ISO 20816-3 — Evaluación de vibraciones en máquinas industriales · Manuales de usuario de sistemas de alineación láser (tablas de tolerancias según velocidad)

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