

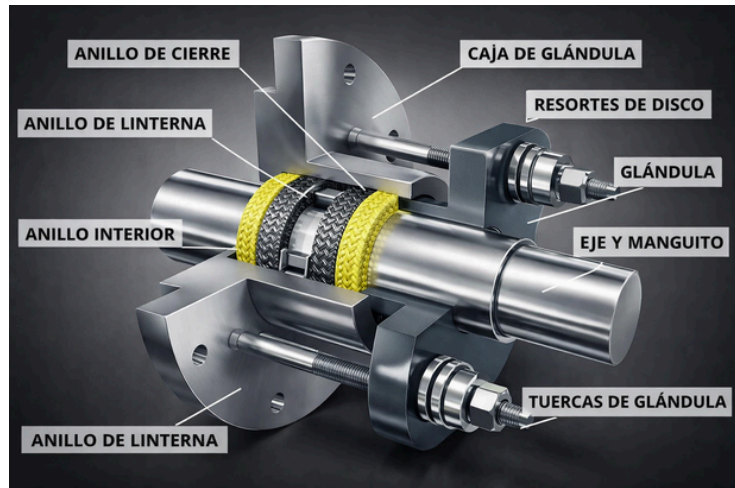
INSTRUCCIONES PARA LA INSTALACIÓN DE LA EMPAQUETADURA

Las prensaestopas que utilizan empaquetadura blanda constituyen un sistema clásico que, a día de hoy, sigue siendo uno de los métodos más empleados para el sellado de equipos industriales con partes en rotación. Su popularidad se debe a su diseño sencillo, su bajo coste de fabricación, la facilidad tanto de montaje como de desmontaje y a la baja probabilidad de fallos bruscos. Además, permiten seleccionar el material de sellado más adecuado según las condiciones de trabajo, como la presión, la temperatura o el tipo de fluido.

Aunque pueda parecer una solución antigua, la empaquetadura blanda ofrece ventajas importantes. Su desgaste suele producirse de forma progresiva, lo que permite detectar el deterioro con antelación. Incluso cuando aumenta la fuga, el equipo puede seguir funcionando, lo que facilita planificar el mantenimiento y organizar la sustitución sin urgencias. El reemplazo, además, es rápido, con tiempos de parada reducidos, y el material necesario suele estar disponible o puede conseguirse fácilmente.

En los últimos años, la durabilidad de este tipo de empaquetaduras ha mejorado notablemente gracias al uso de materiales avanzados como el grafito flexible de alto rendimiento, el PTFE, las fibras de aramida o de carbono. Estos materiales pueden alcanzar niveles de resistencia comparables a los de los sellos mecánicos, manteniendo al mismo tiempo una ventaja económica. Asimismo, la vida útil se incrementa con la incorporación de sistemas de protección en las prensaestopas modernas, como anillos linterna y la inyección de fluidos de lavado, que ayudan a reducir la carga sobre el sistema de sellado y evitan la entrada de partículas sólidas.

Las soluciones más sofisticadas pueden incluir también dispositivos como deflectores de partículas, sistemas independientes de fluido de barrera, mecanismos de lubricación, limpieza o refrigeración, e incluso, en ciertos casos, sistemas de calentamiento del propio sello.



1. Consideraciones de seguridad

La empaquetadura, por sí misma, no presenta riesgos para la salud ni para el medio ambiente cuando se utiliza en condiciones normales. Sin embargo, durante su instalación es imprescindible aplicar las medidas de seguridad correspondientes al equipo en el que se va a montar.

Antes de comenzar la instalación, es necesario asegurarse de que el equipo esté completamente apagado y desconectado de la alimentación eléctrica. Asimismo, el sistema debe encontrarse sin presión, con las válvulas cerradas y sin partes móviles que puedan suponer un riesgo para el operario.

En aquellos casos en los que el equipo haya trabajado con sustancias peligrosas, se debe realizar una purga previa del sistema. Además, el personal encargado de la intervención deberá utilizar los equipos de protección individual adecuados.

En relación con los residuos y los elementos desgastados de la empaquetadura blanda, es importante considerar que muchos de sus componentes, como el PTFE, las fibras de aramida, las siliconas y la mayoría de los elastómeros, son materiales poliméricos con muy baja biodegradabilidad, lo que hace que permanezcan durante largos periodos en el entorno.

Por este motivo, estos residuos deben manipularse y gestionarse de forma adecuada. Una vez retirados, se recomienda que su eliminación o reciclaje sea realizado por el propio proveedor o mediante gestores autorizados. En ningún caso deben ser incinerados ni sometidos a temperaturas superiores a 300 °C, ya que en esas condiciones pueden desprender sustancias peligrosas como dioxinas, furanos, compuestos fluorados y otros gases tóxicos.

Estas precauciones también se aplican a materiales que a simple vista pueden parecer inofensivos, como los basados en fibras vegetales o grafito expandido, ya que, aunque su origen sea natural, pueden haber absorbido compuestos perjudiciales procedentes del fluido de trabajo.

2. Retirada del empaque desgastado

Durante la retirada o manipulación de la empaquetadura, es fundamental evitar dañar o rayar las superficies del prensaestopa.

Cuando el fluido es limpio y no presenta riesgos, al aflojar el prensaestopa, la empaquetadura desgastada puede expulsarse fácilmente gracias a la presión interna del sistema.

En situaciones más complejas, será necesario utilizar un extractor específico, generalmente con punta en forma de sacacorchos. Este debe introducirse en al menos dos puntos opuestos de la empaquetadura antigua para evitar bloqueos, permitiendo así extraer los anillos de manera uniforme mediante un movimiento de roscado.



Tanto en el desmontaje como en la instalación de una nueva empaquetadura, es recomendable emplear herramientas adecuadas, ya que facilitan el trabajo, reducen riesgos y optimizan tiempos y costes.

Antes de instalar el nuevo material, el prensaestopa debe limpiarse cuidadosamente, eliminando cualquier signo de corrosión y los restos cristalizados del fluido de proceso. Asimismo, el eje o su manguito deben presentar una superficie lisa, limpia y libre de defectos como depósitos de carbono, rayaduras o grietas, ya que cualquier imperfección puede acelerar significativamente el desgaste de la empaquetadura.

En casos severos, puede ser necesario reparar el eje mediante soldadura y rectificado, o sustituir el manguito. Las soluciones más modernas incorporan manguitos protectores de alta dureza, diseñados para ser rectificadas o reemplazados varias veces, prolongando así la vida útil del conjunto.

3. Inspección de la glándula

El estado y la calidad de las superficies que están en contacto directo y en movimiento con la empaquetadura son factores clave que influyen en su vida útil. En la práctica, dado que hoy en día es poco habitual trabajar sin manguitos protectores, el término "eje" se utiliza para referirse tanto al eje propiamente dicho como al eje con manguito.

Las condiciones requeridas para el eje son comparables a las de los cojinetes lisos, siendo recomendable una rugosidad superficial equivalente a un rectificado fino ($Ra \leq 0,63$). En cuanto al resto de superficies en contacto con la empaquetadura, no es necesario un acabado tan exigente, siendo suficiente un mecanizado preciso con una rugosidad de hasta $Ra \leq 5$.

Para minimizar el desgaste del eje, se aconseja una dureza superficial en torno a 60 HRC. No obstante, en el caso de empaquetaduras con bajo coeficiente de fricción, como las basadas en PTFE, estos requisitos pueden ser menos estrictos. En materiales como el grafito flexible, incluso no es necesaria una dureza mínima, ya que se genera una película lubricante sobre el eje que transforma la fricción en un comportamiento más similar al de una lubricación interna.

A pesar de ello, cualquier tipo de empaquetadura puede retener partículas abrasivas presentes en el fluido de proceso, lo que puede provocar un desgaste indirecto del eje.

La holgura entre el eje y la carcasa debe mantenerse dentro de los valores recomendados, normalmente no superiores a 0,5 mm. En equipos con un desgaste significativo, donde esta tolerancia pueda verse superada, es posible recurrir a anillos de sellado fabricados con empaquetaduras de alta resistencia o reforzadas con fibras de carbono o aramida.

Asimismo, la excentricidad del eje debe controlarse cuidadosamente, manteniéndose dentro de los límites estándar y sin superar los 0,1 mm o, como referencia, una centésima parte del ancho de la empaquetadura.

4. Reglas generales para la selección del embalaje

La elección del material de empaquetadura para condiciones de trabajo específicas puede analizarse en dos grandes grupos de parámetros.

El primero incluye aquellos factores que se consideran determinantes, como el tipo de servicio, el nivel de agresividad del medio, el pH, el rango de temperatura y las dimensiones adecuadas. También es fundamental tener en cuenta la compatibilidad química, ya que ciertos fluidos pueden reaccionar con los componentes de la empaquetadura o incluso degradarlos. El incumplimiento de estos criterios puede provocar un deterioro prematuro o la destrucción del material.

En cuanto a la resistencia térmica, es importante diferenciar entre la temperatura del fluido y la temperatura real de funcionamiento del prensaestopa. Debido a la fricción, esta última siempre será superior, por lo que se recomienda prever un margen mínimo de 50 °C. En aplicaciones con altas presiones, velocidades elevadas o condiciones de sellado con escasa fuga, este margen de seguridad debe incrementarse.

El segundo grupo está formado por parámetros más relativos, como la presión, la velocidad lineal y el tipo de aplicación. La empaquetadura no suele fallar por la acción de un único factor, sino por la combinación de varios. Por ello, es recomendable evaluar el denominado factor dinámico pV, que resulta del producto entre presión y velocidad. Este valor permite estimar el comportamiento del material bajo condiciones reales de trabajo.

Un pV elevado suele indicar buena resistencia mecánica, adecuada disipación térmica y bajo coeficiente de fricción, lo que se traduce en una menor tasa de desgaste.

Además, el tipo de aplicación desempeña un papel clave en la selección. Es necesario considerar las condiciones específicas de cada equipo, como la alta velocidad de giro en bombas centrífugas, las grandes superficies de fricción en bombas de pistón, las elevadas presiones en válvulas o las cargas radiales en mezcladores. En función de estas condiciones, los fabricantes establecen límites de operación para cada tipo de uso.

Por último, no deben olvidarse los requisitos sanitarios cuando la aplicación lo requiera. En sectores como el alimentario, farmacéutico o cosmético, los materiales deben cumplir normativas estrictas, como el Reglamento (CE) n° 10/2011 relativo a materiales en contacto con alimentos. En estos casos, es imprescindible utilizar empaquetaduras que hayan sido ensayadas en condiciones de migración y dispongan de certificaciones sanitarias adecuadas. Certificaciones como las del NIH o la FDA pueden servir como referencia, pero por sí solas no garantizan el cumplimiento de la normativa europea vigente.

5. Preparación del anillo

La selección del tamaño de la empaquetadura debe garantizar que, una vez conformado el anillo, este pueda colocarse correctamente en el alojamiento del prensaestopa sin holguras excesivas ni interferencias. Habitualmente, los fabricantes de los equipos especifican tanto las dimensiones como la cantidad de material necesarias para su sustitución.

En caso de no disponer de esta información, es posible determinar el tamaño adecuado mediante medición directa del espacio de trabajo, considerando el diámetro del eje y el diámetro interior de la caja de empaquetadura. La mitad de la diferencia entre ambos valores corresponde al espesor requerido.

Es importante contemplar una tolerancia adicional para la torsión del material y una ligera holgura de montaje, que normalmente se sitúa entre el 10 % y el 20 % del espesor, aunque este valor puede variar según el tipo de empaquetadura y la experiencia del operario. Dado que estos materiales presentan cierta flexibilidad y se fabrican en un amplio rango de dimensiones, ante cualquier duda es preferible optar por una sección ligeramente menor, ya que es más sencillo compensar la holgura mediante el apriete del prensaestopa que corregir problemas derivados de un ajuste excesivo.

Para mejorar la adaptación del material, puede realizarse un ligero conformado previo utilizando herramientas cilíndricas, sin afectar a sus propiedades. En empaquetaduras de aramida o fibra de carbono, es recomendable dar una forma ligeramente trapezoidal, de modo que al cerrar el anillo se genere una mejor distribución de la presión, eliminando espacios vacíos y reduciendo la carga directa sobre el eje. Esto favorece la formación de una película lubricante y contribuye a aumentar la vida útil del sistema, especialmente en aplicaciones de alta exigencia mecánica.

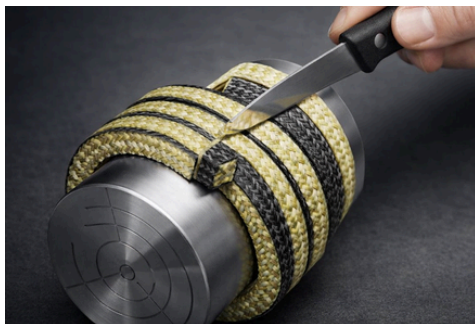
Corte de los anillos

Los anillos pueden prepararse mediante distintos métodos, como el uso de herramientas de medición específicas, el enrollado sobre un eje de referencia o el cálculo teórico de las longitudes. Sin embargo, este último método resulta poco preciso, ya que no tiene en cuenta adecuadamente la compresión del material tras su instalación, que varía según su composición y estructura.

Una técnica más fiable consiste en enrollar la empaquetadura sobre un eje cuyo diámetro se ajuste al requerido, pudiendo adaptarse fácilmente mediante el uso de láminas de cartón o plástico flexible. Se recomienda que el diámetro sea ligeramente superior al real, de forma que los anillos queden levemente sobredimensionados y se garantice una correcta holgura durante el montaje.

El corte puede realizarse tanto en ángulo recto como en bisel. En aplicaciones como válvulas, se recomienda un corte a 45°, ya que mejora la estanqueidad en la zona de unión. En el caso de cortes rectos, para asegurar un buen contacto entre extremos, es aconsejable aplicar una ligera inclinación en ambos lados del corte. Dependiendo del material y del diámetro del eje, este bisel suele situarse entre 10° y 20°.

Para obtener un resultado óptimo, el corte debe realizarse con una herramienta bien afilada y mediante un movimiento firme y continuo. Dado que muchas empaquetaduras incorporan refuerzos metálicos o fibras de alta resistencia, como las de aramida, el proceso puede resultar exigente y provocar un desgaste rápido de las herramientas convencionales.



Por este motivo, la opción más eficiente es el uso de una guillotina específica para empaquetaduras, que permite realizar cortes precisos, definir la longitud exacta de cada segmento y ajustar el ángulo adecuado de forma rápida y repetible.

6. Instalación de anillos

La sección de empaquetadura, una vez cortada con precisión, debe enrollarse formando un anillo, haciendo coincidir sus extremos para lograr un sellado totalmente hermético, sin dejar huecos. Primero se introduce la unión del anillo en la cámara y, a continuación, se va colocando el resto de forma progresiva. Es importante comprobar que el anillo queda correctamente asentado, presionándolo mediante la prensaestopas o con una herramienta específica, como un rodillo flexible de plástico. La resistencia uniforme y la profundidad de inserción de la herramienta permiten confirmar que el anillo está bien colocado. Además, las uniones de cada anillo deben posicionarse en diferentes ángulos, distribuyéndolas de manera uniforme para evitar puntos débiles en el conjunto.

Para garantizar el correcto funcionamiento de la prensaestopas, tras colocar el último anillo debe mantenerse un espacio libre equivalente, al menos, a la mitad del espesor del material de empaquetadura.

En aquellos sistemas donde la prensaestopas dispone de barrera o de fluido refrigerante o lubricante —una solución cada vez más habitual en bombas que trabajan con medios contaminados, peligrosos o en condiciones de aspiración—, es fundamental limpiar previamente los conductos y líneas de suministro, asegurando que no haya obstrucciones y que el flujo sea adecuado. El conjunto debe incorporar un anillo linterna especial, normalmente situado entre dos o tres anillos de empaquetadura, colocado de forma que permita el paso libre del fluido desde la entrada hacia el interior del alojamiento. La presión del fluido de barrera debe ser ligeramente superior a la del medio de proceso, ya que cualquier impureza puede bloquear fácilmente los conductos. El anillo de lavado debe mantener la separación adecuada y permitir la circulación entre las distintas partes de la empaquetadura; si su funcionamiento es deficiente o presenta desgaste, será necesario sustituirlo.

Es habitual emplear conjuntos prefabricados de anillos flexibles de grafito con densidades comprendidas entre 1,4 y 1,6 g/cm³. En estos casos no es preciso realizar una precompresión; basta con aplicar la presión adecuada mediante la prensaestopas tras la instalación, según las indicaciones del fabricante de la válvula o mediante la acción de los resortes del sistema. Por lo general, las empaquetaduras de grafito requieren presiones de entre 60 y 120 N/mm². La carga en los pernos puede estimarse dividiendo este valor por el área de la sección transversal del anillo de sellado.

Los anillos deben colocarse próximos a la caja de empaquetadura, dejando un pequeño espacio en la zona de contacto con el eje. Esto permite concentrar la presión en la pared exterior y reducirla sobre el eje durante la puesta en marcha. De esta manera se facilita la formación de una película lubricante, disminuyendo la fricción y evitando que el conjunto gire solidariamente. La empaquetadura alcanza su forma y ajuste óptimos durante el arranque y en las primeras fases de compresión del sistema.



7. Inicio y ajuste de la glándula

Una vez instalados todos los anillos dentro de la cámara, se debe montar la prensaestopas y ajustar ligeramente los tornillos. Después de abrir las válvulas de cierre y permitir la entrada del fluido, se procede a poner en marcha la bomba. Durante la fase inicial de funcionamiento, es imprescindible que la empaquetadura permita un goteo continuo del fluido bombeado. En este periodo, el material de la empaquetadura aumenta de volumen al absorber el medio, lo que genera un autosellado progresivo al expandirse y ejercer presión sobre el eje. Este goteo es fundamental para el correcto funcionamiento; si desaparece, será necesario aflojar la prensaestopas para recuperarlo.

Transcurrida aproximadamente una hora, se debe comenzar a apretar la prensaestopas de manera gradual y uniforme. Los tornillos deben ajustarse poco a poco, dejando intervalos de varios minutos entre cada ajuste y manteniendo siempre un goteo constante. Este procedimiento se repetirá hasta alcanzar una fuga de al menos 60 gotas por minuto, aunque este valor puede variar en función de factores como el tipo de fluido, la presión, la temperatura, la excentricidad del eje o el tipo de empaquetadura. La temperatura de la prensaestopas no debe elevarse de forma normal; se permite un incremento máximo de 50 °C respecto a la temperatura del fluido. Si se supera este límite, será necesario detener la bomba, aflojar la prensaestopas y reiniciar el proceso.

En los casos en que la prensaestopas disponga de un sistema de fluido de barrera, refrigeración o lubricación —cada vez más habitual en bombas que trabajan con medios contaminados, peligrosos o en aspiración—, es imprescindible limpiar los conductos y líneas de suministro, asegurando que no estén obstruidos. El conjunto debe incorporar un anillo linterna específico, normalmente situado entre dos o tres anillos de empaquetadura, colocado de forma que facilite el paso del fluido desde la entrada hacia el interior del alojamiento. La presión del fluido de barrera debe ser ligeramente superior a la del medio, ya que la presencia de suciedad puede bloquear fácilmente los conductos. El anillo de lavado debe garantizar una separación adecuada y permitir la circulación entre las distintas partes de la empaquetadura; si su rendimiento disminuye o presenta un desgaste excesivo, deberá sustituirse.

A lo largo de toda la vida útil de la empaquetadura, es necesario controlar el nivel de goteo y ajustarlo según sea necesario. Se debe prestar especial atención ante cambios en las condiciones de funcionamiento de la bomba: una caída de presión puede provocar la interrupción del goteo y un rápido aumento de la temperatura, lo que podría ocasionar agrietamientos y daños en el sistema. El desgaste total del conjunto durante un ciclo de operación no debe superar el 50 % de su altura inicial; en caso contrario, deberá reemplazarse. No es recomendable añadir nuevos anillos para alargar su vida útil. De hecho, el mayor deterioro suele producirse en la fase final de uso, cuando la estructura del material está degradada y contiene partículas y residuos generados por el propio desgaste y arrastrados por el fluido.

8. Instalación de empaquetaduras en válvulas

Las exigencias de estanqueidad en las prensaestopas de equipos industriales son más estrictas. En este tipo de aplicaciones se busca un sellado prácticamente total, a diferencia de las bombas, donde se admite una ligera fuga de forma controlada. En las válvulas, el elemento móvil del sistema de sellado se desplaza lentamente, ya sea mediante rotación o movimiento axial, lo que genera menor fricción y permite aplicar mayores presiones en la prensaestopas. Como resultado, el sistema puede operar prácticamente sin fugas. Sin embargo, cuando existen holguras apreciables entre el husillo y el alojamiento, estas altas presiones pueden provocar la extrusión del material de sellado a través de los espacios disponibles. Por esta razón, las empaquetaduras destinadas a válvulas suelen tener una estructura más densa o incorporar refuerzos metálicos.

En instalaciones como centrales eléctricas, donde el vapor puede alcanzar presiones de hasta 300 bar y temperaturas cercanas a 650 °C, las condiciones de trabajo son extremadamente exigentes. Esto limita el uso de materiales y hace necesario aplicar procedimientos de montaje específicos para los sellos de grafito-metal. Para su correcta instalación, los anillos deben cortarse con precisión y colocarse en la caja de empaquetadura de forma similar a las bombas, siendo recomendable un corte en bisel para mejorar la estanqueidad en las uniones. La prensaestopas se ajusta hasta percibir una resistencia clara, comprobando simultáneamente el movimiento del husillo para asegurar su correcto funcionamiento. En el caso de empaquetaduras de grafito con densidad inicial de 1,1 g/cm³, es necesario compactarlas hasta alcanzar al menos 1,4 g/cm³. Esto implica comprimir el conjunto hasta aproximadamente el 70 % de su volumen inicial, pudiendo añadirse uno o dos anillos adicionales si fuese necesario.

Esta compresión contempla una holgura de montaje cercana al 10 % entre el empaque y el espacio disponible; si dicha holgura es mayor, será necesario incrementar la presión aplicada. Por ejemplo, con una holgura del 20 %, la presión requerida también aumenta de forma significativa. Cuando la válvula dispone de arandelas elásticas tipo muelle de disco, la presión adecuada se obtiene al comprimirlas completamente. Se recomienda el uso de empaquetaduras trenzadas con malla metálica HTR o fabricadas con fibra de carbono. Tras la instalación en la línea, es importante verificar posibles fugas y, aunque no se detecten, reapretar la prensaestopas después de un día de funcionamiento.

Es habitual emplear conjuntos prefabricados de anillos de grafito flexible con densidades comprendidas entre 1,4 y 1,6 g/cm³. En estos casos no es necesario realizar una precompresión previa, bastando con aplicar la carga adecuada mediante la prensaestopas según las indicaciones del fabricante o mediante los muelles del sistema. Generalmente, este tipo de empaquetadura requiere presiones de entre 60 y 120 N/mm², pudiendo calcularse la carga en los pernos en función del área de la sección transversal del anillo de sellado.

También es posible fabricar anillos de grafito a partir de cinta (preferiblemente corrugada), enrollándola alrededor del husillo y compactándola posteriormente hasta superar una densidad de 1,4 g/cm³. Este nivel de compactación se consigue aplicando y liberando presiones en el rango de 30 a 50 N/mm. Es importante ajustar la cantidad de material para que el anillo resultante tenga una sección transversal cuadrada.

En aplicaciones de menor exigencia, como válvulas de baja presión, instalaciones de agua o gas, compuertas y sistemas de fontanería, se puede recurrir a una mayor variedad de materiales de sellado. Aunque algunos fabricantes distinguen entre empaquetaduras para bombas y válvulas, en la práctica muchas de ellas son intercambiables, siempre que cumplan con los requisitos de presión, temperatura y compatibilidad con el fluido. En estos casos también se busca evitar fugas, pero no es necesario precomprimir el empaque como ocurre con el grafito flexible. Durante el arranque, la prensaestopas debe ajustarse hasta eliminar completamente cualquier fuga y, tras un tiempo de funcionamiento, volver a apretarse para asegurar un margen adecuado de presión.

Por lo general, en válvulas se aplican presiones más elevadas en la prensaestopas que en bombas, habitualmente entre dos y tres veces la presión del fluido. Una mayor presión de contacto suele traducirse en un sellado más fiable y con menos necesidad de ajustes posteriores, aunque también implica un desgaste más rápido del material. Este comportamiento depende en gran medida del tipo de empaquetadura y de la experiencia del operario. De hecho, el conocimiento práctico del personal de mantenimiento y su familiaridad con el equipo resultan fundamentales y no pueden ser sustituidos por instrucciones, por detalladas que estas sean.