



EL SELLAJE, UN PROBLEMA COMPLEJO EN LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES Y DE SERVICIOS

Enoc Duliep Lescaille
Septiembre del 2001

Resumen / Abstract

El escape de líquidos, aire comprimido, vapor u otros fluidos en las instalaciones industriales o de servicios representan pérdidas cuantiosas. Estas fugas ocurren fundamentalmente en los puntos donde el eje de la máquina atraviesa el cuerpo de ésta, en los vástagos de las válvulas y en las uniones. En el presente trabajo se dan criterios para la selección de los diferentes materiales utilizados en el sellaje de estos puntos y su adecuado montaje, todo lo cual influirá en alargar la vida útil de éstas, disminuir estas pérdidas y los costos por concepto de mantenimiento.

Palabras claves: sellos, sellar, sellaje, empaquetaduras, hermetización, hermetizar.

The fluid leakage as compressed air; steam or others in the industrial facilities or services represent considerable losses. These leakages fundamentally happen in the points where the axis of the machine crosses its body, in the stem of the valves and in the unions. Presently paper approaches are given for the selection of the different materials used in the sealing of these points and their appropriate assembly, all that which will influence in lengthening the useful life of these, to diminish these losses and the maintenance costs.

Key words: stamps, to seal, sealing, packing, close, packing, to make tight.

INTRODUCCIÓN

En una instalación hidráulica (líquido, aire, gas industrial, vapor, etc.) existen diferentes puntos donde existen fugas. Los puntos más comunes se encuentran en los lugares donde el eje atraviesa el cuerpo de la bomba o compresor, los vástagos de las válvulas y las uniones. Estas fugas representan pérdidas de energía y es posible cuantificarlas.

Para eliminar o disminuir las fugas se utilizan las *empaquetaduras*, que son productos conformados con fibras o hilos torcidos y entrelazados con la finalidad de sellar los puntos de fugas anteriormente mencionados. De ahí que sea grande la importancia de ese elemento. Las empaquetaduras se clasifican en [5]:

- ✓ **Empaquetaduras celulósicas:** Este grupo comprende a todas aquellas conformadas con materiales celulósicos.
- ✓ **Empaquetaduras de material mineral:** Este grupo comprende a todas aquellas conformadas con fibras de origen mineral como los asbestos, micas, carbones y otros metales.
- ✓ **Empaquetaduras de material sintético:** Este grupo comprende a todas aquellas conformadas por materiales sintéticos, siendo el más común el *politetracloruroetileno*, cuya simbología es P.T.F.E. más conocido por *teflón*.

SELECCIÓN DE LAS EMPAQUETADURAS

Para una correcta selección de la empaquetadura a utilizar en un servicio dado es necesario conocer el régimen de trabajo a que ésta estará sometida y los parámetros físico-químicos del fluido de trabajo (pH, presión, velocidad superficial del eje de la máquina, factor PV y temperatura en la caja estancadora)

El factor PV es el producto de la presión que se ejerce en el estopero (lugar donde va montada la empaquetadura) y la velocidad superficial del árbol de la máquina de flujo. El valor de la presión se puede asumir igual a 2/3 de la presión de descarga de la máquina [1]. En dependencia del catálogo, la unidad de esta presión puede ser MPa (megapascal), libra por pulgada cuadrada, etc. La velocidad superficial se determina por la expresión:

$$V = \pi d n / 60, \text{ m/s}$$

donde:

d- diámetro del eje de la máquina, m

n- frecuencia de rotación del eje de la máquina, rpm

Para la selección del material de la empaquetadura de acuerdo a los parámetros químicos del fluido (acidez) se puede hacer uso de la tabla 1 [5].

Tabla 1 Determinación del tipo de fibras de acuerdo a los valores pH

pH	Tipo de fibras
0 a 1	Fibras de P:T:F:E, fibras carbónaceas, grafito flexible.
2 a 3	Fibras de P:T:F:E, fibras carbonáceas, asbesto blanco con dispersión de P:T:F:E, grafito flexible.
4 a 5	Fibras de P:T:F:E, fibras carbonáceas, asbesto blanco con dispersión de P:T:F:E, grafito flexible, vidrio.
6 a 7	Fibras de P:T:F:E, fibras carbonáceas, grafito flexibles, asbesto blanco con dispersión de P:T:F:E, celulósicas, metal, vidrio.
8 a 9	Fibras de P:T:F:E, fibras carbonáceas, asbesto blanco con dispersión de P:T:F:E, celulósicas, vidrio, grafito flexible.
10 a 11	Fibras de P:T:F:E, fibras carbonáceas, metal, asbesto blanco con dispersión de P.T.F.E, cobre, grafito flexible.
12 a 13	Fibras de P.T.F.E, fibras carbonáceas, asbesto blanco con dispersión de P.T.F.E, grafito flexible.
14	Fibras de P.T.F.E, fibras carbonáceas, grafito flexible.

Para seleccionar los materiales según los parámetros físicos del régimen de operación se utiliza la tabla 2 [5].

Tabla 2 Materiales a seleccionar según los parámetros físicos del régimen de operación

Presión MPa	Veloc. superficial, m/s	Factor PV		Temperatura en el estopero (K)	Celulósicas	MINERAL				Sintético (PTFE)
		Min	Max			Fibra carbonácea	Grafito flexible	Asbestos	Aluminio	
0 a 0,3	0,26 a 4,58	0	1,374	283 a 338	X	X	X	X	X	X
				339 a 533	-	X	X	X	X	X
				534 a 588	-	X	X	X	X	-
				589 a 672	-	X	X	X	X	-
0,4 a 0,68	4,58 a 9,42	1,83	6,4	283 a 338	X	X	X	X	X	X
				339 a 533	-	X	X	X	X	X
				534 a 588	-	X	X	X	X	-
				589 a 672	-	-	X	X	X	-
0,7 a 1,19	4,58 a 9,42	3,2	11,2	283 a 338	-	X	X	X	X	-
				339 a 533	-	X	X	X	X	-
				534 a 588	-	X	X	X	X	X
				589 a 672	-	X	X	X	X	X
1,2 a 1,7	4,58 a 9,42	5,50	16,0	283 a 338	-	-	X	-	X	-
				339 a 533	-	-	X	-	X	-
				534 a 588	-	-	-	-	-	-
				589 a 672	-	-	-	-	-	-

Como se puede ver en estas dos tablas, los materiales seleccionados pueden ser:

- ✓ Celulósicas
- ✓ Mineral:
 - Fibras Carbonáceas
 - Grafito flexible
 - Asbestos
 - Aluminio
- ✓ Sintético (P.T.F.E)

El asbesto es un mineral de estructura fibrosa, siendo el más usado en las empaquetaduras el crisolítico o de serpentina, que es una variedad fibrosa del mineral de ensolita ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). También se utiliza la mica, que es un mineral en forma de cristales, cuya peculiaridad es la de poderse espolpear fácilmente en láminas. Por su composición química, los diversos tipos de mica están compuestos por silicato hidratado de potasio, aluminio y magnesio.

Los materiales celulósicos utilizados en la conformación de las empaquetaduras, son de fibras naturales de origen vegetal (lino, cáñamo, algodón y yute).

El grafito, otro material muy utilizado en la conformación de las empaquetaduras, es una modificación del carbón puro, de estructura laminar con gran anisotropía de sus propiedades, tanto eléctricas como mecánicas.

Con la información brindada en las tablas 1 y 2 se selecciona la empaquetadura acorde con el surtido que ofrece el mercado. Actualmente se fabrican algunos surtidos en Cuba, y otros son de importación. Ejemplo de esto último son las firmas:

- **MAMUSA (Venezuela)**: Fabrican empaquetaduras mecánicas y empaquetaduras en láminas para diferentes tipos de servicio [2].
- **Montero (España)**: Fabrican empaquetaduras y juntas para diferentes tipos de servicios [4].
- **Johns Manville (México)**: Empaquetaduras de todo tipo [3].
- También se puede revisar la **NC-15-80** [5] para los surtidos fabricados en Cuba.

MONTAJE DE LAS EMPAQUETADURAS

Para obtener buenos resultados en el trabajo de la empaquetadura es necesario cumplir las siguientes recomendaciones [1]:

1. Cuando se cambie una empaquetadura, hay que extraer totalmente la antigua, eliminando todos los restos que pueda haber, limpiando escrupulosamente el estopero y el eje.
2. Comprobar si existe algún defecto mecánico, por ejemplo: excentricidad, desgaste, rayado, etc. En caso de detectarse alguna anomalía, esta debe corregirse, puesto que si se monta la empaquetadura nueva en estas condiciones se destruirá rápidamente.
3. Elegir la empaquetadura adecuada a cada servicio, cortando los anillos con suficiente longitud y dejando el espacio correspondiente al prensa-estopas. Una forma de medir, para que la longitud sea correcta, es enrollando la empaquetadura sobre el mismo eje que se va a empaquetar.
4. Para empaquetar, no se debe enrollar la empaquetadura en espiral sobre el eje. Esto solamente se puede hacer en válvulas de sección muy pequeñas del prensa-estopas.
5. Los anillos cortados deben ir colocándose en el estopero de uno en uno, encajándolos en el prensa-estopas y poniendo la unión del siguiente a 90° aproximadamente del anterior.
6. Una vez lleno el estopero, atornillar el prensa-estopas con una llave, apretándolo suavemente para que la empaquetadura quede asentada. Después, aflojar los tornillos para permitir a la empaquetadura expansionarse a su volumen normal. Posteriormente se ajustan los tornillos utilizando la presión de los dedos.
7. Poner la máquina en marcha y no alarmarse por el goteo inicial (que debe existir), y no apretar fuertemente la empaquetadura para cortar el goteo, puesto que en este caso, esta se destruirá rápidamente y además desgastará al eje. El excesivo goteo durante la primera hora de operación dará por resultado un mejor trabajo de la empaquetadura.
8. Para ir controlando el goteo inicial, se debe esperar 20 minutos y apretar cada vez los tornillos de la prensa-estopas con 1/6 de vuelta, volviendo a esperar otros 10 minutos, repitiendo la operación si es necesario. Estas operaciones tienen como objetivo que la empaquetadura se vaya asentando en el estopero y trabaje correctamente. Por lo general, antes de que se estabilice el goteo transcurre un día de trabajo. El goteo normal para un eje de 25 mm a 3 600 rpm. debe ser aproximadamente de dos gotas por segundo. Para ejes de tamaño mayores se debe incrementar el goteo. Para velocidades menores de 3600 rpm. lo normal es un goteo menor.
9. Reemplace la empaquetadura cuando el goteo ya no pueda ser controlado por medio del apriete del prensa-estopas.

En el caso del montaje de las empaquetaduras de P.T.F.E (teflón), hay que tener en cuenta que este material tiene pobres propiedades de transferencia de calor, puesto que si al principio se calienta excesivamente, se llega a la destrucción rápida de la

empaquetadura. Por lo tanto, se recomienda apretar al inicio el prensa-estopas únicamente con los dedos, dejando al principio una fuga de 90 a 100 gotas por minuto. Esto debe durar 15 minutos y luego ir apretando hasta reducir las fugas de 3 a 5 gotas por minuto. Si el estopero se calentase anormalmente, habrá que aflojar los tornillos y repetir nuevamente esta operación.

Las empaquetaduras de los vástagos de las válvulas tienen que ser compactas para que no permitan el paso del líquido o del gas a través del cuerpo de la misma empaquetadura. La presión del prensa-estopas debe ser suficiente como para que la empaquetadura detenga el paso del fluido encerrado, bien a lo largo del vástago o las paredes del estopero. Una presión excesiva elevará considerablemente el coeficiente de fricción entre empaquetadura y vástago, dificultando el movimiento de este último.

Para empaquetar válvulas se debe seguir las recomendaciones siguientes [1]:

1. Ejecutar cuidadosamente todas las operaciones descritas en los puntos 1,2,3,4 y 5 de las recomendaciones dadas anteriormente para las bombas. Los anillos usados en válvulas y juntas de expansión deben ser cortados en chaflán con un ángulo de 45 grados.
2. Ajustar el prensa-estopas sobre la empaquetadura hasta suprimir totalmente el goteo.
3. Dejar a la válvula trabajar un día, más o menos, y si al cabo de este período existe goteo, aunque sea mínimo, ajustar el prensa-estopas hasta que cese de gotear completamente. Aunque no exista goteo después de un día de trabajo, el prensa-estopas debe ajustarse ligeramente.

FALLAS MÁS COMUNES DE LAS EMPAQUETADURAS Y SUS CAUSAS

Se debe revisar cuidadosamente la empaquetadura retirada de un estopero, pues ello puede dar indicio de la condición del equipo y posiblemente el medio para resolver problemas relacionados con la empaquetadura. En la tabla 3 [3] se dan los indicios y las causas posibles encontrados por medio del examen de empaquetaduras que han estado de servicio.

Tabla 3 Fallas más comunes de las empaquetaduras y sus causas

Indicio	Causas
Reducciones excesivas en la sección de la empaquetadura con la parte en contacto con el eje, vástago o embolo.	Cojinetes, vástagos o eje soportado por la empaquetadura, Durante el servicio se observará un goteo prematuro alrededor de la parte superior del vástago o eje.
Reducción excesiva en el grueso de la empaquetadura situada exactamente arriba o a un lado del eje o vástago.	Émbolos desalineados y en el caso del eje o vástago, los cojinetes pueden estar muy gastados, causando un efecto de látigo sobre el eje.
Falta de uno o más anillos del juego.	Fondo del estopero desgastado con la empaquetadura arrojada dentro del sistema. Pueden producir considerables contratiempos, tales como la empaquetadura introduciéndose dentro de las válvulas, sumideros o contaminar el fluido en proceso.
Desgaste sobre el diámetro exterior de la empaquetadura.	Los anillos girando junto con el eje o sueltos dentro del estopero.
Abultamiento en uno o más lados del anillo.	Los anillos adyacentes cortados devanados cortos motivando que a causa de la presión, la empaquetadura sea forzada al entrar en el espacio abierto.
Los anillos próximos al prensa-estopas muy deformado con los anillos del fondo en regular condición.	Instalación inadecuada de las empaquetaduras y excesiva presión del prensa-estopas.
Tendencia de la empaquetadura a laminarse o introducirse entre el eje o vástago y el orificio del prensa-estopas.	Presión o probablemente demasiada holgura entre el eje o vástago y el prensa-estopas.
La superficie de fricción de los anillos seca y carbonizada, con el resto de la empaquetadura en buenas condiciones.	Altas temperaturas con falta de lubricación.

CONCLUSIONES

Para obtener mejores resultados en las empaquetaduras deben cumplirse los **cuatro factores** principales que influyen en la vida y rendimiento de las mismas. Ellos son:

1. **Calidad de la empaquetadura usada:** Cuesta mucho menos la empaquetadura que la producción o servicio perdido por el trabajo de reposición. El uso de empaquetadura de baja calidad en ocasiones puede dañar el equipo. Por lo tanto, resulta más barato a la larga, emplear empaquetaduras de la mejor calidad.
2. **Elección del estilo adecuado:** Las recomendaciones de los fabricantes deben ser tenidas en cuenta. En casos especiales ellas deben ser consultadas.
3. **Condición mecánica del equipo:** Si los cojinetes, ejes, camisas, etc., están en malas condiciones, se obtendrá un pobre sellaje y corta vida de la empaquetadura.
4. **Instalación y lubricación de la empaquetadura:** Las empaquetaduras instaladas y lubricadas correctamente ayudan al equipo a trabajar eficientemente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Duliep Lescaille, E.: Curso de Posgrado de Bombas, Ventiladores y Compresores, ISPJAE, 1998.
2. MAMUSA: Empaquetaduras Industriales, Venezuela (Catálogo).
3. MANVILLE: Sugerencias para el manejo de empaquetaduras, México (Catálogo).
4. MONTERO: Empaquetaduras y Juntas, España, 1998 (Catálogo).
5. NC-15-80: Selección de empaquetadura, Cuba, 1989 (norma).

Autor

Dr. Ing. Enoc Duliep Lescaille,
Profesor Titular Instituto Superior Politécnico
"José Antonio Echeverría" (ISPJAE)
Calle 127 s/n, Apartado 6028, Habana 6, Marianao,
Ciudad de La Habana, Cuba.
E-mail: eduliep@mecanica.ispjae.edu.cu