

Reducir emisiones de metano de los sistemas de empaquetadura del vástagos del compresor



Sumario

Más de 51,000 compresores reciprocatantes están funcionando en la industria del gas natural de los Estados Unidos, cada uno tiene un promedio de cuatro cilindros, representando más de 200,000 sistemas de empaquetadura de vástagos de pistón en funcionamiento. Estos sistemas liberan emisiones de metano a la atmósfera de más de 72.4 Bcf por año, constituyendo una de las fuentes emisoras más grandes en las estaciones compresoras de gas natural.

Todos los sistemas de empaquetaduras tienen fugas bajo condiciones normales, pero la cantidad en que lo hacen depende de la presión del cilindro, montaje y alineación de las partes de la empaquetadura, y desgaste en el eje del vástagos. Un sistema de empaquetadura nuevo, alineado y montado correctamente, puede perder aproximadamente de 11 a 12 pies cúbicos estándar por hora (scfh). Al envejecer el sistema, sin embargo, el promedio de pérdidas se incrementará debido al desgaste de los aros de la empaquetadura y del vástagos del pistón. Un socio de Natural Gas STAR informó haber medido emisiones de 900 scfh en un vástagos del compresor.

Considerando los objetivos financieros específicos de la compañía y los datos de monitoreo, los Socios pueden determinar los niveles de emisión en los que es rentable reemplazar los aros y vástagos. Los beneficios de calcular y utilizar este ‘umbral de reemplazo económico efectivo’ incluyen las reducciones de las emisiones de metano y los ahorros en costos. Usando este enfoque, un socio de Natural Gas STAR logra ahorros de \$233,000

anualmente, a precios de 2006. El enfoque mencionado también brinda beneficios operacionales, incluyendo una vida más larga para el equipo existente, mejoras en las eficiencias operacionales, y ahorros a largo plazo.

Fundamentos tecnológicos

Los compresores reciprocatantes en la industria del gas natural pierden gas durante su funcionamiento normal. Las áreas de pérdidas de mayor frecuencia incluyen las bridas, válvulas y accesorios ubicados en los compresores. El volumen más alto de gas, sin embargo, se asocia con los sistemas de empaquetadura del vástagos del pistón.

Se utilizan los sistemas de empaquetadura para mantener un sello firme alrededor del vástagos del pistón, impidiendo que el gas comprimido a alta presión en el cilindro del compresor se escape, en tanto permite que el vástagos se mueva libremente. La Il. 1 muestra un sistema de empaquetadura de vástagos de un compresor típico.

Una empaquetadura de vástagos de compresor consiste en una serie de aros flexibles que se encastren alrededor del eje para crear un sello contra las pérdidas. Los aros están lubricados con aceite circulando para reducir el desgaste, ayudar a sellar la unidad, y disipar el calor. Otros métodos de refrigeración incluyen enfriamiento por aire, encamisado en agua, y la circulación de refrigerantes dentro del prensaestopas. Los aros de la empaquetadura se mantienen en su lugar por medio de un conjunto de copas, normalmente una para cada par de aros, y se mantienen ajustados contra el eje por medio de un resorte que lo

Beneficios económicos y ambientales

Método para reducir las pérdidas de gas natural	Volumen de ahorros de gas natural (Mcf/año)	Valor de los ahorros de gas natural (\$/año)	Costo de implementación (\$)	Retorno (meses)		
	\$3 por Mcf	\$5 por Mcf	\$7 por Mcf	\$3 por Mcf	\$5 por Mcf	\$7 por Mcf
Reemplazo económico de los aros y vástagos en la empaquetadura del vástagos del compresor	865 ^a	\$2,595	\$4,325	\$6,055	\$540 ^b	3

Presunciones generales:

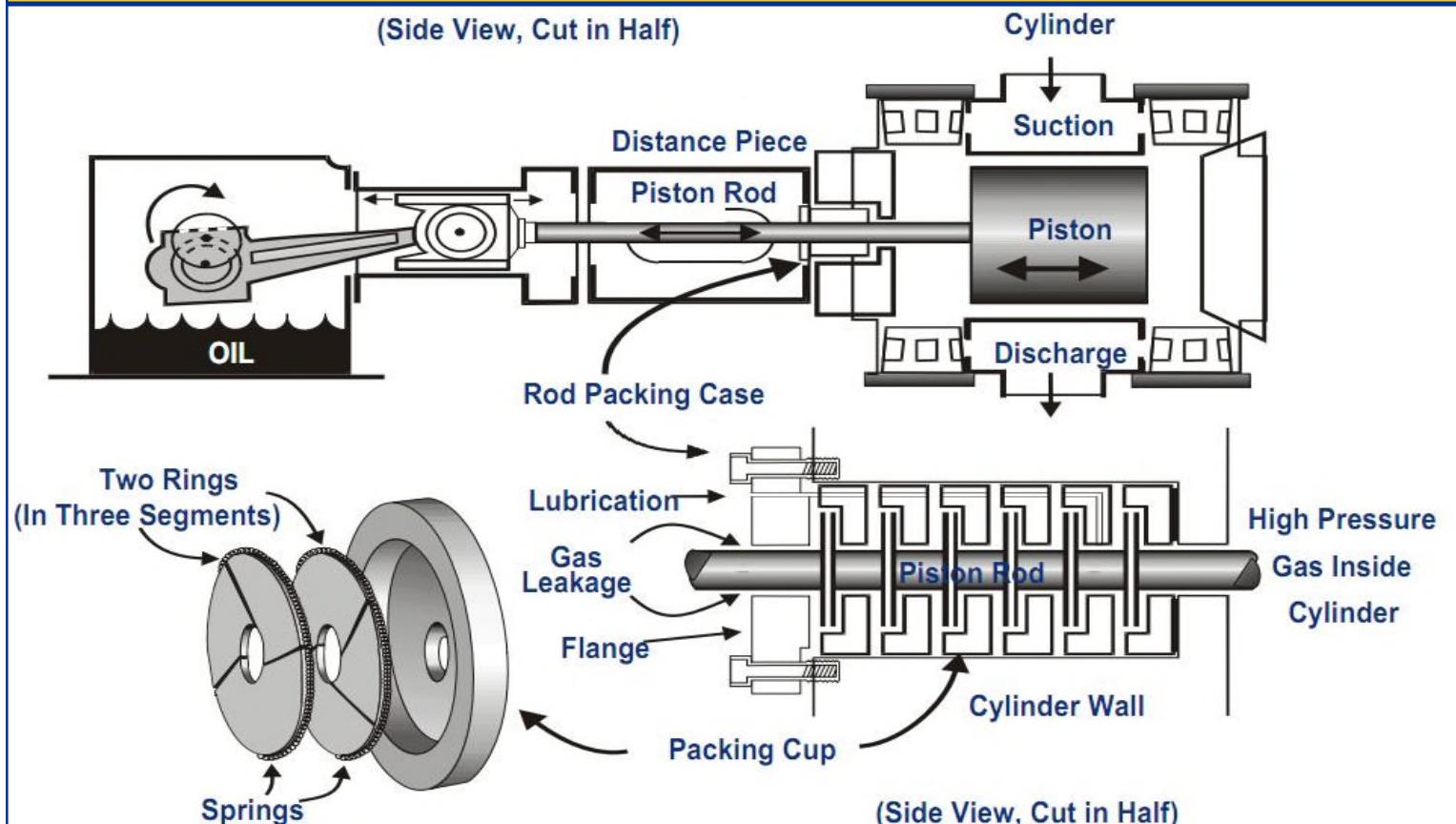
^a Pipeline Research Committee International (1999).

^b \$1,620 costo del reemplazo de aro cada tres años en lugar de cada cuatro (promedio de la industria).

Reducción de emisiones de metano en el sistema de empaquetaduras de vástago de compresores

(Continuación)

Ilustración 1: Sistema típico de empaquetadura del vástago del compresor



rodea. El número de copas y aros variará dependiendo de las presiones en la cámara de compresión. Una ‘junta (o empaque) de nariz’ en el extremo del receptáculo de la empaquetadura impide pérdidas alrededor de las copas de la empaquetadura.

Bajo las mejores condiciones, puede esperarse que los sistemas de empaquetadura nuevos, instalados sobre un eje liso y bien alineado tengan fugas de 11.5 scfh como mínimo. Los promedios de fugas que excedan esa cantidad serán el resultado del ajuste, alineación de las partes de la empaquetadura, y desgaste. Las fugas ocurren típicamente en cuatro áreas:

- ★ Alrededor de la caja de la empaquetadura a través de la junta (o empaque) de nariz.
- ★ Entre las copas de la empaquetadura, que generalmente están montadas metal contra metal una con la otra.
- ★ Alrededor de los aros debido al leve movimiento en la

ranura de la copa al moverse el vástago hacia adelante y hacia atrás.

- ★ Entre los aros y el eje.

Las fugas de gases se ventean a la atmósfera a través de orificios de ventilación en la brida. La pérdida puede reducirse por medio de un correcto cronograma de control para reemplazar los aros de la empaquetadura y los vástagos del pistón que sea económicamente conveniente . Están surgiendo nuevos materiales para aros y nuevos diseños para los receptáculos que deberían reducir las emisiones en el futuro.

Beneficios económicos y ambientales

El monitorear y reemplazar los sistemas de empaquetadura de los vástagos del compresor en forma regular puede reducir enormemente las emisiones de metano a la atmósfera, y ahorrar dinero. Por ejemplo, los aros de empaquetadura convencionales de bronce/metal se desgastan y necesitan ser reemplazados entre cada 3 a 5

Reducción de emisiones de metano en el sistema de empaquetaduras de vástago de compresores

(Continuación)

años. Sin embargo, al deteriorarse la empaquetadura, pueden incrementarse las fugas, por lo cual se justificaría reemplazar los aros más a menudo. Además, esto extendería la vida del vástago del compresor. Los socios que instituyen un programa de control y reemplazo económico convenientemente pueden lograr varios beneficios:

- ★ Emisiones de metano reducidas.
- ★ Ahorros de gas debido a fugas menores.
- ★ Vida útil de los vástagos del compresor más larga.

Proceso de decisión

Las compañías pueden determinar un cronograma de reemplazos efectivo en cuanto a costos siguiendo cinco simples pasos.

Paso 1: Controlar y registrar la fuga inicial de la empaquetadura y el desgaste del vástago del pistón.

El establecer los flujos iniciales de fugas y controlar el desgaste del pistón permite a los socios de Natural Gas STAR seguir los incrementos en las fugas y evaluar la economía de reemplazar los aros y los vástagos de los pistones.

El orificio de ventilación en la brida del receptáculo de la empaquetadura provee un medio para que la fuga de gas se escape a la atmósfera. Sin embargo, el gas también puede fluir a lo largo del vástago y/o desde la junta en el extremo del receptáculo, circunvalando el orificio de ventilación de la copa de la empaquetadura e ingresando a la caseta. Consecuentemente, donde sea posible, las mediciones deben abarcar las emisiones tanto del orificio de ventilación de la copa como de la caseta. Algunos sistemas purgan la copa de la empaquetadura hacia la pieza distante, en tanto que otros tienen orificios de ventilación separados.

Cinco pasos para un reemplazo económico del vástago del pistón y la empaquetadura:

- Paso 1: Controle y registre la fuga inicial y el desgaste del vástago.
- Paso 2: Compare la fuga actual con la inicial para determinar la reducción de pérdida esperada.
- Paso 3: Evalúe el costo de los reemplazos.
- Paso 4: Determine el umbral de reemplazo económico.
- Paso 5: Reemplace los vástagos y la empaquetadura cuando sea económico convenientemente.

La fuga de gas puede medirse con un dispositivo manual o con uno instalado. Antes de comenzar las mediciones, debe efectuarse una revisión del sistema de purga del empaquetador. Si no se consideran las emisiones que se escapan hacia la caseta se subestimarán las emisiones relacionadas con la empaquetadura en hasta un 40%, lo cual podría impactar en el proceso de decisión.

Es importante tomar las mediciones inmediatamente después de instalar sellos nuevos (o vástagos y sellos nuevos). Esta medición será el punto de referencia para otros cilindros y compresores de similar clase, tamaño, presión, y antigüedad de los vástagos. Luego de la instalación de los aros, los socios deben controlar y registrar rutinariamente los promedios de fugas y las condiciones operacionales relacionadas (presión, lubricación, temperaturas) a lo largo de toda la vida útil de los aros, usualmente en forma mensual o trimestral.

Los vástagos pueden ser monitoreados periódicamente

Ilustración 2: Comparar las fugas actuales con las iniciales

Dado:

IL = Fuga inicial en el último reemplazo de vástago y aros de la empaquetadura

CL = Fuga actual

LRE = Reducción de pérdidas esperada

Calcule:

$$LRE = CL - IL$$

Por ej., si la fuga de un aro mide actualmente 100 pies cúbicos estándar por hora (scfh), y el mismo componente media 11.5 scfh luego del último reemplazo, la reducción de fugas que puede esperarse es:

$$LRE = 100 \text{ scfh} - 11.5 \text{ scfh}$$

$$LRE = 88.5 \text{ scfh}$$

durante el reemplazo de aros documentando las dimensiones del eje y la aspereza de la superficie en donde el vástago está en contacto con los aros. Los vástagos del pistón se desgastan más lentamente que los aros, teniendo una vida útil de alrededor de 10 años. Los vástagos se desgastan ‘perdiendo la redondez’ o de forma cónica cuando están mal alineados, lo cual afecta el asiento de los aros contra el eje (y en consecuencia, la hermeticidad del sello) y la rapidez de desgaste del aro. Un vástago que pierde su redondez no sólo sella pobremente, permitiendo más fugas, sino que también causa un desgaste desparejo de los sellos, acortando así la vida del vástago del pistón y

Reducción de emisiones de metano en el sistema de empaquetaduras de vástago de compresores

(Continuación)

Contenido de metano del gas natural

El contenido de metano promedio del gas natural varía dependiendo del sector de la industria. El Programa Natural Gas STAR asume los siguientes contenidos de metano en el gas natural al estimar los ahorros de metano para los informes de oportunidades

Producción	79 %
Procesamiento	87 %
Transporte y distribución	94 %

del sello de la empaquetadura. La pérdida atribuible al desgaste del vástago se determina por el cambio en el promedio de pérdidas en la medición del punto de referencia luego de cada reemplazo de aros sucesivo (asumiendo las mismas condiciones operacionales y el mismo tipo de aro). Este incremento en la pérdida puede utilizarse para establecer el umbral económico para reemplazar el vástago del pistón (ver Paso 4).

Paso 2: Comparar la fuga actual con la inicial para determinar la reducción de fugas esperadas

Utilizando los datos obtenidos en el Paso 1, debe compararse la medición de emisiones tomada como punto de referencia con la fuga actual para determinar si la fuga actual señala la necesidad de reemplazar la empaquetadura o el vástago. La Il. 2 demuestra cómo puede hacerse la comparación.

Para un análisis preciso, los socios deben calcular la “reducción esperada de pérdidas” (LRE), que es el ahorro que se logrará al instalar nuevo equipo separadamente para los sellos y vástagos del pistón de la empaquetadura. Al determinar la LRE únicamente para la instalación de aros nuevos, se asume que todos los incrementos de fugas desde el último reemplazo de aros son atribuibles al desgaste de los mismos. Al determinar la LRE para reemplazar el pistón y los aros (note que siempre se instalan aros nuevos con un pistón nuevo), utilice la medición de la fuga inicial inmediatamente después del último reemplazo del vástago en ese compresor. En aquellos lugares en que no haya datos históricos sobre los compresores individuales, pueden usarse datos de otros compresores similares con condiciones operacionales similares para establecer los valores de punto de referencia (fuga inicial).

Paso 3: Evaluar los costos de los reemplazos.

Los costos de reemplazar los aros de la empaquetadura y los vástagos de los pistones pueden variar entre compresores. Para el reemplazo de los aros, las variables

incluyen el número de cilindros del compresor y el tipo de aro de reemplazo. Un socio de Natural Gas STAR informó que los costos para un conjunto típico de 8 a 10 aros, de Teflon o basado en molibdeno para un vástago de 3 pulgadas irán de \$135 a \$170 por copa, o a alrededor de \$1,350 a \$1,700 en total. Otra fuente declaró que un conjunto de aros puede variar entre \$675 a \$1,080, o \$2,025 a \$3,375 si se incluyen las copas y receptáculos. Los factores que afectan los costos para los reemplazos de vástagos incluyen la dimensión y el tipo del vástago. Las estimaciones de los costos de vástagos pueden variar entre \$2,430 y \$4,725. Los recubrimientos especiales, tales como cerámica, tungsteno, carburos, o cromo, pueden incrementar los costos en \$1,350 o más—el costo de algunos vástagos puede ser tan alto como de \$12,150 a \$13,500.

Los costos de instalación varían también, dependiendo de la ubicación del sitio y de las dificultades encontradas durante el reemplazo. Tanto los socios como los fabricantes estiman que los costos de la instalación son aproximadamente los mismos que los costos de equipos. Los socios han determinado que los costos de control y medición de fugas son insignificantes en una base por-empaquetadura en relación a los costos de instalar aros o vástagos.

Paso 4: Determinar el umbral de reemplazo económico.

Con la información obtenida de los Pasos 1 a 3, los socios pueden desarrollar un “umbral de reemplazo económico” que define el punto específico en el cual es económicamente efectivo reemplazar los aros y vástagos. Los socios han identificado varios métodos para calcular este umbral, dependiendo de los criterios de evaluación de inversiones de la compañía y de las características específicas del sitio.

Ilustración 4: Umbral de reemplazo económico para los aros de empaquetadura

Reducción esperada de fugas (scfh)	Período de retorno ^a (meses)
55	7
29	12
20	18
16	22
13	27

^a Asume que los costos de reemplazo de los aros de la empaquetadura son de \$1,620, \$7.00/Mcf gas, y 8,000 horas de operación/año.

Reducción de emisiones de metano en el sistema de empaquetaduras de vástagos de compresores

(Continuación)

Índices de precios Nelson

A fin de contabilizar la inflación en los costos de equipos y mantenimiento, se utilizan los Índices trimestrales, Nelson-Farrar Quarterly Cost Indexes (disponibles en el primer número de cada trimestre en la revista *Oil and Gas Journal*) para actualizar los costos en los documentos Lecciones Aprendidas. Se utiliza el índice “Refinery Operation Index” para revisar costos operativos y el “Machinery: Oilfield Itemized Refining Cost Index” para actualizar costos de equipos.

Para utilizarlos, simplemente busque el índice Nelson-Farrar más actual, divídalo por el de Febrero de 2006 y finalmente multiplíquelo por los costos adecuados que figuran en las Lecciones Aprendidas.

Un enfoque simple es usar los principios de flujo de caja (cash flow) descontados para calcular el umbral de reemplazo económico. Los socios pueden calcular su umbral para los sellos y los vástagos utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Umbra de reemplazo económico (scfh)} = \frac{CR * DF * 1,000}{H * GP}$$

Donde:

CR = Costo de reemplazo (\$)

DF = Factor de descuento (%)

H = Horas de operación del compresor por año

GP = Precio del gas (\$/Mcfcf)

El factor de descuento es el término utilizado para la recuperación de capital para ingresos anuales iguales y se calcula de la siguiente formula:

$$DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Donde i es igual a la tasa de descuento o la tasa de corte de la compañía expresada como un decimal y n es el período de retorno seleccionado. Usando esta formula, un 10% de tasa de descuento ($i=0.10$) y un período de retorno de un año ($n=1$) se calcula un factor de 1.10; para un período de retorno de 2 años ($n=2$), el factor de descuento es 0.576, etc.

La Il. 3 presenta un ejemplo de retorno descontado. Esta tabla fue construida para mostrar la LRE necesaria para devolver la inversión de un conjunto de aros en un año, dos

Ilustración 4: Umbral de reemplazo económico para vástagos y aros

Reducción esperada de fugas (scfh)	Período de retorno ^a (meses)
376	7
197	13
137	18
108	22
90	27

^a Asume costos de \$1,620 para el reemplazo de los aros, de \$9,451 para el de los vástagos, \$7.00/Mcf gas, y 8,000 horas operacionales/año.

años, y así sucesivamente. La Il. 3 muestra que el costo de \$1,620 por el reemplazo del aro de la empaquetadura puede ser devuelto en un año con una reducción de fugas de 55 scfh, en dos años con una reducción de 29 scfh, etc. (con los ahorros de fugas futuras descontados al 10%). Así, si el criterio interno de inversiones de un socio es un retorno en dos años, el socio debe establecer un umbral de reemplazo económico para el reemplazo de aros en 29 scfh. En otras palabras, cuando la LRE de un reemplazo de aro llegue a 29 scfh, el socio debe reemplazar los aros de la empaquetadura.

De manera similar a los aros, se puede determinar el umbral de reemplazo económico del reemplazo del vástagos estableciendo la reducción de fugas necesaria a fin de justificar la inversión en un conjunto de vástagos nuevos. Siga los mismos pasos que en el caso anterior, pero sustituya los costos de capital de los vástagos por el costo de reemplazo (CR) para determinar el umbral.

Luego de determinar el umbral de reemplazo económico, los socios deben determinar la cantidad de emisiones de

La experiencia de un socio

Consumers Energy reemplazó los aros gastados de la empaquetadura del compresor en 15 unidades con un total estimado de ahorros por reducción de pérdidas de \$49,000 (basado en reducciones de pérdidas de 7,000 Mcf por año, y asumiendo un precio de gas de \$7 por Mcf). Los costos de reemplazo de todos los aros, incluyendo materiales y mano de obra, fueron de \$23,000, resultando en un período de retorno de seis meses a costos del año 2006.

Reducción de emisiones de metano en el sistema de empaquetaduras de vástagos de compresores

(Continuación)

metano atribuibles al reemplazo. Las mediciones de fuga actual (CL) no distinguen el origen entre los aros desgastados o el vástagos desgastado. Sin embargo, con el tiempo, las mediciones de fuga inicial (IL) mostrarán un incremento gradual en las fugas del punto de referencia, indicando el desgaste de los vástagos. Los socios deben medir y seguir el cambio en la IL para determinar la cantidad de emisiones atribuibles al vástagos que está envejeciendo. Los socios necesitan establecer un punto de referencia con el cual comparar la pérdida relacionada con el vástagos del pistón. Esto puede lograrse tomando mediciones cuando el vástagos se instala por primera vez o comparando las mediciones de instalaciones similares que tengan nuevos vástagos y empaquetadura. Una vez establecido el punto de referencia, los socios pueden conducir un flujo de caja (cash flow) descontado para determinar la cantidad de fuga relacionada con el vástagos que señale la necesidad de un reemplazo.

La Il. 4 utiliza el mismo enfoque que la Il. 3 para proveer los umbrales de reemplazo económicos del reemplazo de los vástagos y aros. Este ejemplo se basa en un costo de \$11,701 para reemplazar el vástagos y los aros. La tabla

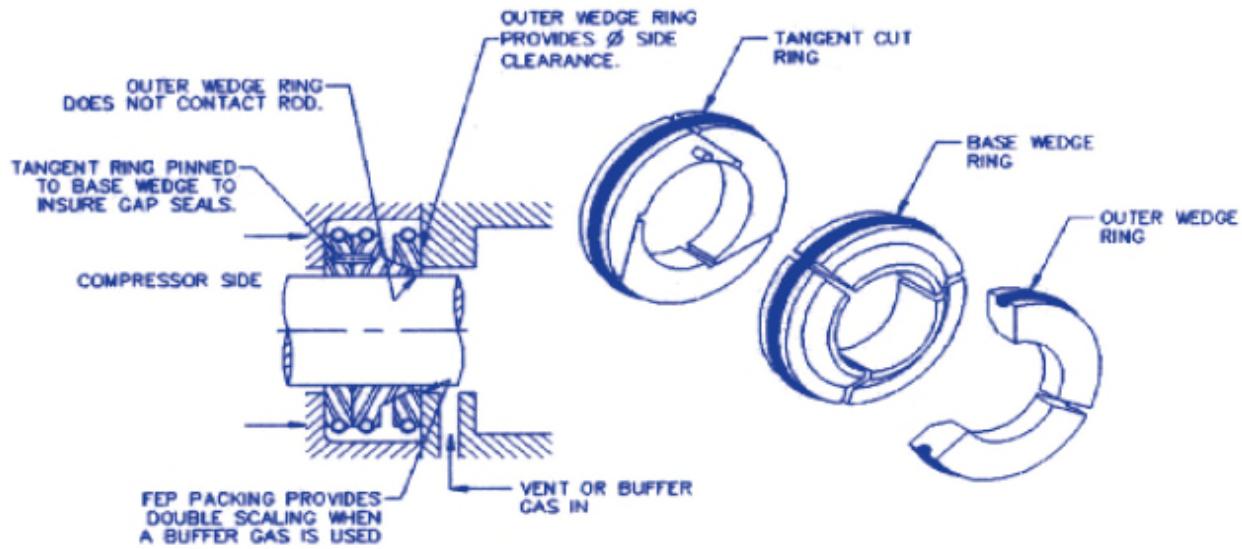
muestra que las compañías que deseen un retorno en un año requieren una LRE de 376 scfh, mientras que una que se satisfaga con un retorno en tres años debería cambiar los vástagos y sellos cuando la LRE sea de 137 scfh (con los ahorros futuros descontados al 10%).

Algo a tener en cuenta: un vástagos pobremente alineado o unos aros armados en forma deficiente pueden originar una medición de fuga actual alta, y por ende una LRE alta, que podría no indicar la necesidad de reemplazo del vástagos, pero sí la necesidad de re-colocar los aros o re-alinear el vástagos. Es necesario controlar las dimensiones del vástagos (por ej. fuera de redondez, disminución, rayas y aspereza de la superficie) para determinar que el incremento en el IL sobre el punto de referencia es de hecho atribuible a un desgaste general del vástagos.

Paso 5: Reemplazar empaquetadura y vástagos cuando sea efectivo en cuanto a costos.

El monitorear las emisiones y reemplazar los vástagos gastados y los aros de la empaquetadura en el umbral de reemplazo económico posibilitará una reducción inmediata

Ilustración 5: Ensamblaje de empaquetadura de vástagos de tres aros para emisiones fugitivas



FEP STYLE PACKING

Reducción de emisiones de metano en el sistema de empaquetaduras de vástago de compresores

(Continuación)

de las emisiones y de los costos de combustible del compresor. Los socios deben comparar los datos de la estación compresora con los umbrales de reemplazo. Deben reemplazar los aros de la empaquetadura y los vástagos cuando las LREs reales sean iguales a o excedan los umbrales de reemplazo económicos. También se les insta a seleccionar umbrales que maximicen la reducción de metano.

Opciones adicionales

Los socios en el Programa Natural Gas STAR no han llegado a un consenso con respecto a las reducciones de emisiones estándar que puede lograrse cambiando la empaquetadura del vástago del compresor. Se citan muchas variables que pueden afectar los ahorros potenciales, incluyendo la presión del cilindro, la instalación y alineación de las partes de la empaquetadura, y la cantidad de desgaste en los aros y en el eje del vástago, así como los criterios de decisión internos de la compañía. Sin embargo, sí han coincidido en que el reemplazo de los aros y de los vástagos de pistón es un método práctico para reducir las emisiones de metano de los compresores reciprocatantes.

Los nuevos materiales pueden mejorar la vida y el rendimiento de ciertos equipos y posibilitar ahorros adicionales por medio de la reducción de pérdidas y de los costos de reparación y mantenimiento.

- ★ **Opciones para los aros.** Los aros de bronce están siendo reemplazados gradualmente por los de Teflon impregnado de carbono. Un vendedor expresa que el precio es similar, y que dura aproximadamente un año más que los convencionales de bronce. Sin embargo, otros factores—incluyendo la correcta instalación, refrigeración y lubricación—pueden jugar un papel más grande en la vida útil de un aro.
- ★ **Vástagos de piston mejorados .** Los vástagos de compresor nuevos o los ya existentes recubiertos con carburo de tungsteno han demostrado incrementar la vida útil de los mismos reduciendo el desgaste, y siendo más efectivos para las instalaciones de sellos estáticos (ver el estudio de Lecciones Aprendidas *Reducción de Emisiones al Sacar Compresores de Funcionamiento*). El recubrir cada vástago de pistón con carburo de tungsteno costaría entre \$1,350 a \$2,700 adicionales. También se utiliza un recubrimiento de cromo para reducir el desgaste.
- ★ **Empaquetadura de vástago de tres aros.** Un sistema de empaquetadura de vástago de tres aros

como el que se muestra en la Il. 5 está extendiéndose cada vez más. Los aros se instalan típicamente en una de las últimas dos copas. El beneficio principal de esta disposición es que este diseño puede instalarse usualmente sin ningún reemplazo o modificación de la copa de la caja de la empaquetadura.

Lecciones aprendidas

Los socios han demostrado que el impartir al personal de la estación compresora lineamientos simples para el reemplazo económico de los vástagos del pistón y la empaquetadura del vástago reducirá en forma importante las emisiones de metano. Este ahorro de gas natural paga los costos de reemplazos más frecuentes. Las principales lecciones aprendidas son:

- ★ Desarrollar un sistema para medir y monitorear regularmente las pérdidas de las cajas de las empaquetaduras del vástago del pistón. Controlar regularmente también la lubricación y refrigeración para ayudar a reducir el desgaste en los aros. Una conductividad de calor deficiente a temperaturas de operación muy altas puede ser un factor significativo en el deterioro del aro.
- ★ Establecer la fuga inicial (IL) como punto de referencia para los vástagos y aros de empaquetadura nuevos, categorizados por las condiciones operacionales y por los tamaños y tipos de compresores
- ★ Compartir los datos de fuga inicial como punto de referencia con otras estaciones para proveer datos sustitutos donde puedan no estar disponibles para todas las estaciones.
- ★ Establecer un umbral de emisiones específico de la compañía para cada compresor que sirva como una herramienta útil para saber cuándo reemplazar los aros y vástagos en forma económica.
- ★ Mejorar los vástagos del pistón cuando se justifique económicamente. Los mejoramientos redundarán en menos emisiones a lo largo de la vida útil del vástago.
- ★ Se encuentran disponibles nuevos materiales de aro de empaquetadura, tipos, y sistemas completamente nuevos y se están volviendo más comunes donde los valores del producto o los factores ambientales compensan los costos más altos.

Reducción de emisiones de metano en el sistema de empaquetaduras de vástago de compresores

(Continuación)

- ★ Para información adicional, consulte el estudio de Lecciones Aprendidas titulado *Reducir emisiones al sacar compresores de funcionamiento*.
- ★ Cuando cambie aros de empaquetadura y vástagos, registre las reducciones en las emisiones de metano en los informes anuales del Programa Natural Gas STAR.

Referencias

Alastair J. Campbell, Bently Nevada Corporation, Houston, Texas. *Optical Alignment of Reciprocating Compressors*.

Borders, Robert, C. Lee Cook, Louisville, Kentucky, contacto personal.

France Compressor Products. *Mechanical Packing—Design and Theory of Operation, Bulletin 691*.

Miniot, Joe, Compressor Engineering Corporation, Houston, Texas, contacto personal.

Parr, Robert, TF Hudgins, Houston, Texas, contacto personal.

Pipeline & Gas Journal, "Compressor Shutdown Leakage," December 1985.

Pipeline Research Committee International, *Cost-Effective Leak Mitigation at Natural Gas Transmission Compressor Stations*, PR-246-9526, August 1999.

Schroeder, David M., France Compressor Products, Newtown, Pennsylvania, contacto personal.

Tingley, Kevin, U.S. EPA Natural Gas STAR Program, contacto personal.

Reducción de emisiones de metano en el sistema de empaquetaduras de vástago de compresores

(Continuación)



**United States
Environmental Protection Agency
Air and Radiation (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460**

October 2006

La EPA ofrece los métodos de estimar emisiones de metano en este documento como una herramienta para desarrollar estimaciones básicas de las emisiones de metano. Las formas de estimar emisiones de metano que se encuentran en este documento pueden no conformar con los métodos de la Regla para Reportar Gases de Efecto Invernadero 40 CFR Parte 98, Subparte W y otras reglas de la EPA en los Estados Unidos.