



Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos



Sumario

Los compresores centrífugos son ampliamente utilizados en la producción y transporte de gas natural. Los sellos en los ejes rotativos evitan que el gas natural a alta presión se escape de la carcasa del compresor. Tradicionalmente, estos sellos utilizaban aceite a alta presión como una barrera contra el escape de gas. Los Socios de Natural Gas STAR han descubierto que la sustitución de estos sellos húmedos (aceite) por sellos secos, reduce significativamente los costos operativos y las emisiones de metano.

Las emisiones de metano de los sellos húmedos oscilan entre 40 y 200 pies cúbicos estándar por minuto (scfm). La mayoría de estas emisiones ocurren cuando el aceite de circulación separa el gas que absorbió en la cara de alta presión del sello. Los sellos secos, que utilizan gas de alta presión para sellar el compresor, emiten menos gas natural (hasta 6 scfm para un sistema de dos sellos), requieren menos energía, mejoran la eficiencia y rendimiento de operación de compresor y tubería, mejoran la confiabilidad del compresor, y requieren significativamente menos mantenimiento.

A pesar de que las conversiones de sellos secos podrían no ser posibles en algunos compresores debido al diseño de la caja de alojamiento o de requerimientos de operación, los socios deberían seleccionar, siempre que sea posible, sellos secos en lugar de utilizar sellos húmedos siempre que reemplacen o instalen compresores centrífugos. Un sello seco puede ahorrar alrededor de \$315,000 por año y

pagarse por sí mismo en tan sólo 11 meses. Un Socio de Natural Gas STAR que instaló un sello seco en un compresor existente, por ejemplo, redujo las emisiones en un 97 por ciento, de 75 a 2 Mcf por día, ahorrando casi \$ 187,000 por año solamente en gas.

Fundamentos tecnológicos

Sellos Húmedos

Los compresores centrífugos requieren sellos alrededor del eje de rotación para evitar la fuga de gases, por donde el eje sale de la carcasa del compresor. Los más comunes compresores de tipo balancín tienen dos sellos, uno en cada extremo del compresor, mientras que los compresores del tipo "suspendido" tienen un solo sello en el lado "interior" (motor). Como se muestra en la Ilustración 1 estos sellos utilizan aceite, que se distribuye a alta presión entre tres anillos alrededor del eje del compresor, formando una barrera contra la fuga del gas comprimido. El anillo central está unido al eje de rotación, en tanto que los anillos laterales están fijos en el alojamiento del sello, comprimidos contra una fina capa de aceite que fluye entre los anillos para lubricar y formar una barrera contra fugas. Los sellos "O-ring" de goma impiden las fugas alrededor de los sellos fijos. Muy poco gas se escapa a través de la barrera de aceite; y mucho más gas es absorbido por el aceite bajo las altas presiones en la interfaz aceite/gas del sello "interno" (del lado del compresor), contaminando así el aceite del sello. Dicho aceite es purgado del gas absorbido (utilizando

Beneficios Económicos y Ambientales

Método para la Reducción de pérdidas de Gas Natural	Volumen de Gas Natural Ahorrado (Mcf)	Valor del Gas Natural Ahorrado (\$)			Costo de Implementación (\$)	Tasa de Retorno (Meses)		
		\$3 por Mcf	\$5 por Mcf	\$7 por Mcf		\$3 por Mcf	\$5 por Mcf	\$7 por Mcf
Reemplazar Sellos Húmedos en Compresores por Sellos Secos	45,120 ^a por año	\$135,360 por año	\$225,600 por año	\$315,840 por año	\$324,000 ^b	29	18	13

Presunciones Generales:

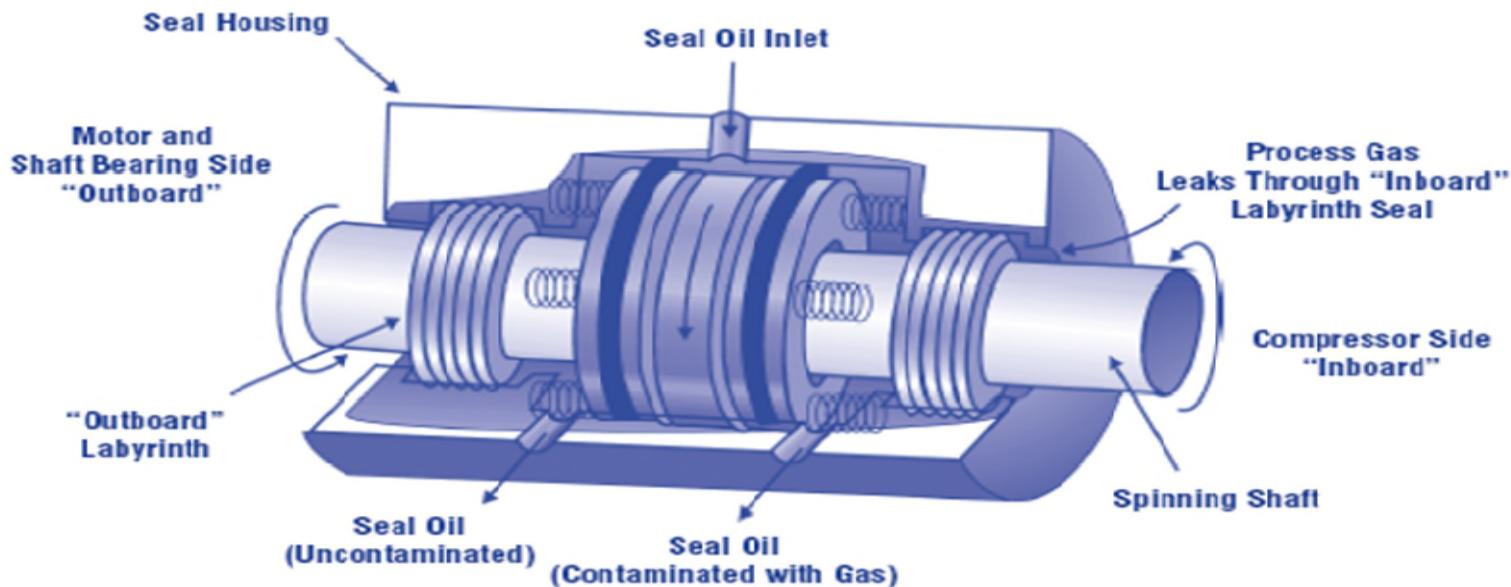
^a Basado en la diferencia entre la tasa típica de veinte de sellos húmedos y secos (p.e. 100 scfm versus 6 scfm) sobre un compresor de balancín (2 sellos) operando 8,000 horas/año.

^b Basado de la sustitución de un sello húmedo a pleno funcionamiento con una reducción adicional de US \$ 102,400 en costos de operación y mantenimiento

Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos

(Continuación)

Ilustración 1: Sellos húmedos



calentadores, tanques flash, y técnicas desgasificadoras) y recirculado. El metano recuperado generalmente es venteados a la atmósfera.

Sellos secos

Una alternativa al sistema de sellos tradicional (húmedo) es un sistema mecánico de sellos secos. El mismo no utiliza ningún aceite circulante. Los sellos secos operan mecánicamente bajo la fuerza opuesta creada por las ranuras hidrodinámicas y la presión estática.

Como se muestra en las Ilustraciones 2a y 2b, las ranuras hidrodinámicas están grabadas en la superficie del anillo rotativo fijado al eje del compresor. Cuando el compresor

no está rotando, el anillo estacionario en el alojamiento del sello se comprime contra el anillo rotativo por medio de resortes. Cuando el eje del compresor rota a alta velocidad, el gas comprimido tiene un sólo camino para fugarse, y es entre los anillos rotativos y los estacionarios. Este gas se bombea entre los anillos por las ranuras en el anillo rotativo.

La fuerza opuesta del gas a alta presión bombeado entre los anillos y los resortes que trata de empujar a los anillos crea una brecha muy pequeña entre ellos, a través de la

Ilustración 2b: Sello seco



Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos

(Continuación)

cual puede fugarse algo de gas. Mientras el compresor está operando, los anillos no están en contacto el uno con el otro, y, en consecuencia, no se gastan o necesitan lubricación. Los O-rings sellan los sellos estacionarios en el alojamiento.

Se denomina “sellos secos en tandem” cuando se colocan dos o más sellos secos en serie, como se muestra en la Ilustración 2b, y esto es muy efectivo para reducir la fuga de gas. Este tipo de sello pierde menos del 1 % de lo que pierde un sistema de sellos húmedos venteados a la atmósfera y cuesta considerablemente menos para operar.

Beneficios económicos y ambientales

Los sellos secos reducen sustancialmente las emisiones de metano. Al mismo tiempo, reducen los costos operativos y mejoran la eficiencia del compresor. Los beneficios económicos y ambientales de los mismos incluyen:

- ★ **Promedios de fuga de gas.** Durante el funcionamiento normal, los sellos secos pierden a un promedio de 0.5 a 3 scfm cada uno (de 1 a 6 scfm para un sistema de dos sellos), dependiendo del tamaño del sello y de la presión operativa. Si bien esto es equivalente al promedio de fugas de un sello húmedo en la cara del sello, los sellos húmedos generan emisiones adicionales durante la desgasificación del aceite circulante. El gas del aceite se vuelve a la atmósfera, haciendo que la pérdida total en el caso de sellos húmedos duales sea de entre 40 y 200 scfm, dependiendo del tamaño y presión del compresor.
- ★ **Mecánicamente más simples.** Los sistemas de sellos secos no necesitan de componentes elaborados para la circulación de aceite ni de instalaciones para tratamiento.
- ★ **Consumo de energía reducido.** Debido a que los sellos secos no tienen sistemas y bombas de circulación de aceite accesorias, se evitan pérdidas de energía en equipos “parásito”. Los sistemas húmedos necesitan entre 50 y 100 kW por hora, mientras que los secos alrededor de 5 kW por hora.
- ★ **Mayor confiabilidad.** El mayor porcentaje de tiempo de inactividad de un compresor que usa sellos húmedos es debido a problemas con el sistema de sellos. Los sellos secos tienen menos componentes auxiliares, lo cual se traduce en una mayor confiabilidad y menos tiempo inactivo del compresor.

- ★ **Bajo mantenimiento.** Los sistemas de sellos secos tienen costos más bajos que los de sellos húmedos debido a que no tienen partes móviles asociadas con la circulación de aceite (por ej. bombas, válvulas de control, válvulas de alivio).
- ★ **Eliminación de pérdida de aceite de los sellos húmedos.** La sustitución por sellos secos elimina las pérdidas a la línea, evitando así la contaminación del gas y la degradación de la línea.

Proceso de decisión

Al considerar la instalación de sellos secos, los socios confrontan una de las siguientes tres situaciones: están reemplazando un compresor completo; están reemplazando un sello húmedo gastado en un compresor ya existente; o están reemplazando un sello húmedo en perfecto estado en un compresor existente. Alrededor del 90% de los compresores nuevos ya viene con sellos secos. Al comprar un compresor nuevo, los socios deberían asegurarse de que incluya un sello seco.

El análisis para reemplazar un sello húmedo en un compresor ya existente debería considerar los ahorros en emisiones de metano junto con los costos de capital y operativos y los beneficios. La economía para la sustitución de los sellos húmedos es convincente, y, cuando sea posible, los socios deberían emprender la tarea. El proceso de decisiones a continuación es una guía para determinar los candidatos, beneficios, y costos de sustituir los sellos húmedos por sellos secos en los compresores

Paso 1 : Identificar los candidatos para la sustitución de sellos húmedos.

Los operadores deben efectuar un relevamiento exhaustivo y una evaluación técnica de los compresores existentes. Entre los factores a considerar se incluye el tipo, antigüedad, hardware, y condiciones operativas. Todos los compresores con sellos húmedos deberían ser identificados y evaluados para su posible cambio por sellos secos. Al decidir cuáles compresores son candidatos para el reemplazo mencionado, considere lo siguiente:

- ★ Los sellos secos pueden usarse para compresores de hasta 3,000 psi con seguridad; su uso a 1,500 psi es rutinario. Los sellos secos, sin embargo, pueden no ser seguros a presiones más altas. Más aún, no son apropiados para usos con temperaturas superiores a 300 a 400 grados Fahrenheit (debido a las limitaciones del material de los O-rings)¹. Algunos diseños de compresores prohíben el

Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos

(Continuación)

Cuatro pasos para cambiar a sellos secos:

1. Identificar candidatos para el reemplazo de sellos húmedos.
2. Estimar los ahorros de la modificación a un sello seco.
3. Determinar los costos para la conversión a sellos secos.
4. Comparar los costos con los ahorros.

reacondicionamiento con sellos secos.

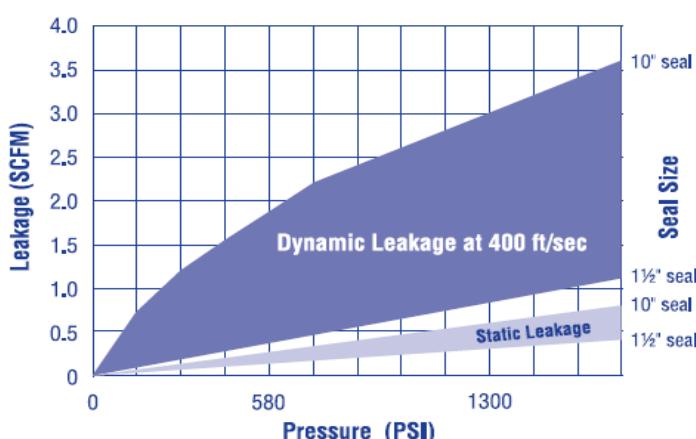
- ★ Algunos compresores viejos pueden estar al final de su vida útil y, en consecuencia, son candidatos a un reemplazo completo en lugar de a la sustitución de sellos. Esto se determina generalmente mientras se está planeando un overhaul, cuando se proyecta que los costos de O&M del viejo compresor aumentarán a un nivel mucho más alto que los costos de O&M para una unidad nueva. Algunos indicios de que se ha llegado a esta etapa incluyen aumentos repentinos en la frecuencia y magnitud de mantenimientos no programados y la falta de disponibilidad de repuestos o falta de soporte técnico.

Los compresores centrífugos que satisfacen los criterios del Paso 1 deberían ser evaluados adicionalmente de la siguiente manera.

Paso 2: Estimar los ahorros de la modificación a sello seco.

En general, la mayor parte de los ahorros de reemplazar un sello húmedo con uno seco son atribuibles a reducciones

Ilustración 3: Cuadro de rendimiento de un sello



Note: This graph, utilizing hard vs. hard seal faces, is for reference only. Performance characteristics may vary depending on equipment and service.

Source: BW/IP International, Inc., Seal Division. Durco International and BW/IP International, Inc. are now known as FLOWSERVE Corporation.

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 %

en la pérdida de metano. Para estimar estos ahorros, los socios pueden medir la mayor parte de la pérdida de metano de sus compresores con sellos húmedos en la rejilla de ventilación de la unidad desgasificadora de aceite del sello por medio de "embolsado" (bagging) o utilizando un tomador de muestras de flujo alto. Algo de gas se escapa también en la cara del sello, pero esto es más difícil de medir y llega a menos del 10% de las emisiones de la unidad desgasificadora de aceite. Las fugas típicas de un sello húmedo van desde 40 a 200 scfm para un compresor de balancín.

Ilustración 4: Ahorro de costos de O&M por compresor de sellos secos^a

1. Reducción por pérdida de fuerza del sello = \$19,500
2. Reducción por pérdida de la bomba de aceite/ventilador = \$5,600
3. Aumento de la eficiencia de flujo en la línea = \$37,300
4. Reducción de pérdidas de aceite = \$4,900
5. Reducción de O&M, tiempo de inactividad = \$21,000

AHORROS TOTALES = \$88,300

^aS.O. Uptigrove et al., ajustado a costos operativos y de mantenimiento del año 2006.

En comparación, las pérdidas esperadas de los sellos secos pueden verse en la Ilustración 3, un cuadro de rendimiento provisto por un vendedor de sellos secos. Este cuadro muestra un ejemplo de un tipo de sello en tandem con promedios de pérdida de entre 0.5 a 3 scfm para ejes de compresor de 1.5 a 10 pulgadas, para compresores que operan de 580 a 1,300 psig de presión. La sustitución de un sello húmedo con dos secos en tandem puede reducir las emisiones entre 34 a 194 scfm. Esto es equivalente a 16,320 a 93,120 Mcf por año de 8,000 horas, con ahorros totales anuales de \$114,240 a \$651,840.

Este proceso es aplicable a todos los diseños de compresor.

Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos

(Continuación)

Los menos comunes compresores de tipo “suspendido” tienen un solo sello, y cambiar de húmedo a seco brindaría la mitad de los ahorros que cuando se hace en uno de tipo balancín.

Además de los ahorros de gas, los sellos secos también producen ahorros operacionales y de mantenimiento comparados con los sellos húmedos. Los costos anuales de O&M para los sellos secos varían enormemente, entre \$8,400 y \$14,000 por año. Los de los húmedos pueden llegar a \$140,000 al año. Los cálculos detallados de las diferencias en los costos de O&M entre los sellos secos y los húmedos están bien documentados (ver Uptigrove et al., 1987). La Ilustración 4 resume estos estimados para un compresor con un eje de diámetro de 7.5 pulgadas, operando 8,000 horas al año.

Los factores específicos del sitio usado en los cálculos incluyen: (1) pérdidas por arrastre de los sellos secos y húmedos, (2) HP de la bomba de aceite del sello y el ventilador, (3) HP del compresor, (4) consumo de aceite, y (5) costos de mantenimiento anuales, programados y de emergencia.

Paso 3: Determinar los costos de la conversión a sello seco

El costo de un sistema de sello seco dependerá de la presión operativa del compresor, la medida del eje, la velocidad de rotación y otros factores específicos de la instalación. Los costos para el sello habitualmente varían entre \$6,750 y \$8,100 por pulgada de diámetro del eje para los sellos húmedos, y de \$10,800 a \$13,500 por pulgada para los secos en tandem. Estos costos se duplicarán para

Indices de precios Nelson

A fin de contabilizar la inflación en los costos de equipos y mantenimiento, se utilizan los Indices 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.

los compresores tipo balancín (dos sellos).

Otros costos incluyen la ingeniería, instalación y equipos auxiliares. Los sellos secos requieren de una consola de gas, una unidad de filtrado, controles, e instrumentos de monitoreo, mientras que los húmedos requieren las bombas de sello de aceite, ventiladores, unidad desgasificadora, y controles. Dependiendo de la locación, el tipo de equipo, el número de controles y la disponibilidad de los componentes, los costos varían entre \$40,500 a \$135,000 para los sellos secos, y de hasta \$270,000 para los húmedos. Estos costos adicionales son los mismos tanto para los compresores de un sello como para los duales.

Paso 4: Comparar los costos con los ahorros.

Una simple comparación de costos entre convertir un compresor a sello seco y reemplazar los sellos húmedos existentes con nuevos componentes mostrará ahorros sustanciales en un período de 5 años. La Ilustración 5

Ilustración 5: Comparación de costos para reemplazo de sellos en compresor de balancín con eje

Categoría del costo	Seco (\$)	Húmedo (\$)
Costos de implementación ^a		
Costos de sellos (2 secos @ \$13,000/eje-pulg. Con /testing)	162,000	
Costos de sellos (2 húmedos @ \$6,750/eje-pulg.)		81,000
Otros costos (ingeniería, instalación de equipos)	162,000	0 ^b
Costos totales de implementación	324,000	81,000
O&M anual ^c	14,100	102,400
Emisiones de metano anuales ^d (@\$7.00/Mcf; 8,000 hrs/año)		
2 sellos secos a un total de 6 scfm	20,160	
2 sellos húmedos a un total de 100 scfm		336,000
Costos totales en un período de 5 años(\$):	495,300	2,273,000
Ahorros totales con sello seco en el período de 5 años:		
Ahorros (\$)	1,777,700	
Reducciones en las emisiones de metano (Mcf) (ent 45,120 Mcf/año)		225,600

^a Flowserve Corporation, ajustado a costos de equipo de 2006.

^b Re-utilización de los equipos existentes de circulación, desgasificación y control. ^c De la Ilustración 4; asume los mismos costos de O&M con un eje de 7.5 ".

Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos

(Continuación)

muestra un ejemplo para un compresor de balancín con un eje de 6 pulgadas operando por 8,000 horas al año usando los costos de los Pasos 2 y 3.

En este ejemplo, los costos de implementación para la conversión a sellos secos incluyen el acondicionamiento de los sellos y el gas seco, seguimiento, y consola de control. Para los sellos húmedos, se reutilizan las instalaciones de circulación de aceite, desgasificación y refrigeración, de modo que sólo se incurre en los costos de reemplazo del sello.

Ahorros estimados

Otra manera de ilustrar la economía de esta práctica es por medio de una tabla de flujo de fondos en un período de cinco años. Este análisis considera los costos de capital, los ahorros en emisiones de metano, los costos de O&M, y la asignación de un valor de rescate al sistema de sello húmedo. Es importante tener en cuenta que todos los análisis van a ser específicos para el sitio, pero la economía de la adaptación a un sello seco es tan atractiva que muchas compañías deberían considerar reemplazar todos

Ilustración 6A: Economía de sustituir un sistema de sello húmedo funcionando por uno nuevo de sello

Reconversión de sellos secos en un compresor de balancín, con eje de 6", operando 8,000 horas por año, con sellos húmedos totalmente funcionales.

Costos and ahorros (\$)	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costos de capital e instalación del sello seco	(324,000)					
Ahorros anuales de gas natural ^a		315,840	315,840	315,840	315,840	315,840
Costos de O&M anuales de sello seco		(14,100)	(14,100)	(14,100)	(14,100)	(14,100)
Valor de rescate del sello húmedo	20,000					
Costo de O&M evitado del sello húmedo		102,400	102,400	102,400	102,400	102,400
Totales anuales	(304,000)	404,140	404,140	404,140	404,140	404,140
VNA (Valor neto actual)^b = \$1,228,009						
TIR (Tasa Interna de Retorno) = 131%						
Período de retorno^c = 10 meses						

^a Los ahorros anuales representan la diferencia entre la pérdida de gas natural con los nuevos sellos secos y los húmedos reemplazados, a \$7.00/Mcf. ^b VNA basado en 10% descuento en cinco años. ^c Período de retorno varía entre 3 y 12 meses para los promedios de fuga de los sellos húmedos entre 200 y 40 scfm.

Ilustración 6B: Economía de sustituir un sistema antiguo de sello húmedo por uno nuevo de sello seco

Reconversión de sellos secos en un compresor de balancín, con eje de 6", operando 8,000 horas por año, con sellos húmedos totalmente funcionales.

Costos and ahorros (\$)	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costos de capital e instalación del sello seco	(324,000)					
Ahorros anuales de gas natural ^a		315,840	315,840	315,840	315,840	315,840
Costos de O&M anuales de sello seco		(14,100)	(14,100)	(14,100)	(14,100)	(14,100)
Valor de rescate del sello húmedo	0					
Costo de O&M evitado del sello húmedo		140,000	140,000	140,000	140,000	140,000
Totales anuales	(324,000)	441,740	441,740	441,740	441,740	441,740
VNA (Valor neto actual)^b = \$1,350,542						
TIR (Tasa Interna de Retorno) = 134%						
Período de retorno = 9 meses						

^a Los ahorros anuales representan la diferencia entre la pérdida de gas natural con los nuevos sellos secos y los húmedos reemplazados, a \$7.00/Mcf. ^b VNA basado en 10% descuento en cinco años.

Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos

(Continuación)

los sellos húmedos, sin importar su antigüedad. La Ilustración 6A presenta la economía de reemplazar un sistema de sello húmedo en perfecto funcionamiento por uno de sello seco.

La Ilustración 6B muestra la economía de reemplazar un sello húmedo viejo, que está llegando al final de su vida útil: el valor de rescate es 0 y los costos de O&M para el sistema se incrementan (en este ejemplo, a \$140,000 por año). Estos dos ejemplos demuestran que el sustituir un sello húmedo por uno seco puede ser efectivo en cuanto a costos independientemente de la antigüedad o condición del sistema de sello húmedo.

Cuando se evalúan las opciones para reemplazar sellos húmedos por secos en los compresores centrífugos, el precio del gas puede influir en el proceso de decisión. La Ilustración 7 muestra un análisis económico del reemplazo temprano de sellos húmedos en un compresor centrífugo con sellos secos a diferentes precios de gas natural.

Lecciones aprendidas

Los socios pueden lograr ahorros importantes en costos y en reducción de emisiones cambiando a la tecnología de sello seco. Ellos ofrecen las siguientes lecciones aprendidas al cambiar a sellos secos:

- ★ Se considera que los sellos secos son más seguros para operar que los húmedos, porque eliminan la necesidad de un sistema de aceite a alta presión.
- ★ Para hacer el cambio a sello seco más eficientemente, programe la conversión para un período de

inactividad normal para evitar interrumpir las operaciones.

- ★ Al determinar los beneficios de un reemplazo de sello, los socios deberían tener en cuenta que los sellos secos, cuando correctamente instalados y mantenidos, pueden durar el doble que los húmedos.
- ★ Si el sello húmedo está cerca del final de su vida útil, un análisis de costos directo entre los nuevos sistemas de sellos favorecerá al seco. Aún si al sello húmedo existente le queda algo de vida útil, las características operacionales de los sellos secos posibilitarán ahorros importantes y podrían justificar su reemplazo anual.
- ★ Dado las claras ventajas económicas de los sellos secos, deben ser instalados donde quiera que sea técnicamente factible.
- ★ El 90% de todos los compresores nuevos ahora tienen sistemas de sellos secos. Los sellos secos deberían ser la tecnología de elección para todos los compresores nuevos.
- ★ Luego de sustituir los sellos húmedos por los secos, se registraron reducciones de emisiones record en los informes anuales remitidos como parte del Programa Natural Gas STAR.

Referencias

American Society of Mechanical Engineers Gas Turbine Conference and Exhibition. June 1987.

Ilustración 7: Impacto del precio del gas en el análisis económico

	\$3/Mcf	\$5/Mcf	\$7/Mcf	\$8/Mcf	\$10/Mcf
Valor del gas ahorrado	\$135,360	\$225,600	\$315,840	\$360,960	\$451,200
Período de retorno (Meses)	17	12	10	9	7
Tasa Interna de Retorno (TIR)	68%	100%	131%	146%	176%
VNA (i=10%)	\$543,847	\$885,928	\$1,288,009	\$1,399,049	\$1,741,129

Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos

(Continuación)

Canadian Association of Petroleum Producers. *Options for Reducing Methane and VOC Emissions from Upstream Oil and Gas Operations*. December 1993.

Henderson, Carolyn. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal contact.

Hesje, R.C. and R.A. Peterson. *Mechanical Dry Seal Applied to Pipeline (Natural Gas) Centrifugal Compressors*. American Society of Mechanical Engineering. Gas Turbine Conference and Exhibition. June 1984.

Kennedy, J.L. *Oil and Gas Pipeline Fundamentals*, Second Edition. PennWell Books. 1993.

Klosek, Marty. Flowserve Corporation. Bridgeport, New Jersey. Personal contact.

Ronsky, N. Daryl; Harris, T.A.; Conquergood, C. Peter; and Davies, I. An *Effective System for Sealing Toxic Gases in Centrifugal Compressors*.

Sears, John. Personal contact.

Stahley, John. Dresser-Rand Company. Olean, New York. Personal contact.

Tingley, Kevin. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal contact.

Uptigrove, S.O.; Harris, T.A.; and Holzner, D.O. *Economic Justification of Magnetic Bearings and Mechanical Dry Seals for Centrifugal Compressors*. American Society of Mechanical Engineers Gas Turbine Conference and Exhibition. June 1987.

Reemplazo de sellos húmedos por sellos secos en compresores centrífugos

(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.