

Inspección Dirigida y Mantenimiento (ID&M) y mejores prácticas sobre compresores

Ministerio de Minas y Energía
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Occidental Oil & Gas Corporation y
Environmental Protection Agency, USA

6 de octubre de 2005



Methane to Markets

ID&M y prácticas sobre compresores: Agenda

- Inspección Dirigida y Mantenimiento (ID&M)
 - **David Picard, Clearstone Engineering**
- ID&M con imágenes ópticas
 - **Don Robinson, ICF Consulting**
- Mejores prácticas sobre compresores
 - **Don Robinson, ICF Consulting**



Inspección Dirigida y Mantenimiento (ID&M)

Agenda

- Características de las fugas
- Tendencias de las fugas
- Principios básicos
- Beneficios importantes
- Conclusión



Características de las Fugas

- Contribuyen significativamente a las emisiones totales de VOC y GEI en las instalaciones de elaboración secundaria de petróleo y gas
- Sólo un bajo porcentaje de los componentes en el lugar realmente tienen fugas
- La mayor parte de las fugas provienen usualmente de unas cuantas fugas grandes
- Las fugas grandes a menudo no se descubren porque ocurren en zonas de difícil acceso, bajo tráfico, apretadas o ruidosas, o porque la cantidad de la fuga no se aprecia en su totalidad
- Las fugas grandes también pueden ocurrir a consecuencia de aplicaciones severas o exigentes unidas a altos costos o a la dificultad de las reparaciones
- Las fugas provienen principalmente de los componentes en el servicio de gas o vapor



Methane to Markets



Emisiones fugitivas en equipos

| Tipo de instalación | Número de dispositivos monitoreados | Frecuencia de fuga (%) | Emisiones de todas las | | Emisiones de Combustión THC 10 primeras fuentes (%) |
|---------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------|---|
| | | | Metano | Valor | |
| | | | (ton/año) | (\$/año) | |
| Plantas de gas | 56461 | 1.7 | 997 | 500253 | 35 |
| | 16050 | 3.5 | 471 | 320608 | 36 |
| | 14424 | 3.0 | 1412 | 558665 | 64 |
| | 14174 | 4.0 | 1376 | 553248 | 36 |
| | 11556 | 3.3 | 1215 | 621061 | 33 |
| | 13133 | 2.5 | 186 | 386538 | 57 |
| | 13471 | 1.2 | 299 | 178744 | 93 |
| | 3672 | 10.3 | 2334 | 1262874 | 77 |
| | 5979 | 0.6 | 29 | 11863 | 93 |
| TOTAL | 148920 | | 8320 | 4393854 | |
| PROMEDIO | 16547 | 2.5 | 924 | 488206 | 54 |
| Estaciones de Compresores | 608 | 5.1 | 110 | 61572 | 90 |
| | 4626 | 1.1 | 98 | 49184 | 83 |
| | 3084 | 0.7 | 169 | 98802 | 95 |
| | 6168 | 1.0 | 194 | 103508 | 64 |
| | 1568 | 4.2 | 80 | 33552 | 80 |
| | 224 | 1.3 | 0 | 189 | 100 |
| | 1391 | 1.9 | 4 | 2367 | 88 |
| | 2115 | 1.8 | 67 | 27855 | 89 |
| | 2516 | 1.1 | 45 | 18901 | 91 |
| TOTAL | 22300 | | 767 | 395928 | |
| PROMEDIO | 2478 | 1.5 | 85 | 43992 | 83 |
| Pozos | 1474 | 0.2 | 1 | 501 | 100 |
| | 1617 | 1.5 | 1 | 351 | 88 |
| | 1797 | 0.4 | 1 | 585 | 100 |
| TOTAL | 4888 | | 3 | 1437 | |
| PROMEDIO | 407 | 0.7 | 0 | 120 | 97 |



Methane to Markets

- El valor de las emisiones están basadas en el precio del gas natural de \$6.78/GJ



Flamas Residuales

| Instalación | Tasa de THC Flamante Residual (10 ³ m ³ /día) | Emisiones de THC (10 ³ m ³ /año) | Emisiones de Metano (10 ³ m ³ /año) | Emisión de GHG toneladas CO ₂ E/año | Valor del Gas Flameado (\$/año) |
|-------------------|---|--|---|--|---------------------------------|
| Planta de Gas # 1 | 0.56 | 4 | 3 | 540 | 53,765 |
| Planta de Gas # 2 | NA | NA | NA | NA | NA |
| Planta de Gas # 3 | 5.28 | 39 | 28 | 5,136 | 227,445 |
| Planta de Gas # 4 | 3.43 | 29 | 18 | 3,336 | 342,272 |
| Planta de Gas # 5 | NA | NA | NA | NA | NA |
| Planta de Gas # 6 | 2.83 | 21 | 14 | 5,590 | 219,000 |
| Planta de Gas # 7 | NA | NA | NA | NA | NA |
| Planta de Gas # 8 | 10.99 | 80 | 66 | 10,266 | 1,249,588 |
| Planta de Gas # 9 | NA | NA | NA | NA | NA |
| TOTAL | 23.09 | 172 | 130 | 24,868 | 2,092,070 |
| PROMEDIO | 2.57 | 19 | 14 | 2,763 | 232,452 |

El valor de las emisiones están basadas en el precio del gas natural de \$6.78/GJ

NA –En esta instalación no se observaron flamas excesivas



Methane to Markets



Tendencias importantes de las fugas

- Fuentes más probables de grandes fugas:
 - **Sellos de los compresores**
 - **Líneas abiertas y sistemas de evacuación**
 - **Válvulas de desahogo de presión**
 - **Válvulas de seguridad succionadoras de presión**
 - **Escotillas de tanques**
- Fuentes menos probables de las grandes fugas:
 - **Sistemas de empaque de varillas de válvulas**
 - **Conectores**
- Los componentes en el servicio odorizado o de H₂S tienen menores fugas que aquellos en el servicio no odorizado o no tóxico
- Los componentes en el ciclaje térmico, la vibración o el servicio criogénico tienen mayores fugas



Methane to Markets



Principios Claves de ID&M

- Minimizar el potencial para grandes fugas, proporcionar detección temprana y reparación de las mismas cuando ocurran
- Concentrar los esfuerzos en las áreas con mayor probabilidad de ofrecer oportunidades rentables de detección y control
- Implementar reparaciones tan pronto como sea posible, o en el tiempo de despacho de la siguiente instalación en caso que se requiera una paralización grande
- Considerar evacuar directamente a la atmósfera al igual que con los sistemas de desfogue, flameo, drenaje y sistemas de evacuación



Methane to Markets



Beneficios Importantes de ID&M

- Reembolso atractivo (a menudo <6 meses)
- Reducción de los costos de mantenimiento
- Reducción del tiempo de interrupción de actividades
- Mejora de la eficacia del proceso
- Entorno de trabajo más seguro
- Medio ambiente más limpio
- Conservación de recursos
- Menores emisiones de metano



Methane to Markets



Herramientas Útiles

- **Detección de Fugas**
 - Pruebas de burbuja
 - Sensores de vapor portátiles
 - Detectores ultrasónicos de fugas
 - Cámaras de rayos infrarrojos
- **Cuantificación de la Fuga**
 - Embolsado
 - Probador de flujo alto
 - Pruebas de rastreo
 - Sondas de velocidad
 - Captura total y medición del flujo
 - Instrumentos sensores remotos (por ejemplo, DIAL)



Conclusiones

- ID&M es un enfoque racional para el manejo de emisiones fugitivas
 - **Medio eficaz de lograr reducciones significativas efectivas con respecto al costo de emisiones de metano**
 - **Es una opción responsable ambientalmente**
- Actualmente en el Canadá se están desarrollando Mejores Prácticas de Gestión (BMP) para realizar ID&M en las instalaciones de producción (CAPP, SEPAC, EC y EUB) y se espera que se convierta en un requisito regulatorio (Finales de 2005)
- Un estudio para US EPA/GRI/KSU también producirá datos adicionales para el Natural Gas STAR DI&M BMP (en Otoño del 2005)



Methane to Markets



ID&M con imágenes ópticas

Agenda

- ID&M con imágenes de fugas
- Tecnología de imágenes
- Vídeo de imágenes



ID&M con imágenes de fugas

- Imagen visual de tiempo real de fugas de gas
 - Permite la identificación y reparación rápida de fugas
 - Examina cientos de componentes por hora
 - Examina áreas inaccesibles simplemente mirándolas



Tecnologías para la detección de metano

- Dos tecnologías se encuentran en desarrollo actualmente
- Imagen de Absorción de Retrodispersión de Gas (BAGI)
 - Área de visión iluminada con luz infrarroja láser
 - Imágenes de cámara infrarroja reflejan la luz láser
 - Nube de gas absorbe la luz infrarroja (imagen negativa)
- Imágenes Infrarrojas Pasivas
 - La cámara de rayos infrarrojos adquiere la imagen en todo el espectro de luz
 - Instrumentos ópticos separan la frecuencia característica de los rayos infrarrojos de la fuga química
 - Se colocan equipos de cámara de imágenes en frecuencias seleccionadas de rayos infrarrojos donde la absorción de la luz por la nube de gas proporciona una imagen visual



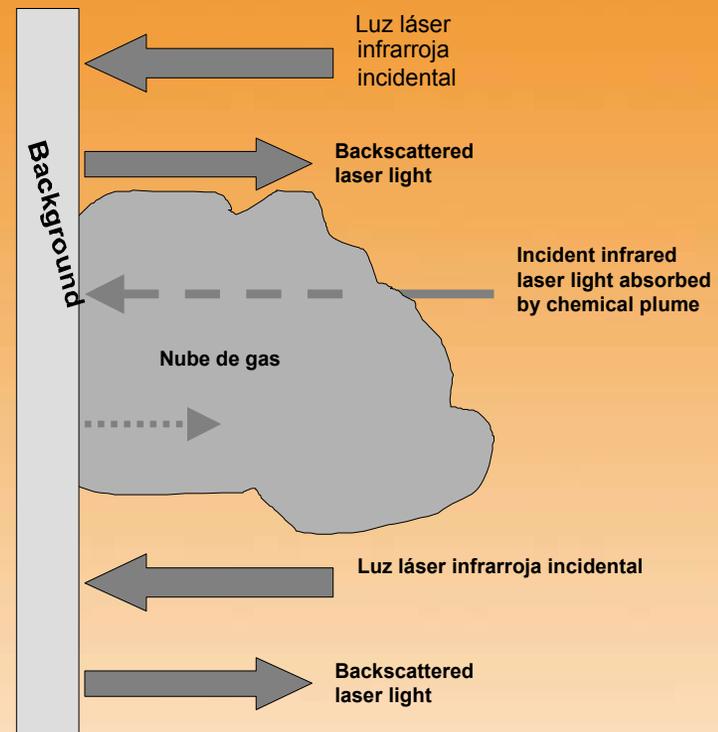
Cámara Infrarroja BAGI

- Desarrollada por Sandia National Laboratory
- Detección instantánea en tiempo real
- Todavía no tiene cuantificación de fugas detectadas
- No diferencia las distintas especies químicas
 - Graduada a longitud de onda óptima absorbida por especies químicas



Proceso de Imágenes de Absorción de Retrodispersión de Gas (BAGI)

- Luz láser infrarroja incidental refleja en el fondo y lo devuelve a la cámara.
- Cámara infrarroja crea una imagen en blanco y negro del equipo
- La nube química absorbe la luz infrarroja creando una imagen negativa
- La nube de fuga aparece como una imagen negra, humeante en la cámara BAGI.



Fuente: Según se adaptó de McRae, Tom, *GasVue: Una Tecnología de Rápida Ubicación de Fugas para Grandes Emisiones Fugitivas de VOC*. (Presentación ante el CSI Petroleum Refining Sector Equipment Leaks Group, Washington, DC, 9 de septiembre de 1997).

Nota: Aunque esta gráfica muestra el gas en contacto con el material de fondo, no es un requisito que el gas esté en contacto con el fondo. La plumilla de gas sólo necesita estar entre el fondo y la cámara infrarroja.



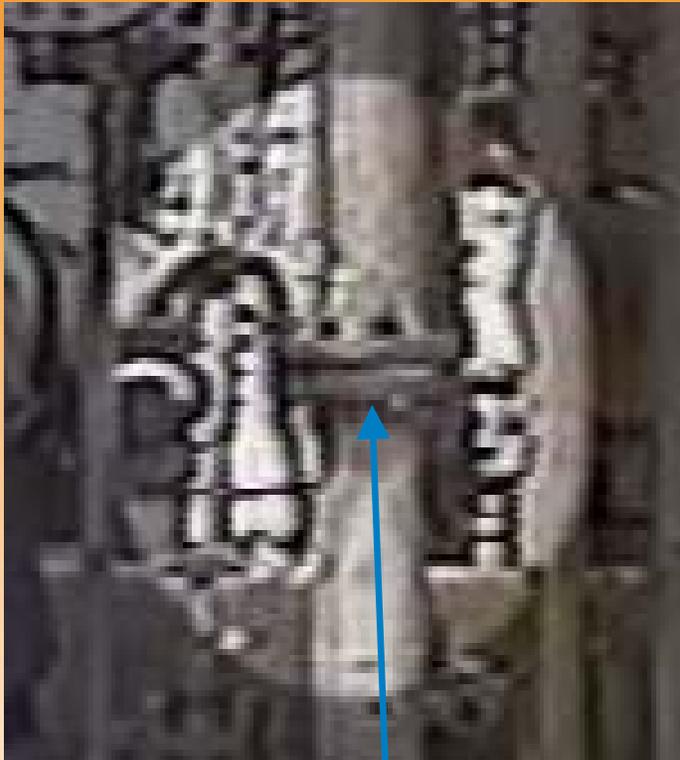
Cámara infrarroja BAGI , continuación

- **Portátil**
 - Cámara ~20 libras
 - Operación montada al hombro o en trípode
 - Tamaño de una cámara de TV montada al hombro
- **Corriente DC o AC**
 - Mochila de batería recargable ~12 libras
- **Visor y grabador de la cámara se conecta entre el modo infrarrojo y la luz visible**



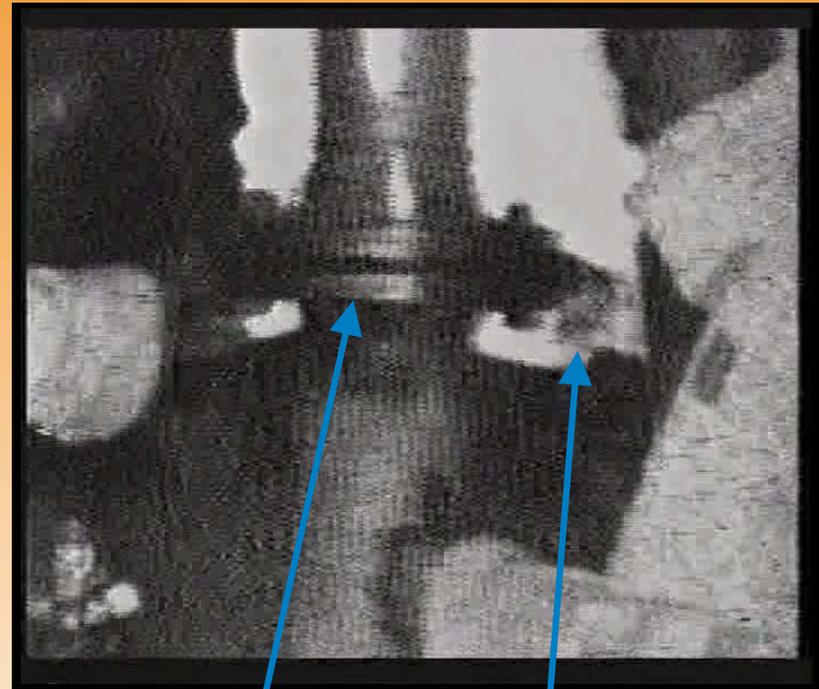
Fuga detectada con una cámara BAGI

Vista visible de luz de una base con fuga



Base con fuga

Vista infrarroja de una base con fuga



Base

Nube de hidrocarburo



Cámara Halcón LSI

- No cuantifica las fugas
- Operada a baterías
- También se opera desde helicópteros para examinar tuberías por todo el país
- Imágenes de fugas en tuberías desde 2 millas de distancia



Vídeo Infrarrojo de Imágenes de Gas

- Grabación de una emisión fugitiva encontrada por una cámara de rayos infrarrojos



Mejores prácticas sobre el compresor

Agenda

- Pérdidas de los compresores recíprocos
- Reemplazo de la varilla de empaque
- Pérdidas en compresores centrífugos
- Sellos húmedos y secos
- Quitar compresores de la línea



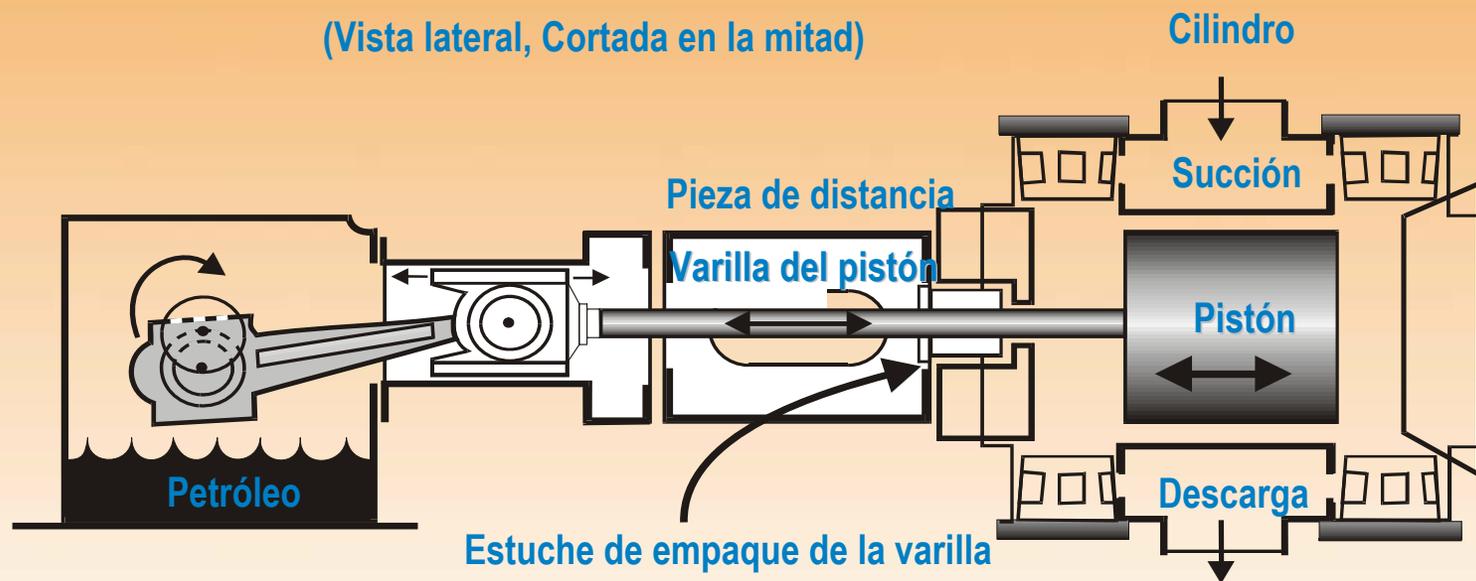
Fuente: CECO



Methane to Markets

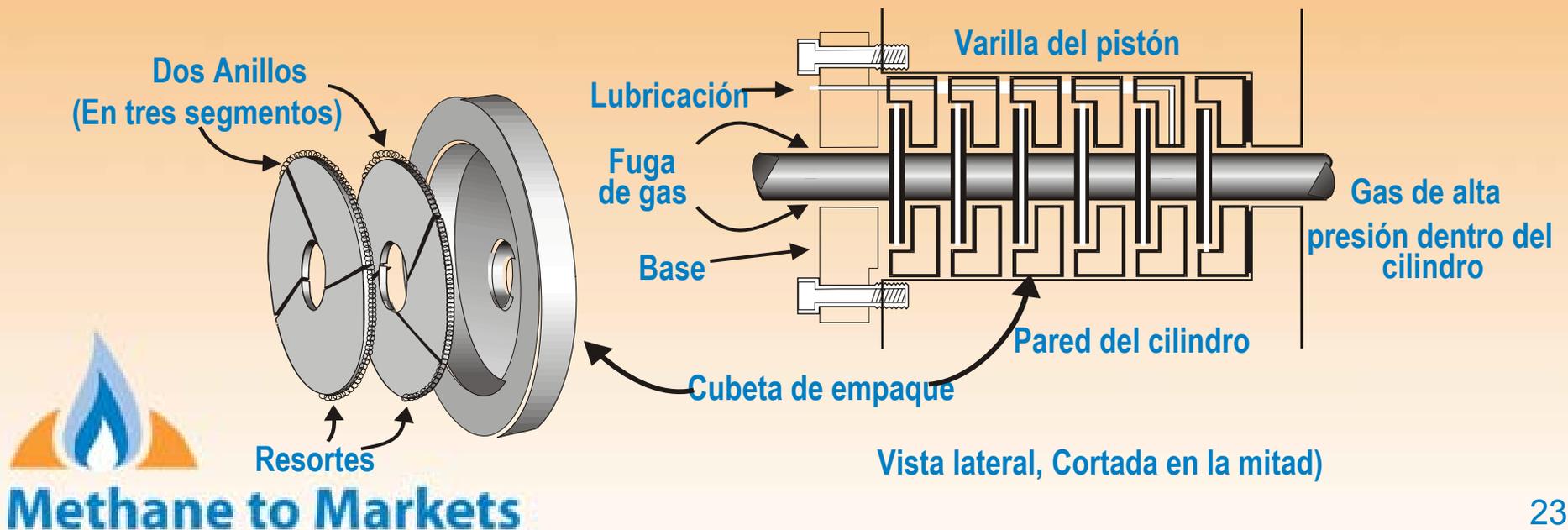
Pérdidas de metano a partir de compresores recíprocos

- Por su mismo diseño, el empaque de la varilla de los compresores recíprocos tiene cierta fuga de gas
 - El empaque recientemente instalado puede tener una fuga de 60 pies cúbicos por hora (cf/h)
 - Se ha informado que un empaque desgastado puede fugar hasta 900 cf/h



Empaque de la Varilla del Compresor Recíproco

- Una serie de anillos flexibles encajan alrededor del eje para evitar fugas
- La fuga ocurre aún a través de la empaquetadura de proa, entre las cubetas de empaque, alrededor de los anillos y entre los anillos y el eje



Recuperación de metano a través del reemplazo económico del empaque de la varilla

- Paso 1: Monitoree y registre los los valores iniciales de fuga y de desgaste de la varilla
 - Establecer el valor inicial de fuga y monitorear el desgaste de la varilla pueden ayudar a rastrear las fugas y a evaluar la economía de las mismas
- Paso 2: Compare la tasa de fuga actual con la tasa de fuga inicial para determinar la reducción de la fuga esperada.
 - Reducción de Fuga Esperada (LRE) = Tasa de Fuga Actual (CL) – Tasa de Fuga Inicial (IL)
 - Ejemplo: La tasa de fuga actual es 100 cf/h, del mismo dispositivo se fugaban 11.5 cf/h cuando recién se instaló

$$\text{LRE} = 100 \text{ cf/h} - 11.5 \text{ cf/h}$$

$$\text{LRE} = 88.5 \text{ cf/h}$$



Recuperación de metano a través del reemplazo económico del empaque de la varilla

- Paso 3: Evalúe los costos de los reemplazos
 - Un juego de anillos: de \$ 700 a \$1,100
(con cubetas y estuche) \$2,100 a \$3,500
 - Varillas: \$2500 a \$4,900
- Paso 4: Determine el umbral económico del reemplazo
 - Los participantes pueden determinar el umbral para todos los reemplazos

$$\text{Umbral Económico del Reemplazo (scfh)} = \frac{CR * DF * 1,000}{(H * GP)}$$

Donde:

CR = Costo del reemplazo (\$)

DF= Factor de Descuento (%) @ interés i $DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$

H = Horas de operación del compresor por año

GP = Precio del Gas (\$/Mcf)



¿Es rentable la recuperación?

- Paso 5: Reemplace el empaque y las varillas cuando sea rentable

– Ejemplo:

Sólo Anillos

Anillos: \$1,200
 Varilla: \$0
 Gas: \$1.5/Mcf
 Opera: 8,000 hrs/año

Varilla y Anillos

Anillos: \$1,200
 Varilla: \$7,000
 Gas: \$1.5/Mcf
 Opera: 8,000 hrs/año

| Reducción de Fuga Esperada (cfh) | Período de Reembolso (años) |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| 110 | 1 |
| 58 | 2 |
| 40 | 3 |
| 32 | 4 |
| 26 | 5 |

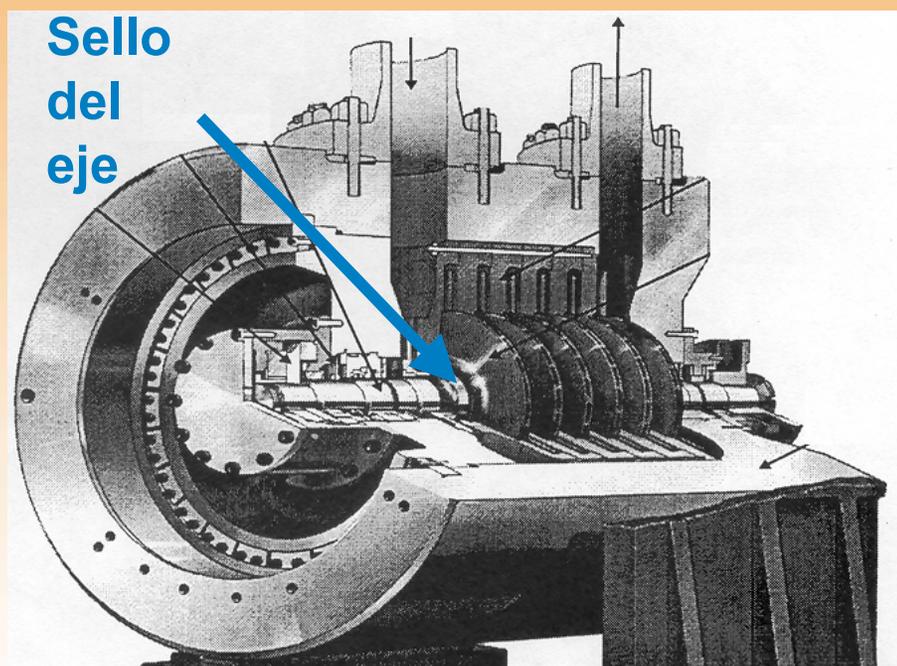
| Reducción de Fuga Esperada (cfh) | Período de Reembolso (años) |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| 752 | 1 |
| 394 | 2 |
| 275 | 3 |
| 216 | 4 |
| 180 | 5 |

Con base en una tasa de interés del 10%
 Mcf = miles de pies cúbicos, scfh = pies cúbicos estándar por hora



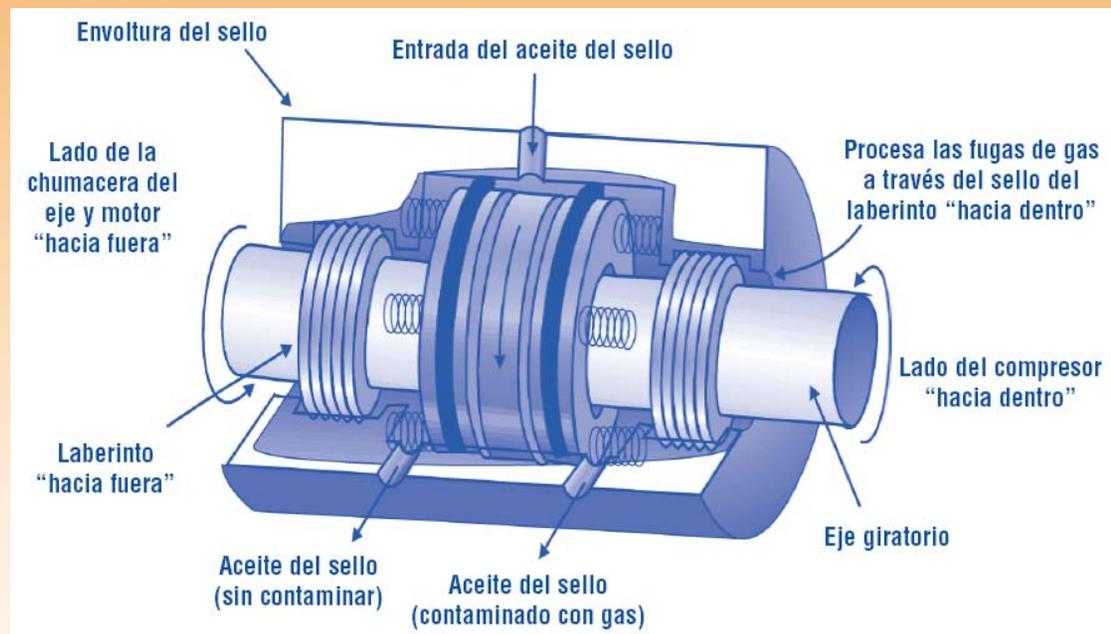
Pérdida de metano a partir de compresores centrífugos

- Los sellos húmedos de los compresores centrífugos fugan un poco de gas en la parte frontal del sello
 - El desgasamiento del sello de aceite puede desfogar a la atmósfera de 40 a 200 pies cúbicos por minuto (cf/m)
 - Se han informado emisiones de sellos húmedos de 75 Mcf/day (52 cf/m)



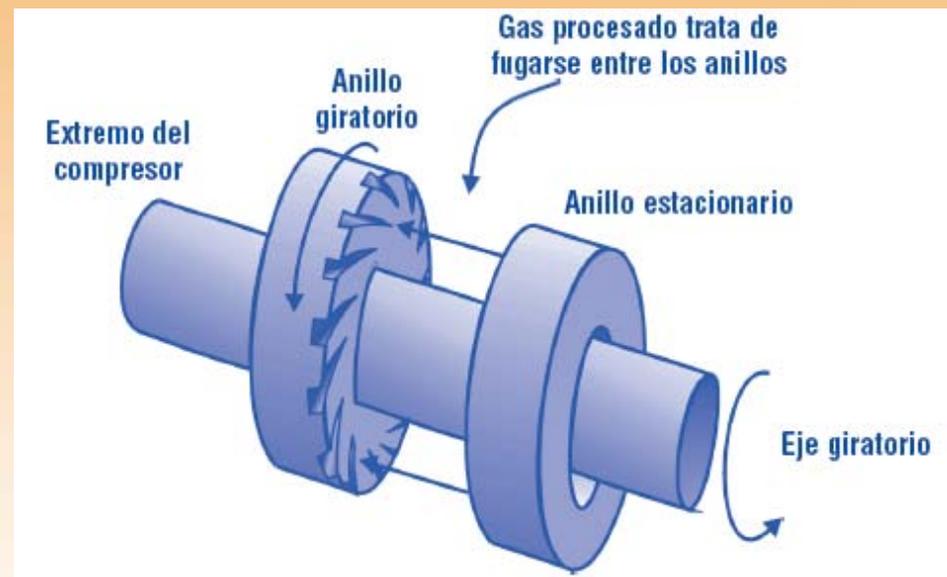
Sellos húmedos de compresores centrífugos

- Sello de aceite de alta presión circula entre los anillos alrededor del eje del compresor
- El gas absorbe el aceite en el lado interior del casco
- Se fuga un poco de gas a través del sello de aceite
- El desgasamiento del sello de aceite desfoga metano a la atmósfera



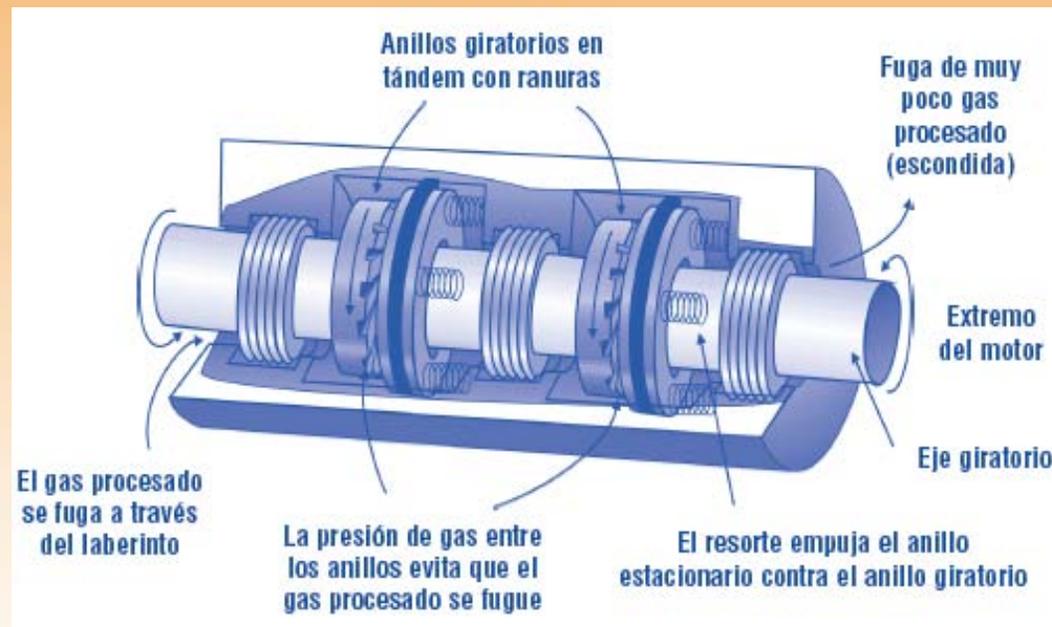
Reducción de emisiones con sellos secos

- Los resortes de sellos secos presionan el anillo estacionario en el bastidor del sello contra el anillo giratorio cuando el compresor no está girando
- A una velocidad de rotación alta, se bombea gas entre los anillos del sello lo que crea una barrera de alta presión contra las fugas
- Sólo una pequeña cantidad de gas escapa a través de la brecha
- A menudo se usan 2 sellos en paralelo



Recuperación de metano con sellos secos

- Los sellos secos normalmente evacúan a una tasa de solamente 0.5 a 3 cf/m
 - **Significativamente menos de 40 a 200 cf/m emisiones provienen de sellos húmedos**
- Estos ahorros se traducen en aproximadamente \$24,480 a \$139,680 en valor anual de gas



Economía de reemplazar los sellos

- Compare los costos y ahorros para un compresor de eje de balancín de 6 pulgadas

| Categoría de Costo | Sellos Secos (\$) | Sellos Húmedos (\$) |
|--|-------------------|---------------------|
| Costos de Implementación¹ | | |
| Costos de los sellos (2 secos @ \$14,000/eje-pulgada, con pruebas) | 168,000 | |
| Costos de los sellos (2 húmedos @ \$7,000/eje-pulgada) | | 84,000 |
| Otros costos ² (ingeniería, instalación de equipo) | 128,000 | - |
| Total de Costos de Implementación | 296,000 | 84,000 |
| O&M Anual | 10,500 | 77,500 |
| Emisiones de metano anuales ³ (@ \$1.5/Mcf; 8,000 hrs/año) | | |
| 2 sellos secos a un total de 6 scfm | 4,320 | |
| 2 sellos húmedos a un total de 100 scfm | | 72,000 |
| Costos Totales Durante un Período de 5 Años (\$) | 370,100 | 831,500 |
| Ahorros totales del Sello Secos Durante un Período de 5 Años | | |
| Ahorros (\$) | 461,400 | |
| Reducciones de Emisiones de Metano (Mcf) (at 45,120 Mcf/año) | 225,600 | |
| Notas: | | |
| 1. Flowserve Corporation | | |
| 2. Reutilizar la circulación de aceite del sello existente, desgasear y equipo de control para el sello húmedo | | |
| 3. Con base en tasas típicas de rejilla | | |

Flowserve Corporation



Methane to Markets

¿Es rentable el reemplazo del sello húmedo?

- Reemplazar sellos húmedos en un compresor de eje de balancín de 6 pulgadas que opera 8,000 hr/año
 - Valor Actual Neto = \$242,543
 - Suponiendo un descuento de 10% durante 5 años
 - Tasa Interna de Rentabilidad = 41%
 - Período de Reembolso = 24 meses
 - Considera de 16 a 35 meses con base en las tasas de fuga de los sellos húmedos entre 40 y 200 cf/m
- La economía es mejor para las instalaciones nuevas
 - Vendedores informan que el 90% de los compresores que se venden a la industria del gas natural son centrífugos con sellos secos



Quitar a los compresores de la línea: ¿Cuál es el problema?

- Se ciclan a los compresores de gas natural dentro y fuera de la línea para emparejar la demanda fluctuante de gas
 - **Compresores de carga de punta y de carga base**
- La práctica estándar es evacuar (despresurizar) a los compresores fuera de línea
 - **Una evacuación desfoga en promedio, 15 Mcf de gas a la atmósfera**
- Válvulas de aislamiento
 - **Pierden alrededor de 1.4 Mcf/hr en promedio a través de rejillas de evacuación abiertas**



Opciones de recuperación de metano

- Opción 1 – Mantener presurizados a los compresores fuera de línea
 - No requiere modificaciones a las instalaciones
 - Elimina los desfuegos de metano
 - Fugas de sellos mas altas por 0.30 Mcf/hr
 - Reduce las pérdidas fugitivas de metano en 0.95 Mcf/hr (68%)
- Opción 2 – Dirigir el gas del compresor fuera de línea para combustible
 - Conectar la rejilla de evacuación al sistema de gas combustible
 - La presión del compresor fuera de línea se iguala a la del gas combustible (100 a 150 libras por pulgada cuadrada)
 - Elimina desfuegos de metano
 - Fugas de sellos mas altas por 0.125 Mcf/hr
 - Reduce las pérdidas fugitivas de metano en 1.275 Mcf/hr (91%)



Opciones de recuperación de metano (continuación)

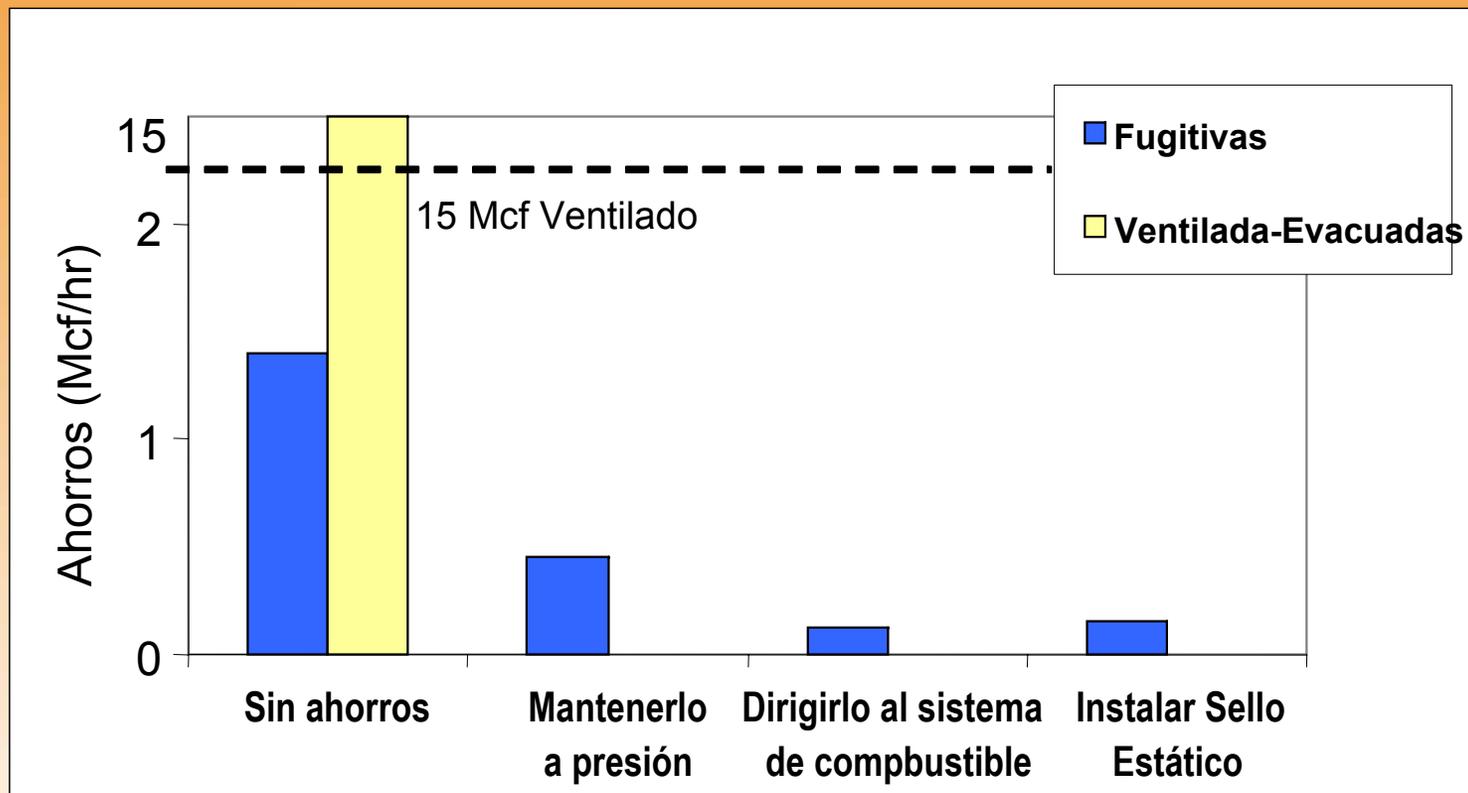
- Mantenerlo presurizado e instalar un sello estático
 - El controlador automático activa el sello del empaque de la varilla al cierre y quita el sello al inicio
 - Válvula de evacuación cerrada, no hay fugas
 - Elimina fugas de los sellos del compresor fuera de línea
 - Reduce las pérdidas fugitivas de metano en 1.25 Mcf/hr (89%)



Opciones de recuperación de metano

- Comparación de ahorros de metano

Todas las opciones eliminan el desfogue de metano



Calcular los Costos

- Opción 1: No evacuar
 - No tiene costos de capital
 - No tiene costos de O&M
- Opción 2: Dirigirlo al sistema de gas combustible
 - Añadir tuberías y válvulas que conecten las rejillas de evacuación al sistema de gas combustible
 - Elevar el rango de costos de \$1,250 a \$2,250 por compresor
- Opción 3: No evacuar pero instalar sello estático
 - Los sellos cuestan \$700 por varilla
 - El controlador de sellos cuesta \$1,400 por compresor
 - Es menos rentable en conjunción con la Opción 2



¿Es rentable la recuperación?

- Costos y Ahorros

Costos de Capital y Ahorros de las Opciones de Reducción

| | Opción 1: Mantener presurizado | Opción 2: Mantener presurizado y unir al gas de combustible | Opción 3: Mantener presurizado e instalar sello estático |
|--|--------------------------------|---|--|
| Costo de capital | Ninguno | \$1,250/ compresor | \$3,000/ compresor |
| <u>Ahorros de fugas fuera de línea</u> | | | |
| Carga base | 475 mcf/año \$713 | 638 mcf/año \$957 | 625 mcf/año \$938 |
| Carga de punta | 3,800 mcf/año \$5,700 | 5,100 mcf/año \$7,650 | 5,000 mcf/año \$7,500 |
| La carga base supone 500 horas fuera de línea por año; carga de punta supone 4,000 horas fuera de línea por año. Costo de gas = \$1.5/mcf. Esta tabla no incluye ahorros por evacuación. | | | |



Análisis económico

- Comparación económica de las opciones

| | Inversión en las Instalaciones | | Ahorro en Dólares | | Reembolso | | IRR | |
|----------|--------------------------------|----------------|-------------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|
| | Carga Base | Carga de Punta | Carga Base | Carga de Punta | Carga Base | Carga de Punta | Carga Base | Carga de Punta |
| Opción 1 | \$0 | \$0 | \$713 | \$5,700 | Inmediato | Inmediato | >100% | >100% |
| Opción 2 | \$1,300 | \$1,300 | \$956 | \$7,650 | <1.5 año | <1 año | 68% | >100% |
| Opción 3 | \$3,200 | \$3,200 | \$938 | \$7,500 | <3.5 año | <1 año | 14% | >100% |

Suponiendo el precio del gas a \$1.5/Mcf , 5 años de vida



Contactos

- **Roger Fernández, U.S. EPA**
(202) 343-9386
fernandez.roger@epa.gov
- **David Picard, Clearstone Engineering**
(403) 215- 2730
Dave.Picard@clearstone.ca
- **Don Robinson, ICF Consulting**
(703) 218-2512
drobinson@icfconsulting.com
- **Página Web del Programa:**
www.methanetomarkets.org



Preguntas de Discusión

- ¿En qué medida ustedes se encuentran implementando estas prácticas u opciones?
- ¿Cómo se podrían mejorar o alterar estas prácticas u opciones para su uso en su(s) operación(es)?
- ¿Cuáles son las barreras (tecnológicas, económicas, falta de información, regulativas, de enfoque, mano de obra, etc.) que les impiden implementar estas prácticas u opciones?

