

INFORME PRELIMINAR DE FALLAS DE SELLOS SECOS DE COMPRESOR LXC1

INDICE

A. SINOPSIS

B. INTRODUCCIÓN

C. DESARROLLO

D. CONCLUSIONES

1. SINOPSIS

Históricamente los sellos húmedos instalados en el compresor LXC1 sufrían reiteradas intervenciones con un tiempo máximo entre fallas de 1.2 años en los últimos 10 años y costos muy altos, además, este sistema de sellos producía emisiones de gases con alto contenido de sulfhídrico a la atmosfera y arrastre de aceite. El sistema de sellos secos tiene por objetivo solucionar definitivamente los problemas mencionados así como alcanzar un MFT de 6 años.

El sistema de sellos secos utiliza gas de la descarga del compresor, para asistir al sellos, dicho gas es una fuente confiable y probada de gas de sello en servicio de compresión de H₂ de reciclo con el correspondiente acondicionamiento, que de acuerdo a API 614 y en base a operaciones exitosas en aplicaciones similares, este debe ser limpio, seco, y estar, como mínimo, a 20°C sobre el punto de rocío a presión de aspiración.

El primer intento de cambio a sellos secos fue fallido debido a problemas principalmente atribuibles a el valor del punto de rocío del gas estimado con error de cálculo, lo que llevó a subdimensionar el sistema de acondicionamiento con la consecuencia inmediata, durante la puesta en marcha, de presencia de líquido en las caras del sello.

El cambio definitivo y exitoso se logró cuando habiendo identificado las causas de falla se replanteó el diseño del sistema de acondicionamiento para alcanzar la performance requerida por la API 614.

2. INTRODUCCIÓN.

Generalidades sobre la tecnología de sello seco:

- ✓ El concepto de sellado mediante gas seco se aplica desde la década del 80, habiendo sido comentado, analizado y desarrollado en diversos estudios técnicos y publicaciones (ver referencias al final del documento)
- ✓ La aplicación de sellos de gas seco en compresores centrífugos en refinerías es usual y se ha convertido en práctica normal para compresores nuevos a nivel mundial y además se ha realizado una importante cantidad de conversiones o retrofits de sistemas de sellado de compresores centrífugos de aceite a gas seco.
- ✓ En YPF ya se han realizado aplicaciones en compresores con sellos de gas seco, habiendo resultado exitosos.
 - Compresor centrífugo en Refinería La Plata, con 8 años en servicio sin necesidad de intervención de los sellos
 - Compresor centrífugo Demag Delaval de planta Metanol en Complejo Industrial Plaza Huincul, con sellos secos unidireccionales en servicio sin problemas desde el año 2002
- ✓ El sellado mediante gas seco es avalado por normas internacionales y propias que son de aplicación (ver referencias normativas al final del documento).
- ✓ Antecedentes con sellos de aceite en nuestra aplicación.
 - El compresor centrífugo LXC1 data de la década del 70, y su sistema de sellado por diseño original era un sistema de sellos de aceite.
 - Los sellos de aceite, de diseño antiguo, no eran del tipo cartucho y su instalación era compleja. Requería gran cuidado, precisión y no se podía asegurar el correcto montaje hasta probar la máquina armada.
 - La operación del sistema de sellado de aceite era compleja y dependía de un sistema de control de aceite de sello muy delicado y altamente sensible a desvíos de performance de operación y montaje.
 - Históricamente los sellos húmedos instalados en el compresor sufrían reiteradas intervenciones con un tiempo máximo entre fallas de 1.2 por año durante los últimos 10 años de operación con sello húmedo y costos de mantenimiento importantes.

- En enero de 2007 hubo un siniestro provocado por una fuga masiva de aceite de sello a alta presión. Este sistema quedó fuera de servicio en su totalidad ante la implementación de sellos secos.
- Además de los costos de mantenimiento, habían costos de operación por consumo de aceite (6,000 litros mensuales), consumo de energía por fricción del aceite de sellado (30 HP), consumo de energía de las bombas de aceite de sello (100 HP)
- Se producían emisiones de gases por pérdidas en los venteos como asimismo en el proceso de desgasificación del aceite.

Ventajas de aplicar sellos secos:

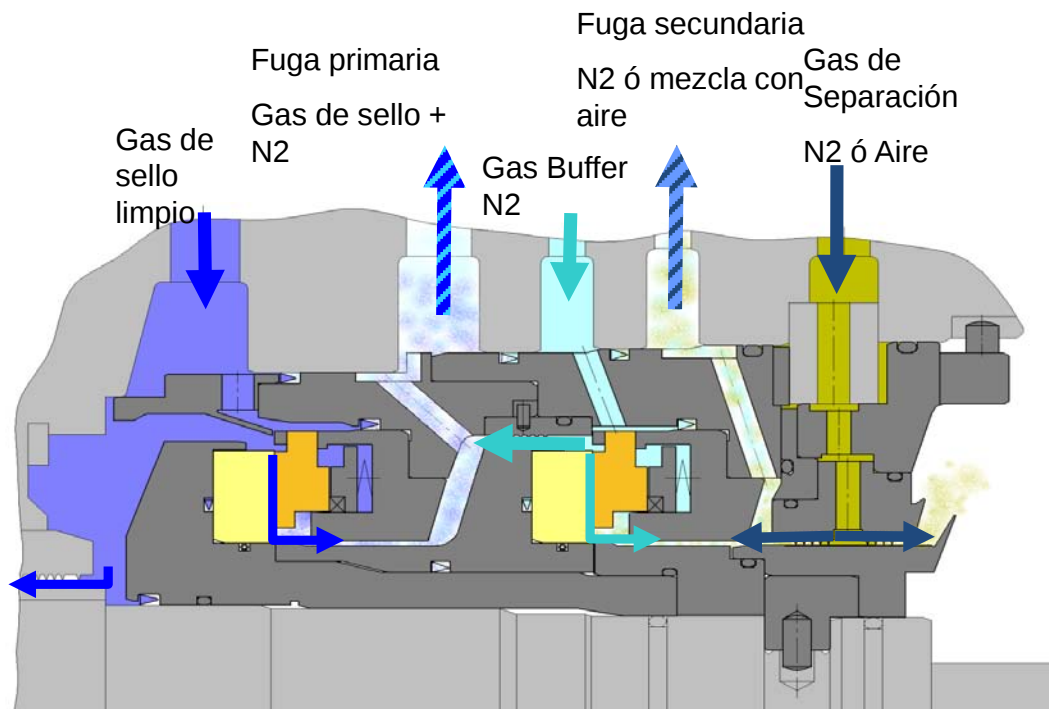
- El compresor centrífugo LXC1 pasó a operar con un sistema de sellado moderno, y de acuerdo a las actuales normas internacionales y propias
- Se mejorará considerablemente la confiabilidad del compresor.
- Se ha reducido el tiempo de indisponibilidad del compresor por paros no programados.
- Se han eliminado las pérdidas de aceite de sello en el compresor.
- Se eliminó la contaminación del aceite de lubricación y de control con gas de proceso.
- Se eliminó el costo de consumo de aceite de sello.
- Se redujeron los costos de mantenimiento por menor cantidad de intervenciones en el compresor y por menor cantidad de equipamiento involucrado en el sistema (se eliminaron bombas, motores, turbinas, enfriadores y válvulas de control del sistema de sellos húmedos).
- Se redujeron los costos operativos por menor pérdida de energía (sólo 2 HP) y eliminación de las bombas de aceite de sello
- Se redujeron drásticamente las emisiones de gases (típicamente de valores de 40-200 scfm a 0,5-3 scfm)

3. DESARROLLO.

- **DISEÑO ORIGINAL SISTEMA DE SELLOS SECOS**

En base a lo expresado en la introducción de este artículo, YPF decidió llevar adelante el proyecto de instalación de sellos secos en el compresor de reciclo LXC1 de la unidad de Hydrocracker (Isomáx) para ser instalados durante el paro de la unidad en el año 2010. Para ello se contrató a un tecnólogo de esta tecnología que fue el responsable de la ingeniería, provisión de equipos para el acondicionamiento de gas, coordinación de precomisionado, comisionado, capacitación; esto último junto con personal de operaciones y Mto de la Refinería.

La configuración del sello mecánico seleccionado fue:



Debido al nivel de presión a sellar y a la criticidad de la máquina, este tipo de aplicación usa el mismo gas que es comprimido por el compresor como gas de sello. Las condiciones de gas de sello por norma API aplicable debe ser seco y limpio para lo cual es necesario analizar las características de este gas y los requerimientos de instalación de acondicionamiento para asegurar las condiciones requeridas para la adecuada performance del sello. El gas Buffer y el de separación es Nitrógeno disponible a través de generadores propios del sistema a partir de una corriente de aire de instrumentos del Complejo Industrial.

En función de lo mencionado, el tecnólogo solicitó los siguientes datos para ser entregados por YPF en relación a la corriente de gas comprimido por el LXC1 y condiciones operativas de la máquina a sellar el eje.

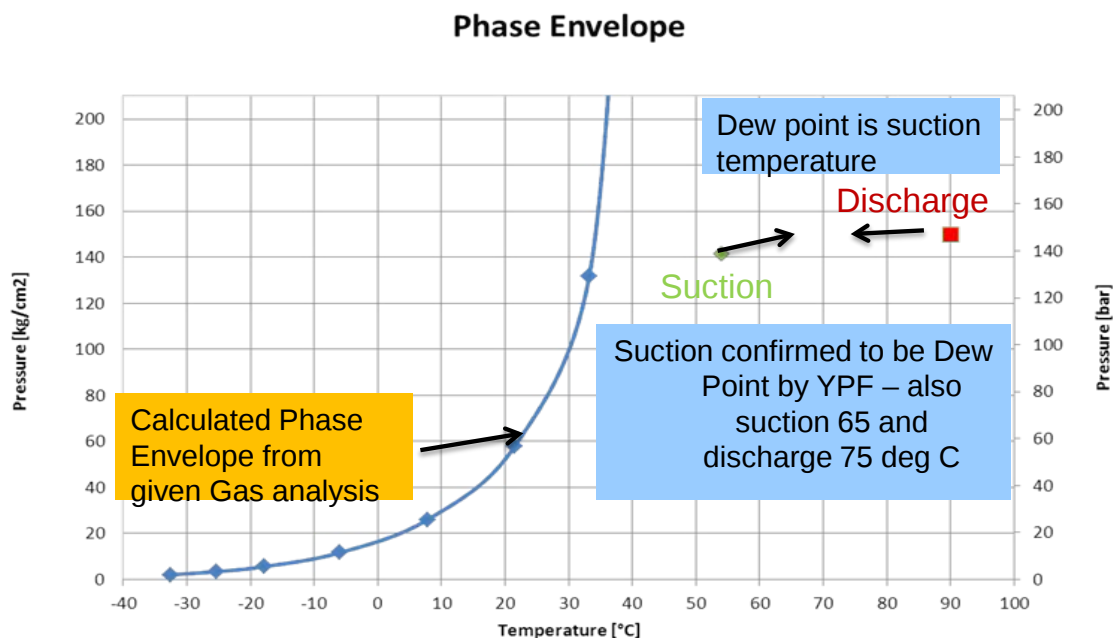
<u>Process Seal Gas Supply</u>					
	Min	Normal	Max	Design	Units
Pressure	141	142	149.86	168.7	kg/cm2
Temperature	65	75	90	149	°C

<u>Compressor Details</u>			
	Min	Max	Units
Discharge Pressure	141	149.86	kg/cm2
Discharge Temp.	65	90	°C
Suction Pressure	130	141.56	kg/cm2
Suction Temp.	60	80	°C

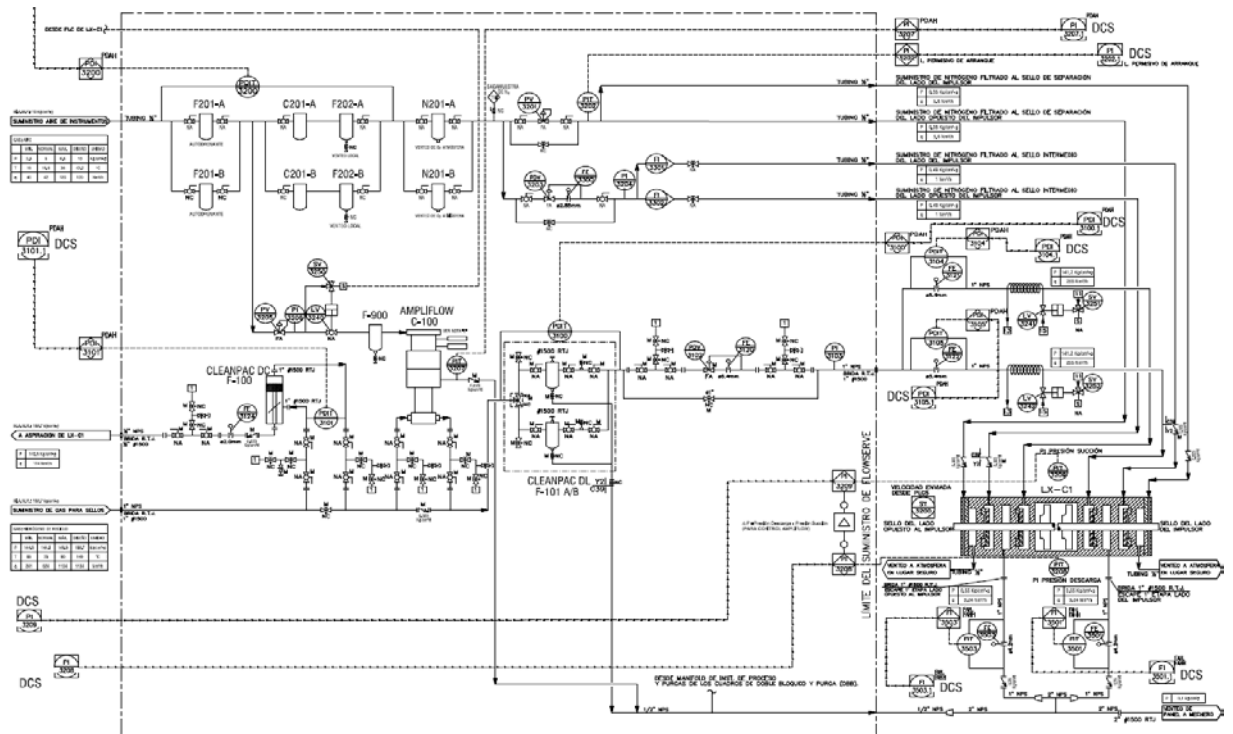
Cromatografía típica:

H2	82.716
H2S	0.6
C1H4	12.84
C2H6	1.681
C3H8	1.062
C4H10 (iso)	0.488
C4H10 (n)	0.264
C5H12 (iso)	0.158
C5H12 (n)	0.058
H2O	-
C6+	0.133

Con la información de cromatografía se determinó la siguiente curva de equilibrio:



En esta gráfica se puede ver que el gas tiene un punto de rocío de 35°C a presión de succión de la máquina y dado que la temperatura de descarga del gas es de 75 °C entonces el tecnólogo determinó que el margen de sobre el punto de rocío del gas era suficientemente seguro como para no requerir calentamiento de gas. De esta manera, la ingeniería del tecnólogo definió un sistema de acondicionamiento de gas de sello con un pequeño separador gas líquido, un generador de nitrógeno, reguladores y un dispositivo incrementador de presión para mantener una presión diferencial mínima del gas a través del sello durante el arranque de la máquina ó en condición operativa anormal dónde se pueda reducir la diferencial de presión desarrollada por la máquina; este sistema se puede observar en la figura a continuación:



Efectuado el paro de la unidad se realizó el revamping del compresor y la instalación del sistema de acondicionamiento. Finalizadas las tareas se procedió a la puesta en marcha con los inconvenientes que se indican a continuación:

- **Día 09/12/10 - 19 h. Paro compresor por actuación de protección de Muy Alto Caudal de gas de pérdida sello LA.**

Falla del sello LA (Lado Acoplamiento), a una presión de 40 kg/cm² y luego de aproximadamente 24 hrs. en servicio (bomba LXP1 fuera de servicio).

Consecuencias: se debe abortar la puesta en marcha de la planta

Resultados de la inspección: se encontró el anillo de separación entre gas de panel y venteo a mechero, extrusado y cortado (este anillo era de Teflón con un resorte interno).

Trabajos realizados luego de esta falla: se cambió el anillo de Teflón por otro de Vitón de alta dureza, montándolo en un sello de repuesto nuevo.

- **Día 10/12/10- 22:45 Hrs. Paro compresor por actuación de protección de Muy Alto Caudal de gas de pérdida sello LA.**

Falla del sello LA, a una presión de 90 kg/cm² , con bomba LXP1 en servicio, luego de aproximadamente 4 hrs. en servicio

Consecuencias: se debe abortar la PEM de la planta.

Resultados de la inspección: se encontró el anillo de separación entre gas de panel y venteo a mechero, extrusado y cortado además de presencia de Gasoil dentro del compresor y 24 horas después del paro. Se decide desmontar, inclusive el sello LOA para control.

Trabajos realizados luego de esta falla: se cambió sello LOA por uno nuevo de repuesto, se construyó una camisa nueva para el sello LA a fin de evitar el extrusado del anillo, y se recuperaron y montaron internos del sello LA. Se realizó limpieza de líneas de aspiración y envío del compresor, así como el panel de control de los sellos secos el cuál se encontraba con presencia de Gas Oil.

- **Día 14/12/10- 07 Hrs. Paro compresor por actuación de protección de Muy Alto Caudal de gas de pérdida sello LA.**

Falla del sello LA , a una presión de 2 kg/cm² , sin bomba LXP1 en servicio y durante el proceso de habilitación del compresor para arranque. El compresor no rotó.

Consecuencias: se debe abortar la PEM de la planta

Resultados de la inspección: se encontró sello LA con presencia de GO y una aparente apertura de caras en sello interno por falencias constructivas de la camisa nueva (rugosidad mayor a la especificada)

Trabajos realizados luego de esta falla: se rectificó zona de camisa con rugosidad inadecuada, se realizó limpieza y chequeo dimensional de todo el sello, y se montó. Se limpiaron líneas de aspiración y envío del compresor, como asimismo el panel de control de los sellos secos, el cuál se encontraba con presencia de Gas Oil, aunque en menor cantidad que en falla anterior.

Día 17/12/10- 20:15 hrs. Paro compresor por actuación de protección de Muy Alto Caudal de gas de pérdida sello LA.

Falla del sello LA a una presión de operación normal (139 kg/cm²) , con bomba LXP1 en servicio; luego de aproximadamente 60 h en servicio

Consecuencias: se debe parar la planta

Resultados de la inspección: no se desarmaron los sellos, externamente se observan en buenas condiciones con presencia de Gas Oil. Se encuentra Gas Oil en el panel de sellos secos. Se decide volver al sistema de sellos húmedos por la falta de confiabilidad del sistema de sellos secos.

El tecnólogo envía los sellos sin desarmar a planta de Brasil para inspección y análisis de falla.

Debido a la presencia de Gas Oil en panel y sellos, el Dpto de procesos de la Refinería realizó el cálculo hidráulico del separador de aspiración del compresor LXC1 que corresponde al separador de alta presión de la unidad (LXV3) que se muestra a continuación:

Tag No. Lx-V3
Name Separator

Date 28-Jun-10
By Abc

INPUT

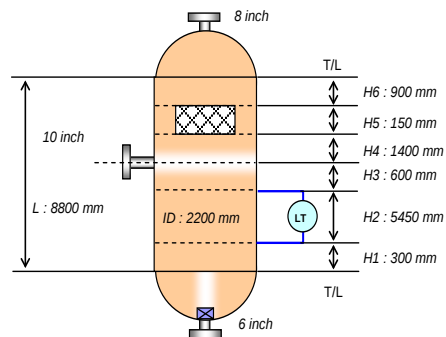
1	Vapor Flowrate	45890,0	kg / h
2	Vapor Density	26,83	kg / m ³
3	Liquid Flowrate	134300,0	kg / h
4	Liquid Density	729,4	kg / m ³
5	Operating Pressure	137,0	Barg
6	Special Requirement	No Special Requirement	
7	K Value Calculated (Souders - Brown Equation)	0,064	Vel. In m/s
	OR		
	Override K Value		Vel. In m/s
8	Liquid Holdup Time	7,0	min
9	Slug Capacity	0,5	m ³

NOZZLE SIZING

10	Feed Inlet Nozzle	ρV^2	10000	(Default : 10000)
	where ρ in lb/ft ³ , V in ft/s			
	Nozzle Size Selected	10 inch	, Sch. 40	
11	Vapor Outlet Nozzle	ρV^2	10000	(Default : 10000)
	where ρ in lb/ft ³ , V in ft/s			
	Nozzle Size Selected	8 inch	, Sch. 40	
12	Liquid Outlet Nozzle	Vmax	3	m / s
	Nozzle Size Selected	6 inch	, Sch. 40	

OPTIONAL INPUTS

13	Length / Diameter (L / D)			
	Minimum	4,0	(Default : 1.5)	
	Maximum	4,0	(Default : 5.0)	
14	Design Based on		Metric Units	

SCHEMATIC**RESULT**

L/D is more than Maximum Limit, Diameter increased
Select Design L/D Maximum : 4,00

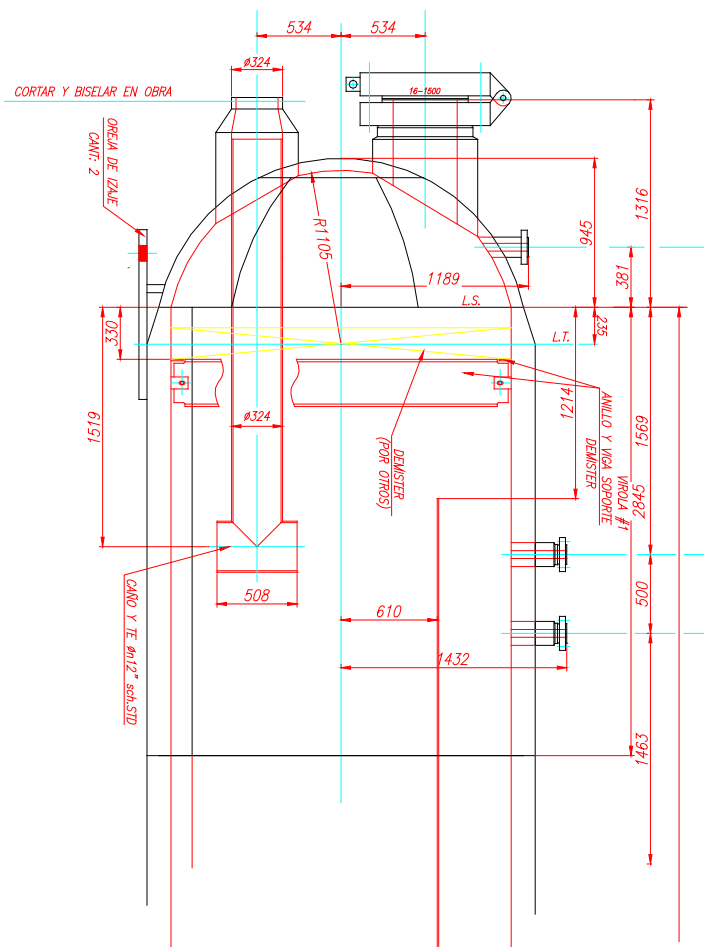
Vessel Dimensions

Diameter		2200 mm
Length T/L to T/L		8800 mm
Mesh Diameter		1400 mm
H1	Height from Bottom T/L to LLL	300 mm
H2	Level Range	5450 mm
H3	Height from HLL to Inlet Nozzle	600 mm
H4	Height from Inlet Nozzle to Mesh Pad	1400 mm
H5	Height of Mesh Pad	150 mm
H6	Height from Mesh Pad to Top T/L	900 mm
L/D	Length / Diameter Ratio	4,00
Head Type		Hemispherical
Volume (in Level Range H2)		20,7 m3
Surge Time (in Level Range H2)		6,75 min

www.chemsof.com

Los resultados de este cálculo mostraron que el diámetro requerido del separador es adecuado para desarrollar una velocidad inferior a la de arrastre pero que la distancia desde la conexión de entrada hasta el eliminador de niebra (demister) es insuficiente ya que debería estar 1400 mm por debajo del eliminador de niebra frente a 889 mm que es la distancia real disponible en el separador nuevo según diseño original.

Desde Mantenimiento, se decidió prolongar el punto de carga 300 mm más abajo así como recortar el baffle en la misma dimensión (ver plano a continuación):



En el caso de la segunda falla del sello seco, se presume que puede existir flujo inverso de GO al compresor y al panel del sistema de sellos secos por falta de válvulas de retención en el envío del compresor aguas abajo del LX-FIC-0081 y LX-FIC-0082, esto con el fin de impedir que retorne gasoil desde la bomba de carga LX-P1A/B al compresor LX-C1 cuando éste se pare. La instalación de estas válvulas de retención no se pudo concretar en

el paro de planta por cuanto las válvulas provistas no eran del Schedule especificado. Luego de esta situación se implementó un procedimiento operativo para evitar el flujo inverso ante el paro del compresor con la bomba LXP1 en servicio.

El día 21/12/10, se comienza a realizar el análisis de la información de la corriente de gases enviada al tecnólogo y se detecta que la misma no especifica explícitamente la cantidad de hidrocarburos pesados (en los cuales viene saturada) y solo se indican los componentes livianos detectados por cromatografía saturados en agua.

- **ANÁLISIS DE FALLA Y REPLANTEO DEL DISEÑO ORIGINAL.**

Se procedió a analizar el evento y la información de diseño y se detectaron los siguientes puntos:

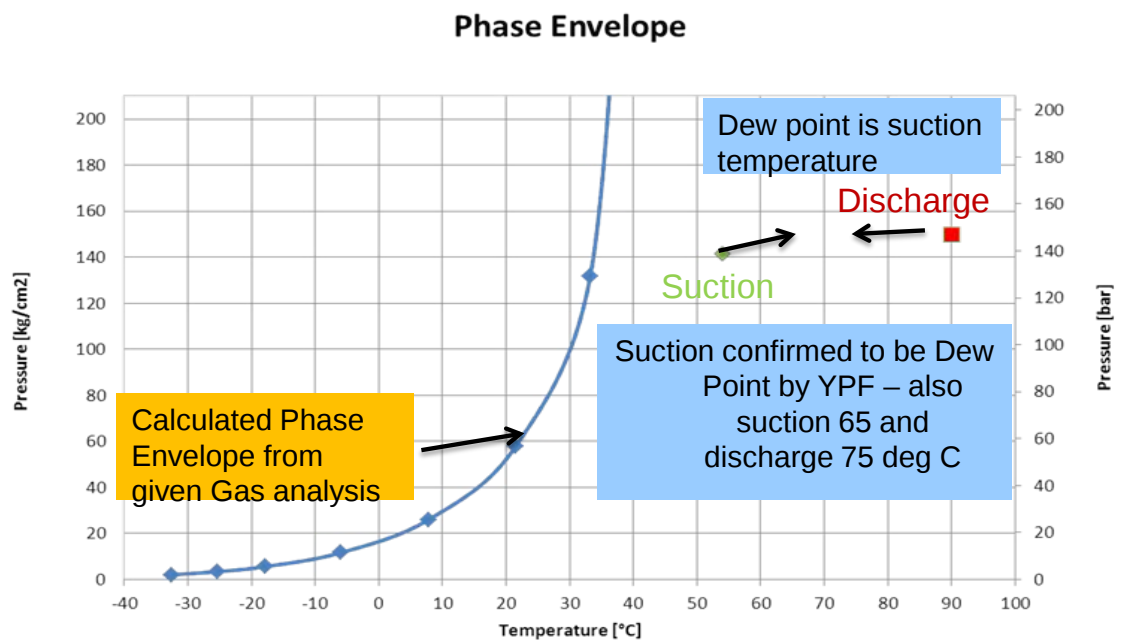
- No se detectó cantidad inusual de líquido debido a que la cromatografía no detecta los hidrocarburos pesados lo que trajo aparejado un cálculo del punto de rocío inferior al real; siendo este último el correspondiente a la temperatura de aspiración del compresor a presión de succión (65°C) vs el calculado teórico por cromatografía de 35°C.
- La temperatura a través del sistema no está 20°C sobre el punto de rocío pues la descarga del compresor está a 75°C.
- Ruteo de la cañería de gas de sello y punto de toma.
 - o El punto de toma ha sido probado en otras instalaciones.
 - o El punto de toma y el ruteo es opcional.
- Caudal de gas de sello y velocidad en laberintos: el caudal de gas de sello, para asistencia de sello, ha sido definido por el tecnólogo y aceptado por las prácticas de la industria.
- Revisión de los puertos y puntos de drenaje del compresor: El gas de sello deberá ser limpio y seco, por lo que bajo condiciones de inundación, que pueden resultar de los upsets del proceso, drenar el cuerpo del compresor previo puesta en marcha es conveniente e instalar válvulas de retención en la impulsión del compresor.

Por tanto:

Causa Inmediata: Falla del sello por presencia de líquido entre sus caras.

Causa Raiz:

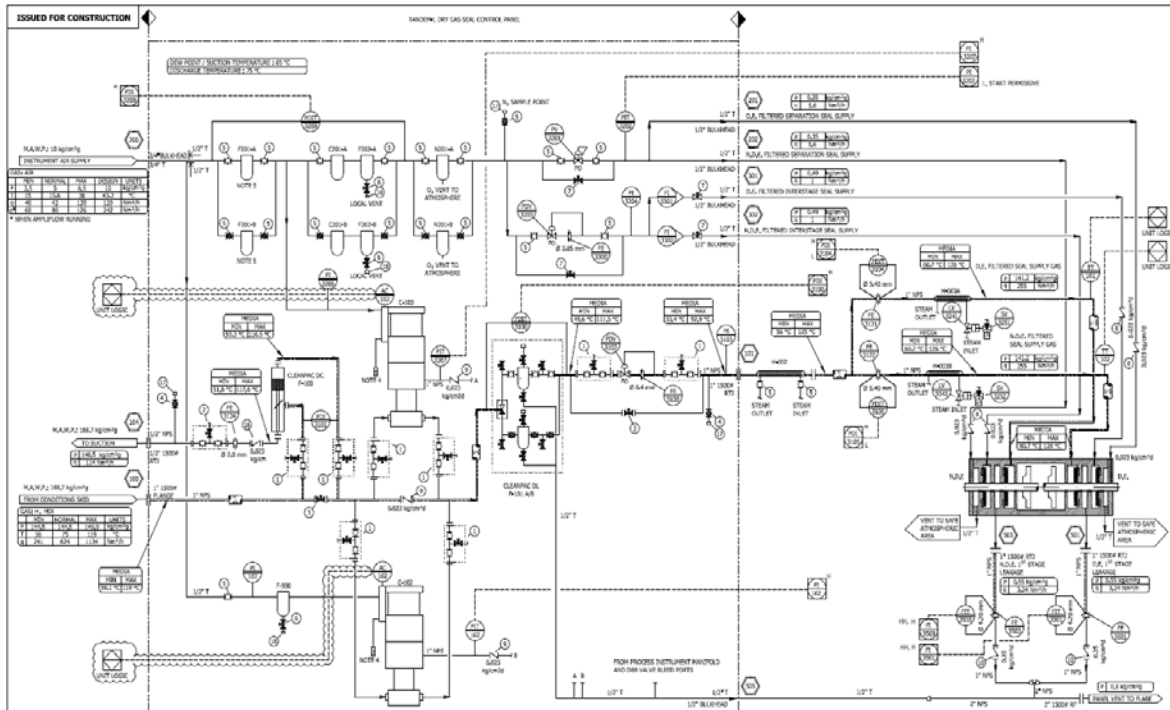
- Temperatura de gas de asistencia a sello inferior a la mínima requerida; siendo ésta de 20°C por encima del Dew Point de gas a presión de succión (El Dew Point corresponde a la temperatura de aspiración).



Nota: la temperatura del gas de sello debe estar al menos 20 °C por arriba del punto de rocío del gas, el cual se encuentra saturado en hidrocarburos. Se toma como T° de succión 65 °C, por lo que los calentadores deberían mantener una temperatura mínima de 85 °C en el gas de sello. El tecnólogo no consideró en forma correcta el diferencial de temperaturas, y en la implementación realizada los calentadores funcionaban solamente en la PEM del compresor y las líneas no estaban aisladas.

- Presencia de líquido por retorno desde la descarga del compresor durante los upset operativos y transitorio de puesta en marcha.
 - a. Drenaje en cuerpo del compresor previo puesta en marcha e instalación de válvulas de seguridad en la impulsión del compresor.

[illegible]



4. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de las lecciones aprendidas se debe mencionar:

- Durante el diseño se deben considerar todos los upset operativos y transitorios de puesta en marcha y parada que puedan ocasionar:
 - Arrastre excesivo de líquido desde el separador de aspiración.
 - Retorno de líquido desde la descarga del compresor durante la puesta en marcha y parada con bombas de carga en servicio.
- Asegurar el drenaje del cuerpo del compresor previo a puesta en marcha.
- Considerar en el diseño de los calentadores de gas que el punto de rocío del gas corresponde a la temperatura de succión a presión de succión. Los calentadores deben asegurar que el gas de inyección al sello esté, como mínimo, 20°C por encima del punto de su punto de rocío.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y NORMAS DE REFERENCIA.

- * Stahley, John, 2001, "Design, operation and maintenance consideration for improved Dry Gas Seal Reliability in Centrifugal Compressors", 30 th Turbomachinery Symposium, Turbomachinery Laboratory, Texas A&M University, College Station, Texas, USA
- * Godse, A. G., 2000, "Understand Dry Gas Seal", Hydrocarbon Processing Magazine, February 2000
- * Bloch, Heinz, 1998, "Improving Machinery Reliability", Third Edition, ISBN 0-88415-661-3, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, pp. 581-593
- * Delrahim, J., 2005, "Use Gas Conditioning to Improve Compressor Gas Seal Life", Hydrocarbon Processing Magazine, January 2005
- * Aimone, R., Forsthoffer, W, Salzmann, D, 2007, "Dry Gas Seal System: Best Practice for Selection, Which can help prevent failures", Turbomachinery International, January/February 2007, Vol. 48, N° 1, pg. 20-21
- * Natural Gas Star Partners, 2003, "Replacing wet seals with Dry seals in centrifugal compressors", EPA- Lessons learned Summaries, November 2003
- * Bloch, Heinz, 2005, "Consider Dry gas seal for centrifugal Compressors, Hydrocarbon Processing Magazine, January 2005
- API 614, "Lubrication, Shaft-Sealing, and Control-Oil System and Auxiliaries for Petroleum, Chemical and Gas Industry Servicers", American Petroleum Institute, USA
- * API 617, "Axial and Centrifugal Compressor and Expander-compressors for Petroleum, Chemical and Gas industry services", American Petroleum Institute, USA
- * ED-K-02.01-01, "Especificación de diseño de Repsol-YPF para Compresores Centrífugos de Proceso", puntos 4.7.1 (sellado del eje) y 4.7.2 (gas de sellado)

CV AUTOR:

Nombre: Jorge Farha.

Título: Ingeniero Químico – Post grado en automatización industrial y actualmente cursando Maestría en Mecatrónica.

- Ingeniero de procesos – Petroquímica Cuyo.
- Ingeniero de proyectos-procesos – BRIDAS SAPIC.
- Ingeniero de proyectos – YPF.
- Jefe ingeniería y proyecto – YPF actualmente.