

TROUBLESHOOTING DE CONDENSADORES DE SUPERFICIE

UNIDAD COKE 1 – CILC – YPF S.A.

Marcos David Cancio Montbrun, YPF S.A., marcos.cancio@ypf.com

Sinopsis

La unidad de cracking térmico “Coke I” es una de las más antiguas de la refinería CILC YPF S.A, ubicada en Mendoza, Argentina. La planta posee dos condensadores de superficie destinados a condensar vapor exhausto de turbinas de proceso. Uno de ellos (C-224-J) no desarrolló vacío durante una década, mientras que el otro (C-223-J) no alcanzaba vacío de diseño.

Se desarrolla un plan de troubleshooting (*diagnóstico y resolución de problemas*) de ambos sistemas para identificar causas raíz de la falta de vacío y optimizar la operación de la unidad.

El análisis de performance típico en sistemas de vacío se centra en dos ejes: acumulación de incondensables y/o falta de intercambio de calor. En el presente trabajo las causas raíz incluyeron diversos puntos como ser gestión del cambio, instrumentación inadecuada, mitos operativos, metodología de mantenimiento y la complejidad propia debido al diseño de los sistemas con múltiples turbinas.

El referente de procesos de refino Ing. Norman Lieberman en el prefacio de su libro *Trouble shooting Vacuum Systems* describe: “*La ingeniería de procesos es una de las actividades más difíciles que la humanidad ha seleccionado en su deseo de dominar el universo. Y, la performance de los sistemas de eyector-condensador de múltiples etapas es claramente una de las facetas más complejas de la ingeniería de procesos.*” Esto, basado en la experiencia vivida con estos equipos, es totalmente cierto. La perseverancia fue el eje característico durante el desarrollo del estudio. Técnicamente muy desafiante, a medida que se solucionaban desvíos puntuales los resultados no eran satisfactorios.

Luego del estudio y mejoras implementadas con éxito se logra un ahorro de 485 KUSD/año conjunto entre ambos equipos, se mejora la operación de las turbinas asociadas dando mayor estabilidad al proceso, se disminuye el consumo de vapor requerido, se disminuyen emisiones ambientales asociadas a la menor necesidad de vapor en el proceso y por venteos de gas propios de la unidad, y se robustece la gestión del conocimiento en el plantel operativo al involucrarlo en el proceso de mejora.

Para ambos análisis se desarrolló un trabajo interdisciplinario que involucró a personal de equipos de Procesos, Operaciones, Mantenimiento, Gestión Energética, Equipos Rotantes e Inspección para poder lograr el objetivo buscado.

La presentación detalla los objetivos de ambos troubleshootings, los planes armados, y los desafíos imprevistos que surgieron a lo largo de la implementación.

Introducción

Como punto introductorio es necesario describir la razón de ser y los conceptos básicos que gobiernan la operación de un condensador de superficie.

El objetivo de estos equipos es reducir la contrapresión de descarga sobre las turbinas de vapor, trabajando a una presión por debajo de la presión atmosférica. A menor contrapresión, mayor expansión del vapor y consecuentemente se logra obtener más trabajo. Aumentando la liberación de energía por cada kg de vapor motriz, resulta en una menor necesidad de vapor para el accionamiento de la turbina para una determinada demanda del sistema. El vapor que ingresa al condensador luego de entregar energía en la turbina experimenta una gran expansión, enfriándose rápidamente sobre los tubos (refrigerados con agua de enfriamiento) y reduciendo así el volumen ocupado. Es justamente este rápido enfriamiento y gran reducción de volumen lo que produce el vacío. En la teoría este vacío debería ser suficiente para la operación.

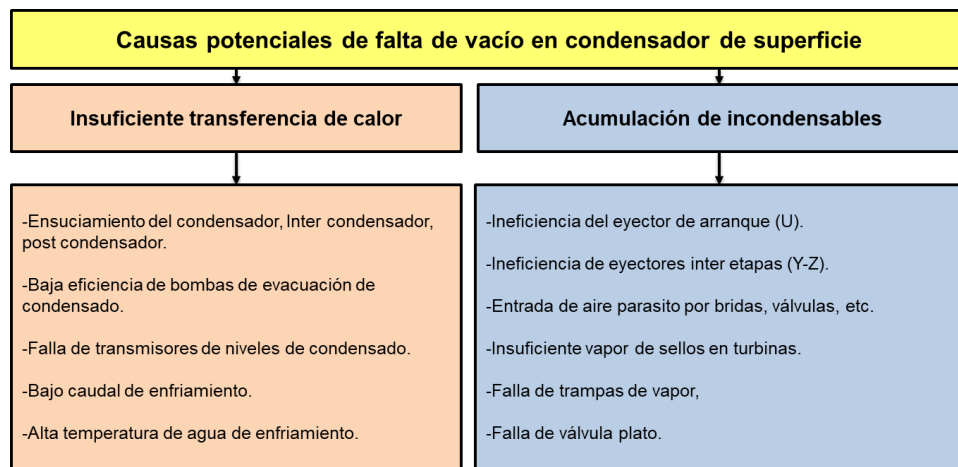
Otro beneficio es la recuperación del vapor condensado para su reúso, aprovechando el calor residual y la calidad del condensado que conlleva costos de tratamiento especiales para calidad de alimentación a

calderas. Por todas estas razones, los condensadores deben ser mantenidos con el mayor vacío posible para maximizar el ahorro de vapor en forma constante.

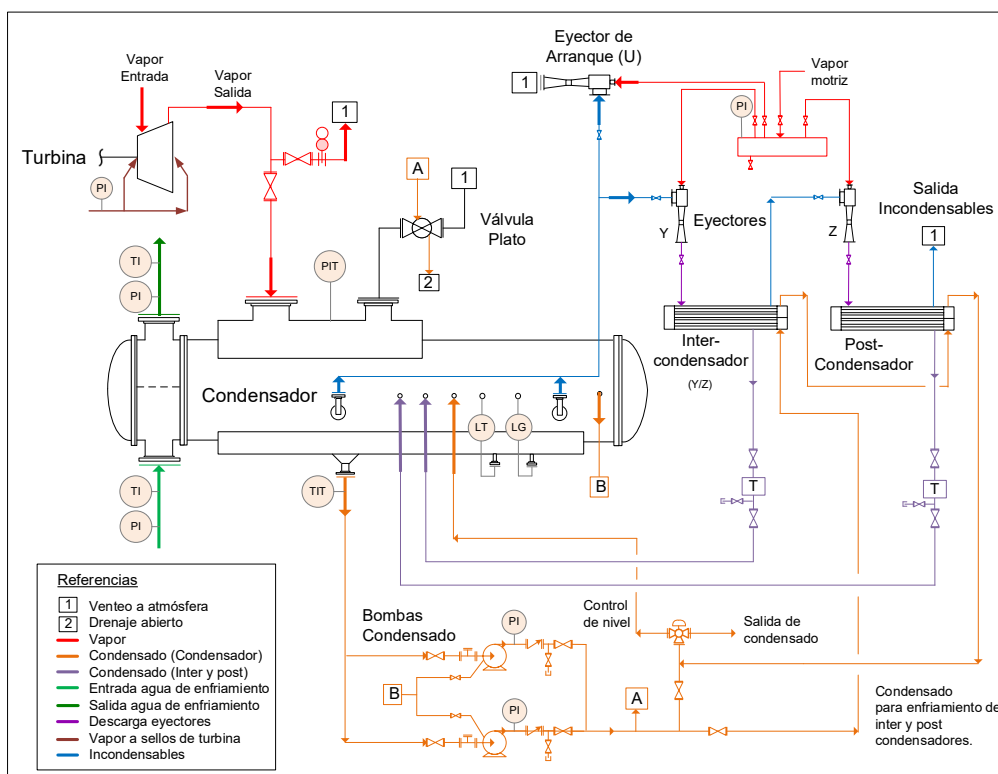
La mayoría de los sistemas de vacío de los condensadores de superficie están diseñados para asegurar un vacío de 660 mmHg (87.9 kPa) respecto al vacío a nivel del mar que es de 760 mmHg (101.3 kPa). Claramente este valor variará respecto de la elevación según ubicación geográfica de la instalación, puesto que el máximo vacío a obtener disminuye con el aumento de la altitud. Para la ubicación de Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina, el máximo vacío teórico sería del orden de 660 mmHg (87.9 kPa).

Dentro del condensador de superficie, el vapor y el condensado están en un estado de equilibrio. El vapor está completamente saturado, en su punto de rocío, y el condensado está en su punto de ebullición. Debido a esto es posible establecer una correlación entre la temperatura del condensado y el vacío en el equipo. Esta correlación nos permite identificar el punto de operación del equipo respecto a su diseño, detectar si el mismo se encuentra con desvíos operativos y permite inferir la tipología de la causa raíz.

Podríamos agrupar las causas de los desvíos en la performance de un condensador más comunes en dos tipos, como se muestra en el siguiente gráfico.



Esquema típico de un condensador de superficie:



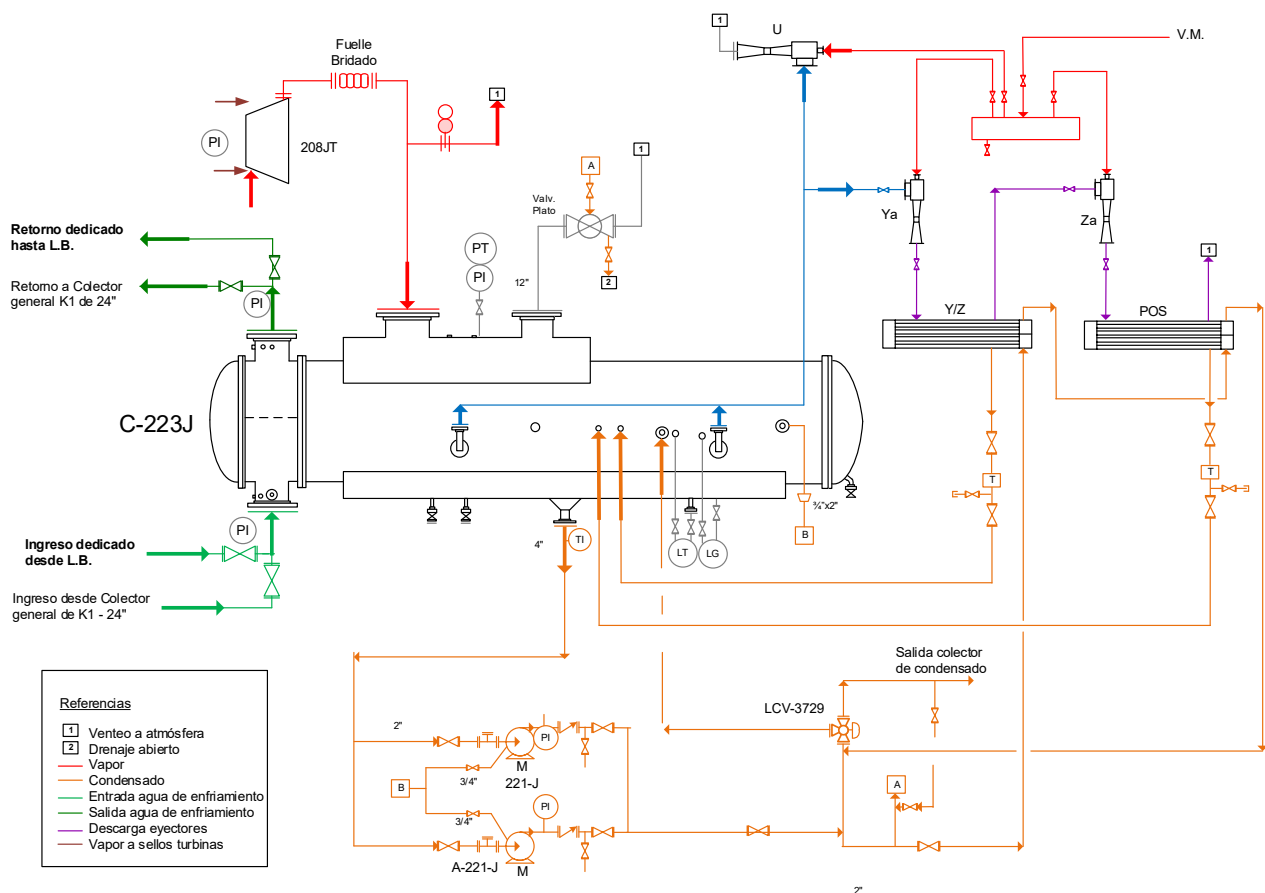
En el desarrollo de este trabajo veremos dos casos de estudio que tuvieron como causa raíz gobernante uno de estos tipos de origen: uno sufría de insuficiente transferencia de calor y el otro de una acumulación de incondensables excesiva. Es importante tener en cuenta que generalmente los problemas operativos de estos equipos parecen ser multicausales, pero siempre existirá un problema base que genera la mayor desviación produciendo otros desvíos. Ya sea como consecuencia directa, o producido por los toques operativos realizados para tratar de corregir al primero.

Desarrollo

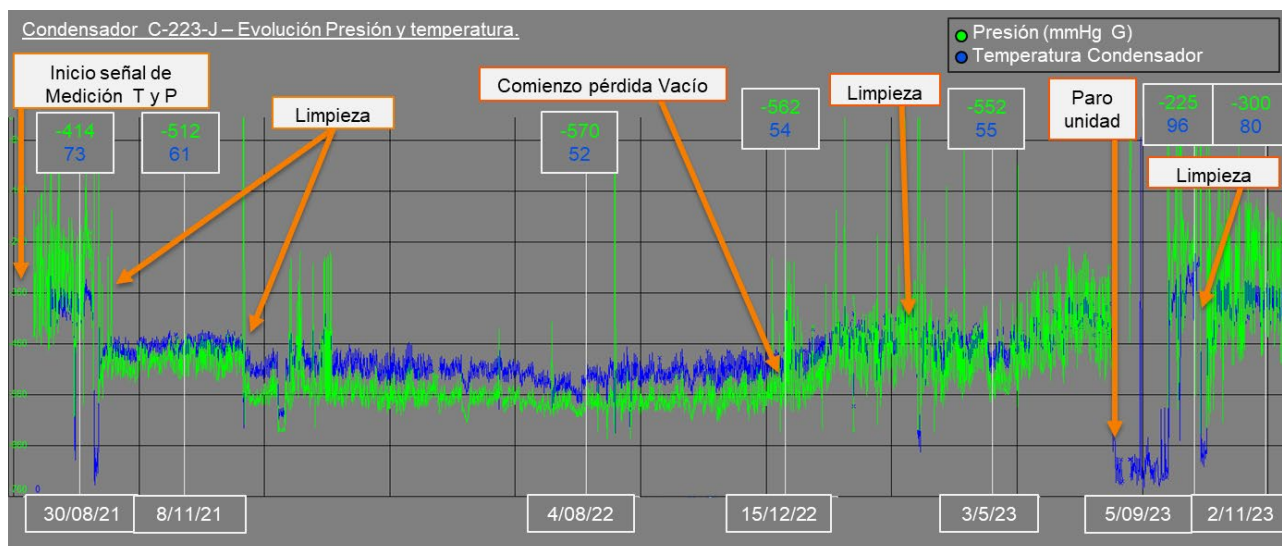
Caso 1 – Condensador C-223-J

Servicio: Descarga única de turbina de compresor centrífugo de planta de gases de unidad de Cracking térmico. Una característica particular de este tipo de servicio es que la demanda del equipo fluctúa a lo largo del día por la índole cíclica del proceso. En diferentes momentos la cantidad de gases a procesar por el compresor aumenta o disminuye considerablemente. El vapor que procesa la turbina es vapor de baja presión a 4,5 kg/cm² y 190 °C.

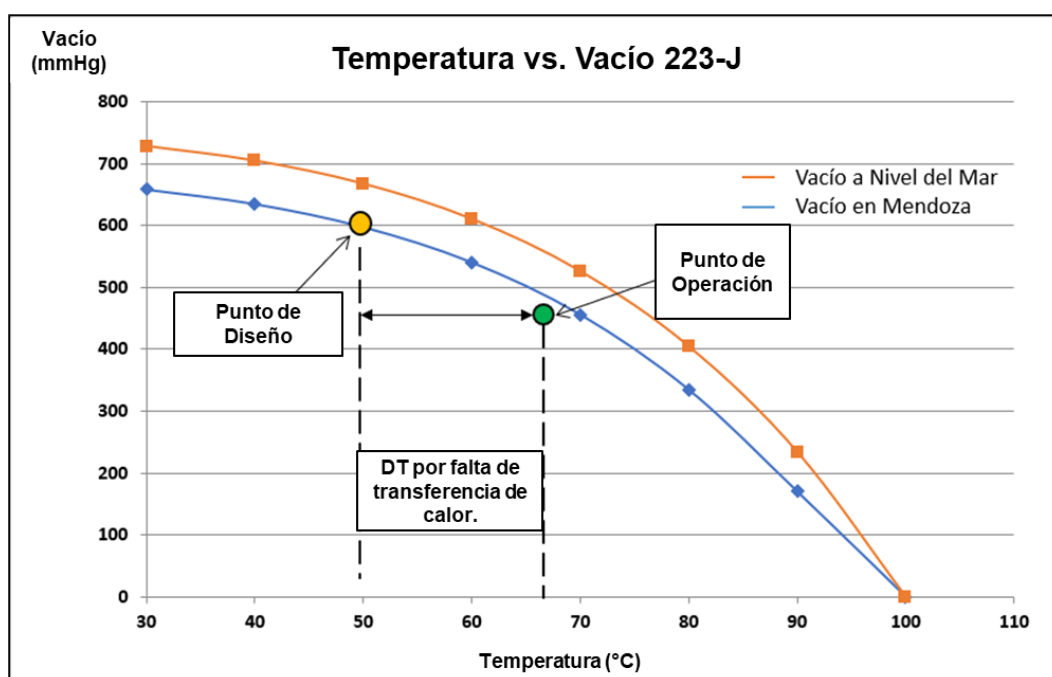
Esquema de la instalación:



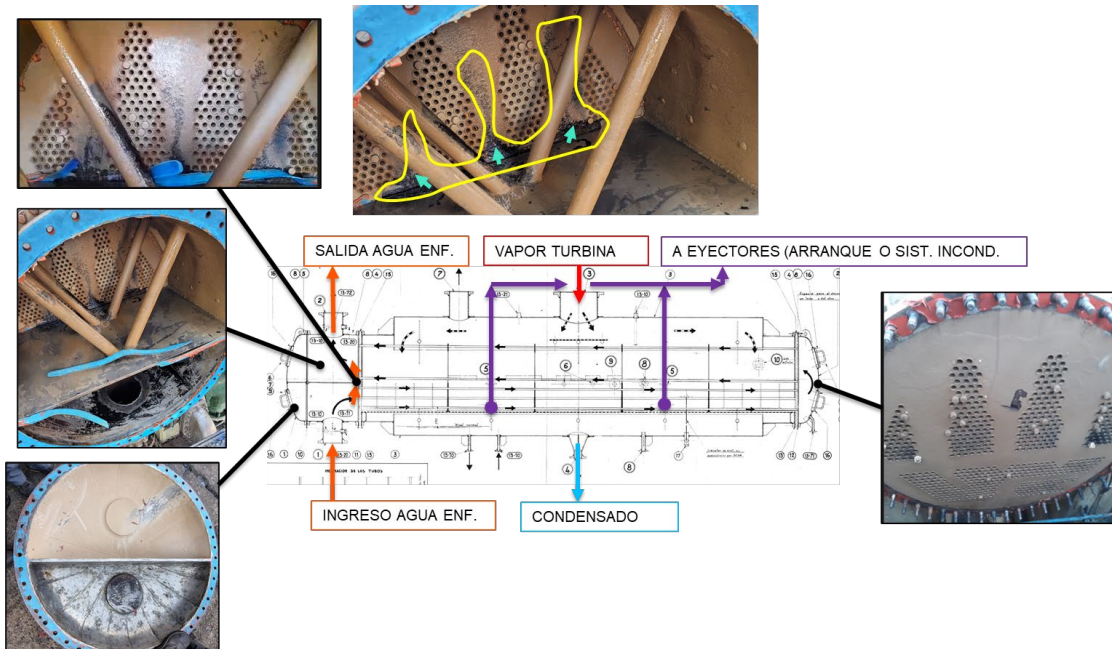
A mediados de Julio de 2021 se instaló en el condensador medición de temperatura del condensado y vacío en envoltorio, con señal al sistema de control. En el siguiente gráfico se puede observar la evolución del vacío desde la instalación de medición hasta noviembre de 2023. Se puede destacar como el equipo operó correctamente hasta diciembre de 2022, con 2 limpiezas del equipo efectivas en las que se ganó vacío. En diciembre de 2022 se comienza una tendencia de ensuciamiento bastante pronunciada que no mejora con posteriores limpiezas, ni con la apertura e *intervención del equipo en parada de planta* de septiembre de 2023.



Como se comentó con anterioridad una forma de evaluación rápida y muy útil de la performance de estos equipos es referenciando el **punto de operación respecto a la curva de equilibrio liquido-vapor del agua**. A modo de ejemplo, si graficamos el punto de operación en diciembre de 2022 cuando se comienza a perder vacío se puede visualizar el desvío respecto al diseño debido a la falta de transferencia de calor.



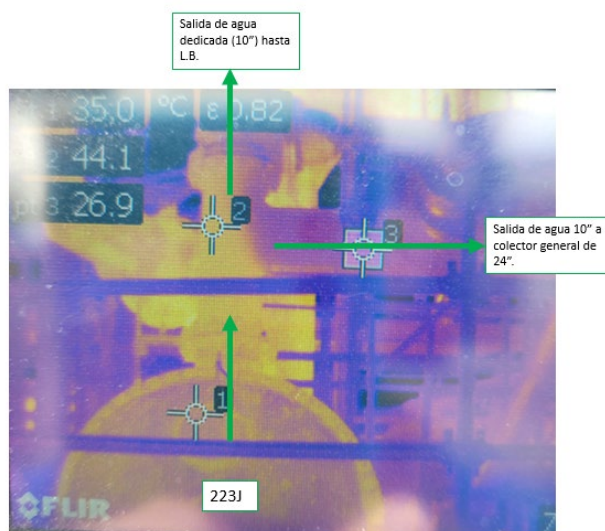
Debido a la baja performance observada luego del paro de unidad se decide realizar un **mapeo de presiones y temperaturas del sistema**. A partir de este mapeo se identifica que se encuentra una obstrucción aguas arriba del equipo y/o dentro del mismo. Se define realizar una intervención del equipo. Al momento de la apertura se pudo constatar que el cabezal de entrada de agua al mismo se estaba bypaseando, por una junta rota y erosionada. Se puede ver en las siguientes imágenes como el agua de enfriamiento bypasea el equipo por la junta contra la placa porta tubos. Así mismo se puede ver que por las altas temperaturas del equipo y baja circulación se producían depósitos calcáreos importantes (y sectorizados de acuerdo con el flujo).



En la intervención se mecanizó la brida del cabezal y repuso la junta correspondiente. Los resultados de esta intervención fueron infructuosos pues lamentablemente la mejora en el condensador no fue apreciable.

Como parte de la investigación se procedió a realizar un *mapeo térmico con cámara termográfica* para identificar zonas calientes. Como se puede observar en la figura de inicio (esquema del sistema del condensador), el mismo posee dos ingresos de agua y dos salidas. Un conjunto entrada-salida se comparte con el resto de los colectores de agua de la unidad y el otro es dedicado para este equipo desde el L.B. (límite de batería). Cuando se realizó la termografía al cabezal del condensador, se pudo observar que una de ellas estaba muy fría. Se realizó una prueba de bloquear esa salida en cuestión (salida lateral), logrando mejorar el vacío ganando aproximadamente 40 mmHg (5.3 kPa) y bajando la pérdida de carga del equipo de 2.1 kg/cm² a 1.8 kg/cm². De ello se pudo deducir que el equipo tenía una contrapresión con circulación inversa desde el retorno lateral. Así pudo constatar que la configuración óptima de operación era abriendo ambas entradas, pero cerrando la salida lateral.

A continuación, se presenta la termografía de ese momento:



Se realizó también una *revisión de los planos del inter y post condensador* se pudo detectar una zona muerta en los mismos. El especialista de ingeniería de YPF recomendó construir mazos nuevos agregando un bafle más en el Y/Z para mejorar la eficiencia del sistema de incondensables mejorando la transferencia de dichos equipos y así se procedió. El equipo mejoró su performance, pero muy poco.

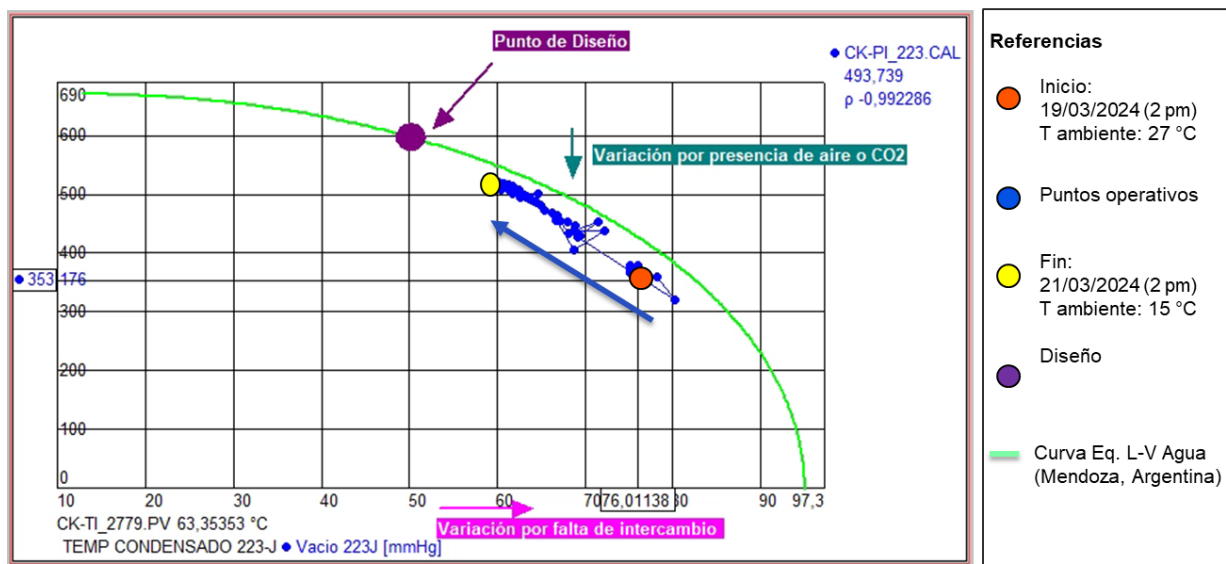
En paralelo a este plan de acción se realizaron **mediciones de caudal de agua de enfriamiento** con caudalímetro portátil (ultrasónico), que, si bien no suelen dar valores del todo precisos en líneas de agua de enfriamiento antiguas con tendencia a formación de depósitos, entregaría un dato de orden de magnitud respecto al caudal esperado de diseño. (400 m³/h aproximadamente) y el caudalímetro indicaba que esto era correcto.

A esta altura de la investigación no se encontraban más causas potenciales que las consideradas hasta el momento y no había muchas más pruebas/correcciones para realizar. Solo continuaba la hipótesis de falta de enfriamiento por alguna razón no identificada y acciones, lógicas, pero sin resultado exitoso.

En marzo de 2024 se produce una disminución de temperatura ambiente considerable (10°C aprox.). Debido a que se cuenta con las indicaciones de temperatura y presión del equipo con señal al sistema de control distribuido, como parte del seguimiento de la unidad se dispuso de la curva que indica minuto a minuto el punto de operación del equipo.

El siguiente gráfico es una captura de video de la evolución de la operación del condensador. Debido a que no se puede adjuntar el video en el presente trabajo, se indica la evolución de los datos con la flecha en color Azul.

C-223-J - Vacío vs. Temperatura Condensado. Puntos de operación del quipo durante tormenta (baja T ambiente)



El equipo mostró una gran **sensibilidad a la variación de la temperatura ambiente** (en realidad a la del agua de enfriamiento, que baja considerablemente por mayor eficiencia en torres de enfriamiento de refinería debido a la baja de la temperatura ambiente), confirmando que la hipótesis de baja transferencia de calor (probablemente por ensuciamiento) seguía siendo correcta. Como $Q=U.A. DT$, (donde Q es el calor transferido, U coeficiente de transferencia, A el área de intercambio y DT, la diferencia de temperatura entre entrada y salida: A es fija (puesto que los controles de niveles de condensado ya se habían chequeado oportunamente y la operación no había cambiado en ese periodo), el Q se incrementó notablemente debido al aumento del DT, todo indicaba que el U debía de haber bajado considerablemente respecto al diseño.

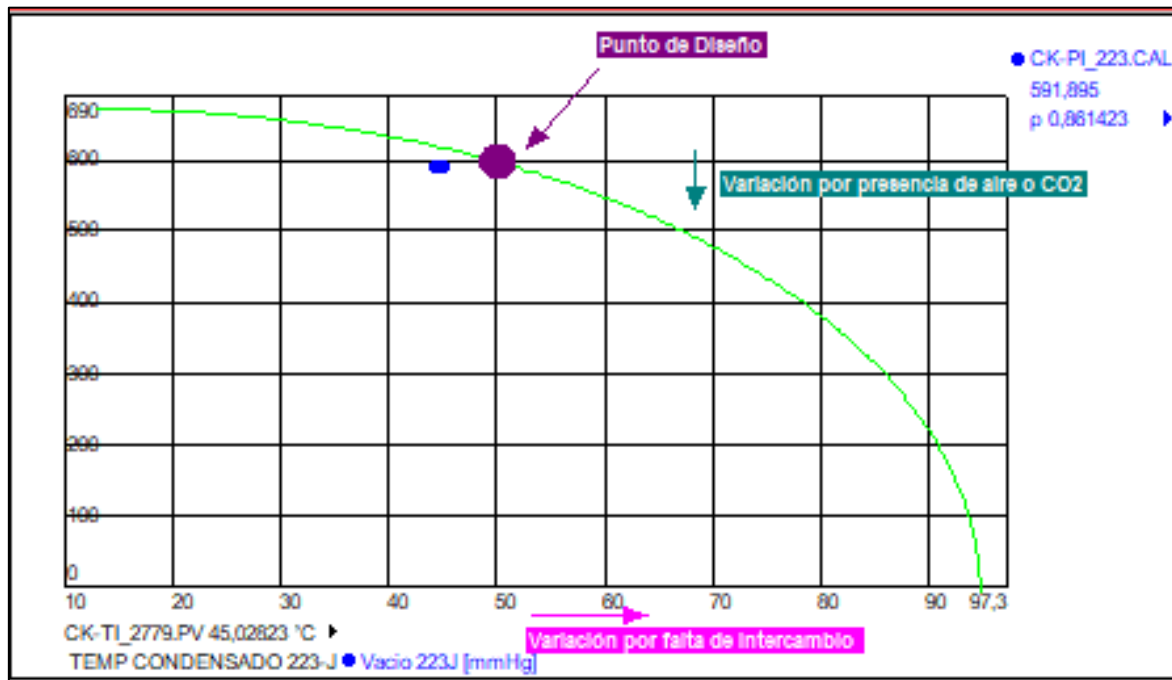
A pesar de haber limpiado el equipo en reiteradas ocasiones, de haber optimizado todos los elementos “periféricos” del condensador y de no haber identificado indicio de suciedad residual en los tubos a simple vista, todas las evidencias indicaban que **necesitaba limpiarse nuevamente**.

Se decide realizar una nueva intervención, pero esta vez con una empresa y máquina/método diferente al realizado anteriormente en el complejo. En la apertura de los cabezales no se observó que se encontraran sucios como en otras oportunidades, sin embargo, la suciedad de los tubos se presentaba como una cáscara muy dura y, en palabras propias de quienes limpiaban los tubos, “*muy difícil de romper*”.

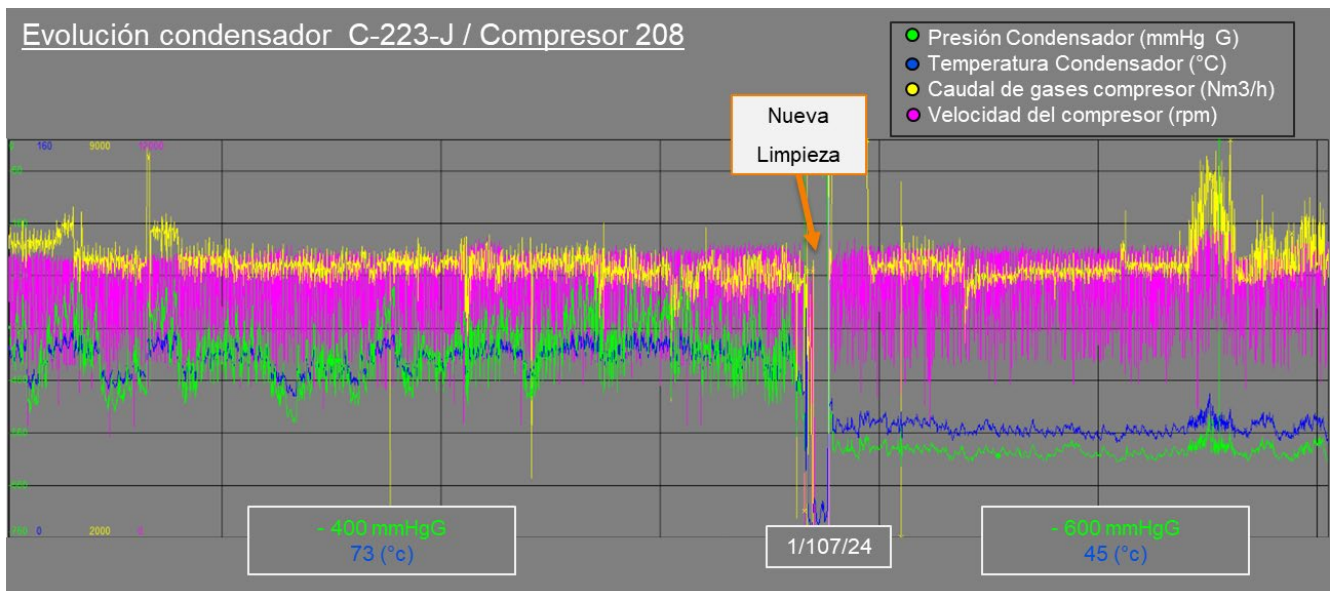
Si se compara las limpiezas previas y esta última, se observa que luego de la nueva intervención, el condensador **queda operando sobre su punto de diseño**. Logrando un vacío óptimo que ronda los **600 mmHg**.

(79.9 kPa) con un condensado subenfriado en 45°C. En ese momento el equipo mostraba la mejor performance de todos los condensadores del complejo industrial.

En la siguiente gráfica se observa el punto de operación posterior a la limpieza (punto azul) cercano al de diseño (punto violeta) sobre la curva de equilibrio Vapor-Condensado.



Se puede ver en la siguiente captura de tendencias de presión y temperatura el antes y el después de la intervención. Siendo la línea verde el vacío, se ve como mejora drásticamente de -400 mmHg promedio a -600 mmHg promedio (manométrico) y la línea azul el condensado bajando de 75 °C a 40 °C promedio. Así mismo la buena performance se denota en el hecho de que el vacío se mantiene muy estable, siendo independiente de las perturbaciones del proceso (vale la pena comentar que en una unidad de Cracking Térmico Retardado son frecuentes).



De acuerdo con lo observado se deduce que el equipo convivió con una incrustación que no era removida con las limpiezas normales (ni aun manteniendo contra lavados de planta), empeorando cada vez más la incrustación en cada ciclo entre limpiezas. Lo llamativo de las intervenciones era que a simple vista no se observaba la suciedad remanente (ni siquiera) en los extremos de los tubos.

Cabe preguntarse entonces, ¿qué cambiamos en la metodología de limpieza? El cambio radica en 3 ejes principales:

- Cambio de máquinas de operación para la limpieza: Mayor caudal y presión en la punta del pico empleado.
- Cambio de herramientas: Se utiliza una máquina de mayor capacidad y diferentes picos.
- Idoneidad del personal: La empresa que realizó el segundo lavado del equipo tiene mucha más experiencia, y se considera que influye en lo que respecta a la selección del pico para la aplicación específica, y la configuración que el personal realiza en la máquina para lograr los resultados esperados.

Diferencias entre metodologías de limpieza:

Empresa 1: Utilizó una maquina hidro cinética GARDNER. Variables Operativas: Pmax = 800 bar / Caudal Max = 90 l/min. Pico convencional.

Empresa 2: Utilizó una maquina hidro cinética HAMMELMAN. Variables Operativas: Pmax = 1100 bar / Caudal Max = 145 l/min. Picos especiales según necesidad.

Cada pico tiene su curva con rangos de presión/caudal, por lo que, si se realiza mal la selección del pico, por más que se emplee una máquina de mayor capacidad, limitara de todas formas el resultado. A modo de ejemplo, se muestran dos extractos de cartas de selección de picos para lanzas rígidas y flexibles, y para mangueras. *Captura de Catálogo de ejemplo de picos de NLB Corp.:*

How to Use These Charts:

1. Within your operating pressure, find the I.D. of your tube.
2. Choose a lance that will fit in your tube and establish the length that will be required for your application. **NOTE:** The XX in the model number refers to length: 35' and 50' (10.7 m and 15.2 m) are standard.
3. Read across the chart for potential nozzles and stingers. Couplings can be found in the chart in the lower right-hand corner.



Nozzle Families

STANDARD for general cleaning		EVAPORATOR for heavily-fouled tubes	
BUTTON moves easily around bends		RODDER screws onto rigid lance	
MULTI ROW removes soft material			

Count on NLB nozzles for fast work (and fast delivery)

The NLB line includes five nozzle styles, in 10,000 psi and 20,000 psi models (690 bar and 1,380 bar) all available for immediate delivery*:

- TS - standard
- TM - multi-row
- TB - button
- TE - evaporator
- TR - rodder (attaches to a rod)

If one of these standard nozzles isn't quite right for your application, we can custom-engineer one that is. Just call 248-624-5555 or your nearest NLB branch. You'll find these locations on the back of this catalog.

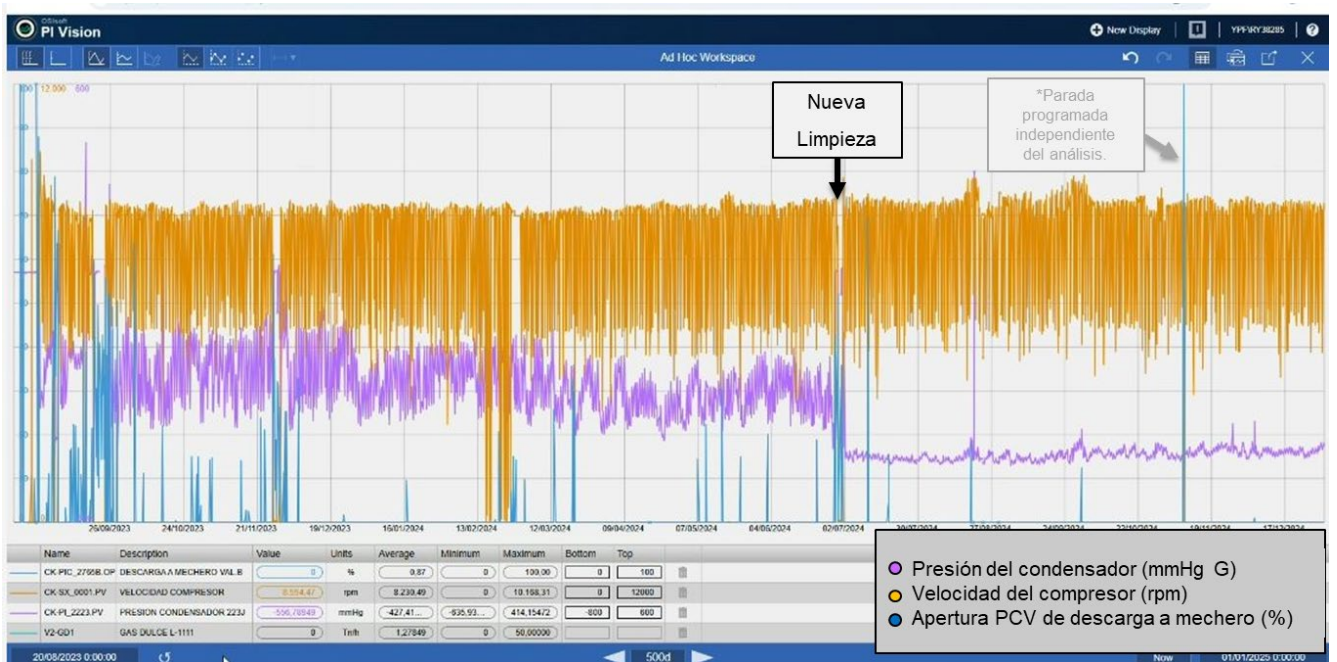
*Should a standard nozzle not be in stock when you call, any order received by 3:00 p.m. EST/EDT can still be delivered the next day.

Legend:

T S - 3 C 15 20K LH

1. Standard	4. Flow = 15 gpm
2. Model 3 (1.25" long, 0.687" O.D.)	5. 20,000 psi
3. C for Cutting (or P for Pulling)	6. Left-hand thread

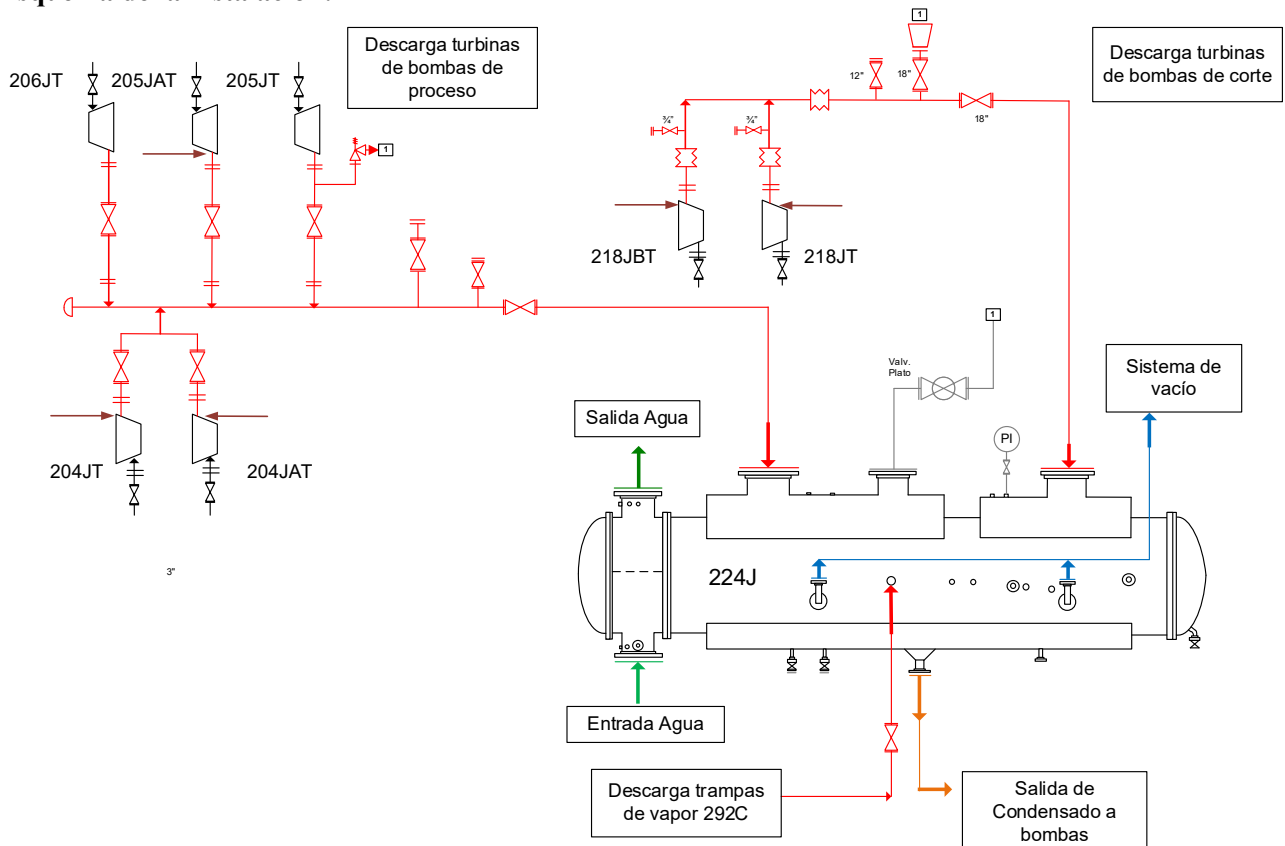
Además de la confiabilidad, cuidado del equipo rotante por estabilidad lograda en el proceso, otro beneficio directo asociado a la mejora es la disminución de las mermas a mechero que se producían por la disminución en la capacidad del compresor. En la siguiente gráfica se muestra como referencia en color violeta el vacío del condensador. En color azul se encuentran las aperturas a mechero del acumulador de aspiración del compresor.



Caso 2 – Condensador C-224-J

Servicio: Descargas de varias turbinas de bombas de proceso (7) y condensado de trampas de condensado de un reboiler que operan con vapor de alta presión (32 kg/cm²) como fluido motor y calefactor.

Esquema de la instalación:



En enero de 2025 tuve la posibilidad de reportar una situación que cualquier Ingeniero dedicado al análisis y seguimiento de un equipo que presenta problemas espera. Escribí en un mail a varios destinatarios del complejo industrial: *“El día 10/1/25 se logró poner en marcha el condensador 224-J de Unidad de Coque I desarrollando vacío correctamente. Esta operación no se había observado desde hacía más de una década, varios de quienes pasamos por la unidad podemos afirmar que nunca lo habíamos visto hacer vacío”*.

El equipo en cuestión había ya tenido múltiples investigaciones y estudios a lo largo del tiempo (algunos realizados por diferentes jefes que tuvo la unidad, otros por áreas dedicadas al tema como gestión energética, otros por especialistas externos a la empresa, e incluso otros previamente realizados por mí). En todas esas instancias aparentemente no se lograba identificar la causa raíz del problema. En realidad, el problema en sí era multicausal, y cada vez que se hallaba una causa raíz y se corregía no se observaba un resultado apreciable, por lo cual el análisis quedaba allí.

Particularmente la ausencia absoluta de vacío (operaba a presión atmosférica) y las elevadas temperaturas de salida de condensado ($>90^{\circ}\text{C}$) hacían muy dificultoso identificar la causa de baja performance con un trouble shooting de rutina.

También es cierto, que debido a esta situación algunas veces escuché frases como *“ese equipo no va a andar nunca”*, inclusive de personas que admiro técnicamente y que sin duda sufrieron también a costas del equipo que se negaba a operar de acuerdo con su diseño. Normalizar este tipo de desvíos operativos no está en línea con una operación eficiente y que busca la mejora continua.

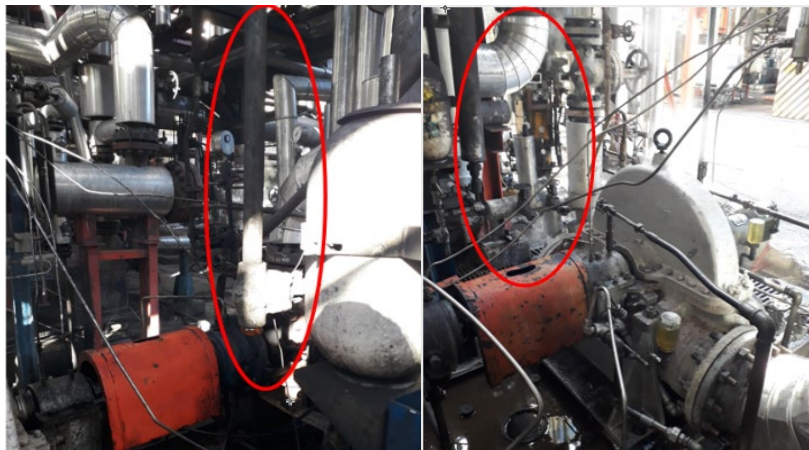
Con un equipo interdisciplinario formado por operaciones, procesos, mantenimiento, gestión energética y el respaldo gerencial para trabajar en el equipo, con una firme voluntad, y entendiendo el ahorro energético y mejora operativa que implica, se desarrolló un troubleshooting sólido y dinámico.

Si nos remontamos a la historia del equipo, original de la década del 60, el mismo desarrolló vacío hasta el año 2014 aproximadamente. En esa época el registro de variables era manual, puesto que solo contaba con algo de instrumentación de campo. De todas formas los operadores más antiguos comentaban que nunca operó en valores de diseño, y que estaba la mayor parte del tiempo con baja performance, hasta que dejó de hacer vacío (aún con el eyector de arranque en servicio permanente).

Una característica muy particular de este sistema es la gran cantidad de descargas de vapor y condensado que alimentan al condensador, lo cual implica no solo una alta demanda de capacidad del equipo sino además aumenta los potenciales puntos de ingreso de aire por mayor cantidad de piping, bridas y accesorios.

En una de las primeras investigaciones que realizamos sobre el equipo en 2020 pudimos identificar un cambio realizado entre los años 2013 y 2016 en los sellos de dos de las turbinas (206JT y 205JT). Básicamente se habían reemplazado sellos por obsolescencia, pero se cambió la tecnología pasando a sellos positivos, en los cuales no se requiere “vapor de sello” por que se asume que el sistema sella hacia el exterior. En un sistema que opera a vacío, esto no sucede. Este cambio insignificante desde la óptica del mantenimiento del equipo rotante, y realizado sin una gestión multidisciplinaria implicó habilitar un ingreso de aire parásito que “envenena” al sistema, superando ampliamente la capacidad del sistema del condensador para evacuar los incondensables.

Corregir el reemplazo de los sellos y readecuar las inyecciones de vapor a los mismos conllevó esperar a un paro de unidad en el año 2023, dado que las turbinas no eran entregables en servicio y las adecuaciones técnicas requeridas en cajas de sellos y demás eran complejas.



Finalmente, los **sellos se reemplazaron y las inyecciones de vapor de sello se readecuaron**. Pero el condensador no desarrolló vacío.

En paralelo a esta situación, una de las turbinas que descargan al equipo denominadas 218-JT-A/B serían reemplazadas por que se pondría una bomba con motor eléctrico nuevo para ese servicio. Esto nos permitió **cegar el colector de descarga de esas turbinas** (ver esquema al inicio del caso). Así **eliminamos un gran porcentaje de entradas potenciales de aire**, además de las fluctuaciones de descarga de vapor de esas turbinas por pertenecer al sistema de corte de carbón de la unidad, que se realiza durante intervalos de 4 horas al día. Implícitamente también se **reduce la demanda de capacidad del equipo**, puesto que son aproximadamente 6 tn/h de vapor menos que se le solicitan al equipo. La interpretación es que el mismo debía estar sobrado para la nueva condición operativa. Sin embargo, el condensador nuevamente no desarrollo vacío.

Habiendo tenido la experiencia de mejora en metodología de limpieza con el condensador C-223-J mencionado en el “Caso 1” del presente documento, **implementamos la misma limpieza** en el condensador C-224-J. A pesar de haber intervenido este equipo también en reiteradas ocasiones sin ninguna mejora, la remoción de incrustaciones fue notoria, como se observa en las siguientes capturas de video:



Una vez limpio el equipo, se puso en servicio nuevamente, pero aún así no se logró desarrollar vacío. La condición de operación del equipo continuaba siendo presión atmosférica y temperaturas de condensado excesivas.

En una visita posterior al equipo pude observar que por la descarga del venteo de la válvula plato salía un poco de vaho de vapor (no debería ser así). Vale la pena explicar un poco el concepto de la válvula plato en un condensador para quien no conoce la instalación. La válvula plato es básicamente la válvula de seguridad del condensador. Consiste en un plato de fundición que apoya sobre un asiento anular y cierra por su propio peso. Si el equipo por algún motivo se presiona, levanta el plato y libera la

presión a atmósfera. Para evitar que ingrese aire parásito a través de este elemento, la válvula cuenta con un sello hidráulico provisto por circulación de condensado del propio condensador enviado desde las bombas de evacuación de condensado (ver esquema al inicio), circula por la válvula y luego es drenado por un caño en la posición opuesta. Como el condensado empleado esta subenfriado en la condición que se emplea en la válvula plato, no hay razón para observar presencia de vapor en el venteo de esta válvula. Algo no estaba correcto con la misma.

Se procedió a habilitar el condensado de sello a la válvula con los operadores de la unidad, y no se pudo apreciar que el condensado evacuara. Segundo indicio de que estábamos frente a un nuevo problema diferente a los anteriores. (En troubleshootings anteriores esto no había sido un problema)

Se nos ocurrió realizar un prueba ingresando agua con una manguera con mayor caudal con la intención de rebalsarlo por el venteo. Al realizar esta prueba no solo nunca rebalso o dio indicios de evacuar agua por la salida de condensado de la válvula plato, sino que el nivel del condensador aumentó drásticamente. A conclusión era muy clara, la válvula plato estaba abierta.

Entusiasmados con el nuevo curso de la investigación uno de los operadores de la unidad sugirió que probáramos ponerle una bolsa al venteo, práctica común que se realiza cuando se busca puntos de ingreso de aire en sistemas de vacío.

Por supuesto realizamos esta prueba. Cuando se colocó la bolsa, instantáneamente el mano vacuómetro del condensador comenzó a marcar vacío (-10 mmHg, -30 mmHg, -60 mmHg, -70 mmHg). Sacamos la bolsa rápidamente por temor a que por la fuerza de la succión (que era considerable) se fuera hacia dentro del equipo. La foto a continuación es el registro de ese momento. Se puede observar la bolsa y la manguera que usamos en la prueba.



En base a lo observado se solicitó retirar el codo de venteo y la válvula plato para realizarle mantenimiento. Al momento de sacar la válvula se pudo observar que la misma estaba con restos de óxido, trabada en su recorrido y en posición abierta.

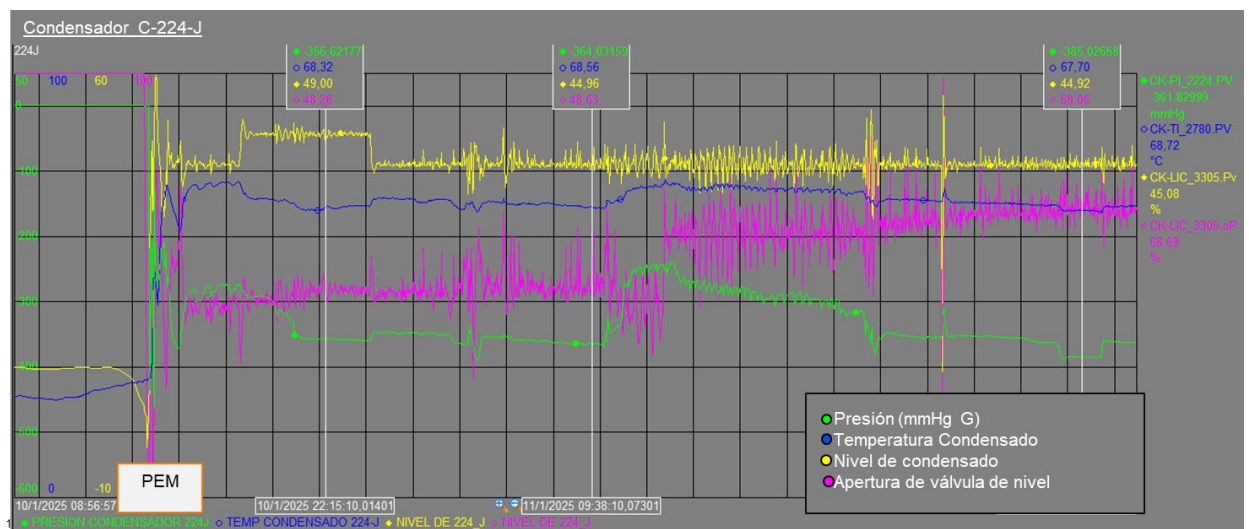


Las siguientes imágenes muestran la reparación y puesta a punto de la válvula realizada en taller de contratista local con quien trabajamos en conjunto para definir reparaciones puesto que no es una válvula común. Se puede observar claramente el plato y los surcos internos donde circula el condensado para el sello.



Una vez con la válvula reparada y montada se procedió a poner en marcha el condensador y por primera vez en muchos años desarrolló vacío. El punto de operación rondaba los -380 mmHg G para una temperatura de condensado de 70°C. Todo un logro, sin embargo, como era de esperarse en base a la historia, distaba aún de estar en un punto de operación cercano al diseño. La diferencia ahora sería que teníamos un punto de operación de referencia y dispondríamos de sensibilidad a los toques y ajustes que realizáramos para evaluar mejoras al tener algo de vacío.

Un punto que no mencioné aún en este caso es que desde una temprana etapa del troubleshooting se solicitó incorporar en el condensador señales de temperatura y presión al sistema de control, precisamente con la finalidad de evaluar la evolución del equipo y realizar un seguimiento adecuado. En la siguiente gráfica se observa la puesta en marcha del condensador con la nueva válvula.



Motivados por los nuevos resultados obtenidos, el plantel operativo de la unidad dedico bastante tiempo a encantar bridas, buscando eliminar ingresos de aires parásitos ajustar operaciones de niveles y atene4r el equipo redoblando esfuerzos para mejorar aun mas el vacío obtenido.

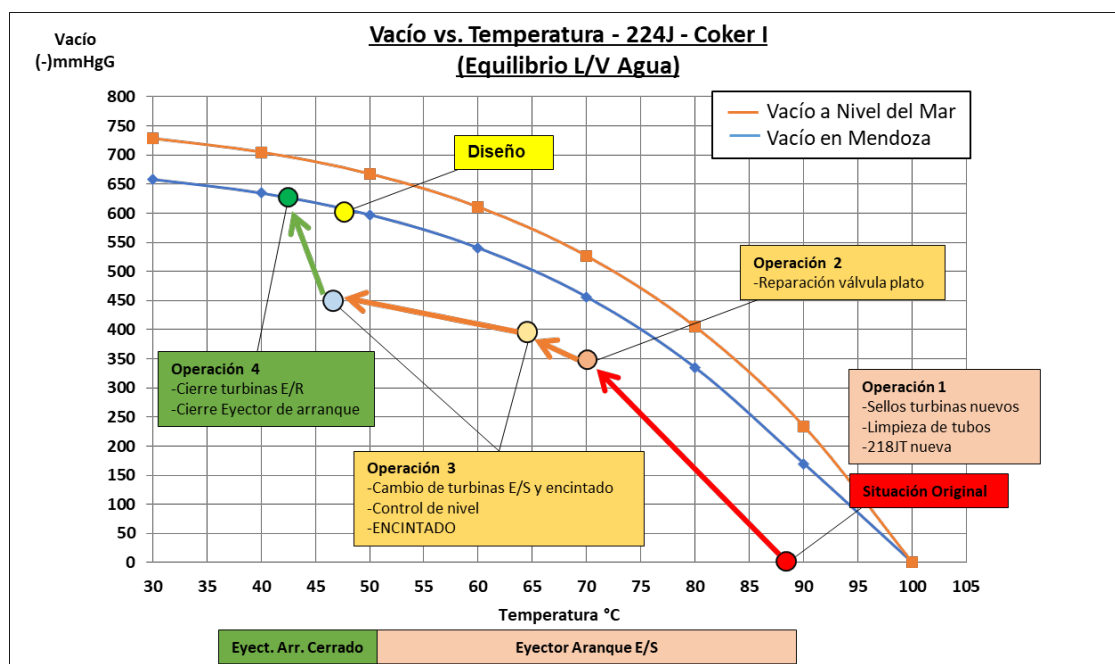
En una de las recorridas de revisión del equipo pudimos observar un burbujeo dentro del nivel visual del condensador. Claramente esto era indicio de nuevos ingresos de aire parásito. Cabe destacar que a medida que el equipo adquiere mayor vacío se observaran nuevos ingresos de aire que antes eran no detectables.

Personal de instrumentos trabajo en las tomas de estos equipos y calibración.

A partir de todas estas optimizaciones se logró llevar el condensador hasta los -450 mmHg G. y condensado a 50°C.

Finalmente, se realizaron pruebas con diferentes combinaciones de las turbinas en servicio y en reserva para evaluar que combinaciones de turbinas generaban mayores entradas de aire. Se probó cerrar las descargas de las turbinas que quedaban en reserva (no todas pueden quedar así en operación normal por cuestiones operativas y roles de emergencia) y se dejó cerrado el eyector de arranque, que era práctica común dejarlo habilitado cuando el equipo no funcionaba, logrando -600 mmHg-G de vacío,

En la siguiente curva de equilibrio L/V para el agua se representa la evolución de los puntos de operación del condensador, a medida que se fueron realizando las correcciones en los diferentes aspectos de la instalación descriptas en este caso.



Como resumen todos los puntos que se trabajaron en todo el sistema del 224J en diferentes momentos que permitieron alcanzar este resultado fueron:

- Instalación de venteos atmosféricos en colectores de descarga de turbinas que permiten todas las intervenciones del equipo en servicio.
- Reemplazo de los sellos de las turbinas 205JT/206JT de tipo "positivo" a sellos con inyección de vapor aptos para sistemas de vacío.
- Adecuación de todos los sistemas de inyección de vapor a sellos de las turbinas del sistema (204JT/206JTA-B/205JT)
- Instalación de la nueva bomba de corte 218J eléctrica. Esto permitió dejar chapeada la descarga de colector de las turbinas 218JT/B eliminando un gran ingreso de aire parásito, además de bajar la demanda del equipo a valores dentro del diseño.
- Instalación de mano vacuómetro y termómetro de condensado con señal al sistema de control distribuido.
- Instalación de los
- Pruebas de funcionamiento y posterior intervención de la válvula plato y pruebas en taller de cierre.
- Agregado de drenaje en válvula plato para correcto sello hidráulico.
- Revisión y mantenimiento al sistema de eyectores del condensador.
- Correcto encintado y seguimiento de ingresos de aire parásito.

Conclusiones

La actualidad de la industria y el mundo demanda que busquemos como ser cada vez más eficientes, rentables y respetuosos activamente con nuestro medio ambiente. Optimizar las instalaciones existentes, llevándolas a operar en sus puntos de diseño son un modo de bajo coste de aportar a tales fines.

Con las mejoras implementadas en ambos condensadores de superficie se logró un ahorro de 485 KUSD/año conjunto entre ambos equipos, al disminuir el consumo de vapor requerido, disminuir las emisiones ambientales asociadas a la menor necesidad de vapor en el proceso y por los venteos de gas propios de la unidad. Se mejoró la operación de las turbinas asociadas dando mayor estabilidad y confiabilidad al proceso. Se robusteció la gestión del conocimiento en el plantel operativo al involucrarlo en el proceso de mejora.

Además del aprendizaje técnico descripto en cada caso considero que vale la pena resaltar los siguientes elementos rescatados durante los troubleshootings:

- El valor de una **gestión del cambio interdisciplinaria**.
- Ser **metódico y ordenado** al momento de realizar un troubleshooting. Causas y consecuencias tienden a enmascararse.
- Contar con **mediciones confiables** en los equipos críticos.
- Las **variables del proceso** no mienten, usarlas. (Claro si las indicaciones han sido ya contrastadas). Insistir en la corrección de las causas raíz.
- Evaluar los sistemas con un **enfoque holístico**.
- Involucrar al personal operativo y el resto de las disciplinas en el **¿por qué?**, no solo ¿para qué?
- Perseverar en la resolución de hipótesis, basándose en un **plan técnicamente coherente**.
- Profundizar y participar en forma activa en la **gestión del conocimiento** del equipo de trabajo.

Bibliografía

- Norman Lieberman, *Troubleshooting Vacuum Systems*
- *Catálogo comercial de picos de limpieza de NLC Corp.*
- *Procedimientos y seguimientos de proceso internos de YPF S.A.*

Sobre el autor:



Marcos David Cancio Montbrun es Ingeniero Químico recibido en la *Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Argentina*) y Diplomado Universitario en Seguridad de Procesos de la *UTN, Facultad Regional Neuquén, Argentina*. Actualmente es Ingeniero de Procesos Senior para Downstream YPF S.A. como referente de unidades de Cracking Térmico Retardado. Durante su carrera se ha desempeñado como ingeniero de procesos en unidades de Refinación de petróleo como ser Destilación Atmosférica y Vacío, Concentradoras de Gas de yacimiento, unidades de Hidrotratamiento y de Cracking Térmico Retardado, en el Complejo Industrial Luján de Cuyo de YPF desde 2015. Participó en diferentes proyectos de ingeniería, revamps, puestas en marcha de unidades, proyectos de desmantelamiento de unidades y paros programados. Así mismo, es auditor Líder ISO 14001:2015 e ISO 9001:2015 formando parte del equipo de auditores de YPF-CILC.