

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE CALDERAS DE VAPOR

Macarena Cabeza, Pan American Energy, MCabeza@pan-energy.com
Juan Manuel Álvarez, Pan American Energy, JuanM.Alvarez@axionenergy.com

Sinopsis

La Refinería Campana posee un parque de cinco calderas de vapor de 30 kg/cm²g. Cuatro de ellas poseen una capacidad de diseño de 45 tn/h (C-22, C-23, C-24 y C-25), y una quinta de 120 tn/h (C-26).

El combustible utilizado para la generación de vapor es principalmente fuel gas de Refinería. Además, las C-23, C-24, C-25 y C-26 poseen facilidades de quemado de combustible líquido.

La producción de vapor permite abastecer los requerimientos de las unidades de proceso. La mayor parte de los consumos están asociados a la red de 10 kg/cm²g, es por ello que el vapor de alta presión es también utilizado para generar energía eléctrica en turbogeneradores.

A comienzos del año 2021, se observó un aumento en el diferencial entre el agua de alimentación y el vapor en la C-25, con lo cual se procedió a su parada y apertura. Se encontraron fallas en los tubos de techo, que fueron reparadas para regresar la caldera a la operación. Los meses sucesivos esta falla se repitió en las calderas C-23 y C-24. Los equipos sufrieron fallas reiteradas, con afectación en tubos de menos de dos meses de edad. La parada de más de una caldera en simultáneo generó la necesidad de reducir los consumos de vapor en planta.

Se realizó una investigación multidisciplinaria en la cual participaron actores técnicos, operativos y especialistas. Presencia de depósitos en el interior de los tubos, problemas de circulación y de combustión fueron identificados como los principales hallazgos.

Se definió un plan de acción de corto, mediano y largo plazo. Las acciones implementadas permitieron asegurar la confiabilidad en la operación.

Introducción

El vapor es un servicio energético cuyo suministro confiable es esencial para la operación de las unidades de producción de las refinerías.

En la refinería de Campana, la reciente ampliación con puesta en servicio de nuevas unidades y cambios en la operación, han incrementado significativamente la demanda de vapor. En esta situación la confiabilidad del parque de calderas de vapor ha cobrado aún mayor importancia.

Durante 2021 se han presentado una serie de fallas mecánicas severas en los tubos de las calderas de vapor, de una magnitud y frecuencia no observadas anteriormente en el historial de operación de los equipos.

El presente trabajo tiene como propósito presentar el caso, los hallazgos, las acciones realizadas para abordar los múltiples contribuyentes y las decisiones tomadas durante el proceso de descubrimiento de causas, con el propósito de mitigar y eliminar las fallas manteniendo la operación sin interrupciones dentro de un contexto de restricciones asociadas al COVID.

Desarrollo

El vapor en la refinería es suministrado mayoritariamente por la generación en calderas. Las calderas que han presentado las fallas han sido fabricadas en la década de 1960. Estas son acuatubulares y cuentan con cuatro quemadores duales que permiten quemar fuel gas de refinería y combustible líquido. Su capacidad de diseño es de 45 tn/h de vapor sobrecalentado a 30 kg/cm²g.

El agua proviene del río Paraná de las Palmas y es acondicionado mediante un esquema de decantación y filtración ayudado por químicos, un sistema desmineralizador que utiliza tecnología de resinas catiónicas/aniónicas y ósmosis inversa, y una última etapa de desgasificación con vapor. El tratamiento de aguas y vapor es realizado por empresas de servicio contratadas.

Descripción de fallas

Durante el transcurso del año 2021 se encontraron fallas en los tubos de las calderas C-23, C-24 y C-25. En el transcurso del año, las calderas fallaron más de una vez, encontrando afectación en tubos de cambiados recientemente y otros más antiguos.

A continuación, se enumera la cronología de fallas, así como algunas imágenes del tipo de afectaciones encontradas.

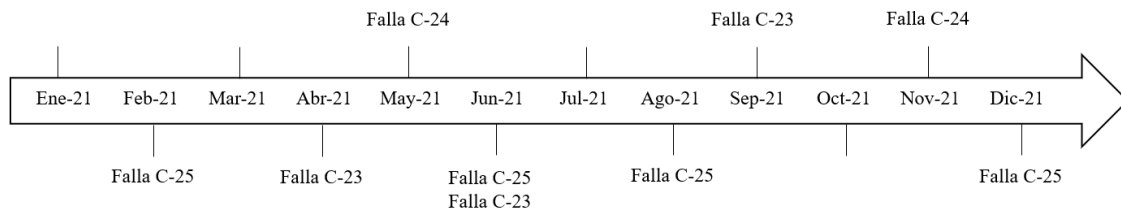


Figura 1: Cronología de fallas de calderas durante el año 2021

En la Figura 2 se observa multiplicidad de pérdidas tipo abubonamientos en los tubos de techo de la caldera 25, además de enrojecimiento de las superficies metálicas alrededor, y zonas de hollín más oscuras.

Un patrón de falla similar se observa en la Figura 3 para la caldera 23, también sobre los tubos de techo.



Figura 2: Fisura en tubos de techo C-25 - 24/02/2021



Figura 3: Fisuras en tubos de techo C-23 - 06/04/2021

Se realizaron estudios metalúrgicos para determinar el fenómeno a nivel estructural y se identificó que el modo de falla metalúrgico observado es el envejecimiento de largo plazo (*long term creep*).

La particularidad de este caso es que el fenómeno se presentó en tramos de tubos originales, así como también en tramos de tubos cambiados menos de tres meses atrás.

Con los análisis metalográficos se descartó la posibilidad de especies extrañas que pudieran haber alterado fisicoquímicamente la estructura del material metálico, es decir que los efectos observados fueron puramente de índole térmica.

El fenómeno de sobrecalentamiento de los tubos en calderas se produce debido a un exceso de flujo térmico que incrementa la temperatura en la superficie metálica por encima de su valor máximo

permitido. Este fenómeno puede ocurrir debido a problemas de combustión en la cara caliente, y/o que el fluido refrigerante del metal, es decir el agua/vapor circulante por el interior de los tubos, no remuevan el calor a una velocidad suficientemente alta. La refrigeración puede ser baja debido a baja circulación o a depósitos internos térmicamente aislantes de la transferencia de calor.

Variables operativas del proceso y monitoreo

Los eventos fueron detectados a partir de un incremento en el diferencial de la caldera, es decir la diferencia entre el agua de alimentación y el vapor generado.

El monitoreo principal del inicio de las pérdidas se realiza a través de un incremento en el diferencial de agua de alimentación y vapor generado. Luego se valida con muestra de la purga de calderas por desconcentración y revisión general de campo para encontrar punto de fuga de vapor por chimenea o goteo en el piso. En este caso, adicionalmente se implementó muestreo rutinario de fuel gas rutinario para cromatografía gaseosa.

Análisis de factores contribuyentes y dificultad para asignar una causa principal

Se realizó un estudio multidisciplinario con soporte de especialistas y del fabricante original de las calderas. El propósito del ejercicio fue el de identificar los principales cambios que existieron en la operación de las calderas para facilitar la determinación del factor o los factores más contribuyentes a las fallas.

Se identificaron varios factores, siendo a priori muy complicado asignar una única causa generadora de los eventos o una misma causa explicativa para las fallas de todas las calderas.

El mayor cambio que sufrió la Refinería durante los años 2020 y 2021 fue su expansión y la puesta en servicio de nuevas unidades de procesos. En etapas tempranas del proyecto se consideró el incremento de la demanda de servicios y se verificó que la capacidad instalada fuese suficiente para abastecer las nuevas necesidades. Sin embargo, se encontró que existieron otras interacciones complejas que afectaron a la operación de las calderas.

Las nuevas unidades demandaron mayor cantidad de vapor, a la vez que afectaron al balance de energía de la Refinería, requiriendo para su operación una mayor cantidad de combustible. El aumento en la demanda de combustible gaseoso generó la necesidad de operar las calderas con combustible líquido en base permanente, a diferencia del pasado en donde la utilización de este tipo de combustible era estacional. A su vez, el incremento de agua de servicios y de vapor en la Refinería generaron problemas operativos en los decantadores y en la planta desmineralizadora, existiendo períodos de tiempo en los que las calderas operaron con un mayor contenido de impurezas en el agua de alimentación.

El objetivo de este trabajo es identificar los efectos de cada uno de estos cambios y, reconociendo a todos ellos como ofensores, encontrar soluciones que permitan alcanzar un mayor grado de confiabilidad para el parque de calderas.

Las preguntas del millón y que más frecuentemente nos hicimos ¿qué fue lo que cambió? Y si hubo un cambio, ¿justifica la magnitud de los efectos observados? Ante la necesidad de evitar la próxima falla y la incertidumbre respecto a la contribución relativa de cada factor, se debió partir de una postura de mayor humildad, consistente en atacar el problema desde varios frentes, utilizando un concepto similar al de factores de riesgo.

Nivel de producción de vapor de las calderas

La demanda de vapor en la refinería de Campana se ha incrementado como consecuencia de la expansión y la puesta en marcha de las nuevas unidades. En la Figura 4 es posible observar la evolución de la generación de vapor en calderas durante los últimos dos años de operación, tomando como base la producción de vapor promedio del mes de enero del año 2020.

En la Figura es posible observar tres hitos principales. El primero de ellos es el incremento de la demanda de vapor a partir de la puesta en marcha de la nueva planta de tratamiento de aguas agrias. Como segundo hito, se observa un aumento asociado a la puesta en servicio de la nueva unidad de coqueo retardado, alcanzando un incremento acumulado de aproximadamente 50%. Como tercer y último hito, se observa la racionalización de la utilización de vapor impulsado por las sucesivas fallas en calderas.

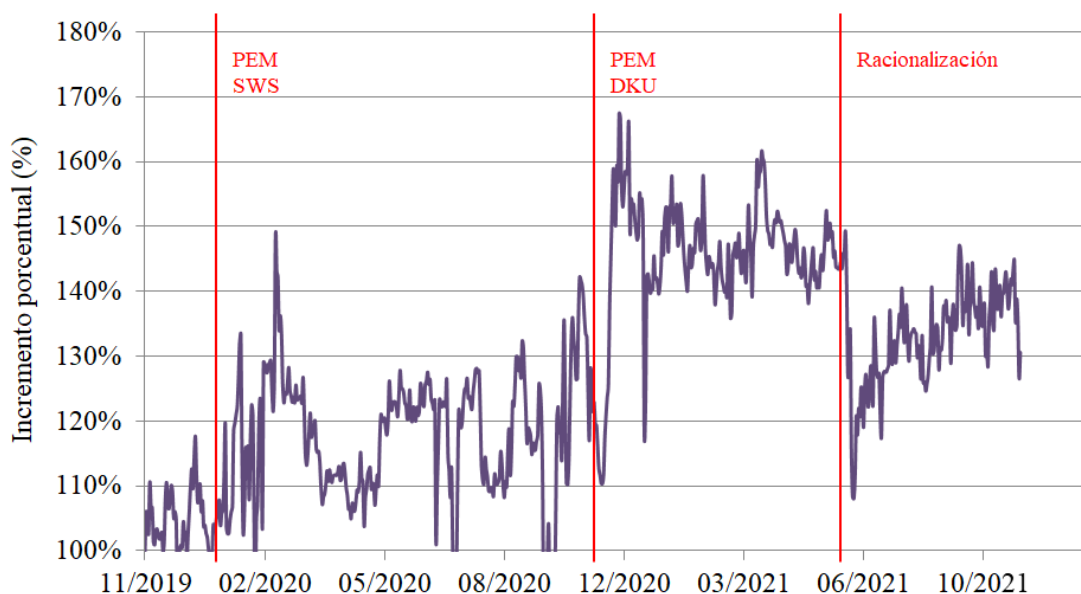


Figura 4: Evolución de la producción de vapor en Refinería Campana

El incremento de la demanda de vapor ha sido identificado como un factor contribuyente a las fallas presentadas en las calderas debido a que un aumento en la producción de cada una de las calderas se traduce como una mayor carga calórica dentro del hogar de la caldera.

Con el objetivo de minimizar los efectos adversos derivados de una alta producción de vapor en las calderas, se impulsaron medidas tendientes a minimizar la utilización de vapor en Refinería, a la vez que se definieron nuevos límites operativos para cada una de ellas, minimizando los períodos de tiempo en los que trabajan por encima del 90% de su capacidad de diseño.

Combustible líquidos

Como consecuencia de la puesta en marcha de las nuevas unidades de la Refinería y la mayor demanda de fuel gas para su funcionamiento, durante el año 2021 fue necesario aumentar la utilización de combustible líquido en las calderas. En años anteriores se utilizaba únicamente en periodos invernales o de necesidad muy poco frecuentes.

Luego de la primera falla, se determinó que el combustible líquido por su mayor luminosidad y dificultad de quemado podría ser un contribuyente mayor, debido a que en el pasado reciente no se utilizaba líquido en forma continua.

Como medida inicial, se fue racionando su uso hasta que las condiciones macro de combustible y otras limitaciones externas permitieron su remoción completa en base permanente.

Se analizó la calidad del combustible líquido y se evidenció que, a partir de un cambio en el mix de producción, el combustible líquido utilizado en la actualidad es más liviano que en el pasado. Como consecuencia, se determinó que las lanzas de quemadores requerían modificaciones para evitar la vaporización prematura del combustible y deficiente atomización. En forma temporaria se realizaron modificaciones en las instalaciones de la planta para utilizar vapor con menor grado de sobrecalentamiento que permitieran mitigar el problema en caso de requerir utilizar combustible líquido.

Quemadores – control de Combustión

Se determinó que el quemado dual de combustibles de manera simultánea en un mismo quemador y/o en una misma caldera genera problemas severos en la combustión. Esto se debe principalmente a que se produce una deficiencia en el mezclado del combustible con el aire. Por este motivo, se definió limitar el quemado de múltiples combustibles en simultáneo.

Combustible gaseoso

La red de fuel gas de la Refinería Campana presentó modificaciones a partir de su expansión. Una de las mejoras fue la reducción del contenido de ácido sulfhídrico como consecuencia de la puesta en marcha de la planta de tratamiento de gas. Sin embargo, existieron otros cambios que pudieron afectar la operación de las calderas.

Con la nueva configuración de la red de combustibles, la composición del fuel gas cambió significativamente. Los principales cambios fueron la reducción en el contenido de hidrógeno y el aumento en el contenido de propano, aumentando así el peso molecular del gas. Adicionalmente, la operación de la unidad de coqueo retardado introdujo variaciones en la composición de fuel gas de la red a lo largo del día.

Se definió un rango de calidad óptimo para el fuel gas de calderas y se estableció una rutina de muestreo diaria para su monitoreo. Se utilizó una dilución de un 30% del combustible con gas natural, con el propósito de disminuir su peso molecular y atenuar las variaciones de composición asociadas a la operación de las unidades de planta.

Calidad del agua

Durante el período de las fallas se han observado desviaciones en la calidad de agua de alimentación a las calderas como consecuencia de problemas operativos en los decantadores de agua de río y en la planta desmineralizadora. El aumento en el contenido de impurezas en el agua de alimentación y su dureza son factores contribuyentes a las fallas presentadas. La deposición de sales en el interior de los tubos inhibe la transferencia de calor a través de la pared, acelerando el mecanismo de daño encontrado.

Como plan de acción se reforzaron los controles de calidad asociados al circuito de tratamiento de agua y adicionalmente se definió la realización de limpiezas químicas en las calderas. Los lavados químicos asegurarán la eliminación de los depósitos existentes como consecuencia de los eventos de calidad antes mencionados.

Circulación interna líquido/vapor

Una mala circulación del agua genera una insuficiente remoción de calor en la pared de los tubos, favoreciendo la ocurrencia de las fallas.

El exceso de refractario en la pared frontal del hogar y el mal estado de los internos de los domos superiores fueron identificados como factores que afectan la circulación de agua en las calderas. Se definió la remoción del refractario excedente y la adecuación de los internos de los domos durante las próximas paradas programadas de los equipos.

El diseño de las calderas compactas no tiene buena circulación en tubos del techo, haciéndolas más vulnerables a fallas en esta zona. Se realizó un cálculo hidráulico de circulación interna, y la tasa de circulación por los tubos en paredes y techos no cumple con los estándares de diseño más actuales del fabricante

Conclusiones

Las reiteradas fallas en las calderas de la Refinería Campana estuvieron mayormente asociadas al aumento de la demanda de vapor, a la modificación de la calidad de combustible utilizado, a la presencia de depósitos el interior de los tubos y a una deficiente circulación.

La optimización de la utilización de vapor en las unidades de procesos, así como las medidas mitigantes adoptadas hasta el momento, han permitido satisfacer las necesidades de consumo de vapor aún durante las reparaciones de las calderas, sin impacto en la corrida de la Refinería.

La limpieza química de las calderas y la adecuación de los domos permitirán asegurar la confiabilidad de los equipos durante los próximos años.

Bibliografía

[1] Axion Campana PFI Boiler Reliability Improvement Investigation By W+C Rev 1 Dec 23 2021

Breve CV

Macarena Belén Cabeza. Es ingeniera química de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Actualmente se desempeña como ingeniera de procesos de la unidad de crackeo catalítico de la Refinería de Axion Energy. Anteriormente, ocupó el cargo de ingeniera de procesos de fuerza motriz.