

LAVADO DE SALES EN OPERACIÓN DE LA TORRE DE FRACCIONAMIENTO T1: RECUPERACIÓN DE CAPACIDAD SIN PARADAS DE PLANTA

Bonvillani Pablo Omar, Pan American Energy, pablo.bonvillani@axionenergy.com

Romano Juliana, Pan American Energy, JBRomano@pan-energy.com

Massilo Sergio, Pan American Energy, SMassilo@pan-energy.com

Tayo Morales Liliana, Pan American Energy, LTayoMorales@pan-energy.com

Pérez Felipe Mateo, Pan American Energy, fperez@pan-energy.com

Sinopsis

En una unidad de destilación atmosférica, el proceso de desalado del crudo juega un papel crucial al eliminar las sales e impurezas presentes en el mismo. Una alta eficiencia en esta etapa es esencial para prevenir problemas de corrosión por ácido clorhídrico y la deposición de sales que provocan obstrucciones que podrían afectar la producción de la unidad.

La eficiencia del proceso de desalado en la Refinería Campana se ha visto afectada por los continuos cambios en la calidad del crudo procesado, los aumentos de carga y problemas puntuales de confiabilidad. Según los cálculos de equilibrio, es esperable que la sal se deposite en la salida de los aero-enfriadores de tope. Sin embargo, también se han observado problemas de deposición de sales en los platos superiores de la torre. Esto genera limitaciones en la carga de la unidad y dificulta el cumplimiento de las especificaciones de productos, principalmente Jet Fuel, además de reducir la duración del ciclo de operación de la refinería completa

Cabe destacar que el diseño original de la torre fraccionadora no cuenta con facilidades ni internos específicos para realizar el lavado con agua durante la operación. En este contexto, se desarrolló una estrategia para llevar a cabo este procedimiento utilizando la configuración actual de la unidad e incorporando mínimas facilidades temporales, garantizando así la continuidad de la operación y la ejecución del proceso de lavado.

El desarrollo y ejecución del procedimiento fue un desafío multidisciplinario que involucró prácticamente a todos los equipos de trabajo de la refinería. Se prestó especial atención a aspectos de seguridad de procesos buscando garantizar la efectividad del lavado. Se realizaron simulaciones rigurosas del proceso, seguimiento exhaustivo de las variables de operación, múltiples análisis de laboratorio y ejecución de hot-tap entre otros.

Como resultado se logró: normalizar la calidad del jet fuel, evitar el desabastecimiento de producto, aumentar la corrida de crudo evitando una parada no planificada y extender el ciclo de la torre hasta el inicio de la parada planificada en 2025.

Introducción

La deposición de sales, particularmente sales de cloruro de amonio (NH_4Cl), es un fenómeno bien conocido en las secciones superiores de las torres de destilación atmosférica. Se forma por la reacción entre HCl y NH_3 , su deposición causa taponamientos y en presencia de agua, provoca corrosión localizada severa, con tasas que alcanzan los 2,5 mm/año.

Según cálculos de salt point este fenómeno se manifiesta en platos, cañerías, intercambiadores y separadores del circuito de nafta y llegando inclusive al circuito de kerosene.

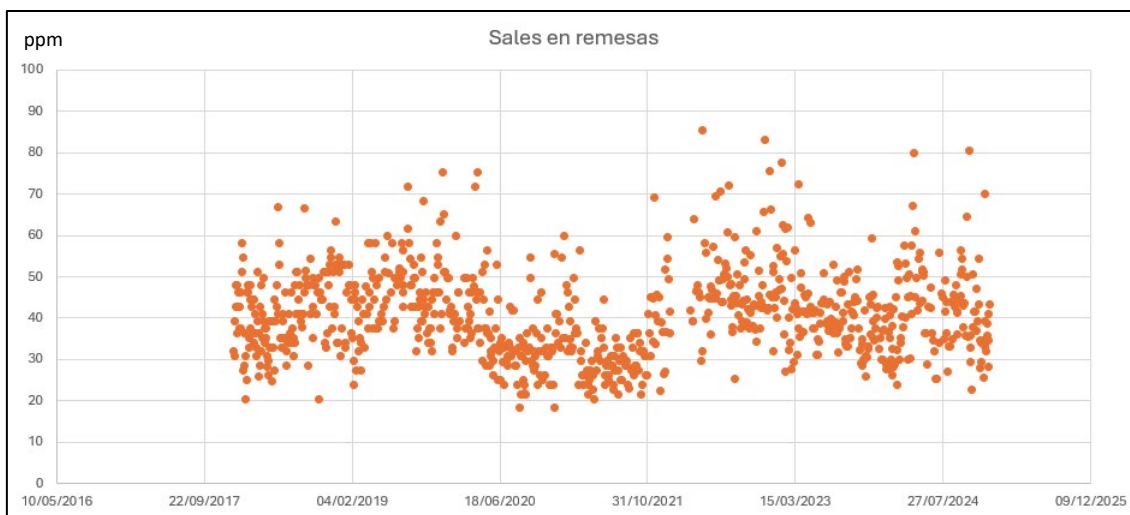


Figura 1: Evolución de sales en las remesas de crudo procesadas.

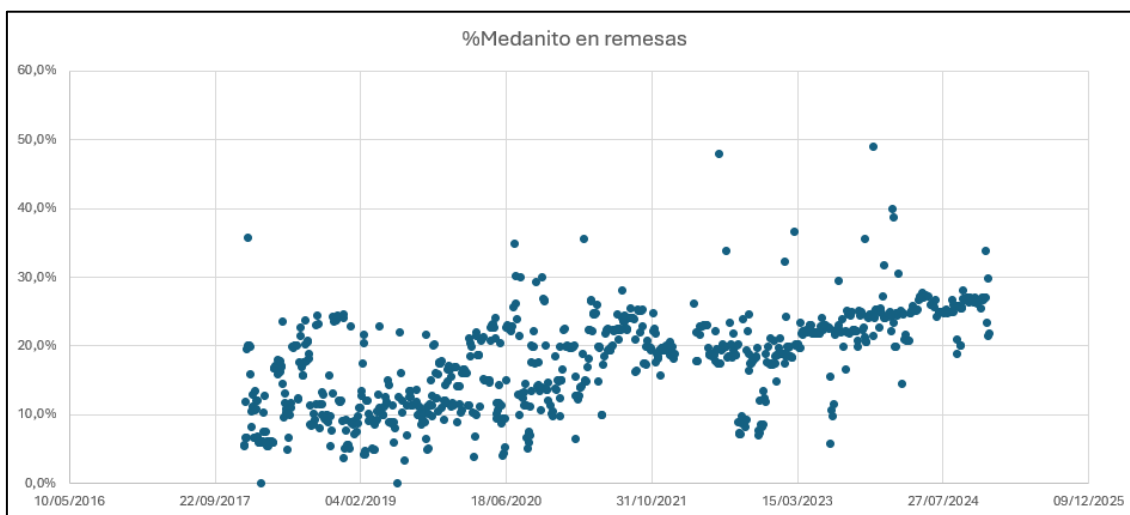


Figura 2: Evolución del porcentaje de medianito en remesas procesadas.

En el año 2024, en Refinería Campana se dio un evento de taponamiento por deposición de sales en la zona superior de la fraccionadora principal del topping (T1). La deposición en cuestión aumentó de manera paulatina afectando la pérdida de eficiencia en el fraccionamiento en primer lugar para luego culminar con una afección directa en la calidad del kerosene y deficiencia hidráulica suficiente para limitar la carga de la refinería. A diferencia de otras refinerías, en el predio de Campana solo se cuenta con un topping sin facilidades para ejecutar lavado de sales on-line, por lo que el escenario de llevar a un paro total no programado a dos años de la próxima parada de planta implicaba una pérdida económica sustancial. En resumen, la situación prevista era la siguiente:

1. A corto plazo, disminución de carga de 95 a 83 KBD.
2. Desoptimización de la operación para cumplir especificación de kerosene.
3. Riesgo de run-out de kerosene.
4. A mediano plazo, parada total de refinería de por lo menos 10 días.

Dicho esto, ante el escenario descrito se propuso llevar a cabo la limpieza on-line de la zona comprometida. El objetivo principal del proyecto fue recuperar un 2% de la capacidad productiva, afectada por estos depósitos, sin necesidad de parada de planta, ni restringiendo la capacidad de

producción de kerosene alineado con las metas estratégicas de continuidad operativa y rentabilidad de Pan American Energy.

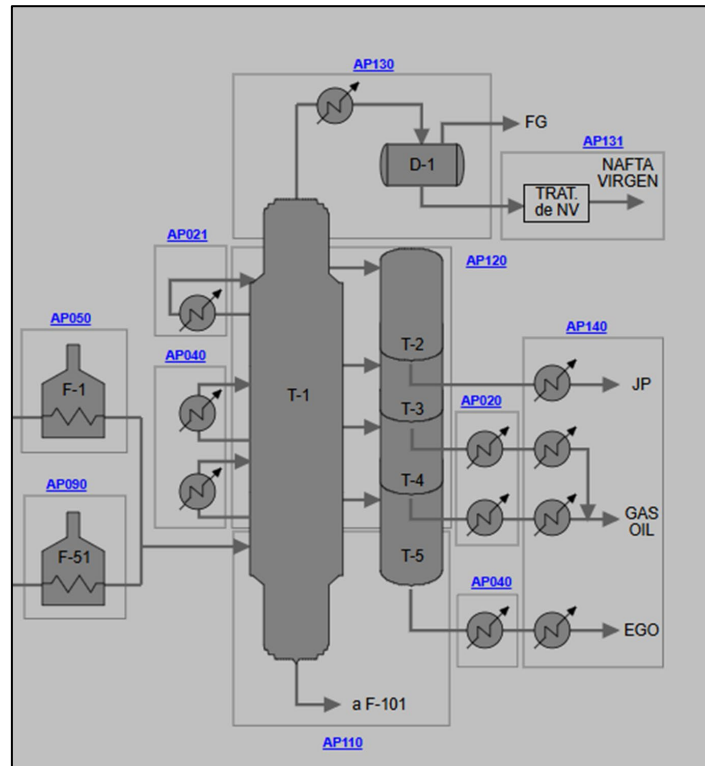


Figura 3: Configuración topping refinería Campana (APS).

Desarrollo

1. Diagnóstico inicial y análisis del problema

Se observó una pérdida de capacidad en la Torre de fraccionamiento de crudo T1, atribuida a taponamientos por sales en los platos superiores. Las hipótesis fueron validadas mediante análisis químicos y ensayos radiográficos (véase Figura 4), los cuales confirmaron depósitos en la cabeza de la torre, así como también tendencias de pérdida de carga contra carga procesada.

A su vez, en el side stripper de retiro de Jet Fuel (T2) se presentaron dificultades para alcanzar la especificación de Flash Point y restricciones hidráulicas para lograr el retiro del caudal objetivo.

Un análisis exhaustivo determinó que las bandejas del stripper T2 se encontraban afectadas por la deposición de sales provenientes desde T1.

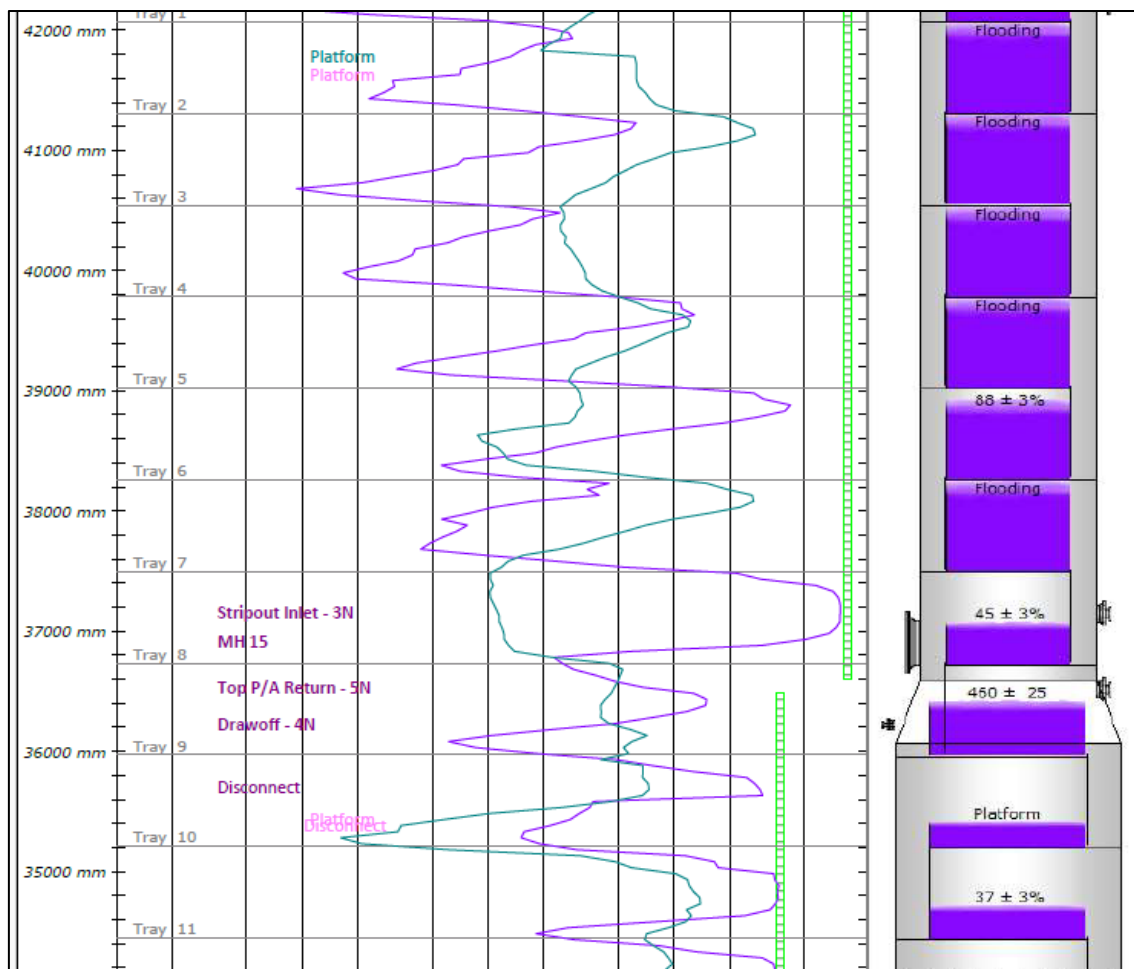


Figura 4: Gamma-scanning de T1, permite identificar zonas de inundación en la columna e inferir la ubicación de zonas con taponamiento/obstrucción.

Simultáneamente, se desarrolló una herramienta en Aspen Plus para simular el comportamiento del sistema de cabeza, incluyendo los equipos AP-T-1 (Columna fraccionadora de crudo), AP-E-51A-D (aero-enfriadores de tope de T1), AP-E-1 (Condensadores de nafta de tope), AP-D-1 (Acumulador de nafta), entre otros. En base a la composición normalizada de la corriente de salida, y mediante el cálculo estequiométrico del sistema, se determinó:

- Temperatura de deposición de sales.
- Temperatura de condensación de agua en las condiciones del proceso.
- Depósito de sal estimado.
- Presencia de exceso de NH_3 con transformación completa de HCl a NH_4Cl
- Primera condensación: a la salida de intercambiadores condensadores de cabeza

Este análisis no consideró inyecciones químicas por falta de información de composición.

2. Planificación e implementación

Como primera etapa se atacó el ensuciamiento que afectaba el circuito de extracción y estabilización de kerosene, particularmente esta suciedad se acumuló en un side-stripper (T2) en el cual el kerosene se estabiliza con vapor. El diseño de este equipo, lo vincula a la torre principal

T1 mediante una línea de balance sin bloqueos, por lo cual no era posible sacar de servicio este recipiente sin parar la fraccionadora principal T1.

Para resolver este problema se desarrolló una estrategia que permitió aislar el side-stripper T2 de la T1 mediante la utilización de vejigas de elastómero, denominados “stopples”, realizando un procedimiento practicado previamente una sola vez en la historia de la refinería y generando facilidades de refrigeración y sello con nitrógeno.

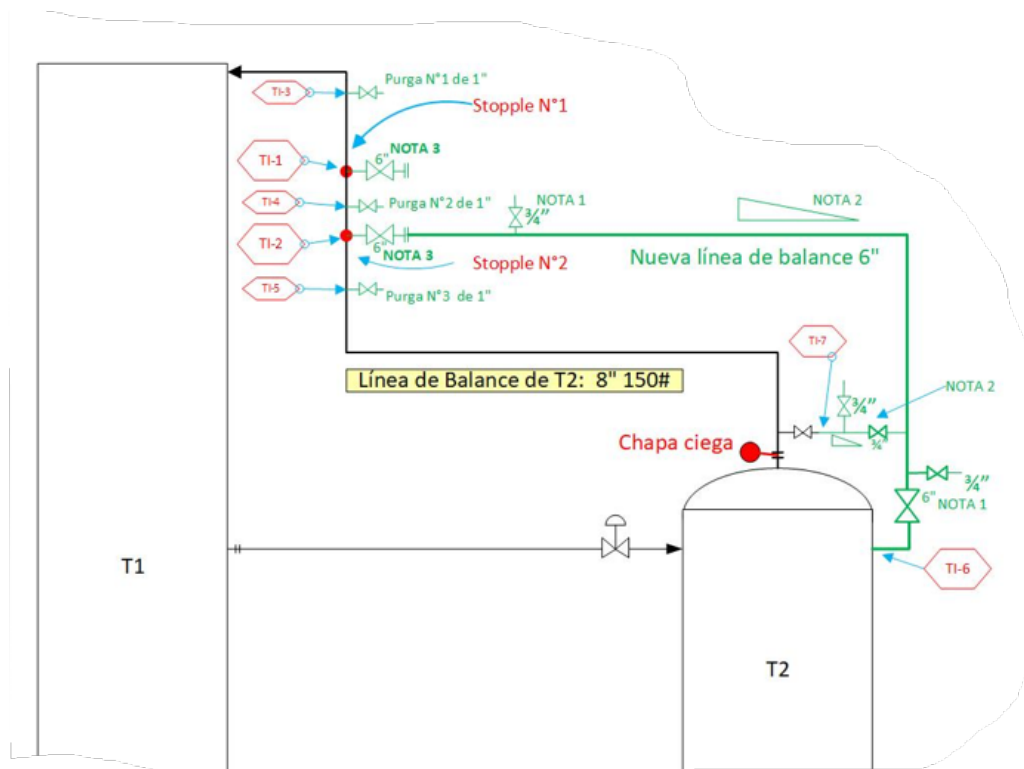


Figura 5: Esquema de estrategia para intervención de T2 en operación. Uso de vejigas para aislación de T1

La estrategia indicada permitió generar las facilidades requeridas para poder aislar e intervenir el stripper T2 con ingreso de personal para realizar limpieza manual mientras se mantenía la fraccionadora T1 y el resto de la refinería en operación.

En lo que respecta al ensuciamiento en T1 Se diseñaron nuevas instalaciones temporarias: líneas de agua, instrumentación específica, y válvulas. Se definieron, mediante una simulación rigurosa del sistema de tope de la columna, condiciones de operación seguras con agua líquida presente en la zona afectada, evitando evaporación instantánea y choque térmico.

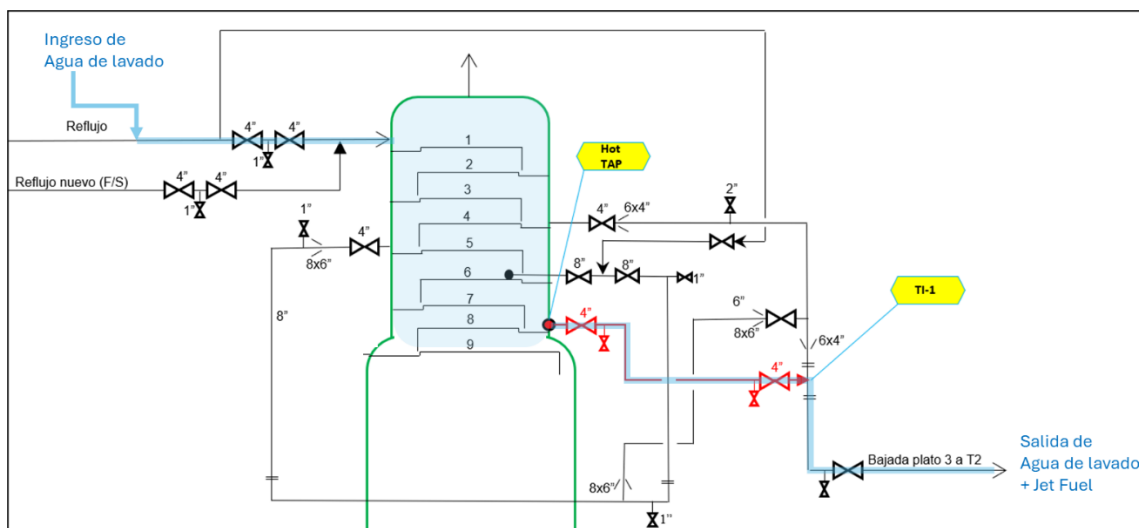


Figura 6: Esquema de circulación de agua de lavado en T1

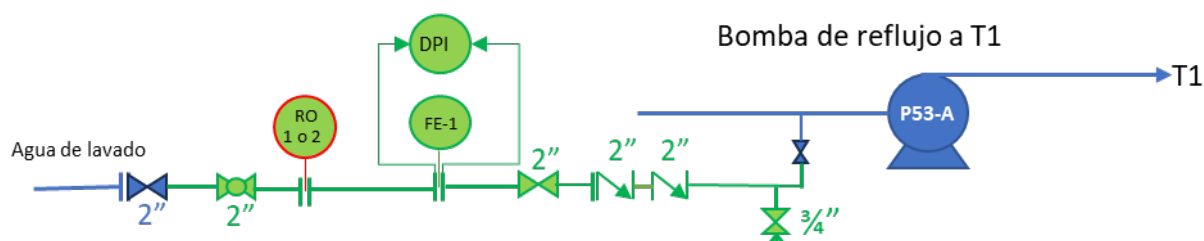


Figura 7: Esquema de inyección de agua de lavado a circuito de reflujo de T1

El agua de lavado utilizada fue provista desde la torre de enfriamiento de agua (agua filtrada tratada) sin incluir ningún aditivo, debido a la cercanía de la fuente al punto de inyección, su presión y propiedades fisicoquímicas.

Se diseñaron facilidades simples que permitieron inyectar agua de manera segura y controlada a medida que la torre se operaba en las condiciones de presión y temperatura que surgieron de la simulación rigurosa realizada, operando a carga reducida de crudo.

El agua de lavado se inyectó a la succión de la bomba de reflujo a la fraccionadora T1 con el objetivo de garantizar su circulación en las bandejas superiores afectadas por el ensuciamiento. Las condiciones del proceso aseguraban que el agua de lavado se mantenga en estado líquido hasta llegar a la bandeja de extracción de Jet Fuel, de manera que se pudiera retirar de la torre emulsionada con este producto.

El Jet Fuel, mezclado con el agua de lavado, se envió durante los 3 días que duró la maniobra a un tanque de producto fuera de especificación para dar tiempo de residencia que permita la separación del agua, la que luego se envió a disposición final.

La emulsión obtenida en la salida de Jet Fuel se muestreó y analizó constantemente verificando aspecto visual y contenido de cloruro de amonio con el objetivo de medir el avance del lavado y determinar su finalización.



Figura 8: Muestra de Agua+kerosene durante el lavado.



Figura 9: Suciedad obtenida en Filtro de bomba de extracción de kerosene durante el lavado de T1.

El producto Jet Fuel que se produjo durante el lavado fue reprocesado en la T1 luego del lavado.

El resto de los productos del proceso de destilación (Nafta, Diesel Oil, Gasoil Pesado y crudo reducido) se mantuvieron en especificación durante todo el lavado y se siguieron enviando a tanque de producto final o unidades aguas abajo.

3. Seguridad, medioambiente y coordinación

El proyecto involucró múltiples áreas: mantenimiento (modificaciones en torre, ejecución de procedimiento para instalación de “stopple”, hot-tap), laboratorio (verificación de efectividad del lavado), logística (coordinación de suministro y despacho), ingeniería de procesos (definición de ventanas operativas, monitoreo del lavado), integridad mecánica, inspección de equipos, producción y control de procesos.

Se elaboró una matriz de riesgos multidisciplinaria, considerando el impacto de un fallo en la torre: liberación de hidrocarburos, daño ambiental, riesgos humanos y pérdidas económicas. Se definió un paso a paso preciso y se seleccionó el momento logístico óptimo para realizar la maniobra en condiciones de carga reducida.

Consecuencia	Alivio de SV a la atmósfera por Sobrepresión T-1	Sobrepresión en plantas receptoras	Rotura de bombas	Rotura de internos y/o platos superiores	Fiuración por H2S Húmedo
Escenario	Presencia de agua en RM → Cavitación de bomba → Pérdida de remoción de calor	➢ DHT: Envío de agua → Evaporación en D-701 ➢ FCCU → Sobrepresión x producto liviano → Potencial parada ➢ VNHF → Envío de agua líquida → Sobrepresión en F-401	Cavitación por baja presión en T-1 (Más probable P-10)	Ingreso de Agua si alcanzar la temperatura de equilibrio → Evaporación súbita	Presencia de agua con H2S en metal sin tratamiento térmico
Medidas (preventivas y mitigantes)	➢ Control de temperatura de vapores plato 9 no baje de 102 °C. Alarma P3 en 11 0°C (APT063) ➢ Armado de andamio para bloqueo de E-51 (potencial pérdida por E-51) ➢ Consola duplicada ➢ Operación a baja carga y presión ➢ Crudo con alto contenido de Escalante ➢ Lógica de apertura rápida al flare y parada de F-1 por alta presión de la T-1 ➢ Corte agua a desaladores y vapor a stripper ➢ Medición preventiva de amperaje de bombas R5, RM y RI ➢ Minimización de presencia de operadores en T-1. ➢ No se permiten trabajos de mantenimiento	➢ DHT: Corte de envío de T3, se evalúa alcanzado estado estacionario el reenvío con control cerrado de calidad ➢ FCCU → Envío de T5 a slop ➢ VNHF → Solo alimentación de Tk ➢ Consolas duplicadas	➢ Alarma de mínima presión en fondo de T-1 APP0641 ➢ En caso de cavitarse se arranca bomba con mando estrangulado	➢ Procedimiento específico ➢ Loteo de válvula de ingreso de agua de lavado hasta asegurar temperatura objetivo ➢ Limitación de caudal inicial de agua: Placa orificio hasta 1 m3/h y Skid de bombas dosificadoras, Consola duplicada	➢ Corte de dosificación de soda cáustica para asegurar pH por debajo de 7,5 (rotura capa protectora de sulfuro de hierro) ➢ Consola duplicada
Variable a monitorizar	➢ Temperatura APT063 ➢ Monitoreo tendencias de variables (temperatura, presión, caudales)	Se realizará muestreo visual de T3 para definir reintegro (aplica solo DHT)		Temperatura APT063	-
Pasos a seguir ante ocurrencia escenario	➢ Lógica de apertura rápida al flare y parada de F-1 por alta presión de la T-1 ➢ Cierre inyección de agua	Envío de T3 a slop	➢ Cambio de bomba por spare disponible ➢ Disminuir COT a F-1/F-51	Parada F-1/ F-51, cierre de dosificación de agua	Se prevé pérdida chica, se actúa en función de esta
Riesgo Remanente	Medio (MR-AP-04 existente)	Bajo	Bajo	Medio (económico) (MR generada para lavado)	Bajo (económico) (MR generada para lavado)

Figura 10: Una de las dos matrices de riesgo generadas.

Conclusiones

Tras el lavado exitoso se capturaron los siguientes beneficios:

- Capacidad recuperada: +3% (superando el objetivo inicial de +2%).
- Impacto económico: +USD 5 millones/año.
- Evitar parada de planta anticipada, prevista para febrero 2025.
- Desarrollo de herramienta de simulación en Aspen Plus disponible para monitoreo continuo.
- Procedimiento técnico documentado y repetible para ciclos operativos futuros.
- Reducción del riesgo de pitting y corrosión bajo depósito en cabezales, bandejas e intercambiadores.

Este proyecto también demostró cómo el enfoque riguroso en ingeniería, sumado al desarrollo de herramientas digitales y coordinación técnica, puede evitar paradas, aumentar la producción y generar conocimiento organizacional. La experiencia de lavado en operación y la comprensión profunda de los mecanismos de deposición de sales posicionan a la refinería con capacidad de reacción proactiva ante desafíos similares.

Bibliografía

- API 571 – Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry
- Manuales operativos de torre T1 y sistema de cabeza
- Base de datos de análisis de sales de AP-K-1 (2018-2021)
- Simulación Aspen Plus
- Reportes internos de inspección y radiografía en cabeza de torre T1

Breve Cv de los autores

Pablo Omar Bonvillani

Título y lugar de estudio: Ingeniero químico.

Cargo actual en la empresa: Líder equipo de ingeniería de procesos de unidad de destilación de crudo y craqueo retardado.

Trayectoria (diferentes empresas en las que hizo su carrera): Pan American Energy.

Juliana Romano

Título y lugar de estudio: Ingeniera Química, Universidad Tecnológica Nacional.

Cargo actual en la empresa: Ingeniero de proceso de unidad de destilación de crudo y craqueo retardado.

Trayectoria: Pan American Energy.

Sergio Massilo

Título y lugar de estudio: Ingeniero Químico

Cargo actual en la empresa: Ingeniero de proceso de unidad de Craqueo Catalítico.

Trayectoria: Refipampa, TECNA Estudios y Proyectos de Ingeniería, Bureau Veritas, Pan American Energy.

Liliana Tayo Morales

Título y lugar de estudio: Especialista en petróleo y gas, Universidad de Buenos Aires (UBA). Ingeniera Química, Universidad de América de Colombia

Cargo actual en la empresa: Especialista en Corrosión

Trayectoria: Moto Mecánica de Argentina, CTI Solari y asociados, Pan American Energy.

Felipe Mateo Pérez

Título y lugar de estudio: Ingeniero químico, Instituto Tecnológico de Buenos Aires (I.T.B.A.)

Cargo actual en la empresa: Ingeniero de procesos de unidad de destilación de crudo.

Trayectoria: Pan American Energy.