

Operación FCC con compresores externos para reemplazo y *upgrade* de la turbina del soplador principal

Por Joaquín Maestro Frayssinet, Julio Nicola, Martín Zingaretti y David Killy (Pan American Energy)

El proceso de craqueo catalítico fluidizado (FCCU) utiliza grandes cantidades de aire que se inyecta al sistema por medio de un soplador centrífugo accionado por una turbina a vapor. En este trabajo se muestra el proceso de planificación, análisis de riesgos, ejecución y resultados de un proyecto innovador para reemplazar la turbina en la refinería Campana.



Introducción

La unidad de craqueo catalítico (FCC) de refinería Campana es un modelo IV, licencia Exxon Mobil, posee un soplador principal (B-452) impulsado por una turbina de vapor, capaz de inyectar 76.000 KNm³/h. La inyección de aire al regenerador de catalizador es fundamental, ya que mantiene fluidizado el catalizador y permite la combustión del coque depositado regenerando la actividad catalítica y permitiendo mantener el balance de calor de la planta.

El FCC también cuenta un soplador de control (B-402) que succiona aire desde la descarga del soplador principal y lo inyecta en la parte ascendente de la U-bend de catalizador gastado para favorecer la circulación de catalizador. Recientemente, se instaló un nuevo soplador de control (B-403) que, a diferencia del anterior, succiona aire ambiente en lugar de hacerlo de la descarga del soplador principal.

Como parte de los enclavamientos de seguridad de la unidad, si el caudal de aire al regenerador es inferior a un mínimo, se corta la alimentación al reactor, se cierran las válvulas correderas, se para el soplador de control y se inyecta vapor a la línea de mando del soplador. Estas acciones ponen en posición segura la unidad, e impiden retroceso de catalizador caliente del regenerador por la línea de descarga del soplador.

A partir de abril de 2020 comienza a observarse una tendencia creciente en el desplazamiento axial del B-452. Las proyecciones en ese momento indicaban que la máquina alcanzaría valores de paro en los próximos 90 días (Figura 1).

Como la resolución del problema requería la parada necesaria de la turbina, se comienzan a analizar alternativas para mitigar la tasa de incremento del desplazamiento axial para planificar una intervención en la que la turbina sea reemplazada por otra del mismo tipo disponible en almacenes refinería.

El primer paso fue poner en marcha el nuevo soplador de control, conectado a la descarga del soplador principal, línea a la que posteriormente también se conectaron 4 compresores de aire alquilados. Con estos cambios se redujo un 20% la capacidad de aire requerida sobre el soplador principal, lo que ayudó a ralentizar el incremento de desplazamiento axial hasta que se produjo la intervención, en agosto de 2020.



Figura 1. Desplazamiento axial turbina a vapor B-452.

Desarrollo

Ingeniería

Una vez que se logró reducir la tasa de incremento de vibraciones, se trabajó en la planificación para intervenir la turbina del soplador. Dentro de las alternativas, la opción que mayores ventajas presentaba era entregar la turbina sin detener la unidad FCC. Lo cual tenía dos grandes incentivos; por un lado, permitía reducir el stress térmico de la unidad en general, especialmente en la fraccionadora principal que estaba al final de su vida útil y, por otro lado, reducía los impactos económicos y logísticos ocasionados por una parada de la unidad FCC durante un mes.

El primer paso fue una tarea de investigación con la participación de especialistas externos, cuyo objetivo fue encontrar antecedentes de esta operación en otras refinerías y, paralelamente, analizar la factibilidad.

No se encontraron antecedentes de la operación que se pretendía realizar en la refinería Campana, pero sí casos comparables. El caso más parecido fue el de la refinería de Castellón, en España, donde la unidad se arrancó luego de una parada de planta con 35 motocompresores diésel mientras se tomaba el soplador principal para su reparación. Si bien este ejemplo demostraba que era factible trabajar la unidad con un flujo de aire suministrado únicamente por una batería de compresores externos, no servía como prueba de que el cambio de suministro de aire pudiera hacerse sin detener el FCC.

Luego de varios días de análisis con un grupo interdisciplinario, se concluyó que la operación de cambio de suministro de aire en operación era viable con grandes posibilidades de éxito. El objetivo de la maniobra era reducir gradualmente el caudal de aire proveniente del soplador principal e ir reemplazándolo por el aire proveniente de un conjunto de compresores más pequeños, que serían alquilados e instalados temporariamente, manteniendo el FCC en operación hasta la vuelta en servicio del B-452.

Como parte de la planificación inicial de esta tarea, se determinaron las condiciones operativas del FCC y que se requerían 60 KNm³/h de aire para mantener fluidizado el lecho de catalizador en el regenerador. Consideran-

do las capacidades de los compresores de aire disponibles en el mercado, se estimó que se requeriría un valor estimado de 60 equipos y, a partir de allí, se determinó que sería necesario fabricar un colector de 300 m de longitud al cual se conectarían los compresores. Adicionalmente, se determinaron las ubicaciones de dos "hot taps" de 12 pulgadas, necesarios para la inyección del aire desde los compresores externos.

Uno de los desafíos que se presentó en las primeras etapas de ingeniería fue lograr el balance de los requerimientos de forma de alcanzar una operación estable y segura para la realización de la maniobra de cambio de aire, con disponibilidad de materiales y plazos ejecución disponibles muy cortos.

Planificación del trabajo

Una vez definidas las especificaciones básicas de diseño, se comenzó a trabajar en varios frentes en paralelo, con el objetivo de agilizar los plazos: ingeniería, licitación del servicio, compra de materiales, prefabricados y ejecución, desarrollo de procedimientos operativos y entrenamiento.

En este contexto, se avanzó con los procesos de licitación para encontrar un proveedor que disponga de la cantidad de equipos requeridos. Los plazos tan acotados y el caudal de aire requerido limitaban la disponibilidad de proveedores o soluciones. Otra complejidad fue que no se podía abastecer toda la potencia requerida desde refinería, por eso también fue necesaria la provisión de motogeneradores eléctricos.

El servicio fue adjudicado a la empresa Sullair, que fue la responsable de la provisión de los compresores de aire, los generadores eléctricos, la asistencia técnica las 24 horas y el mantenimiento de los equipos durante la ventana de tiempo en la que la turbina del soplador principal era reparada. Se realizó un estrecho trabajo en conjunto con Sullair para definir la cantidad de equipos requeridos, el conexionado eléctrico y las reservas de potencia y de aire necesaria para cubrir las ventanas de mantenimiento de los compresores y generadores eléctricos, o ante escenarios de contingencia detectados en el análisis de riesgos que se desarrolló en paralelo.

A su vez, se avanzó con la ingeniería de detalle y la compra de materiales, que se actualizaba en función de las definiciones que se obtenían del análisis realizado en conjunto con Sullair como así también del análisis de riesgos de la operación. La solución de este proceso iterativo consistió en la instalación de un colector de aire 16" de 300 m de longitud, con una válvula globo para regular caudal de aire, placa de medición de caudal y medición de presión ambas variables con lectura en consola.

Otro aspecto que se consideró durante la etapa de planificación fue la provisión de combustible para abastecer los generadores eléctricos. Fue crítico contar con una logística adecuada y confiable que permita el funcionamiento de todo el sistema ininterrumpidamente durante los 35 días de operación. Para ello se construyó un colector de cañería rígida que abastecía a cada generador y motocompresor del parque, que primariamente sería abastecido por camión cisterna, pero en caso de tener algún retraso también tenía la facilidad de conectarse a

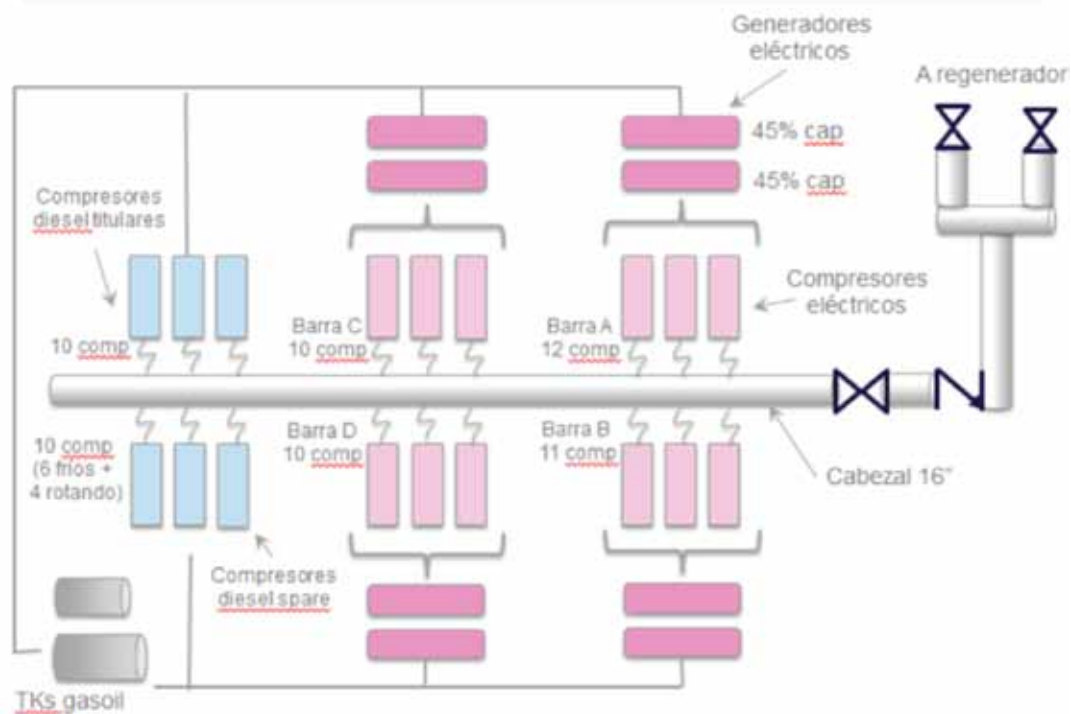


Figura 2. Facilidades para la inyección de aire con compresores externos.

un tanque de gas oil de refinería. A lo anterior se sumaba la autonomía de cada equipo que era de 24 h y una reposición promedio cada 12 h (Figura 2).

Análisis de riesgo

Como se mencionó, desde la concepción y durante el avance de la planificación se desarrollaron análisis de riesgos en conjunto con el grupo de seguridad de procesos y personal de la refinería.

Una operación desafiante sin antecedentes en la refinería, que involucraba la instalación de 60 compresores de aire y ocho motogeneradores eléctricos ubicados longitudinalmente sobre 300 m dentro de una de las calles de refinería, conexión eléctrico y provisión de combustible durante más de 35 días, que obligaban a poner especial atención a la seguridad de procesos y personal.

En cuanto a los aspectos relacionados con la seguridad personal, el potencial derrame de hidrocarburos y la contingencia de fuego fue fundamental el trabajo realizado entre personal propio y de Sullair. Producto de este análisis se determinó la mejor ubicación de los equipos, las protecciones requeridas, la logística de reabastecimiento de combustible, el tipo de conexionado, la adaptación de facilidades de lucha contra incendio y el aislamiento de energía necesario para realizar las tareas de mantenimiento, por mencionar solo algunos de los aspectos considerados.

También se realizó un estudio de riesgo más específico de las distintas etapas de la operación: reemplazo de aire del B-452 por el de los compresores portátiles, bloqueo con chapas ciegas para la entrega de la turbina, operación del FCC con aire de compresores externo y el conexionado de la nueva instrumentación de la turbina y normalización del FCC.

En cada etapa se identificaron los principales escenarios de riesgos, el estado del sistema protectorio del FCC, las barreras de protección alternativas y los pasos por seguir en caso de ocurrencia del escenario considerado. Dentro de los riesgos más importantes se puede mencionar que, si bien siempre se mantuvo el sistema interlock de seguridad del FCC, se decidió operar con el paro de la unidad ante bajo caudal de aire por *by pass lógico*, ya que la potencial presencia de condesando en la línea de aire proveniente de los compresores podría ocasionar una lectura errónea y parar la unidad (dispositivo de corte sin votación).

A modo ilustrativo, en la tabla 1 se detallan los principales riesgos encontrados junto con las barreras mitigantes establecidas.

Maniobra de cambio de aire

Desde que se seleccionó el proveedor de los compresores de aire, se comenzó a trabajar conjuntamente entre el área de producción, ingeniería de procesos y consorcistas experimentados del área en la elaboración de un procedimiento para el cambio el aire. Este terminó perfeccionándose con la activa participación de Sullair en revisiones conjuntas realizadas, con el fin de adecuar las necesidades de proceso al modo de operación y entrega de caudal cada compresor. Adicionalmente, una semana previa a la ejecución del procedimiento en planta, se planificó una jornada en la cual se simulaban las maniobras, con la participación de todos, que sirvió de capacitación y de ajuste de algunos pasos del procedimiento.

El primer paso que se realizó para comenzar con la maniobra fue volver a poner en servicio el B-403 como soplador de control alineado a la curva de catalizador gastado, ya que previamente se había alineado a la des-

carga del soplador principal. Para esto se habilitaron compresores externos, se controló la presión de operación del cabezal de aire y se procedió a ventear el caudal de aire. Gradualmente, luego de purgar y desplazar el condensado de las líneas, de probar el adecuado funcionamiento del caudalímetro de aire y de la indicación de presión, se procedió a bajar gradualmente el caudal de aire del B-403 reemplazándolo por el aire proveniente del nuevo cabezal accionando sobre los bloqueos 5 y 4 de la figura 3.

Los compresores de Sullair habían sido ajustados para trabajar entre un rango de 5,3 y 6,3 kg/cm²g, sobre el valor de mínima presión. Los compresores estarían al ciento por ciento de capacidad y, si la presión se acercaba a su límite superior, dejarían de bombear. Por esta razón, a lo largo de toda la maniobra se controlaba la presión de operación y la cantidad de compresores en operación para trabajar con una reserva en caliente ante la potencial parada de equipos, la pérdida de performance o la perturbación en la unidad.

Con el B-403 puesto como aire de control y con diez compresores de Sullair en funcionamiento, se procedió a reducir al mínimo la alimentación al FCC y a reducir un poco más el caudal de aire del B-452 reemplazándolo por aire del nuevo cabezal de aire. Durante cinco días el FCC operó en esta condición para darle confiabilidad a la nueva configuración y asegurar el funcionamiento de la instrumentación y la estabilidad del control del aire.

Al verificarse que la operación era estable y que todo funcionaba adecuadamente, se continuó con la maniobra hasta sacar del proceso todo el aire del B-452. Para esto se fueron habilitando más compresores, regulando las válvulas 4 y 5 (Figura 3) y, paralelamente, reduciendo el caudal de aire soplador principal hasta que se logró su reemplazo total. Durante esta transición, se controló la caída de presión en la grilla del regenerador, en el lecho del regenerador y también el balance de calor, ya que la nueva corriente de aire ingresaba casi 100 °C por debajo de la temperatura habitual.

Los pasos anteriores se concretaron con éxito y buena estabilidad en un período de cinco horas. El B-452 quedó a mínimo caudal venteadando a la atmósfera por un período de ocho horas, antes de sacarlo fuera de servicio para certificar que todo el sistema estuviera en condiciones óptimas.

Una vez entregada la turbina del B-452 al personal de mantenimiento para su reparación y *upgrade* de instrumentación, se mantuvo la operación durante 24 días sostenida por los compresores externos. En ese periodo se reforzó el personal en consola y campo y se contó con personal de Sullair las 24 h. Diariamente se acordaba el plan de mantenimiento de compresores o generadores, la cantidad de equipos en funcionamiento, su estado operativo y la reserva de aire disponible, y la disponibilidad de combustible.

Al finalizar las reparaciones en B-452, se puso en marcha nuevamente el soplador venteadando por un periodo de 24 horas, tiempo en el que se verificaron todos los parámetros operativos de la turbina, a fin de certificar su óptimo funcionamiento. Luego de este período, se realizó una maniobra similar a la descripta, pero en sentido opuesto para normalizar la unidad.

Nueva turbina

La nueva turbina es de iguales características a la reemplazada en potencia y dimensiones; sin embargo, incorporó mejoras en lo referente a la seguridad, el control de velocidad y la supervisión de la condición de operación.

La actualización de seguridad consistió en la incorporación transmisores analógicos redundantes, como iniciadores de las lógicas protectivas y un TripBlock para el accionamiento de la válvula de cierre rápido de admisión de vapor. Se pasó de lógicas protectivas basadas en elementos discretos a transmisores analógicos con votación 2 de 3. A su vez, se adecuaron las lógicas en el PLC de seguridad y el sistema de control asociado a la turbina

	Cambio de aire	Chapeado	Op. aire externo	Conex. Instr. nueva turbina
Escenario de riesgo	1) Falta de aire 2) Surge B-452	1) Falta de aire 2) Falla bloqueo	En próximo slide	Activación alarma 1era inestabilidad Real
Consecuencia	1) Defluidización Rg con activación Flacs 2) Trip B-452	1) Retroceso cat 2) No energía cero	-	Reversión de flujo por no entrada automática de flacs
Sist. protectivo	Operativo	Operativo	Operativo	By-pass mecánico
Iniciadores F/S	Caudal aire ppal (bypass lógico)	Caudal aire ppal (bypass lógico)	Caudal aire ppal (bypass lógico)	-
Actuadores F/S	Parada B-403 no está en Triconex	Vapor FLAC sin automatismo	-	Bypass mecánico de todo el sistema
Medidas preventivas	1) Logic consola B-403 2) Alarma aire ppal 3) Refuerzo guardias 4) Capacidad aire spare (+10%)	5) Procedimiento cambio de aire 6) Colocación rápida CC 7) Barras independientes	-	Comunicación con instrumentistas Planificación y Simulación Guardia reforzada
Pasos a seguir si ocurre escenario	1) Finalizar maniobra de aire 2) Entrega B-452 3) Proced. CC en escenario igual CC 30" T-101		-	Parada manual de la unidad en forma segura (similar a prueba FLACS)

Tabla 1. Resumen de resultados análisis de riesgo de proceso.

