

OPERACIÓN FCC CON COMPRESORES EXTERNOS PARA REEMPLAZO Y UPGRADE DE LA TURBINA DEL SOPLADOR PRINCIPAL

Joaquin Maestro Frayssinet, Pan American Energy, joaquin.maestro@axionenergy.com. Julio Nicola, Pan American Energy, julio.d.nicola@axionenergy.com. Martin Zingaretti, Pan American Energy, martin.e.zingaretti@axionenergy.com. David Killy, Pan American Energy, david.n.killy@axionenergy.com

Sinopsis

El proceso de craqueo catalítico fluidizado (FCCU) utiliza grandes cantidades de aire, que típicamente es inyectado al sistema a través de un soplador centrífugo accionado por una turbina a vapor.

En Refinería Campana, dicha turbina a vapor estaba en planes para ser reemplazada en la próxima parada mecánica. Sin embargo, a inicios de 2020 comenzó a mostrar incremento en las vibraciones axiales, que se consolidó en una tendencia alcista sostenida. Esto arrojaba poco menos que 90 días ante de tener que parar obligatoriamente la unidad y proceder a su reparación. Varios argumentos se presentaban como contrarios a la parada de la unidad, siendo el más importante el contexto de pandemia COVID-19 que exigía a la organización en su conjunto no interrumpir la demanda de combustibles al mercado.

En el presente trabajo se muestra el proceso de planificación, análisis de riesgos, ejecución y resultados de un proceso innovador en el cual se sostuvo la unidad FCCU operativa soportada por compresores externos, mientras se procedió al reemplazo y upgrade de la lógica de seguridad de la turbina del soplador principal. La planificación, ingeniería básica e ingeniería de detalle, se hizo contrarreloj e involucró a todas las áreas de Refinería, áreas staff y consultores externos. El proceso de ejecución presentó desafíos de logística de materiales y trabajos importantes en campo, capacitación operativa y simulacros, coordinación operativa y de mantenimiento y el contexto de la pandemia. En todo el proceso se trabajó en equipo con empresas contratistas de relevancia internacional, como Siemens y Sullair.

El trabajo realizado fue exitoso. Se mantuvo la unidad operando de manera segura durante 30 días con suministro de aire externo y se logró el reemplazo de la turbina con nueva tecnología. El proceso se asemejó a un trasplante de corazón, donde se mantuvo al paciente (la unidad FCC) con soporte externo, mientras se intervino el corazón del equipo (la turbina del soplador). El proyecto refuerza que es posible llevar a cabo procesos de innovación en industrias tradicionales incluso con nuevos enfoques adaptativos y ágiles con alto foco en la propuesta de valor al cliente, siempre que se encuentren soportados por un adecuado sistema de gestión: un riguroso proceso de diseño, revisión de riesgos, planificación de mantenimiento y correcta ejecución operativa.

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 76000 KNm³/h. La inyección de aire al regenerador de catalizador es fundamental ya que permite mantener 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 a la unidad, e impiden retroceso de catalizador caliente del regenerador por la línea de descarga del soplador.

A partir del mes 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.

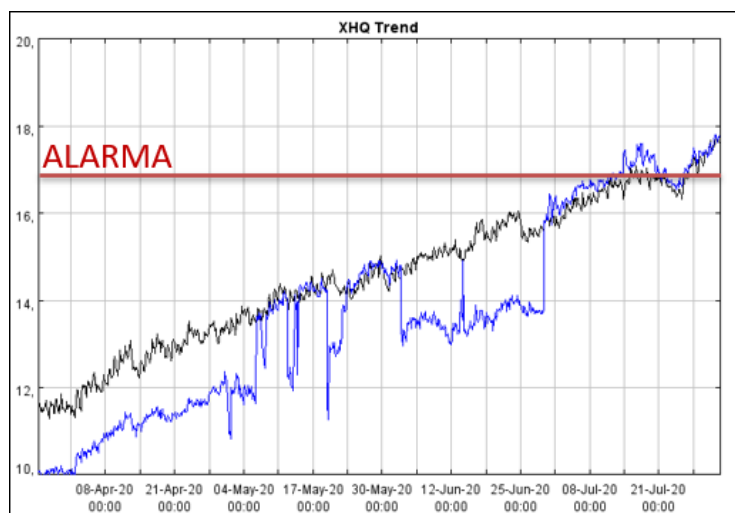


Figura 1: Desplazamiento axial turbina a vapor B-452

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

El primer paso implementado fue poner en marcha el nuevo soplador de control, conectado a la descarga del soplador principal, línea a la que posteriormente también se le 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 Agosto 2020 momento en el que se produjo la intervención.

Desarrollo

a- Ingeniería

Una vez que logró reducirse la tasa de incremento de vibraciones, se comenzó a trabajar en la planificación para intervenir la turbina del soplador. Dentro de las alternativas posibles la opción que mayores ventajas presentaba era poder entregar la turbina sin detener la unidad FCC. Esto 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 reducir 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, que tenía como objetivo primario encontrar antecedentes de esta operación en otras refinerías, y paralelamente analizar la factibilidad de hacerse.

No se encontraron antecedentes de la operación que se pretendía realizar en Refinería Campana pero si casos comparables, siendo el mas similar hallado el de la refinería de Castellón, España, en la que la unidad se arrancó luego de una parada de planta con 35 motocompresores diesel 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 a realizar 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 poder mantener fluidizado el lecho de catalizador en el regenerador. Considerando las capacidades de los compresores de aire disponibles en el mercado se estimó que se requerirían un valor estimado de 60 equipos, y a partir de allí se determinó que sería necesario fabricar un colector de 300 metros de longitud al que se conectarían los compresores. Adicionalmente también se determinaron las ubicaciones de 2 “hot taps”, de 12 pulgadas, necesarios para la inyección del aire desde los compresores externos.

Uno de los desafíos que se presentaron en las primeras etapas de ingeniería fue poder balancear los requerimientos para lograr una operación estable y segura, para la realización la maniobra de cambio de aire, con disponibilidad de materiales y plazos ejecución disponibles que eran muy cortos.

b- Planificación del trabajo

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

Por un lado, se avanzó con los procesos de licitación para hallar un proveedor que pudiera la cantidad de equipos requeridos. Los plazos tan acotados, como así también el caudal de aire requerido limitaban, la disponibilidad de proveedores o soluciones. Otra complejidad presente, fue que no era posible abastecer toda la potencia requerida desde refinería, por lo que también era necesario la provisión de motogeneradores eléctricos como parte de la solución.

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 antes escenarios de contingencia detectados en el análisis de riesgos que se estaba desarrollando paralelamente.

En paralelo se avanzaba con la ingeniería de detalle y compra de materiales, la que se iba actualizando en función de las definiciones que se obtenían del análisis realizado en conjunto con Sullair como así también del análisis de riegos 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 de los aspectos críticos que se consideró durante la etapa de planificación fue la provisión de combustible para abastecer los generadores eléctricos. Era crítico contar con una logística adecuada y confiable para permitir el funcionamiento de todo el sistema ininterrumpidamente durante los 35 días de operación. Para esto se construyó un colector de cañería rígida para abastecer cada generador y motocompresor del parque, que primariamente sería abastecido por camión cisterna pero que también tenía la facilidad de conectarse a un tanque de gas oil de refinería en caso de tener algún retraso. A lo anterior se le sumaba la autonomía de cada equipo que era de 24 hs y una reposición promedio cada 12 hs.

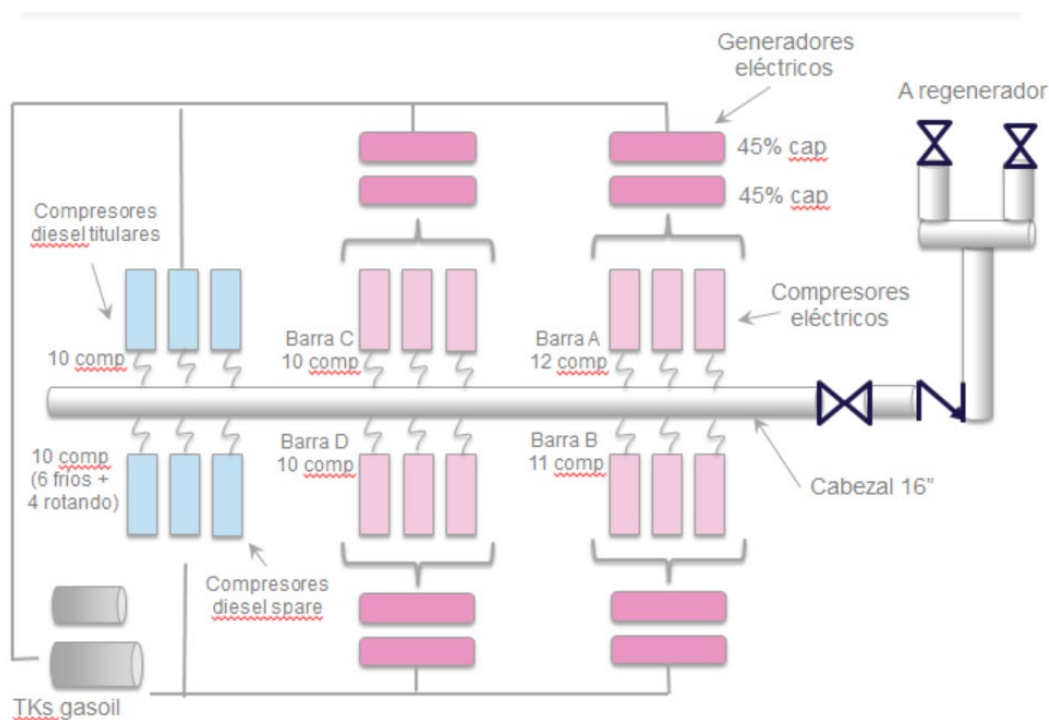


Figura 2: Facilidades para la inyección de aire con compresores externos

c- Análisis de riesgo

Como se mencionara anteriormente, 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 8 moto generadores eléctricos ubicados longitudinalmente sobre 300 m dentro de una de las calles de refinería, conexión eléctrico y provisión de combustible durante mas de 35 días, obligaban a poner especial atención a todo lo relacionado con la seguridad de procesos y personal.

Para todos los aspectos relacionados a seguridad personal, 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 conexión, la adaptación de facilidades de lucha contra incendio, y aislamiento de energía necesario para realizar las tareas de mantenimiento, por mencionar algunos de los aspectos considerados.

También se realizó un estudio de riesgo más específico a 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 conexión de la nueva instrumentación de la turbina y normalización del FCC.

En cada una de las etapas se identificaron los principales escenarios de riesgos, el estado del sistema protectorio del FCC, las barreras de protección alternativas, y los pasos a 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 condensado 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 **Figura 3** tabla se detallan los principales riesgos encontrados junto con las barreras mitigantes establecidas.

	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. protectorio	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)

Figura 3: Resumen de resultados análisis de riesgo de proceso

d- Maniobra de cambio de aire

Desde que se seleccionó al proveedor de los compresores de aire, se comenzó a trabajar conjuntamente entre el área de producción, ingeniería de procesos, y consolistas experimentados del área en la elaboración de un procedimiento para el cambio el aire. Éste terminó perfeccionándose con la activa participación de Sullair en revisiones conjuntas realizadas, a fin de adecuar las necesidades de proceso con el modo de operación y entrega de caudal de caudal cada compresor. Adicionalmente, una semana previa a la ejecución del procedimiento en planta, se planificó una jornada en la que se simulaban las maniobras, con la participación de todos, que sirvió de capacitación como así también para terminar de ajustar 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 descarga 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 ir bajando gradualmente el caudal de aire del B-403 reemplazándolo por el aire proveniente del nuevo cabezal accionando sobre los bloques 5 y 4 de la **Figura 4**.

Los compresores de Sullair habían sido ajustados para trabajar en un rango entre 5.3 y 6.3 Kg/cm²g; sobre el valor de mínima presión los compresores estarían al 100% de capacidad mientras que, si la presión se acercaba a su límite superior, los compresores 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 siempre operar con una reserva en caliente ante la potencial parada de algunos equipos, pérdida de performance o alguna perturbación en la unidad.

Con el B-403 puesto como aire de control, y con 10 compresores de Sullair en funcionamiento se procedió a reducir al mínimo la alimentación al FCC, a reducir un poco mas el caudal de aire del B-452 reemplazándolo por aire del nuevo cabezal de aire. Se dejó al FCC operando en esta condición por 5 días a fin de darle confiabilidad a la nueva configuración, asegurar el funcionamiento de la instrumentación y la estabilidad del control del aire.

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

Los pasos anteriores se concretaron en un periodo de 5 horas, con éxito y buena estabilidad. El B-452 quedó a mínimo caudal venteando a la atmosfera por un periodo de 8 horas, antes de sacarlo fuera de servicio, para certificar que todo el sistema estuviera en condiciones óptimas.

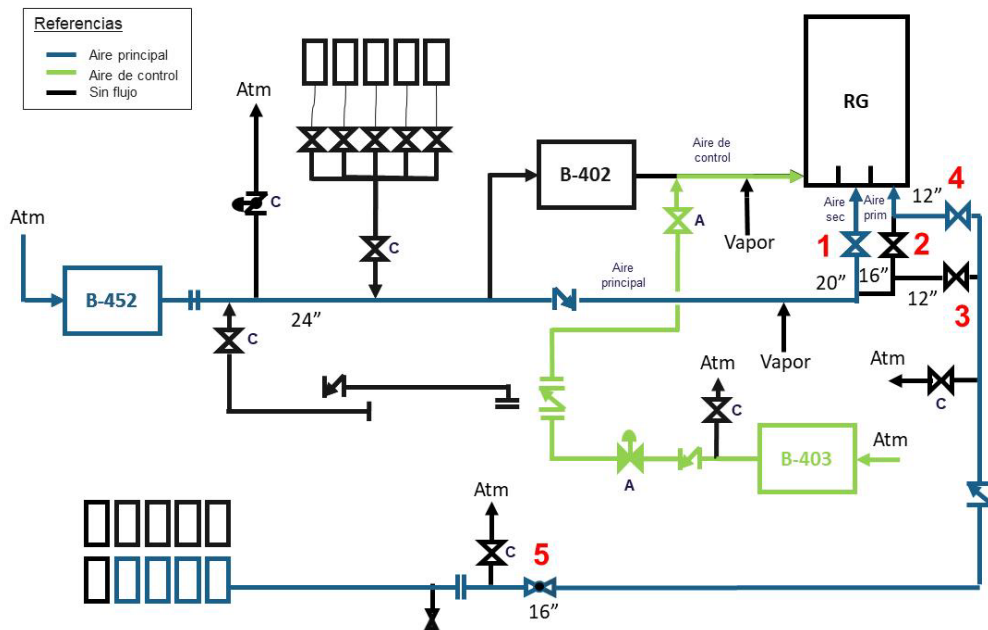


Figura 4: PFD esquema de aire

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. Durante este periodo se reforzó el personal en consola y campo y se contó con personal de Sullair con presencia las 24 hs. 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, nuevamente se puso en marcha el soplador venteando 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. Pasado este periodo se realizó una maniobra similar a la ya descrita, pero en sentido opuesto para la normalización de la unidad.

e- Nueva turbina

La nueva turbina es de iguales características a la reemplazada en cuanto a potencia y dimensiones. Sin embargo, incorporó mejoras en cuanto a seguridad, control de velocidad y 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 para incluir la actualización de los paros de emergencia, la supervisión y prueba del TripBlock y la prueba de carrera parcial de la válvula de cierre rápido.

Respecto al control de velocidad la actualización consistió en el cambio del actuador de la válvula de admisión, pasando de un actuador neumático a una servoválvula con convertidor electrohidráulico.

El reemplazo de interruptores discretos por transmisores analógicos y la inclusión de nuevas mediciones analógicas permite una mejor supervisión y monitoreo de la condición de operación del equipo.

f- Ejecución de las reparaciones

Las semanas de preparación y planificación previa permitió realizar el izaje de la turbina de 11 toneladas al segundo día de intervención de la ventana mecánica dándole celeridad a las tareas siguientes. Luego del retiro de la turbina se utilizó un novedoso sistema de medición llamado fotogrametría el cual proporcionó la información para instalar los 3 nuevos pedestales que recibirían la turbina, modelando en 3D toda la estructura respecto al eje motriz, con los ajustes mecánicos y desbastes necesarios de tal modo que la nueva turbina quedo en una posición muy próxima en el orden de milésimas de milímetro a la alineación buscada.

Una vez posicionada, comenzaba nuestro desafío multidisciplinario de montaje e interconexión de cañerías de aceite e instrumentos del nuevo sistema de regulación de válvulas de admisión de vapor y disparo por sobrevelocidad de la turbina. Las cañerías de inoxidable se habían prefabricado y se maximizo su montaje en preparada, mientras que las acometidas de instrumentación se habían instalado también en preparada hasta las Junction box de la máquina.

Finalmente, luego de la interconexión de cañerías e instrumentación se realizó la regulación de la máquina con asistencia de los especialistas de Alemania quienes brindaron asistencia remota, debido a la imposibilidad de viajar por la pandemia, a través de una nueva tecnología de realidad aumentada denominada Realwear. La misma es una herramienta de colaboración manos libres e intrínsecamente segura. Nuestro equipo de trabajo utilizó un casco con visión online aquí en Argentina mientras que desde Alemania verificaban y asistían en cada tarea de la regulación de la maquina logrando la misma con éxito.

Conclusiones

- El proyecto de reemplazo de aire fue realizado exitosamente ya que logró alcanzar su objetivo principal en forma segura, sin incidentes personales ni de seguridad de procesos. Se realizó dentro del plazo, tiempo y costos establecidos. Demostrando de esta manera, que el proceso FCC puede ser controlable y estable con compresores externos.
- Fue un proyecto innovador en una industria tradicional, lo que evidencia que se pueden aplicar soluciones creativas a procesos tradicionales.
- El análisis de riesgos operativos y de proceso riguroso fue imprescindible para lograr la aprobación por parte de la compañía
- Significó un gran desafío para todo el equipo de trabajo, ya que los plazos acotados obligaron a la implementación de una metodología ágil de trabajo, que aún no está tan difundida en este tipo de industrias. Como parte de este esquema se avanzaba en varios frentes en paralelo; en la medida que se progresaba se revisaba la consistencia de todo el alcance, se realizaban actualizaciones sobre lo definido previamente y el ciclo volvía a arrancar.
- Poder utilizar este tipo de metodologías con éxito implica un trabajo muy estrecho y permanente entre todos los actores involucrados, con comunicaciones claras y manteniendo a todos informados sobre el avance y modificación que se van sucediendo para poder identificar los impactos en todos los aspectos del proyecto.