



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Caso de éxito: implementación de ingeniería de izajes pesados, soldadura y nuevas tecnologías en ruta crítica de la parada de planta UOPII 2025, departamento de craqueo catalítico II, Gerencia Refinería de Barrancabermeja Ecopetrol, Colombia.

ECOPETROL S.A.

Gerencia Refinería de Barrancabermeja

E.mail: Rafael.Nunez@ecopetrol.com.co - Benjamin.Quino@ecopetrol.com.co -

felipe.hernandezos@ecopetrol.com.co - sergio.navarro@ecopetrol.com.co

Barrancabermeja – Colombia

Resumen:

En la refinería de Ecopetrol de la ciudad de Barrancabermeja, Colombia se realizó el mantenimiento mayor de la FCC (Fluid Catalytic Cracking) UOPII con el propósito de recuperar la confiabilidad e integridad mecánica de los equipos, además de garantizar una corrida libre de fallas. Debido a la magnitud y complejidad de los trabajos, fue necesario el desarrollo de una ingeniería de constructibilidad e implementación de nuevas tecnologías innovadoras en el sector con el fin de enmarcar la parada de planta dentro de los objetivos de seguridad, calidad, costo y tiempo.



Ilustración 1 Unidad de Craqueo Catalítico II, GRB.

1. Formulación del problema:

Planteamiento del problema:

Durante la fase de planeación de la parada de planta de la UOPII se realizó el nivel de detalle de actividades, duraciones y relaciones de todos los equipos, identificando el sistema del convertidor

como ruta crítica. Esta primera fase se realizó mediante técnicas y procedimientos de trabajo convencionales.

En esta primera fase de planeación no se cumplía 100% las premisas de tiempo y presupuesto solicitados por la organización, adicionalmente debido a la complejidad de los trabajos e interferencias se requería buscar alternativas tanto en estrategia de ejecución como en innovación de prácticas y técnicas de trabajo en pro de la seguridad y calidad.

Justificación para solucionar el problema:

Con el propósito de optimizar la duración y el presupuesto de la parada de planta, así como de mejorar la seguridad de los trabajadores y calidad de los trabajos, fue necesario el cambio de la estrategia de la ruta crítica pasando de cambio de componentes del reactor R4201 de “ventana” a “Jig-stand”.

Adicional al cambio de estrategia se identificaron actividades que, por el volumen, simultaneidad de trabajos, interferencias con demás frentes y restricciones de recursos, fue necesario implementar nuevas tecnologías como alternativas a las prácticas y técnicas convencionales principalmente en actividades de:

- Corte de componentes.
- Demolición e instalación de refractarios.
- Soldadura de anclajes de refractarios.
- Soldadura convencional con alivio térmico
- Armado y desarmado de andamios.
- Inspección anticipada de equipos.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Objetivos:

- Identificar los beneficios en el cambio de la estrategia de ejecución de la ruta crítica de la parada de planta de la UOPII, 2025.
- Identificar los beneficios en las nuevas tecnologías implementadas en la ruta crítica de la parada de planta de la UOPII, 2025.

2. Marco Teórico

La estrategia de “Jig-stand” es una práctica conocida a nivel mundial dentro de los mantenimientos mayores de las FCCU para el cambio de componentes internos de los reactores y regeneradores. Esta técnica permite adelantar el preensamble de los internos nuevos de forma anticipada y de manera paralela se ejecutan actividades de mantenimiento dentro de la vasija. A nivel local en la refinería de Ecopetrol en Barrancabermeja, Colombia esta práctica se había usado 4 veces:

- UOPII, 2011: Cambio de ciclones del regenerador R4202 (ilustración 2).
- UOPI, 2014: Cambio de ciclones del reactor R2701 (Ilustración 3).
- Modelo IV, 2016: Cambio de rejilla del regenerador R302 (ilustración 4).
- UOPI, 2022: Cambio de ciclones del regenerador R2702 (ilustración 5).



Ilustración 2 Izaje conjunto cap + ciclones Regenerador R4202, 2011.



Ilustración 3 Izaje conjunto cap + ciclones Reactor R2701, 2014.



Ilustración 4 Izaje cap + ciclones Regenerador R302, 2016.



Ilustración 5 Izaje cap + ciclones Regenerador R2702, 2022.

Durante la fase de planeación se realizó también investigación de mercado de nuevas tecnologías a nivel mundial para sustituir prácticas y técnicas convencionales de mantenimiento. Las premisas de estas nuevas tecnologías eran mejorar las condiciones de seguridad de los trabajadores, disminuir los reprocesos de los trabajos, optimizar las duraciones de costos de los trabajos, además de disminuir riesgos de recursos críticos.

Estas nuevas tecnologías se validaron que ya habían sido ejecutadas exitosamente en algún momento. Adicionalmente, fueron necesarios documentación complementaria, ensayos y comités técnicos para certificar la viabilidad de las tecnologías.

3. Metodología

Fase Planeación:

El alcance del reactor R4201 (ruta crítica) durante la parada de planta incluye:

Cambios de componentes nuevos:

- 5 ciclones.
- 5 ductos ascendentes.
- 1 riser top o canasta (incluye los 5 ductos de transición).
- Sección superior del riser interno.
- El insert plate del manhole principal.
- Riser externo (incluye boquillas de carga).
- Wye section.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia

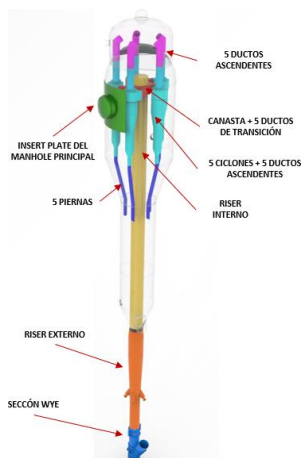


Ilustración 6 Cambio de componentes Reactor R4201.

Reparación de refractario: cambio del antierosivo y sistema de anclaje del cap y sección de cilindro de la cámara principal.

- I) **FAT RAT tipo A:** Mediante múltiples sesiones un panel de expertos se analizan las diferentes alternativas y se selecciona la mejor estrategia de ejecución para la ruta crítica. Para esta ocasión se opta por implementación del cambio de los internos del reactor R4201 mediante corte e izaje de cap en estructuras de “Jig-Stand”.
- II) **FAT RAT tipo B:** Talleres con expertos en la materia donde se implementan técnicas de compresión de cronograma como: “Crashing” y “Fast tracking”. Adicionalmente, se simulan interferencias entre frentes, restricciones, nivelación y optimización de recursos.

Fase Constructibilidad:

I) Ingeniería de izajes pesados:

Debido a la alta complejidad de los izajes, fue necesario el desarrollo “heavy lift engineering” para el izaje del cap con los internos, además que para el cambio del Riser externo con la wye Section. Para esta ingeniería contó con la participación de expertos en la materia a nivel internacional, profesionales nacionales en izajes de carga, y de ejecutores de maniobras locales.

- **Cap + ciclones:** Con una carga bruta de 132 toneladas, se logró implementar un sistema de

arriostramiento entre los ciclones y la sección de Riser interno a cambiar. Con este diseño se optimizó el izaje del Riser interno por separado del resto de los internos.

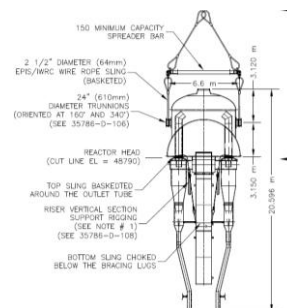


Ilustración 7 Ingeniería de rigging conceptual para izaje de conjunto Cap + Ciclones R4201.

En conjunto con la empresa contratista de izajes, se elaboró la ingeniería detallada para cada uno de los izajes, teniendo en cuenta la grúa a usar, terreno, elevaciones, cargas, aparejos y demás interferencias.

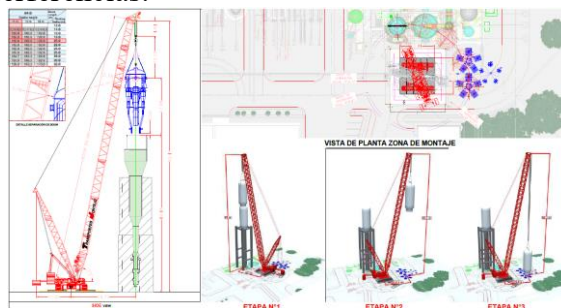


Ilustración 8 Plan de izaje cap + ciclones Reactor R4201.

- **Riser externo:** Para esta maniobra de 30 toneladas, el reto era el espacio en donde se encontraba este componente, ya que, el largo del Riser externo (13,6m) supera el ancho, largo y alto de la estructura por donde se retiró (8x8x8m).

Fue necesario el montaje de dos vigas riel en la parte superior, además de 4 trolleys y polipastos neumáticos para cambio de este componente. El uso de equipos neumáticos permitió la ejecución del movimiento de manera eficiente y segura.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia

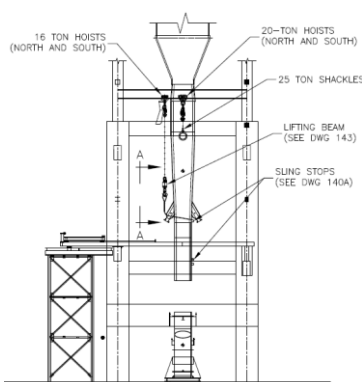


Ilustración 9 Ingeniería de rigging conceptual izaje riser externo.

El cambio del Riser externo está compuesto en dos partes: la primera es lo que se conoce como “Bull Rigging” en donde se moviliza la pieza desde su sitio original hasta el borde de la estructura usando polipastos neumáticos. La segunda parte es conocida como el “lifting”, se refiere a la transferencia hacia la grúa.

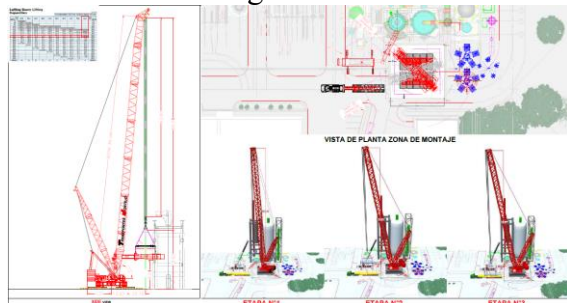


Ilustración 10 Plan de izaje Riser externo.

- **Wye Section:** Por su configuración en “Y” el centro de gravedad de la pieza (16 toneladas) representaba un gran desafío, además del poco espacio dentro de la estructura. Para esta ocasión se usaron los mismos equipos del Riser externo (trolleys y polipastos neumáticos), pero con un nuevo diseño customizado de palomier/distribuidor ayudado por un gancho giratorio (Swivel).

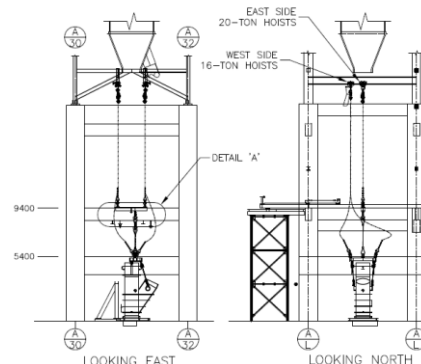


Ilustración 11 Ingeniería de rigging conceptual izaje Wye Section.

II) Ingeniería de soldadura:

Siendo el material del reactor A387 Gr.11 y conociendo que la estrategia de ejecución era la del corte del cap e insert plate, una de las grandes interrogantes era la posible deformación de la vasija con el corte y con la soldadura (alivio térmico).

Como primer análisis, se realizó elementos finitos para simular la carga de compresión máxima para fines de ajuste y falla por pandeo en el cuerpo del reactor después de cortar el cap y el insert plate.

Se completó la evaluación del ajuste del corte del insert plate y cap, y los gráficos de contorno de deflexión en direcciones radial, tangencial y vertical se muestran en la ilustración 12. La deflexión en todas las direcciones también se grafica a lo largo del borde del corte de la ventana. La deflexión máxima del corte de la ventana con viento de 80 km/h (50 mph) y peso propio es de 0,2286 mm (0,009 pulgadas), que no excede el criterio de deflexión de 1,5875 mm (0,0625 pulgadas) y se encuentra dentro del mismo.

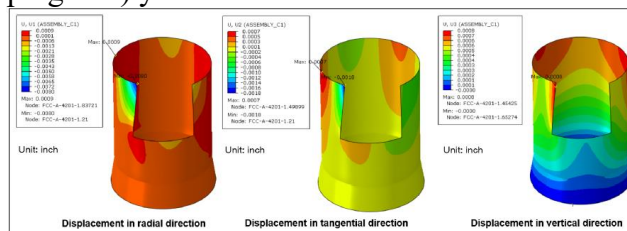


Ilustración 12 Contornos de deflexión con deformación exagerada.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Se realizó un segundo análisis de ajuste para determinar la carga de compresión máxima sobre el recorte de la ventana. La carga de compresión se aplica en el borde superior del recorte y aumenta continuamente hasta alcanzar el criterio de deflexión de $0,0625''/1,5875$ mm. Según los resultados del análisis, se requiere una fuerza de compresión de 760.000 lbf o 3.338.064 N para lograr la deflexión de $0,0625''/1,5875$ mm en el recorte de la ventana. La ilustración 13 muestran los contornos de deflexión y los resultados con la carga de compresión de 760.000 lbf o 3.338.064 N. La deflexión radial es de $0,062''/1,5748$ mm, ligeramente inferior al criterio de deflexión de $0,0625''/1,5875$ mm.

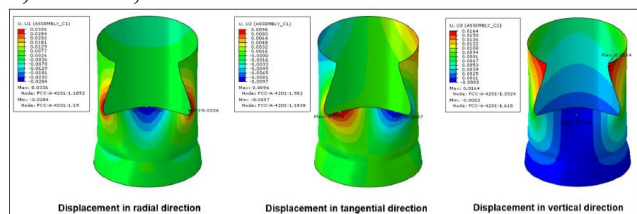


Ilustración 13 Contornos de deflexión con deformación exagerada con carga de compresión.

El propósito de la evaluación de estabilidad es determinar la fuerza de compresión máxima que causa inestabilidad (pandeo) en el corte de la ventana. Primero se realiza un cálculo de valores propios para determinar la forma del modo de pandeo más dominante. La ilustración 13 muestra las tres formas del modo de pandeo, siendo la forma 1 la más dominante. Esta forma se introduce en un modelo elastoplástico como geometría de imperfección para realizar el cálculo de la tensión. La fuerza de compresión que causa pandeo en el corte de la ventana se calcula en 21.800.000 lbf o 96.971.230 N. La ilustración 15 muestra la deflexión total del corte al pandeo, siendo la deflexión del borde vertical de 152 mm o 6 pulgadas. Bajo carga de colapso, la mayor parte de la carcasa presenta deformación plástica, y la deformación plástica máxima es del 3,6 %, como se muestra en la ilustración 16.

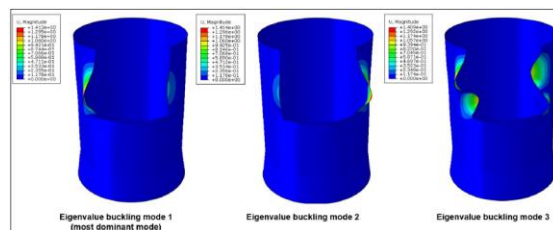


Ilustración 14 Modos de pandeo de valores propios.

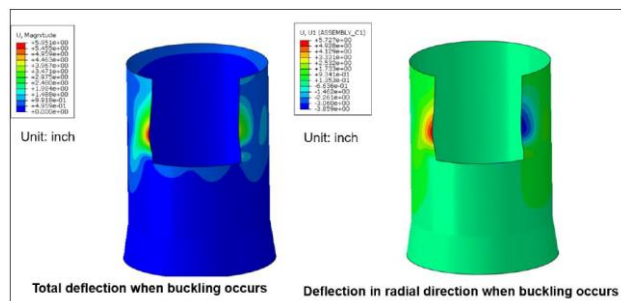


Ilustración 15 Deflexión cuando el pandeo ocurre.

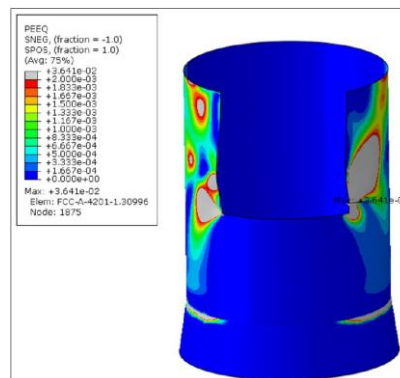


Ilustración 16 Deformación plástica cuando el pandeo ocurre.

Posteriormente, se realizó análisis de elementos finitos simulando las condiciones del alivio térmico a una temperatura de 1250°F en el insert plate y cap. Con este análisis, ayudó a avalar o descartar el procedimiento de soldadura con PWHT. Se simularon dos casos: LC1: donde se simula con la carga del peso del cap y LC4: donde se tiene en cuenta además, la fuerza del viento. Los factores de carga máximos alcanzados durante los análisis de Riks elastico-plásticos superan el valor de 1,67 requerido por el código para ambos casos de carga. El caso de carga 1 alcanzó un factor de carga máximo de 15 antes del inicio del pandeo. El modelo del caso de carga 4 se canceló antes del



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



inicio del pandeo, ya que el incremento requerido era inferior al mínimo especificado. No obstante, se alcanzó un factor de carga de 13,4 para el caso de carga 4, antes del cierre del modelo.

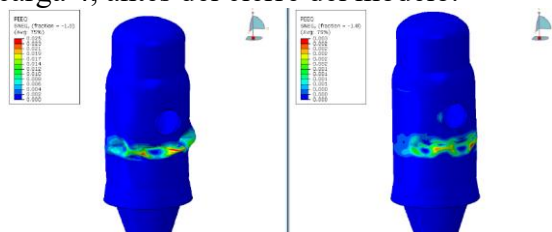


Ilustración 17 Deformación plástica del reactor debido a la temperatura del PWHT.

Por esta razón, fue necesario descartar el uso de alivio térmico para el procedimiento de soldadura en el insert plate y cap. Como alternativa se escogió el procedimiento de soldadura “Temper Bead Welding” (soldadura de cordón revenido) el cual es una técnica especializada utilizada principalmente para soldar aceros de baja aleación o de alta resistencia, especialmente en componentes que no pueden ser sometidos a tratamiento térmico posterior al soldado (PWHT – Post Weld Heat Treatment).

Es un procedimiento en el que los cordones de soldadura se depositan estratégicamente para que el calor de los cordones posteriores “temple” o “refine” la microestructura de los cordones anteriores y de la zona afectada por el calor (HAZ - Heat Affected Zone).

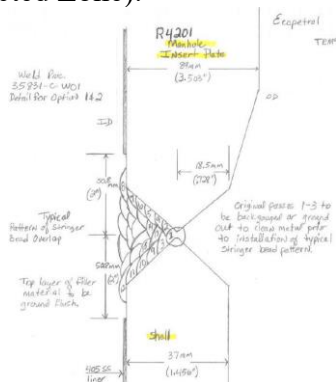


Ilustración 18 Diseño de bisel y secuencia de cordones en la soldadura del insert plate.

III) Ingeniería de refractarios:

Como alternativa a la demolición de refractario mediante medios convencionales (martillo neumático), se optó por la hidro demolición como técnica para el retiro de coque y antierosivo dentro del reactor R4201 durante la parada de planta de la UOPII, 2025. Esta nueva tecnología acarrea ventajas en términos de seguridad, calidad y productividad.

Para la demolición de coque dentro del cuerpo del reactor R4201 se diseñó el “Helicopter 2D tool” (ilustración 19) con el cual tenía la capacidad de rotar 360° y ascender/descender por la vasija con ayuda de un winche ubicado en la parte superior. Este equipo se alimentaba con agua a alta presión 10.000psi de presión y un caudal de 200 gpm, ideal para el retiro de coque, ya que, se requiere mayor flujo de agua para desprender el coque. Es necesario el uso de 5 bombas de 300hp.

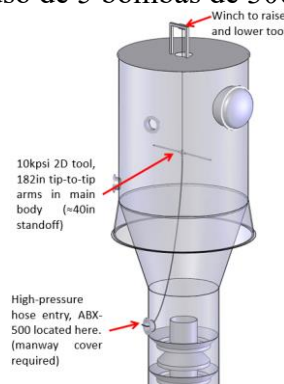


Ilustración 19 Ingeniería conceptual hidro demolición de coque y refractario en paredes del Reactor R4201.

Para la demolición de refractario antierosivo dentro de la vasija del reactor R4201 fue necesario el cambio del equipo al “Stack Cleaner” que mediante el uso del “Centralizer” (ilustración 20) permitía caminar por toda la vasija previniendo que las boquillas se chocaran con las paredes.

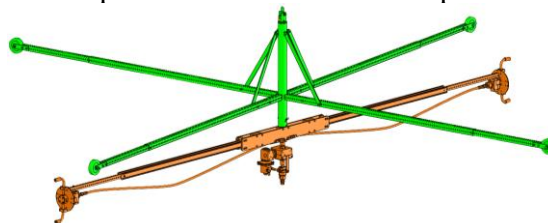


Ilustración 20 Diseño “Stack Cleaner” y “Centralizer”.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



La presión recomendada es de 20.000psi con un caudal de 100gpm. A diferencia del retiro de coque, para la remoción del antierosivo se requiere mayor impacto del chorro y no tanto caudal.

Para la demolición de coque y antierosivo del cap del reactor R4201 se diseñó "Reactor Top Cleaner" (ilustración 21). Este equipo consta de un eje con rodamiento en todo el centro del cap, al cual se le instala un riel por el cual camina el equipo de hidro demolición. La presión recomendada es de 20.000psi con un caudal de 100gpm.

Muy similar a las paredes del reactor R4201, para el caso de la demolición del antierosivo dentro del Riser interno se diseñó el "Cleaner", un equipo con 2 brazos que podían rotar 360° independientes al centralizador.



Ilustración 21 Ingeniería hidro demolición de coque y refractario cap Reactor R4201.

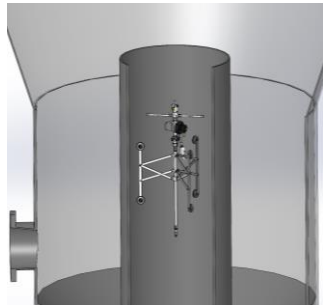


Ilustración 22 Diseño "Cleaner" para el riser interno.

Fase Ejecución:

Izajes complejos:

Previo al izaje del conjunto de cap + ciclones del reactor R4201, fue necesario realizar inspección de las soldaduras entre los ductos ascendentes/cap, ductos ascendentes/ciclones y cámara plena/principal para garantizar la confiabilidad del izaje. Para este izaje se tuvo en cuenta un 10% adicional de peso producto de información variable (coque, aislamiento, etc).

Para el izaje se realizó estudio de suelos el cual arrojó la necesidad de la construcción de un terraplén de 30cms de alto de subbase granular y acabado de suelo cemento. El largo y ancho

(20x20m) del terraplén estuvo sujeto a las dimensiones de la grúa Kobelco SL6000 de 650 toneladas de capacidad.

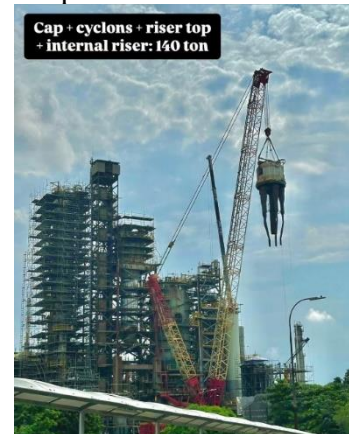


Ilustración 23 Izaje conjunto cap + ciclones Reactor R4201.

Para el izaje del Riser externo y wye Section, se instalaron en la parte superior dos vigas IPE 600 modificadas (se reforzaron las alas). Sobre estas vigas se montaron 4 trolleys neumáticos, 2 de 16 y 2 de 20 toneladas (LM16T y LM20T); adicionalmente, sobre cada uno de los trolleys se montaron polipastos neumáticos e 16 y 20 toneladas respectivamente, con cadena de 83 FT de largo.



Ilustración 24 "bull rigging" riser externo

Los polipastos neumáticos de 20 toneladas sostenían la carga en los dos trunnions superiores, mientras que las dos diferenciales de 16 toneladas horizontalizaban la carga desde las boquillas de carga. Finalmente, se hacía la transferencia de la carga a la grúa externa.

Para el caso de la Wye Section, fueron usados los mismos elementos de izaje del Riser externo, pero



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



con la modificación del distribuidor de carga para equilibrar la carga.



Ilustración 25 "Bull rigging" Wye Section.

Implementación de nuevas tecnologías:

I) Hidro cortes con agua a alta presión:

El corte en frío se refiere a métodos de corte de materiales que no generan calor, chispas ni llamas. Implica la aplicación de agua a ultra alta presión, combinada con granate abrasivo, sobre el material objetivo para erosionarlo con precisión sin alterar sus propiedades físicas mediante el calor. Este método permite a los operadores realizar cortes en entornos explosivos, en materiales sensibles al calor y en entornos donde la deformación térmica es inaceptable. El corte en frío también es compatible con superficies planas y curvas, lo que lo hace excepcionalmente versátil. Para esta parada de planta se usó el "Wireless Jack track" diseñado y fabricado por StoneAge Inc (ver ilustración 26). Es un equipo que funciona con rieles magnéticos y se ajusta tanto para superficies planas como curvas. Este se opera de manera remota con una Tablet.



Ilustración 26 Equipo de hidro corte "Wireless Jack Track".

La gran ventaja de esta tecnología durante esta parada de planta fue la no necesidad de demolición de refractarios y anclajes en las líneas de cortes.

Esto permitió optimización de tiempo y recursos en los cambios de los componentes del reactor.

El funcionamiento del sistema requería una fuente de agua (hidrante), una bomba de 40.000psi de presión con 6 GPM de caudal. El cheque de descarga o "dump valve" cumplía la función de entrada de agua al equipo, o la desviaba en caso de requerir. La tolva de abrasivo o "garnet" almacenaba y enviaba el abrasivo hacia el equipo.

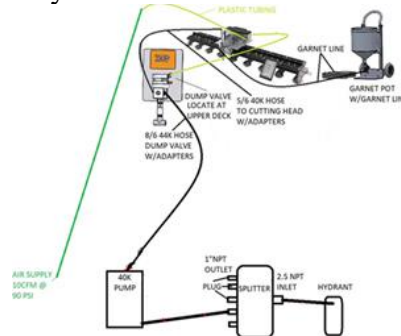


Ilustración 27 Arreglo general sistema hidro corte.

En total se realizaron 6 cortes en el reactor R4201:

1. Cap, 2. Insert plate, 3. Riser interno, 4. Riser externo, 5 y 6 Wye section.



Ilustración 28 hidro corte riser interno.

II) Hidro demolición de coque y refractarios:

La hidro demolición es una técnica que utiliza agua a muy alta presión para remover materiales refractarios densos y aislantes, además de coque dentro de los equipos de una FCCU.

Dentro de las ventajas que se encuentran de esta nueva tecnología versus las convencionales como el martillo neumático es la disminución del daño en las paredes de los equipos, reducción de riesgos



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



de lesiones a personas, precisión en el área a remover y eficiencia en la demolición.

El funcionamiento del sistema consistió en una fuente de agua a través de un hidrante, el cual con un manifold se distribuye el agua hacia cinco bombas de 10/20kpsi según lo solicite el procedimiento (coque o refractario). El agua con alta presión de las 5 bombas llega a un segundo manifold el cual alimenta los equipos con las boquillas aspersoras.

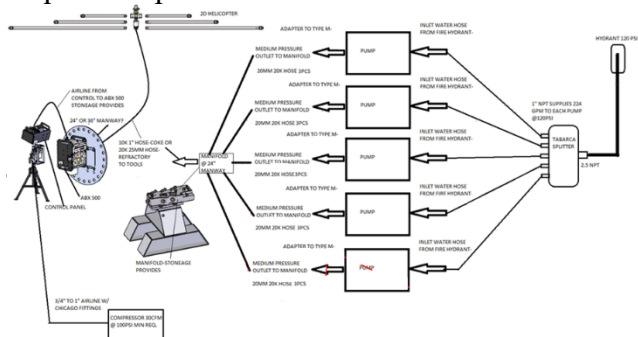


Ilustración 29 Arreglo general hidro demolición.

En la ilustración 30 se observa el montaje real del “Stack Cleaner” para la limpieza de las paredes del Reactor R4201.



Ilustración 30 "Stack Cleaner" instalado dentro del Reactor R4201.

En la ilustración 31 se muestra el montaje del “Reactor Top Head Cleaner” el cual se usó para el retiro de coque y antierosivo del cap del reactor R4201. En la ilustración 32 se detalla el primer paso del chorro de agua por una hilera de hexágonos dentro del Riser interno. Se evidencia la eficacia de esta tecnología.



Ilustración 31 "Reactor Top Head Cleaner".



Ilustración 32 Hidro demolición refractario riser interno.

Por último, se implementó con éxito un sistema de evacuación de escombros mediante “Dump shutes” (ver ilustración 33), el cual permitió direccionar el agua y escombros producto de la hidro demolición hacia un “Catch Tank”.



Ilustración 33 Sistema evacuación escombros "Dump Shutes".

III) Andamio PERI-UP:

El sistema PERI-UP es un andamio multidireccional modular basado en un rosetón o disco de conexión que permite unir varios elementos en distintos ángulos en un solo punto, lo que lo hace muy flexible y adaptable a geometrías irregulares.

El izaje de andamios modulares con PERI-UP se refiere al proceso de armado y elevación vertical del andamio en módulos desde el nivel del suelo (premontaje) hacia niveles superiores. En este mantenimiento mayor se realizó el siguiente procedimiento:



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



- Preensamble de 6 niveles de plataforma en piso, garantizando mayor seguridad y productividad.
- Luego se realizó el izaje con la grúa principal de 650 ton y se instaló dentro de la vasija.
- Se fijan los 6 niveles de plataformas a las paredes para evitar desplazamientos o movimientos.
- Se certifica andamio para uso.



Ilustración 34 Preensamble en piso andamio PERI-UP.

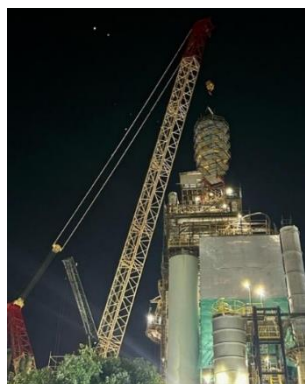


Ilustración 35 Izaje con grúa del andamio PERI-UP.



Ilustración 36 Andamio PERI-UP dentro del reactor R4201.

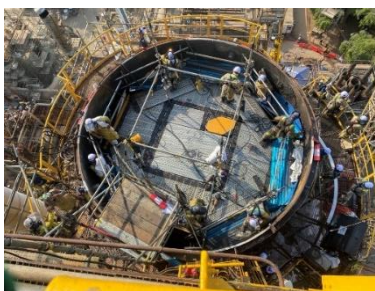


Ilustración 37 Andamio PERI-UP en uso.

Dentro de las ventajas del andamio PERI-UP frente al Cup-Lock encontramos entre otras:

- **Seguridad mejorada:** Menor trabajo en altura y espacios confinados al preensamblar módulos en el suelo.
- **Rápido montaje y desmontaje:** El sistema de conexión rápida ahorra tiempo y se permiten izar.

- **Alta adaptabilidad:** Ideal para estructuras complejas, áreas industriales y espacios confinados.
- **Compatibilidad:** Puede combinarse con otros sistemas de andamio como el cup lock.

IV) Inspección mediante Dron:

Durante los primeros días del mantenimiento mayor de la UOPII se implementó el uso del dron Elios 2 con cámara 4K en diferentes componentes del sistema del convertidor. Dentro de la ruta crítica se usó en la inspección del Riser interno. Es inspección temprana ayudó a anticipar de manera temprana la validación de la condición de este componente y de una vez alertaba las zonas donde se requería reparación de refractario.



Ilustración 38 Imagen del Dron Elios II dentro del riser interno.

Dentro de los beneficios del dron con la forma convencional de inspección se encuentran:

- **Seguridad Mejorada:** Evita exponer a inspectores a trabajos en altura, espacios confinados y zonas con gases peligrosos. Ideal para zonas con difícil acceso.
- **Ahorro de tiempo:** se eliminan los tiempos por armado de andamios y/o ingresos a espacios confinados.
- **Calidad:** Imágenes en HD.

V) Sistema de anclajes Silicon mediante soldadura de arco rápido (RAW):

Dentro de la parada de planta de la UOPII se implementó un nuevo sistema de anclajes de refractario que reemplaza la malla hexagonal convencional, Speed Hex-3. Este nuevo sistema de



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



anclaje ofrece una instalación más segura, rápida, confiable y duradera.

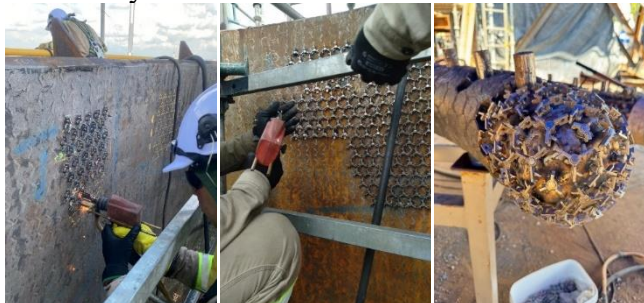


Ilustración 39 Instalación anclajes Speed-Hex 3 de Silicon.

El RAW (Rapid Arc Welding) es un método de soldadura computarizado exclusivo de Silicon para fijar los anclajes a las paredes de los componentes de manera rápida, precisa y segura. Para el caso de esta parada de planta, se instaló Speed Hex3 con stud Inconel y aleta de 304H en el cap, paredes y Riser interno del reactor R4201.



Ilustración 40 Equipo de soldadura RAW D20 de Silicon

Dentro de los beneficios de Silicon encontramos:

- **Alta velocidad:** La soldadura RAW posee una mejora en tiempo de 4 veces más rápido que el método convencional.
- **Calidad:** Rechazo muy bajo gracias al control por ordenador.
- **Seguridad mejorada:** Reduce emisiones tóxicas y personal requerido.
- **Movilización rápida:** Son fácilmente manejables para cualquier tipo de geometría.

VI) Lanzado de antierosivo:

Para esta parada de planta el refractario usado fue el RMax-MP de Resco el cual es un material

refractario de alto rendimiento diseñado para brindar máxima resistencia a la abrasión y una facilidad de instalación superior. El método de instalación fue lanzado.

Preparación de Equipo de Lanzado: Se prepararon el mezclador, un compresor de aire, una máquina mezcladora, una máquina de lanzado con un anillo de agua de orificios, una manguera, y una pala.



Ilustración 41 Aplicación de antierosivo RMax-MP mediante método lanzado.

La gran ventaja de este método de aplicación de lanzado al apisonado es sin lugar a duda la duración de la aplicación. La velocidad es de 10 veces más rápido y con menos recurso.

VII) Soldadura Temper Bead Welding

Durante la parada de planta de la UOPII 2025, se realizó el procedimiento de soldadura de temper bead welding (TBW) en 3 distintos alcances del reactor R4201: 1. Ductos ascendentes, 2. Insert plate y 3. Cap.



Ilustración 42 Soldadura ductos ascendentes.

El desafío durante este procedimiento de soldadura radicaba principalmente en la logística:

- **Deshidrogenado:** Se requirió la instalación de mantas cerámicas para sostener una temperatura entre 550°F (290°C) y 600°F



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



(315°C) para retirar el hidrogeno almacenado en el material donde se realizará la soldadura. El ancho mínimo de la banda de sostenimiento es de 4" a partir del extremo cortado.

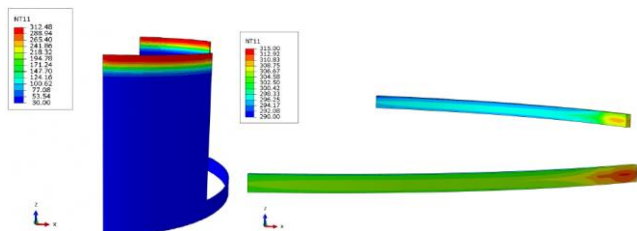


Ilustración 43 Banda de temperatura final de la deshidrogenación del cuerpo.

- **Precalentamiento:** Era necesario implementar un sistema de calentamiento constante y controlado durante todo el proceso de soldadura. La temperatura mínima fue de 300°F (150°C) y el ancho mínimo de banda de sostenimiento en cada lado de la junta fue de 6". Se usaron resistencias cerámicas con protección de kawool.

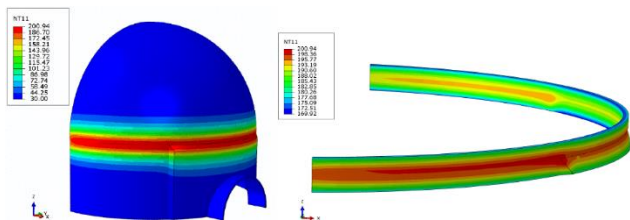


Ilustración 44 Banda de temperatura final para el precalentamiento del insert plate.

- **Disponibilidad de carga eléctrica:** La demanda eléctrica era alta debido al consumo de los equipos de soldadura, calentamiento, pulidoras, iluminación y ventilación. Fue necesario la implementación de generadores eléctricos.
- **Altas temperaturas:** Debido al calentamiento y espacios confinados de las soldaduras, se alcanzaban entornos no aptos para los trabajadores. Se implementaron escafandras con aire fresco, barreras con aislamiento

térmico, renovación de aire mediante extractores y relevos de soldadores.



Ilustración 45 Soldadura Insert Plate.

El procedimiento de soldadura consistía en:

- **Pase de raíz:** Se realizaban 3 pases internamente con TIG.
- **Soldadura de relleno:** se realiza el temper bead realizando pases en todo el borde del bisel interna y externamente usando MIG.
- **Rectificado:** Se realiza pulido de los cordones de soldadura que presentan fallas y posteriormente rellenar el resto del bisel hasta alcanzar el espesor de la lámina.
- **Inspección;** Se realizaron inspecciones visuales, tintan penetrantes entre pases. Finalmente, se realizó ensayo volumétrico con Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT) y ensayos de dureza.



Ilustración 46 Soldadura Cap.

4. CONCLUSIONES

- Las paradas de planta requieren ser retadas mediante talleres de FAT RAT para escoger la mejor estrategia durante fases tempranas.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



- La estrategia de corte de cap con uso de Jig-Stand presenta una ventaja en tiempo sobre la estrategia de “ventana” debido a la oportunidad de abrir frentes de trabajos y realizar tareas de forma simultaneas en cap y vasija.
- El desarrollo de una ingeniería de izajes pesados, soldadura y refractarios fue importante para el entendimiento de los requerimientos durante la fase de ejecución.
- Las nuevas tecnologías como Silicon, Hidro demolición, Hidro corte, Andamios PERI-UP, inspección mediante drone, lanzado de antierosivo y Temper Bead Weldng, brindaron beneficios en seguridad, calidad, tiempo y costos para la parada de planta de la UOPII 2025.
- Ecopetrol Reactor Top Cleaner Assembly procedure. StoneAge Inc.
- Jack Track Flex Track (JFT-MAG-100) user Manual. StoneAge Inc.
- Principle of Operation. SILICON RAW – Rapid Arc Welding Technology. SILICON.
- Work method statement – Installation guide SpeedHex 3. SILICON
- memoria de cálculo andamio de trabajo mantenimiento Reactor - refinería Barrancabermeja. PERI.
- Informe diario visual remota drone – Riser – ELIOS 2. GADGET INSPECCIÓN AEREA.
- Proyecto Cracking UOPII – Propuesta para el izaje el izaje del proyecto UOP2 Alternativa B: Elaboración y presentación del plan de izaje (Lifting Plan) para los equipos críticos. Transportes Montejo.

5. BIBLIOGRAFIA

- Ecopetrol Barrancabermeja, FCCU 2024 Pre-TA Support Reactor Window Cutout ASSESSMENT, 35831-C-002, BETCH, N. Chithranjan (Ranjan), Ph.D., PE.
- Ecopetrol Barrancabermeja, FCCU 2024 Pre-TA Support Reactor Manway, Top Head and Cyclone Replacement Weld and PWHT Assessment, 35831-C-003, BETCH, N. Chithranjan (Ranjan), Ph.D., PE.
- Simulación térmica de proceso de deshidrogenación y precalentamiento para reparación de reactor 4201 de la refinería Barrancabermeja – Ecopetrol. Ferrotermicos ingeniería de materiales. 17/04/25.
- Secuencia de soldadura-Cap-Insert Plate-Ductos ascendentes. Wanderlei Borges Junior (WSI).
- Ecopetrol Reactor Cleaning proposal. StoneAge Inc.
- Ecopetrol Jack Track Cold Cutting proposal. StoneAge Inc.

6. CONTACTOS:

Rafael Nuñez Bohorquez

Celular: 3202522394

Dirección: Diagonal 1 # 2-95 Barrio El Rosario
Barrancabermeja – Colombia

Benjamin Quino Bonilla

Celular: 3214547086

Dirección: Avenida 5 # 3-98 Barrio El Rosario
Barrancabermeja – Colombia

Felipe Hernandez Ospina

Celular: 3002823282

Dirección: Calle 44 # 28C-44 Apto 003 Edificio
Palmira Plaza, Barrio Palmira
Barrancabermeja - Colombia

Sergio Javier Navarro Pérez

Celular: 3118752278

Dirección: Carrera 29 # 47-51 Apto 710 Edificio
Luna, Barrio Palmira
Barrancabermeja - Colombia