

REMODELACIÓN HORNOS DE COQUE I

Ramiro A. Cremaschi, YPF S.A. ramiro.cremaschi@ypf.com

Roberto S. Benini, YPF S.A. roberto.benini@ypf.com

SINOPSIS

Los hornos de la unidad de cracking térmico retardado, llamada Coque I, fueron diseñados en la década del '50 con una eficiencia del 64.5%, típica para esa época. Dentro de la refinería Luján de Cuyo, son los hornos de menor rendimiento térmico tanto en diseño como en operación, representando a la vez un porcentaje importante en el consumo energético del complejo. El resto de los hornos de la refinería ya han sido o bien remodelados o bien remplazados por equipos nuevos de mejor rendimiento.

La unidad de Coque I se encuentra en un estado de actualización permanente con importantes inversiones de mantenimiento. Se ha adecuado su metalurgia para el procesamiento de cargas con alto contenido de ácidos nafténicos (TAN), remplazándose también la fraccionadora principal y 4 de sus 6 cámaras de coquización por equipos nuevos.

El proyecto busca obtener una reducción del consumo de energía de 10.633 toneladas de fuel oil equivalente por año (TnFOE/año) en los hornos de Coke I, una reducción del índice de consumo energético (EII) del complejo de 2,65%. Adicionalmente se logrará una reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de 27.500 toneladas de CO₂ equivalentes por año (TnCO₂ eq/año).

La remodelación de los hornos consiste en un incremento del área de intercambio de la zona convectiva a través del aumento del número de tubos y reemplazo por otros de superficie extendida. Reemplazo del precalentador de aire rotativo existente, que se encuentra fuera de servicio, por uno del tipo recuperativo estático. Modificación del plenum de los hornos y quemadores. Actualización del Sistema de Enclavamiento.

INTRODUCCIÓN

Dice Donald Q. Kern ⁽¹⁾ en su libro "Procesos de Transferencia de Calor", cuya primera edición en español data de 1965: "En general, la eficiencia térmica de los hornos de las refinerías es considerablemente menor que la de las calderas de gran tamaño productoras de vapor, ya que en muchos casos el combustible tiene poco valor en la refinería. Con la tendencia hacia la mayor utilización del petróleo crudo producido, el combustible empieza a escasear y al mismo tiempo es más valioso, por lo que las refinerías reconocen la necesidad de mayores eficiencias térmicas. Se espera que el rango de las eficiencias térmicas aumentará de 65 a 70% del empleado anteriormente, hasta 75 u 80% en el futuro. [...] Los precalentadores de aire casi no han sido usados debido a la relativa falta de importancia de la economía de combustible; sin embargo, aún con combustibles de precio moderado, generalmente se puede demostrar que son económicos."

(1) El capítulo de 'Cálculo de Hornos' del mencionado libro está escrito por John B. Dwyer, perteneciente a The M. W. Kellogg Co.

Los hornos de la unidad de Coque I, llamados 201-B y 202-B, fueron diseños originalmente en el año 1959 por la M. W. Kellogg Company con una eficiencia térmica del 64.5%, en línea con los criterios propios de la época tal como lo indicaba la bibliografía citada. La planta contaba con dos hornos para alimentar sendos módulos de cracking térmico compuestos por dos cámaras cada uno, resultando en un total de cuatro cámaras.

Años más tarde se amplía la capacidad de la unidad, y para ello se construye un tercer horno de idénticas características de los dos existentes, por lo que en 1968 se confecciona la hoja de datos del horno 203-B. La temperatura de recuperación (alimentación) de diseño de estos equipos era de 349°C.

En la década del '70 se instala una nueva unidad de destilación atmosférica (Topping IV) junto con una planta de destilación al vacío para procesar el crudo reducido, producto de fondo de los toppings. Este conjunto de plantas combinadas, llamadas genéricamente "Crudo y Vacío", están configuradas de forma de integrar energéticamente el intercambio de calor entre ellas, utilizando las corrientes de crudo reducido caliente existentes y nuevas para precalentar el petróleo crudo de alimentación al Topping IV lo más posible.

Con la instalación de la unidad de Vacío, el Coque comenzó a recibir como carga asfalto (fondo de Vacío) en lugar de crudo reducido (fondo de Topping) y debido a la mencionada integración energética, la temperatura de recuperación de los hornos de Coque bajó del diseño original de 349°C a 282°C. Esto resultó en un incremento del 20% del duty necesario. La mayor exigencia térmica tuvo como consecuencia el aumento en la frecuencia requerida de paradas de mantenimiento para decoquizar los hornos.

En la década del '80 se construye una nueva unidad de craqueo térmico, denominada Coque II, con hornos de mayor eficiencia, lo que redujo la carga a procesar en la antigua unidad de Coque I, quedando en esta unidad un horno y dos cámaras –un módulo- fuera de servicio, en reserva. Si bien se bajó el caudal de procesamiento de la unidad, las condiciones de temperatura y por lo tanto la severidad de los hornos que quedaron en servicio se mantuvieron inalterables.

A principio de los años 90 se instaló un sistema de recuperación de calor tipo Ljungstrom, rotativo, para precalentar el aire de alimentación a los hornos 201-B y 203-B por intercambio con el flue gas de las chimeneas. La elección de estos hornos se debió a la proximidad geográfica entre ellos, siendo menor que al 202-B.

A fines de los años '90 se comenzó a utilizar el horno de reserva como reboiler (precalentador) de asfalto, entregando el duty perdido a favor de Crudo y Vacío (20%).

El sistema de recuperación presentó una serie de desafíos operativos y de mantenimiento importantes, en parte por la naturaleza mecánica del sistema. Pero el principal inconveniente resultó en el diseño, ya que la obra no contempló modificar la sección convectiva de los hornos, único lugar en que es factible transferir el calor recuperado por el aire de alimentación a los quemadores hacia el proceso. De esta forma, no sólo no pudo lograrse mejorar la eficiencia térmica de los hornos, sino que se había aumentado la temperatura de la cámara radiante en perjuicio de los equipos, desistiéndose de su uso.

DESARROLLO

Ningún horno del complejo Luján de Cuyo es “all radiant”, es decir que todos tienen sección convectiva o algún tipo de sistema de generación de vapor. Para la selección de los hornos de Coque 1 como candidatos a una remodelación se realizó el cálculo de la eficiencia media, ponderada por duty, de todos los hornos del complejo. Este valor se estimó en 82,3%, tal como se muestra en la tabla de 'Situación Actual' que se muestra más abajo. Para este cálculo se dejaron afuera las calderas, ya que como dijimos inicialmente, estos equipos siempre fueron diseñados para una máxima eficiencia. Si se consideraran en la estimación el valor ascendería a 85,9%.

Si bien estos valores son muy buenos para una refinería, el óptimo se estima en 90%.

Los hornos de Coque I son los de peor eficiencia térmica del complejo y su remodelación permitirá mejorar en más de 3 puntos la eficiencia ponderada de la refinería.

Situación Actual

	Duty	Efic. Actual	Duty % Acumulado	Convectiva	Sist. Recup. de Calor
YB1	61.6	90.0%	11.9%	X	X
YB2	61.6	90.1%	23.9%	X	X
B1101	46.2	88.1%	32.8%	X	X
B1102	46.2	88.7%	41.8%	X	X
B1103	46.2	89.6%	50.7%	X	X
161B	35.0	89.9%	57.5%	X	X
HRH1	32.0	87.3%	63.7%	X	X
CH1	30.9	86.8%	69.7%	X	X
PH3-4-5	24.4	81.1%	74.4%	X	X
B501	17.3	86.0%	77.8%	X	X
B502	17.3	88.0%	81.1%	X	X
CH2A	12.1	84.7%	83.5%	X	X

CH2B	12.1	79.6%	85.8%	X	X
201B	10.3	63.2%	87.8%	X	Proy
203B	10.3	61.4%	89.8%	X	Proy
202B	10.3	58.6%	91.8%	X	
LX-H1A	10.5	80.6%	93.8%	X	
LX-H1B	10.5	80.6%	95.9%	X	
ALH1	5.5	86.0%	96.9%	X	
LX-H2	5.3	79.1%	98.0%	X	
B702	4.6	83.8%	98.9%	X	X
PH6	3.6	79.7%	99.6%	X	
B601	2.3	79.5%	100.0%	X	

Duty Total: 516.1

Efic. Media Ponderada por Duty Hornos y calderas: 85.9%

Efic. Media Ponderada por Duty Hornos: 82.3%

Eficiencia Óptima: 90.0%

En la tabla siguiente se detalla la situación luego de realizada la remodelación de los hornos de Coque I:

Situación Futura

	Duty	Efic. Futura	Duty % Acumulado	Convectiva	Sist. Recup. de Calor
YB1	61.6	90.0%	12.1%	X	X
YB2	61.6	90.1%	24.2%	X	X
B1101	46.2	88.1%	33.3%	X	X
B1102	46.2	88.7%	42.3%	X	X
B1103	46.2	89.6%	51.4%	X	X
161B	35.0	89.9%	58.3%	X	X
HRH1	32.0	87.3%	64.6%	X	X
CH1	30.9	86.8%	70.6%	X	X
PH3-4-5	24.4	81.1%	75.4%	X	X
B501	17.3	86.0%	78.8%	X	X
B502	17.3	88.0%	82.2%	X	X
CH2A	12.1	84.7%	84.6%	X	X
CH2B	12.1	79.6%	87.0%	X	X
201B	12.0	87.0%	89.3%	X	X
203B	12.0	87.0%	91.7%	X	X
202B	0.0	F/S	91.7%	X	
LX-H1A	10.5	80.6%	93.8%	X	
LX-H1B	10.5	80.6%	95.8%	X	
ALH1	5.5	86.0%	96.9%	X	
LX-H2	5.3	79.1%	97.9%	X	

B702	4.6	83.8%	98.8%	X	X
PH6	3.6	79.7%	99.5%	X	
B601	2.3	79.5%	100.0%	X	

Duty Total: 509.2

Efic. Media Ponderada por Duty Hornos y calderas: 87.4%

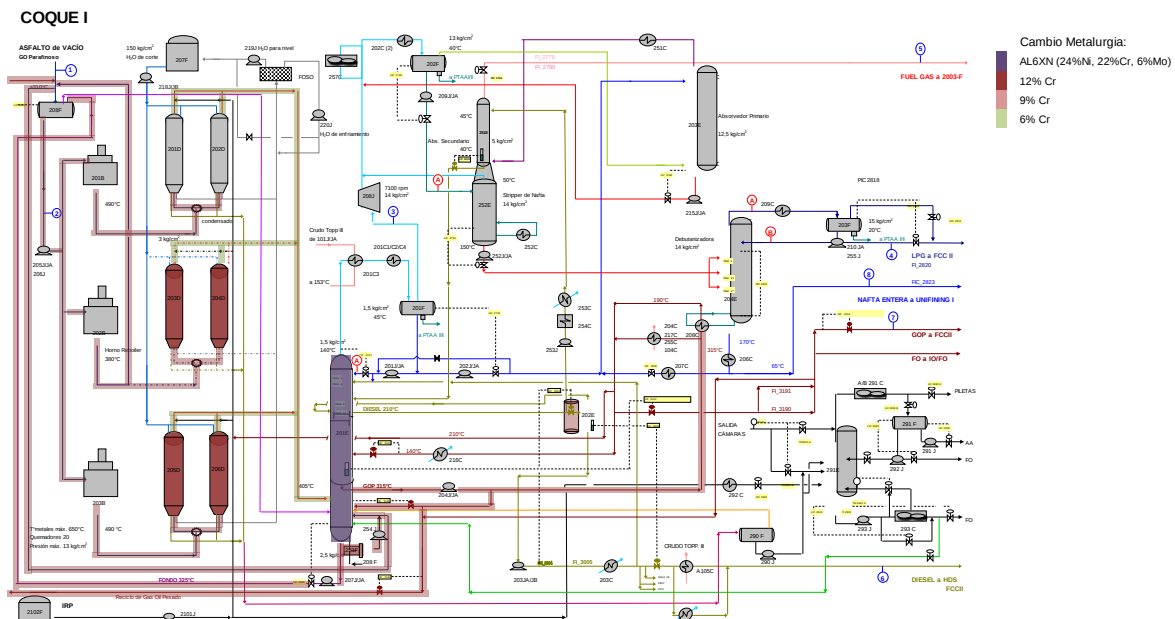
Efic. Media Ponderada por Duty Hornos: 85.4%

Eficiencia Óptima: 90.0%

La remodelación de los hornos de Coque I no sólo tiene sentido debido a su impacto energético sino también porque toda la unidad se encuentra en muy buenas condiciones para seguir funcionando a futuro y en ese sentido se han hecho importantes inversiones en los últimos años para mantener toda la planta en óptimas condiciones operativas considerando los futuros crudos a procesar.

Los principales mecanismos de corrosión que se presentan en la unidad son los de sulfidación asistida por nafténicos. Para atacar este problema se realizó el cambio metalúrgico de todas las líneas que trabajan por encima de los 200°C: líneas de carga y Gasoil Pesado con 9%Cr y en las líneas de transferencia de las cámaras a la fraccionadora se utilizó aleación 6%Cr. Se remplazó la fraccionadora principal por una nueva de aleación AL6XN (24%Ni, 22%Cr, 6%Mo) y se remplazaron 4 cámaras por tambores nuevos recubiertos con un cladding 12%Cr.

A continuación se puede ver en el esquema de la unidad las cañerías y equipamiento actualizados para el procesamiento de cargas con ácidos nafténicos.

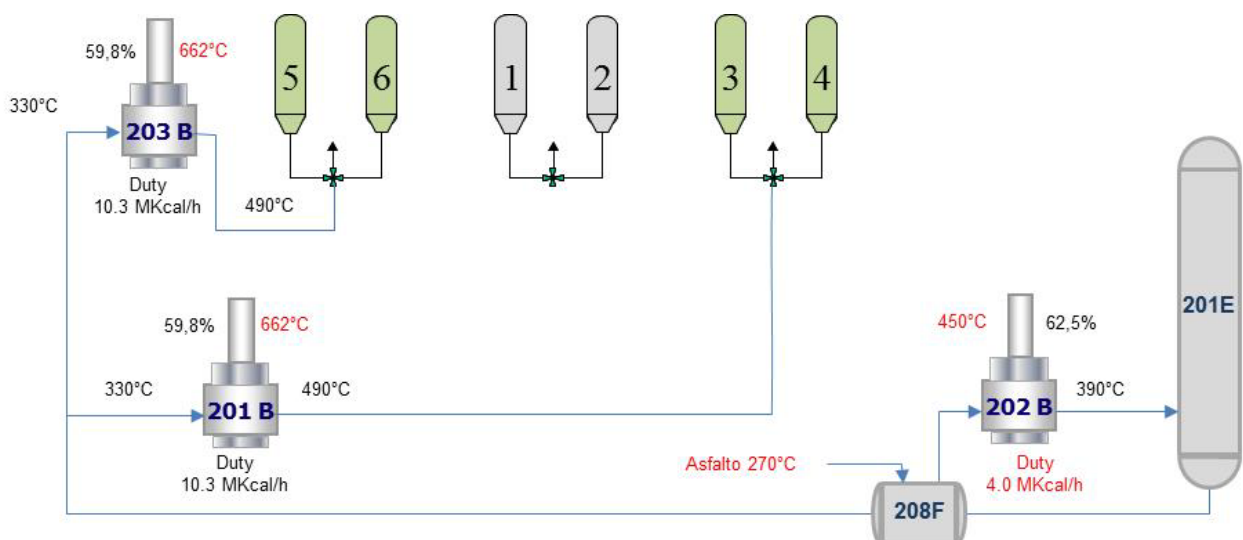


La remodelación de los hornos consiste en:

- Incrementar el área de intercambio de la zona convectiva a través del aumento del número de tubos y reemplazando tubos lisos por tubos con superficie extendida posibilitando la recuperación de calor convectivo proveniente de los gases más calientes que ingresan a los hornos.
- Reemplazo del precalentador de aire existente, Ljunstrong, por uno del tipo recuperativo estático (por ejemplo, DEKA). Este equipo precalentará el aire que ingresa a los quemadores de los hornos 201-B y 203-B intercambiando calor con los gases de combustión que salen por las chimeneas de los mismos. De esta manera se disminuye la energía necesaria para calentar el comburente de los quemadores y se reduce la energía disipada al medio ambiente con el flue gas.
- Reemplazo de la totalidad de los quemadores existentes, por quemadores de bajo NOX.
- Modificación del plenum de los hornos para tener una correcta alimentación de aire a los quemadores.
- Reemplazo de los ventiladores de tiro forzado (VTF) y de tiro inducido (VTI) con variadores de velocidad.
- Actualización del sistema de control automático y de los enclavamientos de protección.

Situación Actual

La configuración actual de la unidad cuenta con tres hornos de carga y tres módulos, lo que equivale a seis cámaras de coquización térmica retardada. Dado que la carga a la planta se puede procesar en dos módulos, uno de los hornos se utiliza para precalentar la carga de los otros dos. De esta manera, al asfalto proveniente de la unidad de destilación al vacío, que llega a 270°C se calienta para que ingrese a los otros dos hornos a 330°C. Estos dos hornos llevan el asfalto hasta los 490-500°C, temperatura a la cual es enviada a las cámaras de coqueo para dar lugar a las reacciones de cracking y producción de gases (fuel gas), gas licuado de petróleo (LPG: propano y butano), naftas, diesel y carbón de coque.



Duty dos hornos a Coke: 10,3 MM Kcal/h-horno (eficiencia 59,8%)

Duty Reboiler: 4,0 MM Kcal/h-horno (eficiencia 62,5%)

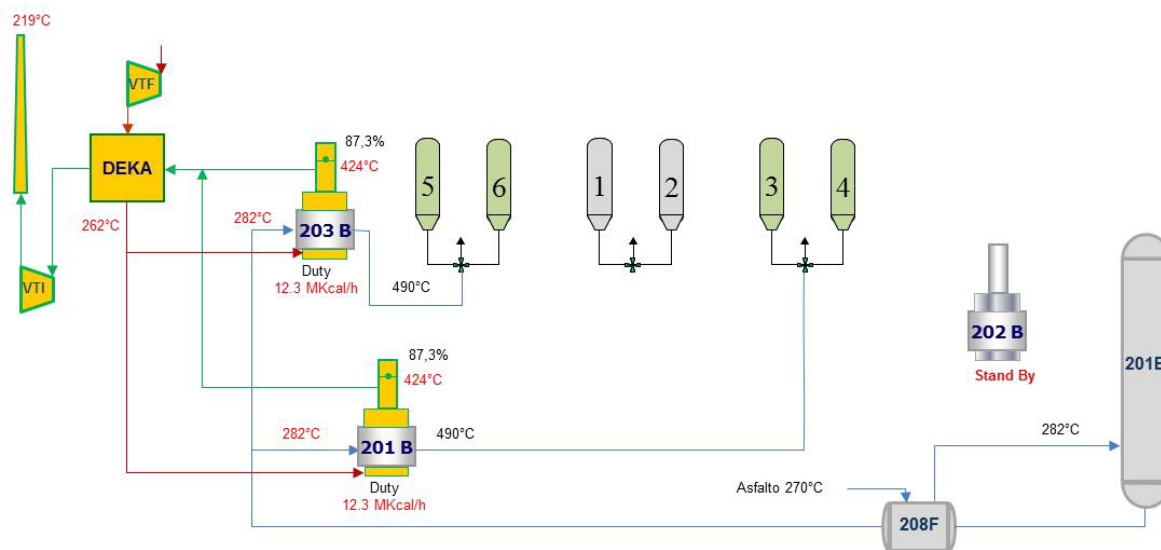
Calor total liberado: $10,3 \text{ MM Kcal/h} \times 2 / 59,8\% + 4 \text{ MM Kcal/h} / 62,5\% = 40,85 \text{ MM Kcal/h}$

Se realizó un estudio técnico-económico para determinar las distintas alternativas posibles de inversión y así definir la opción más conveniente. Se estudiaron los casos analizando para cada uno de ellos la inversión requerida, las condiciones operativas y los beneficios económicos y medioambientales. Entre las opciones estudiadas se consideraron la situación actual, el remplazo de los hornos existentes por hornos completamente nuevos y la utilización o no del horno precalentador. Las modificaciones presentadas en este trabajo representan la mejor opción técnico-económica de los distintos escenarios evaluados.

Situación Futura

Una vez realizadas las modificaciones mencionadas en los hornos e instalado el sistema de precalentamiento de aire, se podrá operar apagando el horno precalentador de carga que quedará como equipo de reserva pudiéndose poner en servicio cuando sea necesario decoquizar los hornos principales sin afectar la producción. En la nueva configuración, el asfalto que llega a 270°C a la unidad, se precalienta a 282°C ya que se mezcla con el gasoil pesado del fondo de la fraccionadora. Los hornos remodelados son capaces de entregar la energía equivalente a la provista por el horno precalentador que quedará de reserva fuera de servicio.

El calor liberado en cada horno será de 14,9 Gcal/h correspondiendo a un duty de 12,3 Gcal/h y una eficiencia térmica del 87.3%.



Duty dos hornos remodelados: 12,3 MM Kcal/h-horno (eficiencia 87%)

Calor total liberado: $12,3 \text{ MM Kcal/h} \times 2 / 87\% = 28,28 \text{ MM Kcal/h}$

Ahorro de energía: $40,85 \text{ MM Kcal/h} - 28,28 \text{ MM Kcal/h} = 12,57 \text{ MM Kcal/h} = 10.633 \text{ Tn FOE/año}$ (con 95% de Factor de Servicio)

Mayor consumo de Energía Eléctrica por la utilización de los ventiladores de tiro forzado e inducido (VTF y VTI):

$$0,4 \text{ MW} \times 24 \text{ h/d} \times 365 \text{ d/año} \times 95\% = 3.328,8 \text{ MWh/año}$$

CONCLUSIONES.

A través de la ejecución de esta obra se obtendrá un ahorro de 10.633 TnFOE/año, reduciendo el EII del CILC en 2,65%.

Reducción de emisiones estimadas en 27.500 TnCO₂ Eq/año.

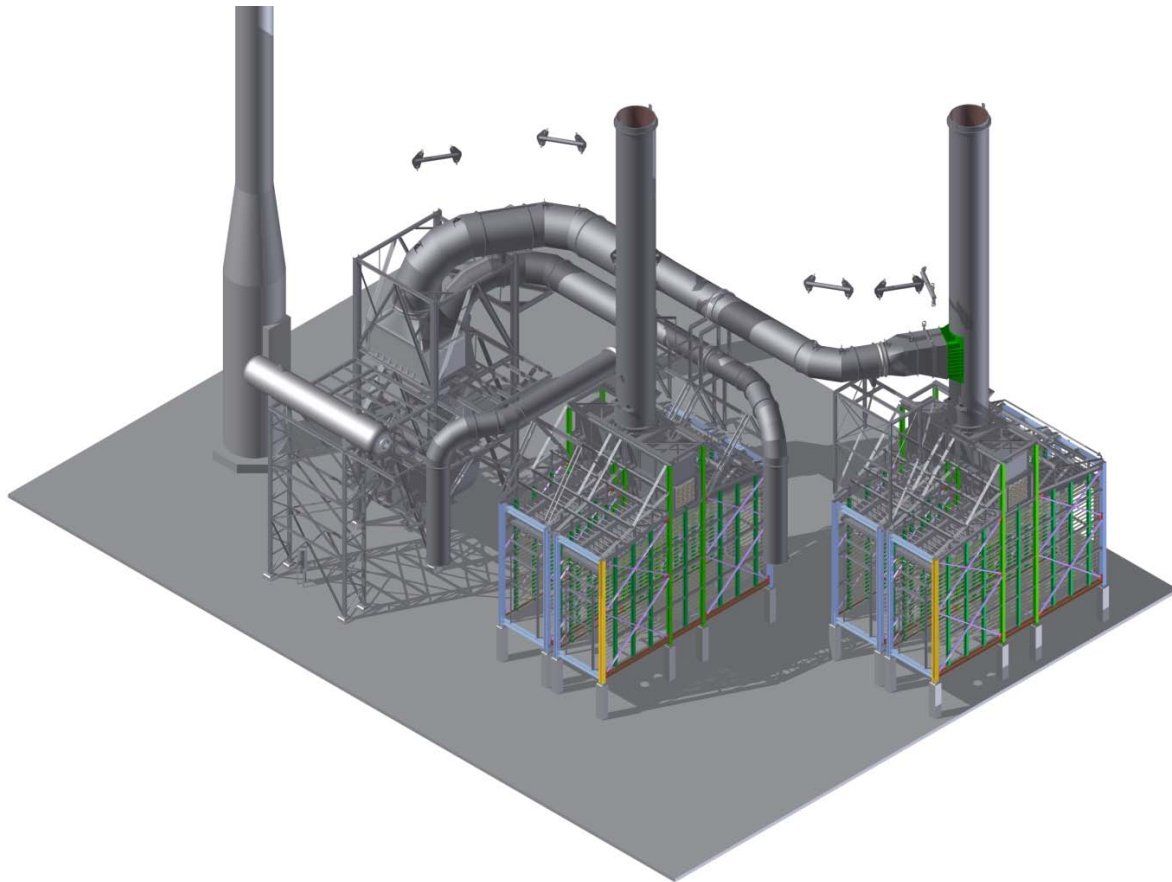
Nuevos quemadores de mayor eficiencia de combustión y bajo NOX.

Reutilización del equipamiento existente como la chimenea del antiguo sistema de recuperación de calor que contribuirá a dispersar mejor los gases de combustión lejos de los operadores.

El nuevo diseño prevé mantener la misma temperatura de metales actual en la zona radiante.

Ejecución sin lucro cesante.

La siguiente imagen ilustra la configuración de los hornos a modificar junto con su sistema de precalentamiento de aire.



BIBLIOGRAFÍA

Donald Q. Kern: "Procesos de Transferencia de Calor".

CURRICULUM VITAE

Ramiro Andrés Cremaschi

Ingeniero Químico egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires.

Ingreso a YPF en Agosto de 1998 cumpliendo funciones como Jefe de Turno, Ingeniero de Control Avanzado y Sistemas y actualmente como Ingeniero de Procesos.

Roberto Santo Benini

Graduado en la UTN-FRLP en 1981 como Ingeniero Mecánico.

Ingreso a YPF en Enero de 1978. En el año 1982 ingreso al Grupo de Procesos de YPF del Downstream. Especialista en Hornos de Proceso con 30 años de experiencia en el tema.

Actualmente desempeña tareas en la Gerencia de Planificación y Desarrollo Técnico del Downstream en la Gerencia de Procesos con el cargo de Coordinador en Procesos sin Reacción.