

La sostenibilidad en el diseño del esquema de producción NOC con satélites

Por Marco Bergel y María Florencia Cibau (YPF)

En esta investigación se indaga sobre el modelo de captación y tratamiento de la producción de YPF en Vaca Muerta con satélites y las mejoras de sostenibilidad implementadas.

Este trabajo fue seleccionado en 1° lugar en el concurso de Eficiencia Energética y Huella de Carbono / Hídrica en el 8° Congreso de Producción y Desarrollo de Reservas del IAPG, realizado en noviembre de 2023 en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

El desarrollo del NOC en la Argentina está en aumento: se espera un importante incremento en la producción en los próximos cinco años. El acompañamiento de dicho crecimiento exige, entre otras cosas, un estudio de selección del modelo de desarrollo óptimo de los bloques, la mejora en las instalaciones de superficie y la captura de financiamiento. Ante esto, y sumando la conciencia ambiental corporativa e internacional, que exige metas de intensidad de emisiones para asegurar inversiones, se concluye que el desarrollo del NOC necesariamente requiere la incorporación de la sostenibilidad como valor, con foco en reducción de emisiones y eficiencia energética.

Este trabajo indaga sobre el modelo de captación y tratamiento de la producción con satélites y las mejoras de sostenibilidad incluidas en el diseño, presentando las mejoras:

- Asociadas al propio modelo de producción del NOC.
- Las incluidas en el diseño particular de las IISS que lo componen.

La selección del modelo: Benchmarking y estudio de modelos de desarrollo

El comienzo del desarrollo del NOC desde el punto de vista de instalaciones de superficie, se realizó siguiendo el mismo modelo que en la histórica producción de petróleo convencional: baterías. Las numerosas lecciones aprendidas y propuestas de mejora al modelo incorporadas durante la curva de aprendizaje en los últimos diez años, sumada a la necesidad de optimización de las instalaciones de superficie para acompañar el incremento de producción, llevan a desafiar al propio modelo: ¿el modelo de baterías es el más adecuado para el NOC?

El primer abordaje para responder el cuestionamiento se basa en un estudio tipo *benchmark* entre las diferentes operadoras de NOC en Argentina permitiendo definir los modelos por analizar y comparar:

- Modelo baterías: modelo compuesto por instalaciones de separación primaria, almacenamiento y bombeo de líquido y compresión de gas (baterías) y por plantas de tratamiento de crudo (PTC) (Figura 1).

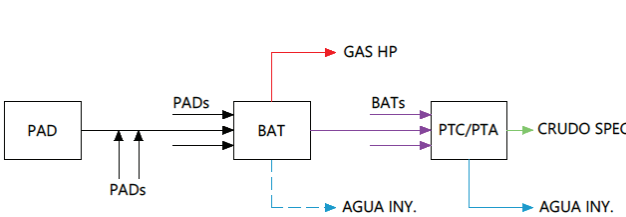


Figura 1. Diagrama de bloques modelo baterías.

- Modelo satélites: modelo compuesto por instalaciones de separación primaria (satélites), plantas de compresión centralizada (PC) y plantas de tratamiento de crudo (PTC) (Figura 2).
- Modelo CPF: modelo compuesto por una única instalación centralizada de separación primaria, compresión de gas y tratamiento de crudo, CPF (Figura 3).

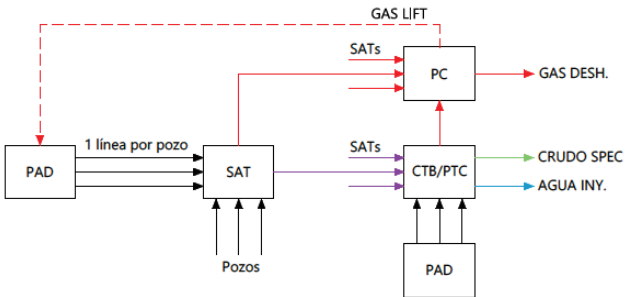


Figura 2. Diagrama de bloques modelo con satélites.

Una vez definidos los modelos, se determinan cuatro bloques “tipo” (chico, grande, XL y de alto GOR), para someterse a un análisis cualitativo de los principales ejes de interés: operación, construcción, desarrollo, *flow assurance*, seguridad y ambiente.

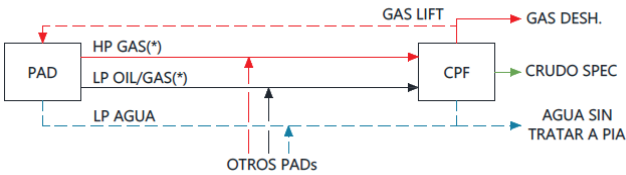


Figura 3. Diagrama de bloques modelo CPF.

En el cuadro resumen de la figura 4 se observa que el resultado del análisis otorga la mayor valoración al modelo satélites.

Modelo satélites

El Modelo satélites se basa en la captación de la producción de *wellpads* en separadores bifásicos distribuidos

Eje		Baterías	Satélites	CPF con booster
Operación (21%) (*)	Valoración %	62	71	67
	Descripción	(-) Mayor personal. (-) Más equipos y lazos de control. (+) Menor lucro cesante ante escenarios de paro. (+) Operación familiar.	(+) Simplicidad de satélites (menor personal, equipos y lazos de control). (-) Mayor lucro cesante ante escenarios de paro.	Opción intermedia.
Construcción (32%) (*)	Valoración %	78	62	69
	Descripción	(+) Mayor %CAPEX estandarizable. (-) Más equipos e instrumentos.	(-) Menor %CAPEX estandarizable. (+) Menos equipos e instrumentos.	Opción intermedia.
Desarrollo (19%) (*)	Valoración %	45	98	65
	Descripción	(-) Menor %CAPEX sujeto a sinergizar. (-) Mayor impacto en CAPEX por altimetría.	(+) Mayor flexibilidad a cambios de plan. (+) Mayor %CAPEX sujeto a sinergizar. (+) Menor impacto en CAPEX por altimetría. (+) Menor impacto del esquema de captación en la producción.	Opción intermedia.
Flow Assurance (18%) (*)	Valoración %	72	80	67
	Descripción	Opción intermedia (punto de referencia).	(+) Menores problemas de flow assurance. (-) Mayor impacto en caso de desarenado inadecuado en pad.	Similar Baterías con mayor impacto en caso de desarenado inadecuado en pad y requerimiento transitorio de metanol en salida de gas de boosters.
Seguridad y Ambiente (10%) (*)	Valoración %	33	100	76
	Descripción	(-) Mayor cantidad de SIFs. (-) Exposición a problemas de mezcla explosiva en tanques. (-) Mayor cantidad de inventario y energía almacenada en ductos. (-) Más puntos de emisión.	(+) Menor cantidad de SIFs. (+) Sin tanques en instalaciones intermedias. (+) Menor venteo en caso de paro de compresor. (+) Menor cantidad de inventario y energía almacenada en ductos. (+) Menos puntos de emisión.	Opción intermedia (sin tanques de almacenamiento en instalaciones intermedias).
Total (*)	Valoración %	60,2	80,3	67,5

Figura 4. Cuadro resumen: ejes de análisis por modelo de desarrollo.

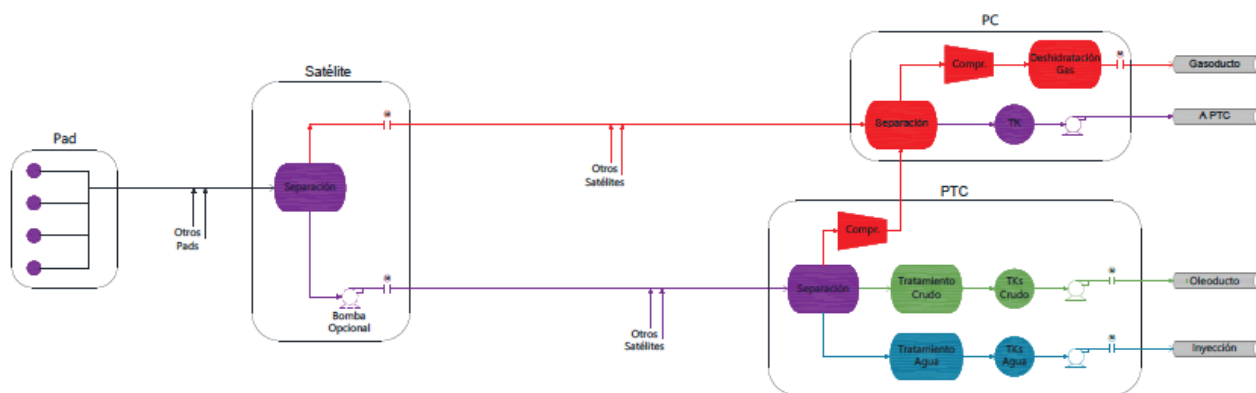


Figura 5. Diagrama de bloques detallado. Modelo con satélites.

estratégicamente en el bloque, llamados satélites. Son instalaciones sencillas, no operadas, compuestas por un separador bifásico como equipo principal. El gas y líquido separado son enviados directamente a las plantas de compresión de gas y tratamiento de crudo, respectivamente. Para lograrlo, la presión de operación ronda los 8 a 12 kg/cm²g. Es decir, hay un aprovechamiento de la energía propia del reservorio que permitirá llegar con presión hasta las instalaciones de compresión y tratamiento.

El gas de los satélites es enviado a una Planta Compresora (PC), donde es comprimido y deshidratado para su evacuación por gasoducto. El líquido por su parte es enviado a la Planta de Tratamiento de Crudo (PTC), donde se separa el crudo del agua, se realiza un tratamiento de crudo en dos etapas de lavado y se lleva a especificación el agua para inyección. Adicionalmente, y dado por la característica de las instalaciones de separación primaria (satélites), donde no se pasa por una etapa de almacenamiento en tanque, se incorporan en la PTC las facilidades necesarias para manejo del gas generado por la despresurización desde la presión de los satélites hasta la presión de ingreso a la PTC (4 kg/cm²g) y los venteos generados posteriormente en los tanques atmosféricos.

La configuración de un bloque desarrollado con este modelo está dada entonces por satélites distribuidos en el campo y dos instalaciones centralizadas para compresión de gas (PC) y tratamiento de líquidos (PTC) (Figura 5).

Así como el gas de la compresión de la PTC es enviado a la PC para su compresión y deshidratación, los condensados de la PC son enviados a la PTC para su tratamiento.

Dependiendo de la altimetría del terreno y/o distancia a la PTC, podría ser necesaria la incorporación de un bombeo en línea desde los satélites, que se presenta como un opcional en la instalación.

Ventajas del modelo satélites

- Hay un menor inventario distribuido en campo lo que reduce los puntos de venteo de baja presión, difíciles de captar.
- Se presenta un mejor aprovechamiento de la energía de reservorio que reduce las instalaciones de bombeo intermedio.

- Permite una mejor gestión de la compresión centralizándola en una única planta, con una esperada reducción de paros e inestabilidad del proceso.
- En términos de sensibilidad a la variabilidad de GOR, se espera que sea menor, dado que esta será absorbida por los satélites, disponibles en diferentes capacidades, y luego desaparece aguas abajo.
- Mejor operatividad, dada por la reducción de instalaciones operadas y centralización de las mismas en solo dos instalaciones: PTC y PC.
- Menor tendencia al *slugging*.

La sostenibilidad en el modelo con satélites

El modelo con satélites no solo trae ventajas desde el punto de vista operativo, constructivo, de desarrollo, *Flow assurance*, sino que también tiene importantes ventajas a nivel sostenible.

En el desarrollo de la producción de petróleo, trae aparejada indefectiblemente la aparición de puntos de emisión que se dividen en aquellos generados por el flasheo en tanques atmosféricos y los de combustión:

- Las características intrínsecas del petróleo NOC, con alto contenido de C3 y C4, redundan en una elevada generación de venteos en los tanques, mucho mayor que la presentada en la producción del convencional. Si bien las instalaciones están diseñadas para que estos venteos sean captados por unidades de recuperación de vapores (VRU), en caso de paro de las mismas, los gases son venteados a la atmósfera, generando emisiones directas de Metano (CH₄), entre otros gases. El CH₄ es un GEI y con un grado de contaminación incluso más elevado que el CO₂.
- Por otro lado, si bien el gas producido es captado para ser comprimido y deshidratado, las propias fluctuaciones de la operación combinadas con un inapropiado sistema de control pueden generar un paro de la compresión y consecuente envío a antorcha para quema del gas y emisión de CO₂.

Resulta entonces evidente la necesidad de gestionar los puntos de emisión y focalizar el desarrollo del modelo en la reducción de paradas de VRU y compresores.

Reducción de puntos de emisión

Una forma de gestionar más eficientemente los puntos de emisión es centralizándolos en la menor cantidad de instalaciones, permitiendo un mayor manejo y control.

Los satélites operan a presiones entre 8 kg/cm²g y 12 kg/cm²g, esto permite que tanto el gas como el líquido fluyan de forma directa a la PC y PTC, respectivamente, evitando el paso por una etapa de almacenamiento en tanque para bombeo.

Esto reduce los puntos de emisión respecto al modelo de desarrollo anterior, en el cual se presentaba un punto de venteo por cada batería, sumado al de la propia PTC. En el nuevo modelo, solo se presentan venteos en la PTC y PC.

Mayor estabilidad en la carga de VRU

Otro punto importante para reducir los venteos es evitar los paros de VRU. Para ello, se debe focalizar en estabilizar la carga a las mismas, ya que es la inestabilidad en la presión de succión lo que implica paros recurrentes.

En el modelo baterías, cada enganche de PAD, genera un marcado pico de producción. Los sucesivos enganches de PAD, producen entonces una marcada inestabilidad en la producción que ingresa a las baterías trasladándola hacia el ingreso de tanques y a la generación de venteos en los mismos, es decir, en la carga de la VRU. Actualmente, en los tanques de baterías se observan reiterados paros por este motivo que implican una reducción de la disponibilidad de las VRU entre un 40% y un 70%.

En el modelo con satélites, por las características intrínsecas del modelo, los picos de producción dados por los enganches de PAD son neutralizados en los propios satélites, donde no se pasa por una etapa de tanques. Las VRU, únicamente ubicadas en las PTC y PC, reciben un promedio de venteos asociados a la producción de todo el bloque, permitiendo una mayor estabilidad de carga en las VRU. Se espera entonces, una marcada reducción de paros de VRU.

Mayor estabilidad en la carga de compresores

Análogamente al beneficio aparejado que trae en las VRU la estabilidad en su carga, sucede con los compresores de la PC: cuanto mayor sea la estabilidad, más se reducirán los paros de compresores. Dado que, en caso de paro de compresores, el gas se ventea en antorcha, si se mejora la estabilidad, también se reducirán las emisiones de CO₂.

En el modelo baterías, cada una de ellas ve una producción variable porque solamente recibe producción de una cantidad reducida de PAD generando picos de gas, que rápidamente decaen. La PC, por el otro lado, ve la suma de la producción de PAD de todo un bloque proveniente de distintas zonas, por lo que la variabilidad de caudal se compensa entre las distintas áreas. La suma de pequeños aportes da un caudal más estable.

- El enganche de un PAD en los compresores de batería ocupa un 30% de la capacidad instalada.
- El enganche de un PAD en los compresores de PC ocupa un 10% de la capacidad instalada.



Figura 6. Producción de gas a compresión-comparación modelo baterías versus satélites.

Las baterías tienen venteo muy alto dada por la variabilidad de caudal de compresión que hace que los compresores paren y venteen gas. Por el contrario, la PC con más estabilidad en el caudal, generará entonces menos venteos.

Como beneficio aparejado, la PC te permite aprovechar mucho mejor la potencia instalada. Esto se observa en la figura 6, área sombreada en naranja. En el modelo baterías como el desaprovechamiento es mayor: una batería con 500MSMCD de capacidad instalada, posee en buena parte del tiempo uno o dos compresores apagados. En la PC no solo el aprovechamiento es mayor, sino que esto permite disponer de un *spare* caliente. En baterías hay tres compresores de 167MSCMD, pero sería prohibitivo disponer de un *spare* en caliente (cuarto compresor), ya que, en caso de caída de una máquina, las tres restantes deberían manejar 1/3 más de caudal y adicionalmente debería replicarse el compresor adicional en cada batería. En la PC, hay nueve compresores en total. En caso de caída de una máquina, cada uno de los compresores restantes tendrían que manejar 1/8 más de caudal, lo cual es perfectamente manejable, además, al ser una única instalación es uno solo el compresor adicional.

De esta manera, se logra maximizar la disponibilidad de los compresores, reduciendo los paros y consecuentes venteos que generan emisiones de CO₂.

Gathering asociado al modelo satélites

Junto con el nuevo diseño de las instalaciones del modelo satélites, se desarrolla el *Gathering* asociado, es decir, los ductos de PAD a satélites y de satélites a PTC y PC.

Para ello, se desarrollan filosofías integradas de manejo arena, deposición de parafinas, selección de mate-

riales e integridad y manejo de *slugs*. Es en este último punto en el que se hace foco desde el lado de la sostenibilidad del modelo.

Los *slugs* están directamente relacionados con la baja disponibilidad de compresores y/o VRU por la generación de una inestabilidad en la carga de la instalación ante su aparición. Es por ello que se espera que un correcto manejo de *slugs* redunde en una disminución de paros de compresores y VRU y consecuentemente reduzca las emisiones asociadas de CO_2 y CH_4 .

Para ello se incorporó:

- Volumen disponible para recepción de *slugs* en los satélites.
- Incorporación de *slug* cácher en el ingreso de PC.
- Incorporación de dump valve en Free Water de PTC y Slug Catcher de PC.

La Sostenibilidad en instalaciones del modelo con satélites: PTC y PC

Así como las características propias del modelo aportan a la sostenibilidad desde el punto de vista de reducción de puntos de venteos y estabilidad en la carga de las VRU, se implementan mejoras en las instalaciones de mayor magnitud que componen al modelo: PTC y PC.

Tecnología de captación de vapores: VRT+VRU+LP Flare

Como la generación de vapores en tanques es uno de los principales focos de posible generación de emisiones, se busca mejorar su tecnología de captación. Un aspecto clave a la hora de definir las tecnologías es el punto y presión de captación. Si los venteos fueran capturados únicamente desde el techo de los tanques, en caso de paro de las VRU, no habría presión suficiente para enviar los venteos desde los tanques hacia un Flare, ya que no

disponen de presión de diseño suficiente. De esta manera, indefectiblemente se ventearía CH_4 .

La solución se basa en el agregado de desgaseificadores tipo VRU en el ingreso de los tanques. Los desgaseificadores trabajan a una presión levemente superior a la presión de los tanques (700mmca), lo que genera que la mayor parte de los venteos sean liberados en este punto. Luego, una VRU capta los venteos de baja presión (LP) para comprimirlos hasta la presión de succión de compresores y, en caso de paro de la misma, la presión en la VRT será suficiente como para que los venteos sean enviados y quemados en una antorcha de baja presión (LP Flare). Por otro lado, para capturar los venteos remanentes en el tanque, se dispone de una VRU de muy baja presión (LLP).

Los venteos entonces quedan segregados en venteos de LP y LLP y en caso de paro de las VRU de LP, las emisiones generadas serán de CO_2 , un gas menos contaminante que el CH_4 .

Es esperable una reducción de emisiones considerable con la mejora en la tecnología de captación, sumada a la mayor estabilidad en la carga de las VRU (Figuras 7 y 8).

En la PTC se incorpora la recuperación de vapores en tanques Skimmer y pulmón de agua. Si bien los caudales de venteos generados son de menor magnitud que en los tanques de crudo, en caso de no recuperarlos se producirían sistemáticamente emisiones de CH_4 en el techo.

Adicionalmente, el tanque pulmón de agua está diseñado como Skimmer, con el fin de asegurar la calidad de agua de inyección a pozos sumideros en caso de no disponer de este último (Figura 9).

Menor consumo de agua dulce para lavado

Dentro del circuito principal de tratamiento de crudo, se encuentra el sistema de lavado para desalado del

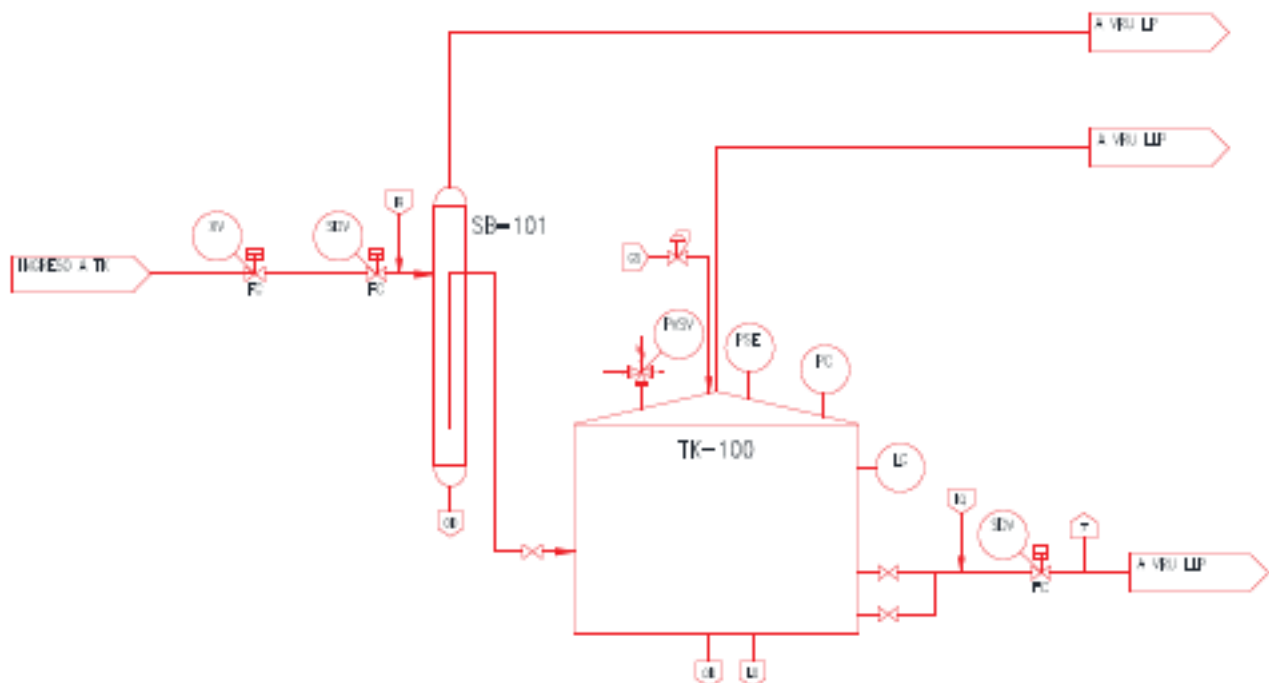


Figura 7. Tecnología de captación-tanques con VRT.

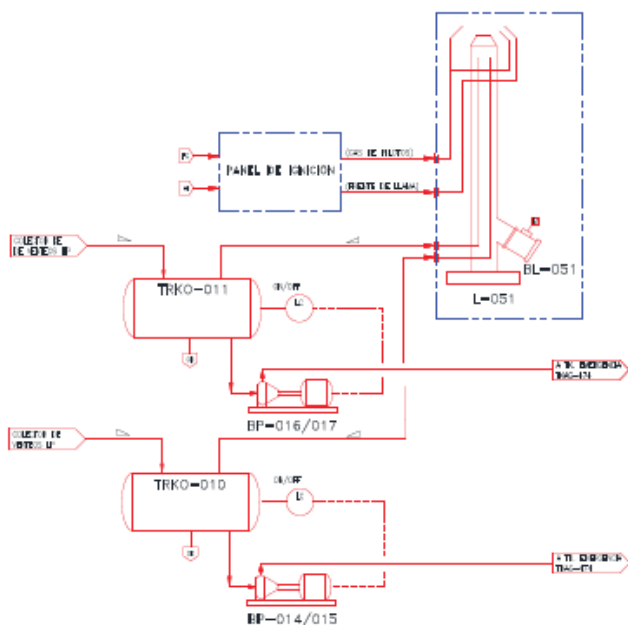


Figura 8. Tecnología de captación-LP. Recuperación de vapores en TK Skimmer y TK pulmón de agua.

crudo. Es usual encontrar que el sistema de lavado se realiza en una única etapa que consume grandes cantidades de agua dulce para lavado.

Debido a que el agua dulce es un recurso natural, resulta fundamental reducir y optimizar su uso. Para ello, se incorpora en la PTC del modelo satélites una segunda



etapa de lavado que reduce considerablemente el consumo de agua dulce.

El lavado en dos etapas consiste en un equipo de separación mecánica y un tratador electrostático. El agua dulce se inyecta en el ingreso del tratador electrostático, donde se utiliza para lavar el crudo, se separa y luego se recicla a la primera etapa de lavado, para ingresar al separador.

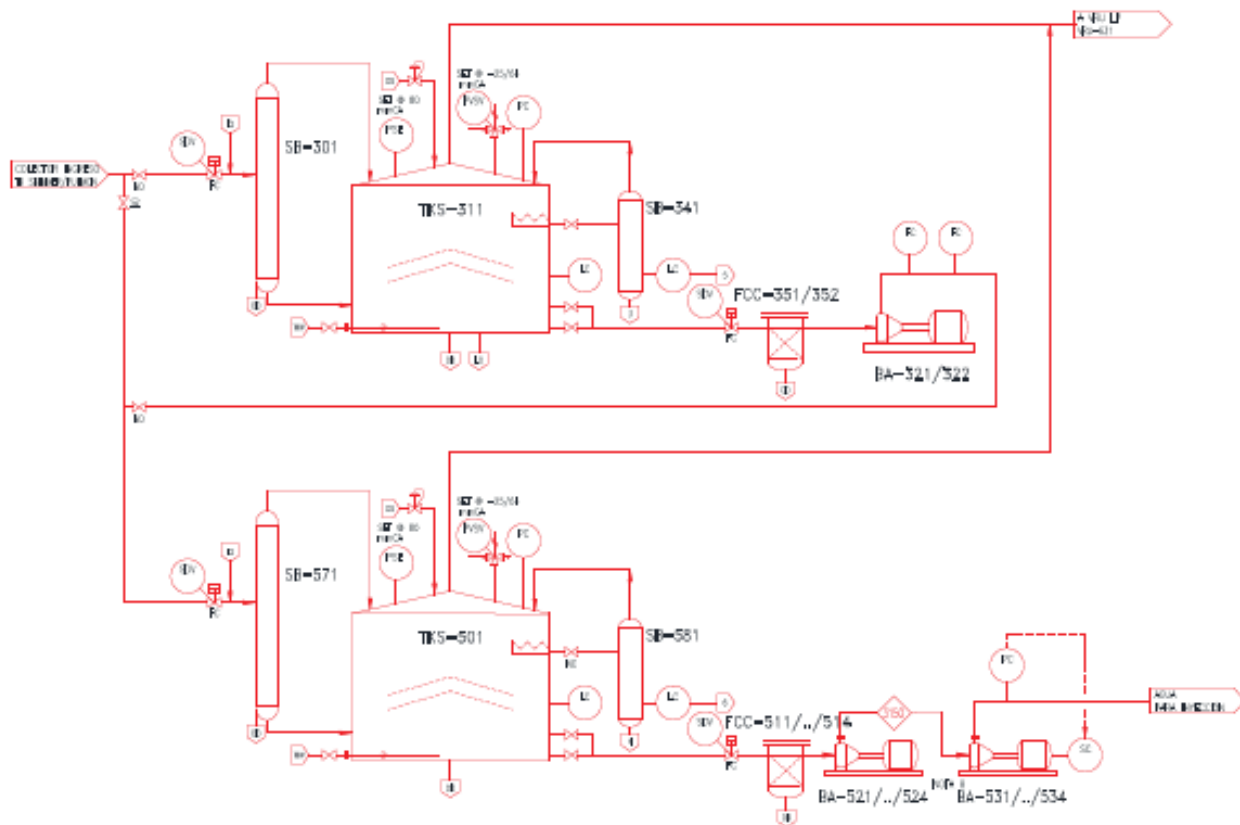


Figura 9. Captación de vapores en TK Skimmer y TK pulmón.

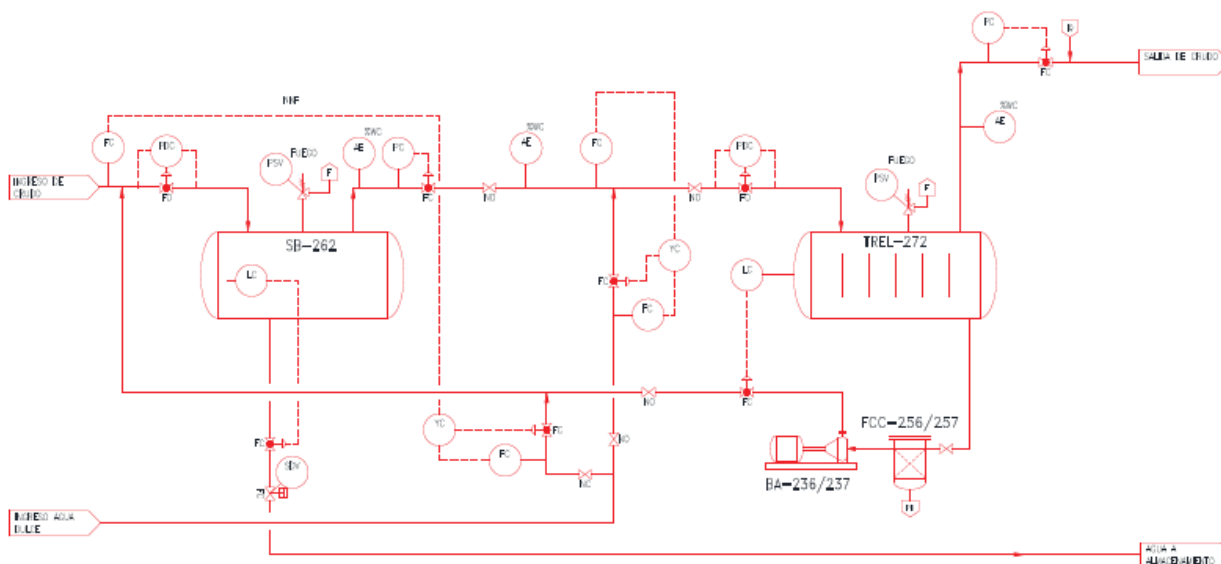


Figura 10. Desalado de crudo en dos etapas en PTC.

Esta operación conlleva a un doble beneficio: menor consumo de agua de lavado por incorporar la segunda etapa y menor potencia de inyección, ya que, el agua que se utiliza para lavado luego debe inyectarse. Si el caudal es menor, consecuentemente menor será la potencia consumida para inyectar agua.

- Un 85% de reducción del consumo de agua dulce por incorporación de segunda etapa de lavado.
- Un 35% de reducción de potencia de inyección (Figura 10).

Menor consumo de eléctrico

El nuevo modelo con satélites presenta entonces dos marcadas reducciones de consumo eléctrico: la asociada a la eliminación de los bombes intermedios entre instalaciones de separación primaria y PTC y la asociada a la reducción de la potencia de inyección por el menor consumo de agua de lavado en PTC.

Si se totalizan los principales consumos eléctricos (bombeo de bruta de instalaciones de separación primaria a PTC, bombeo de crudo de PTC a punto de evacuación, potencia de inyección de agua de lavado y agua de producción), se observa que con el modelo satélites se reduce en un 40% la potencia total de bombeo necesaria, respecto al modelo baterías (Figura 11).

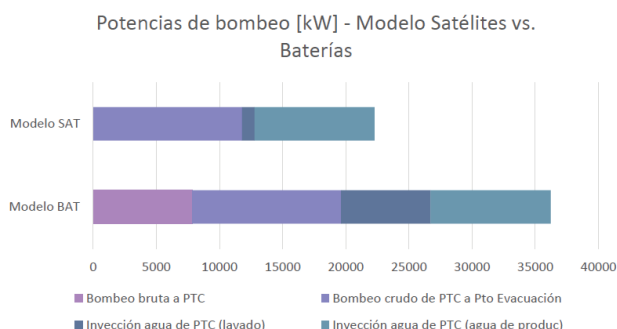


Figura 11. Reducción de potencia total de consumo eléctrico.

Mejoras en el diseño y control de la compresión de gas en PC

Siguiendo con la filosofía de maximizar la disponibilidad de la compresión evitando paros y consecuentes venteos, se aplicaron mejoras en la compresión y control de gas en la PC con una serie de puntos estratégicos:

- Incorporación de *slug* cácher en el ingreso para amortiguar las variaciones de caudal.
- Incorporación de una estrategia de control en la succión en etapas y de la recirculación.
 - o Por un lado, ante parada del sistema de despacho de gas, actúan válvulas *full flow* de sobrepresión. Están son válvulas grandes (8"), que actúan enviando el gas a venteo y evitan parar el campo (lo prioritario es el despacho de petróleo).
 - o Por otro lado, para atajar oscilaciones propias del proceso, actúa una válvula seteada a una presión menor, más chica y de rápida respuesta. Por ejemplo, si se cae una máquina y consecuentemente entra más gas del que pueden tomar los compresores, abre esta válvula y alivia el caudal correspondiente a ese compresor.
- Si hay más compresores prendidos y se caen en vueltas, abre la recirculación, que a su vez tiene un control para evitar generar hidratos. Este consiste en una toma de recirculación de la salida de compresores y otra toma aguas arriba del aero. De esta manera, controlan la presión de succión del Scrubber haciendo una mezcla entre las dos recirculaciones para lograr una temperatura que evite la formación de hidratos (Figura 12).

Recuperación de BTEX y gas de stripping en PC

La PC posee una unidad de deshidratación de gas con TEG. En esa unidad, se presenta un punto de emisiones a la salida del regenerador de la TEG, siendo una fuente de venteo de benceno, tolueno y xileno (BTEX), CH₄ y vapor de agua. El BTEX es dañino para la salud humana y muy contaminante de la atm. Además, el y por su parte

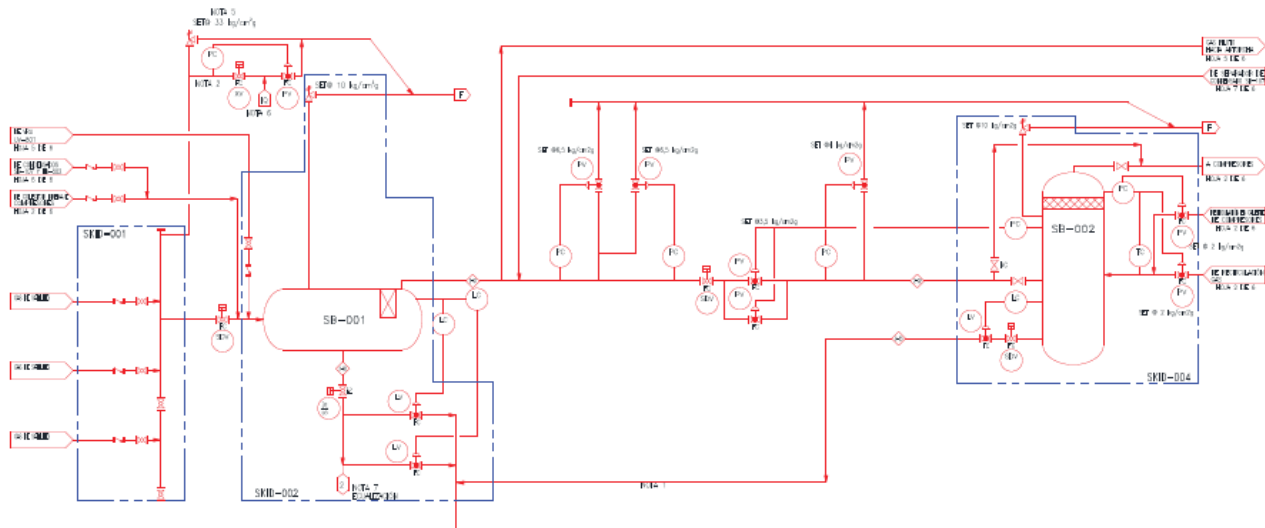


Figura 12. Esquema de control de succión de compresores y recirculación en PC.

el CH_4 , que es utilizado como gas de *stripping*, tiene un poder de calentamiento global de 25 veces el de CO_2 . La utilización del gas de *stripping* ronda los 1000 m^3/d de CH_4 , lo que equivale a 25.000 m^3/d de CO_2 .

En la PC del modelo satélites, un aeroenfriador y separador vertical se incorpora a la salida del regenerador de TEG. Al pasar por el aeroenfriador, se condensan los BTEX (que ingresan desde el regenerador a 100 °C y condensan a una temperatura de 65-70 °C.). La salida del aeroenfriador se envía al separador vertical donde se separan los condensados para enviarse al tanque de condensado y el gas para enviarse a compresión en una VRU. De esta manera, se eliminan las emisiones directas de CH_4 a la atmósfera (Figura 13).

Mejora en calidad de gas combustible

Se sabe que una causa adicional de las paradas sistémicas de compresores es por detonaciones asociadas a la mala calidad del gas combustible (bajo número de CH_4) o por aparición de líquidos en la succión de estos.

En línea con evitar las paradas de compresores que generan emisiones de CO_2 por quema del gas, se incorpora en las nuevas plantas del modelo satélites una mejora en la calidad del gas combustible mediante un cambio en el proceso de obtención de este.

Esta optimización consiste en la incorporación de un módulo JT donde se enfría el gas, se condensan los líquidos y luego se separan, mejorando el número de CH_4 y bajando el punto de rocío. El gas enviado a consumo es calentado previamente con la entrada al separador.

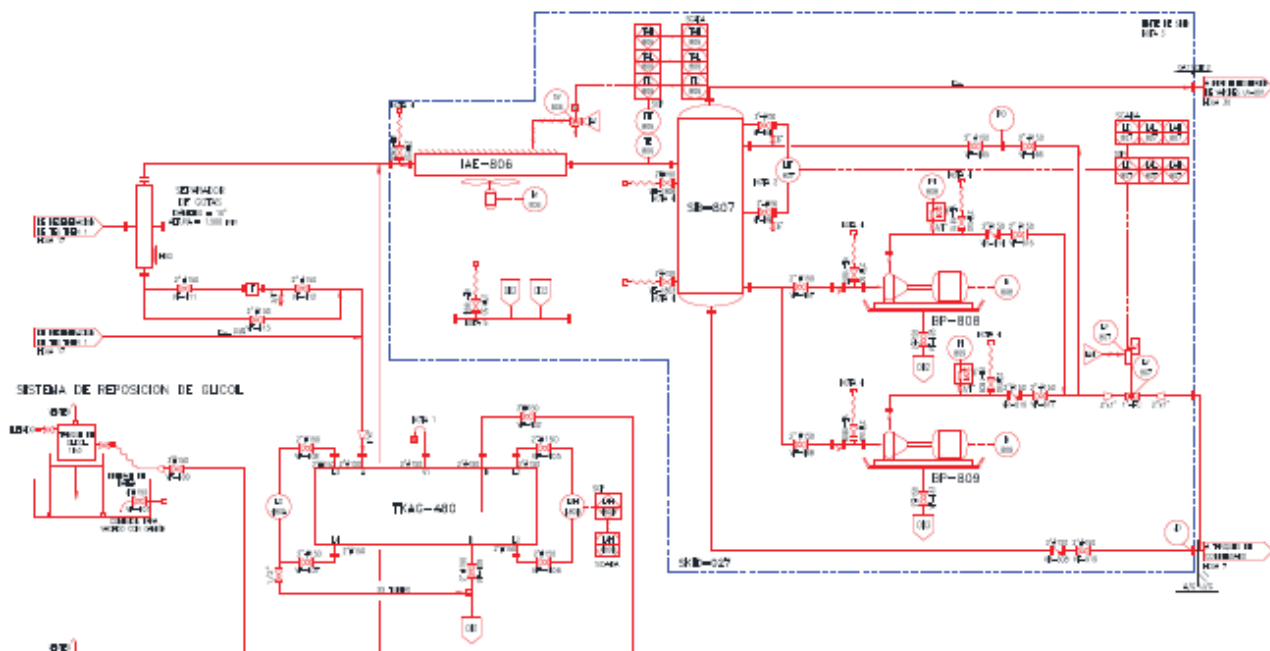


Figura 13. Esquema de recuperación de BTEX y gas de stripping (CH_4) en PC.

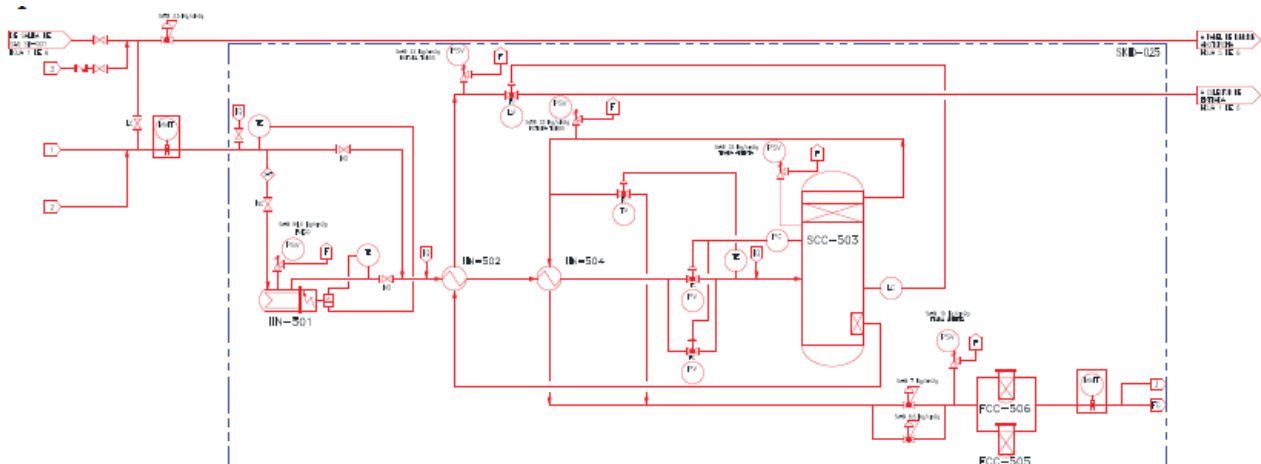


Figura 14. Módulo JT para mejora en calidad de gas combustible.

De esta manera, se espera que la proporción de paros por problemas en calidad de gas combustible desaparezca o se reduzca considerablemente.

Antorcha con encendido dual y soplador para performance smokeless

Garantizar la disponibilidad de la antorcha y asegurar la completa combustión de los gases es otro desafío que se presentó y abordó en el diseño de las instalaciones.

Se observaban problemas con el encendido de las antorchas haciendo que el gas de barrido esté apagado o demande *shut down* de las instalaciones.

Para garantizar la disponibilidad de la antorcha, se opta por el encendido dual con frente de llama y chispero.

Por otro lado, para garantizar la combustión completa de los gases a quemar (y evitar emisiones de CO), se incorpora un soplador que permite garantizar una performance

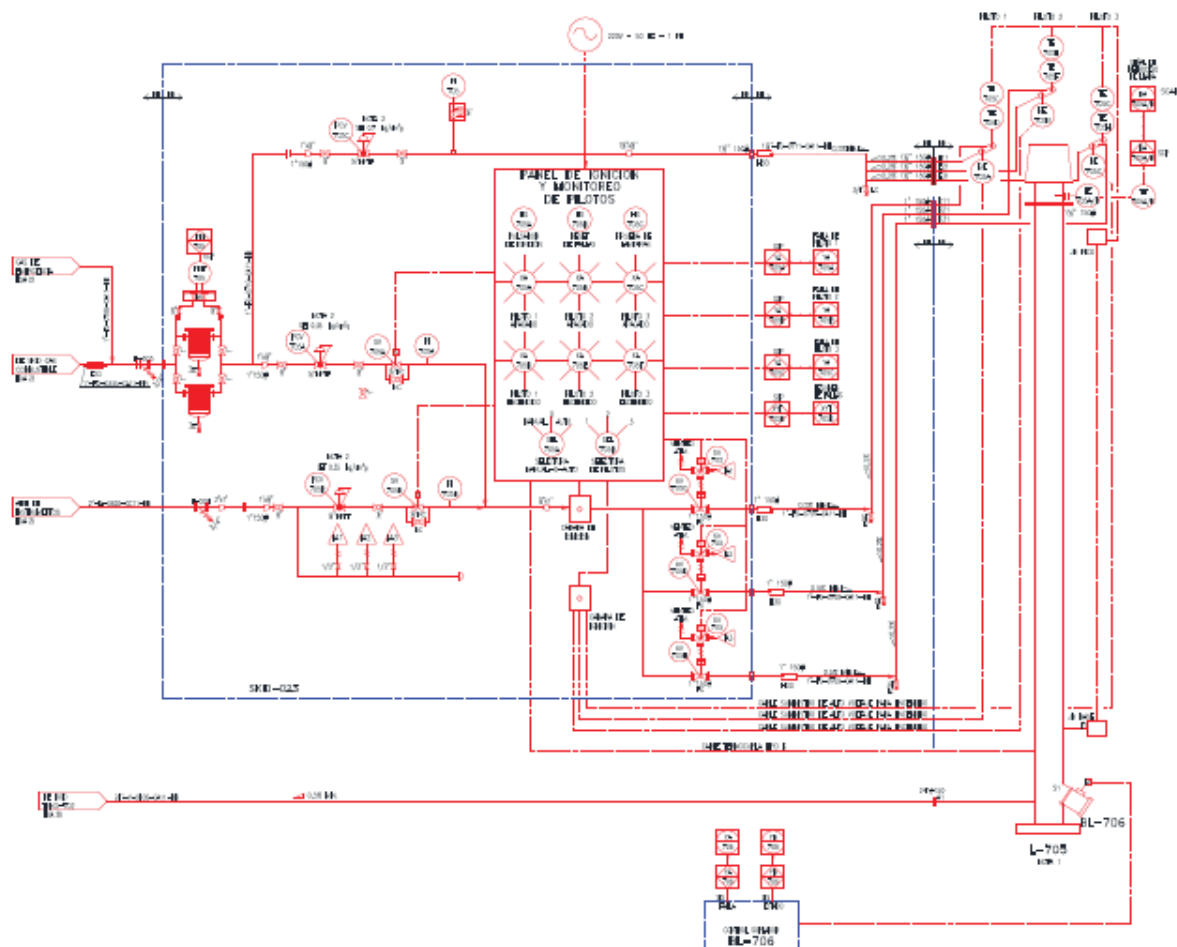


Figura 15. Antorcha con encendido dual y *smokeless*.

smokeless para los escenarios más comunes y esperables, como el venteo de gas de tanques con peso molecular alto que tienen a generar combustión incompleta.

Conclusiones

El incremento de la producción del NOC y la recurrente incorporación de lecciones aprendidas asociadas al modelo de baterías llevaron a desafiar al propio modelo. Luego de un estudio de benchmarking y modelización de los diferentes tipos de bloques, se llegó a la conclusión de que el modelo más conveniente era el modelo satélites. Ante este escenario se diseñaron las instalaciones y el *gathering* asociados, incorporando lecciones aprendidas, filosofías integradas de manejo de arenas, parafinas, *slugs* e integridad y abordando el diseño desde ejes claves, como seguridad, disponibilidad de las instalaciones y sostenibilidad.

Respecto al abordaje sostenible, uno de los ejes principales en instalaciones es la reducción de las emisiones asociadas a la quema de gas en antorcha (CO_2) y al venteo de gases de baja presión (CH_4). Por ello que es de vital importancia garantizar la estabilidad suficiente para evitar el paro de compresores (que envía el gas a quema en la antorcha), la reducción de paros de VRU y mejora en la captación de los venteos de baja presión y en casos de inminente venteo reemplazar las emisiones de CH_4 por emisiones de CO_2 .

Ante esto, se presentan las siguientes mejoras:

- El modelo satélites reduce la cantidad de puntos de emisión, lo que facilita la gestión de los puntos de emisiones al centralizarlos en solo dos instalaciones: PTC y PC.
- Las características intrínsecas del modelo implican una mayor estabilidad en el caudal de ingreso a las instalaciones. Por un lado, las fluctuaciones asociadas a enganches de PAD son absorbidas por los satélites y; por otro lado, se incorpora una filosofía de manejo de *slugs* en cada una de las instalaciones. La mayor estabilidad implica menos paros de compresores y de VRU y, en consecuencia, menos emisiones.
- Se introduce una mejora en la tecnología de captación de vapores en la PTC al incorporar una segregación de venteos de baja y muy baja presión, mediante desgasificadores tipo VRT + VRU de baja presión y VRU de muy baja presión. Aparte de mejorar la captación de los venteos, en caso de paro de las VRU de baja presión, *el gas puede quemarse en antorcha* emitiendo CO_2 , en lugar de ventearse a la atmósfera emitiendo CH_4 (un gas mucho más contaminante).
- Se incorpora la recuperación de vapores hacia la VRU en tanques Skimmer y pulmón de agua.
- Se implementan mejoras en el control de succión de gas hacia el Scrubber en la PC. Estas mejoras implican una segregación de las válvulas de sobrepresión, incorporando válvulas más chicas y ágiles que permiten absorber oscilaciones típicas del sistema. Ante una oscilación, como el paro de una máquina, no se ventea por sobrepresión el total del caudal, sino solamente el caudal asociado a esta, evitando el *full flow* y reduciendo las emisiones de CO_2 .

- Se incorpora la recuperación de BTEX y gas de *stripping* (CH_4) en las unidades de deshidratación con TEG de la PC. El BTEX, muy contaminante para la atmósfera y el ser humano, es enviado a los tanques de condensado y el gas de *stripping* es enviado a la VRU. De esta manera se reducen las emisiones del BTEX y de CH_4 .
- Se rediseña el *skid* de gas combustible para mejorar del número de CH_4 y reducción del punto de rocío, para reducir los paros de compresión por detonaciones o presencia de líquidos en la succión, respectivamente. El nuevo diseño implica un módulo JT. La reducción de paros de compresores reduce las emisiones de CO_2 .
- Se incorpora una antorcha con encendido dual y *smokeless* con el objetivo de garantizar la disponibilidad de la antorcha y la combustión completa, que evita emisiones de gases más contaminantes como el CO.

Adicionalmente, desde el lado sostenible, se incorporaron otras mejoras relacionadas con el consumo de un recurso natural como es el agua y la reducción del consumo eléctrico:

- En la PTC se reemplaza el lavado en una etapa por el lavado en dos etapas, reduciendo en un 85% el consumo de agua dulce y en un 35% la potencia de bombeo asociada a la inyección del agua.
- El aprovechamiento de la energía de reservorio, bajando las instalaciones de separación primaria a mayor presión, elimina la potencia de bombeo asociada al envío de producción desde estas instalaciones a las de tratamiento. Sumado a la reducción de potencia de inyección asociada al agua dulce, redunda en una reducción de un 40% de la potencia total de bombeo respecto al modelo de baterías.

La combinación de mejoras al modelo que implica una reducción de emisiones, un menor consumo de energía y una baja en la utilización de un recurso natural como es el agua dulce, hacen de este modelo uno más sostenible.

Marco Bergel es Jefe de Procesos a cargo del diseño y estandarización de instalaciones de superficie de upstream. Responsable de un equipo de 15 ingenieros de procesos. Ex Director Nacional de Eficiencia Energética, a cargo del diseño e implementación de políticas de eficiencia energética. Ingeniero químico egresado de la Universidad de Buenos Aires y licenciado en Administración egresado de la Universidad del Salvador y magíster en Gestión de la Universidad de Toulouse, Francia.

María Florencia Cibau es Ingeniera Química, ITBA, 2014. Diplomada en Gestión de las Transiciones Energéticas, 2022 Programa de Formación de Líderes Energéticos, 2018. Ingeniera de Procesos YPF (2019 - actualidad). Docente de "Tecnologías de fabricación y procesos unitarios", UNLZ (2016-2022). Docente de "Transición energética y sustentabilidad", ITBA, 2023-actualidad. Ingeniera de Procesos con experiencia de ocho años en la industria del Oil&Gas, tanto en empresas de ingeniería como en YPF. Desarrollo de ingenierías básicas, conceptuales, visualizaciones y estandarización de instalaciones de superficie.