

GESTIÓN GLOBAL DE ENERGÍA EN REFINERÍAS DE ALTA COMPLEJIDAD

Peñalba, Yamila | SPARK | ypenalba@sparkgy.com

Haspert, Lucia | SPARK | lhaspert@sparkgy.com

Pandolfi, Juan Martín | SPARK | jmpandolfi@sparkgy.com

1. Sinopsis

En las refinerías coexisten diversas unidades de proceso y servicios auxiliares. Es usual que algunas de las unidades de proceso tengan una estrategia de integración energética que optimice su propia demanda de energía, que permite balancear el excedente de un proceso hacia otro que lo demanda. Sin embargo, para lograr una optimización global es necesario una integración transversal de las diferentes unidades de proceso y servicios auxiliares. En particular, uno de los sistemas que sirve como vehículo para dicha integración energética es el de Gas Combustible, el cual es generado en algunas unidades y consumido como energía en otras.

Como consecuencia de la evolución de una refinería es difícil tener un sistema de gestión de energía claro y predecible, debido a que las modificaciones complejizan los sistemas que generan, captan, distribuyen y consumen las diferentes fuentes de energía.

En este trabajo se presenta una metodología para el desarrollo de una herramienta de gestión de energía.

Para lo cual en primer lugar se releva la configuración completa de unidades de procesos y los servicios auxiliares. Luego, se estudia el vínculo entre sus condiciones operativas normales y bajo las diferentes combinaciones con el resto de las unidades operativas, los estados de arranque y paro, y diversos casos de contingencias posibles. Además, se identifican los consumidores y generadores, los regímenes de aporte o consumo, las propiedades y características de los fluidos generados y distribuidos, entre otros detalles.

Con la información recopilada se desarrolló una herramienta de cálculo que contiene el balance de masa y energía, que se ejecuta en tiempo real obteniendo información del sistema de control. Permitiendo el monitoreo inmediato e identificación de situaciones de vulnerabilidad inminente y los posibles cursos de acción en la estrategia de manejo de la energía. El sistema es capaz de evaluar distintas fuentes de energía para compensar la demanda y los órdenes de preferencia de consumo en función del costo y disponibilidad.

Como complemento se puede evaluar la respuesta del sistema ante la incorporación de unidades futuras y su optimización en el diseño.

La herramienta desarrollada es de utilización diaria, al ser de fácil comprensión y entorno amigable, se pudo difundir ampliamente entre los distintos usuarios finales, tanto para la operación cotidiana como para el desarrollo de ingeniería.

2. Introducción

La integración energética global de una refinería es un proceso complejo. No solo por la cantidad de unidades y sistemas que podrían intervenir en dicha integración sino porque la naturaleza de la operación de una refinería tiene escenarios operativos cambiantes y situaciones imprevistas. Como si fuera poco las refinerías también son susceptibles de modificaciones y ampliaciones que agregan una arista más de complejidad.

Frente a un problema complejo como este siempre es válido cuestionarse ¿Es necesario? ¿Los beneficios superan el esfuerzo? ¿Hay un valor agregado? La respuesta corta, en la mayoría de los casos, es afirmativa. La energía es un bien escaso y como tal debe ser cuidada. Sobre esta premisa fundamental también se suma el hecho que eficiencia energética se traduce directamente en reducción de emisiones. Además, una integración energética eficiente redundará en un menor costo operativo.

Dado los beneficios es claro que los desafíos de desarrollar e implementar de un sistema de gestión global de energía, aunque sea complejo, necesita ser enfrentado. Un segundo nivel de análisis nos enfrenta al problema más concreto, generar un sistema de gestión de la energía claro que nos permita representar situaciones presentes, predecir comportamientos futuros y sobre todo que asista a la toma de decisiones, que puede ser adaptable ante las modificaciones tanto de infraestructura de las instalaciones como la de los cambios operativos del día a día, cambios en las condiciones de contorno o contingencias.

¿Es posible optimizar de forma global los consumos de energía de un sistema existente? ¿Es posible optimizarla de una manera dinámica frente variaciones en tiempo real? ¿Cuáles son los parámetros objetivos que buscamos optimizar? ¿Cómo adaptamos la optimización para diferentes escenarios operativos y cambios diarios? ¿Qué información de partida es necesaria y como logramos vincularla? ¿Cuál es el mínimo conjunto de datos necesarios?

Las respuestas a estas cuestiones implican avanzar sobre algunos conceptos fundamentales. Por evidentes que parezcan algunas respuestas, un relevamiento preciso de la información, de las instalaciones y de las interrelaciones de los sistemas nos permite entender los vínculos entre las distintas unidades y sistemas, y ese entendimiento nos permite actuar de forma efectiva sobre el problema que abordamos, un problema que siempre demuestra ser más complejo de lo que puede preverse.

El desarrollo del presente trabajo se llevó adelante para la Refinería de Axion Energy en Campana (Argentina), con capacidad para procesar 90000 bbl/d de petróleo. La misma cuenta con 20 unidades de proceso y 11 unidades de servicios auxiliares en un predio de 130 hectáreas. La mayoría de las unidades de proceso se pusieron en servicio entre 1960 y 1990. Luego de lo cual, en años recientes se implementaron importantes obras de expansión que incluyeron nuevas unidades de proceso para adaptarse a las regulaciones de combustible y aumentar la producción.

Comenzaremos por explorar algunos conceptos y estrategias.

3. Desarrollo

3.1. Metodología

Existe un paso ineludible para el desarrollo de cualquier proyecto sobre instalaciones existentes. Una etapa inicial de interiorizarse con las instalaciones y cada uno de los elementos que componen cada sistema, la documentación disponible, las condiciones de contorno, y la determinación entre factores que aplican o no al problema que se está abordando.

En plantas donde se cuenta con una gran cantidad de unidades de procesos, que son complejas en sí mismas y que a la vez afectan e interactúan con unidades vecinas, como es el caso de las refinerías, se corre el riesgo de perderse en un mar de información.

En la Figura 1, se puede observar un diagrama simplificado de las instalaciones en estudio con varias unidades de proceso, cada una de las cuales tienen múltiples equipos y subunidades, y fue puesta en marcha en diferentes momentos de la vida operativa de la instalación.

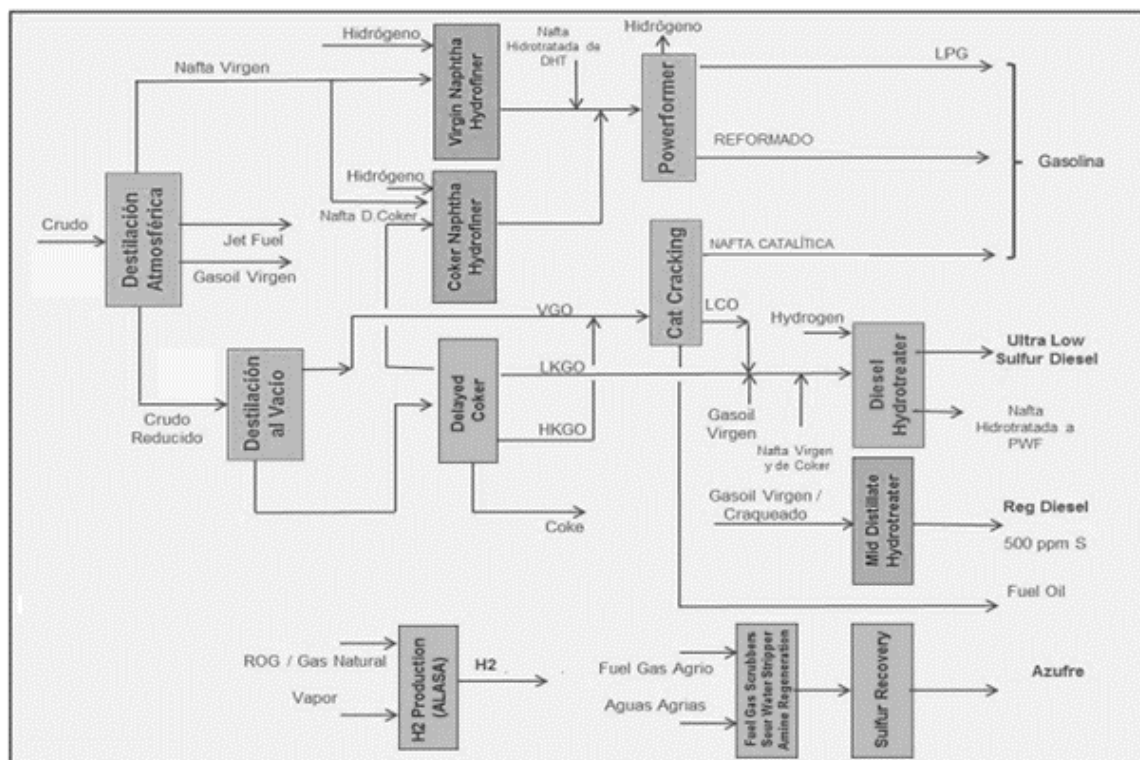


Figura 1 – Diagrama de Bloques Simplificado de la Refinería

En este caso, el foco no se encuentra en el detalle interno de funcionamiento de cada unidad, sino, en el sistema general de distribución, consumo y generación de energía, por lo tanto, lograr un nivel de abstracción que nos permita ver las instalaciones como un todo es importante.

Lograr identificar qué información interna de las unidades será necesaria para poder realizar el análisis y descartar la que no es relevante para abordar el problema actual.

3.1.1. Relevamiento de la Documentación Existente e Instalaciones

Como se mencionó previamente, el objetivo es el de la optimización del sistema de gestión energético de una refinería existente... ¿por dónde se empieza?

Por la búsqueda de información. La búsqueda de información tiene que estar en principio orientada a “entender” la planta. Usualmente existen tres fuentes de información que son complementarias. La primera es la documental, lo que está escrito en los papeles, la segunda es la que puede surgir de un relevamiento físico de las instalaciones, y la tercera es la que surge de la experiencia operativa y que solo puede ser recabada mediante una interacción con los responsables directos de la operación quienes normalmente poseen un conocimiento amplio de las instalaciones y de su funcionamiento.

Luego de reunir la información es necesario analizarla. La función del análisis de la información es la de obtener datos de entrada y premisas de diseño que permitan determinar las condiciones de contorno requeridas para la definición de los límites de cada sistema. Un Dato de Entrada es un parámetro que sirve para alimentar a los modelos y una premisa es aquello que pone límites a los modelos que sirven de base para el diseño.

Una vez que se cuenta con la información de partida, ya clasificada como necesaria, se procede con la ejecución de un análisis de consistencia.

Dicho análisis consiste en contrastar la documentación vigente de diversas “naturalezas”, como por ejemplo diagramas de procesos, de instrumentación y cañerías, balances de masa y energía, e incluso informes previos referidos al mismo problema, entre ellos y contra la realidad de las instalaciones. Para esto último se retroalimenta la documentación con un relevamiento presencial y conocimiento de los responsables de la operación de las instalaciones.

3.1.2. Comprensión de los Sistemas de Combustibles de la Refinería

Una vez identificadas las unidades de procesos y servicios auxiliares, se procede a clasificarlos según el rol que cumplen para el sistema energético de la planta, se visualizan tres grandes grupos:

- **Consumidores:** Unidades que requieren combustible para cumplir con su función y lo demandan de alguna de las redes de combustibles de la refinería. Como ser unidades que estén compuestas en parte por hornos, intercambiadores de calor, regeneradores, etc.
- **Generadores:** Unidades que como subproducto generan algún combustible de interés y utilidad para la refinería. En algunos casos primero abastecen internamente la demanda energética de la unidad en cuestión y en caso de que exista un sobrante, el mismo se aporta a alguna de las redes de combustibles de la refinería.
- **Consumidor/Generador:** son unidades que por la naturaleza cíclica del proceso y/o por tener dentro de su estructura consumidores y generadores, dependen del estado de operación de los equipos que la conforman para posicionarse como generador o consumidor. O producen un remanente de energía que se aporta a la red, o en caso contrario, la unidad resulta en déficit energético y requiere del aporte externo desde la red para el abastecimiento, respectivamente.

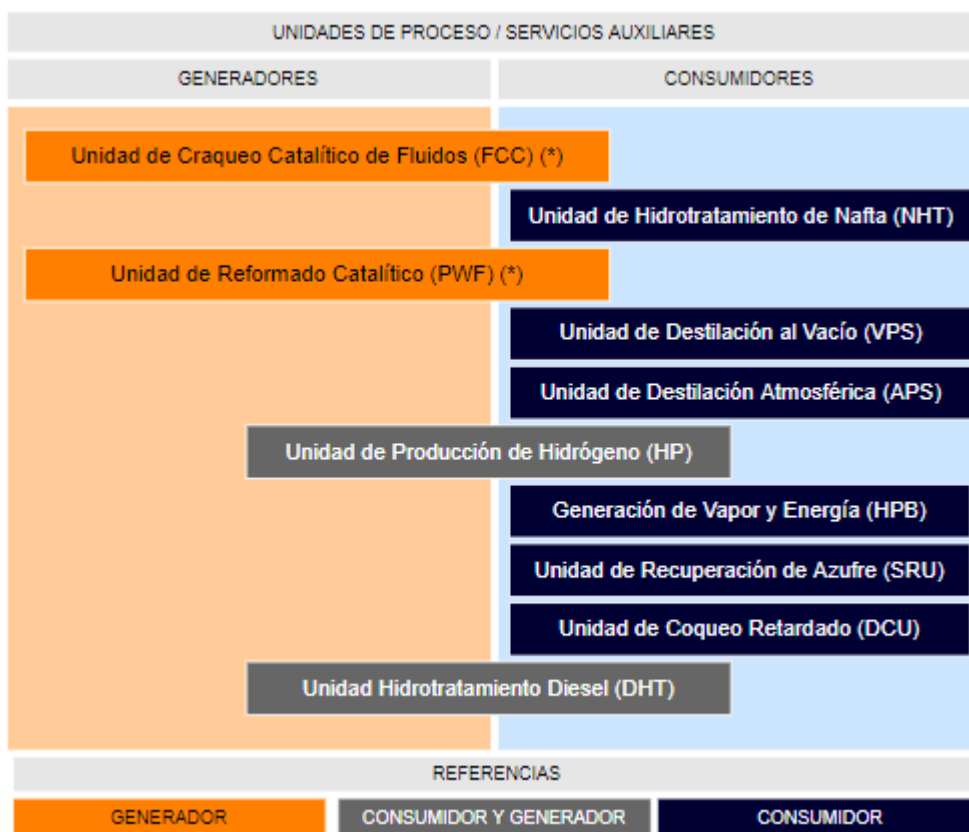


Figura 2 – Generadores y Consumidores

(*) Si bien generan y consumen energía, debido a que la generación supera altamente el consumo se consideran unidades generadoras.

Sumado a la gran cantidad de unidades y a las diversas modificaciones que ha sufrido la instalación en el correr del tiempo, varias de las unidades que la conforman tienen fluctuaciones en el requerimiento energético, por lo cual el sistema se vuelve aún más complejo. Es importante identificar a estas unidades generadoras y/o consumidoras cuyo consumo de energía no es continuo, para poder desarrollar un balance de masa representativo de la realidad frente a cualquier escenario.

3.1.3. Hablemos de Redes

Una red de combustible es aquella que capta y distribuye un líquido o un gas, con determinadas características que lo posicionan como fluido de aporte energético.

Cada red, diferenciada por el combustible que reúne y transporta, está integrada por diferentes generadores y consumidores. Las características del combustible están dadas por la composición de las corrientes provenientes de los generadores. Como consecuencia se debe identificar a que red aporta cada generador y de que red toma cada consumidor.

Las redes están interrelacionadas de manera de suplir las demandas de los distintos sistemas, según un determinado orden de prioridad.

El objetivo final es desarrollar el balance de energía de la refinería y visualizar puntos de optimización y mejora. Para esto, se necesita conocer las posibles configuraciones de las redes y como se relacionan entre sí.

3.1.4. Combustibles

Para cerrar la primera aproximación de definición del sistema, es necesario considerar los fluidos combustibles que se manejan en la instalación. Vamos a detenernos a observar un gráfico representativo de la distribución de las fuentes de combustible:



Figura 3 – Distribución de Combustibles Consumidos

Se puede observar un 24% de la demanda energética total no es satisfecha con los combustibles generados en la instalación, como consecuencia mientras algunos de los combustibles se producen internamente por

las unidades generadoras, otros ingresan al sistema de manera externa para compensar los déficits. A estos últimos los consideramos de aporte externo.

Estos aportes externos corresponden a combustibles que no se producen dentro de la instalación o bien su utilización tiene un costo e implica la pérdida de ingreso por ventas.

Los aportes externos se consideran como generadores y aportan a las redes de FG (Gas Combustible) del sistema que presenten déficit.

Para los fines prácticos del balance de masa y energía, los combustibles que son generados en la refinería, pero tienen un valor comercial se consideran como aportantes externos para el cierre del balance.

Los diferentes combustibles se podrán caracterizar según su fuente en cuanto a sus propiedades y poder calorífico.

COMBUSTIBLES DISPONIBLES		
INTERNOS	Gas Combustible (FG) Gas Rico en Hidrógeno (ROG)	Generado en la Refinería. Sin valor comercial. Disponible para el Consumo.
	Gas Licuado del Petróleo Petroquímico (LPG) Combustible Líquido (DIL)	Generado en la Refinería. Con valor comercial. Disponible frente a déficit de combustible.
EXTERNOS	Gas Natural (GN) Gas Licuado del Petróleo Comercial (LPG)	No generado en la Refinería. Aporte externo. Disponible frente a déficit de combustible.

Figura 4 – Combustibles Disponibles

3.1.5. Prioridad de Consumo

Se cuenta con dos premisas para establecer prioridades de consumo. La primera relacionada a la disponibilidad de cada fuente y la segunda asociada a un orden de preferencia de consumo basado en el costo de los combustibles de aporte externo.

Como punto de partida se busca primero agotar las fuentes de generación interna de la planta, es decir el FG y el ROG (Gas Rico en Hidrógeno). Se puede disponer íntegramente de estas fuentes, todo lo que se genere de FG y ROG será aportado a las redes correspondientes para su utilización como fuente de energía.

El orden cambia para los combustibles de aporte externo. Para el GN (Gas Natural) se cuenta con dos limitaciones para el máximo caudal que puede entrar en la instalación. En primer lugar, está limitado por la capacidad de transporte del ducto instalado, y en segundo lugar (y más restrictivo) está limitado por el proveedor de gas que, según la época del año y la demanda de la zona, establece límites de consumo. Finalmente, con el LPG y el combustible líquido se suple el remanente de déficit que pueda llegar a quedar, luego de consumir íntegramente el FG, el ROG y GN. Para el orden de prioridad en este caso se tiene en cuenta el costo y los compromisos con proveedores, el combustible líquido y el LPG se producen internamente en la refinería, pero son productos que se venden, por ende, tiene un determinado costo su consumo interno, para establecer cantidades a consumir de cada uno y el orden, se tiene en cuenta el mercado en ese momento.

Otra limitación es que hay equipos que solo pueden operar consumiendo GN, por lo que el ingreso de gas natural será prioritario para estos sistemas, mientras que el remanente que no se consuma en estas unidades puede inyectarse en otras redes con déficit.

Se debe considerar que el combustible líquido solo puede ser consumido por aquellos equipos que cuenten con la flexibilidad de poseer quemadores duales (que pueden quemar gas y líquido). Por lo tanto, el consumo está limitado a los equipos que puedan recibirlo como fuente de energía, y no puede ser utilizado por si solo para satisfacer un posible déficit.

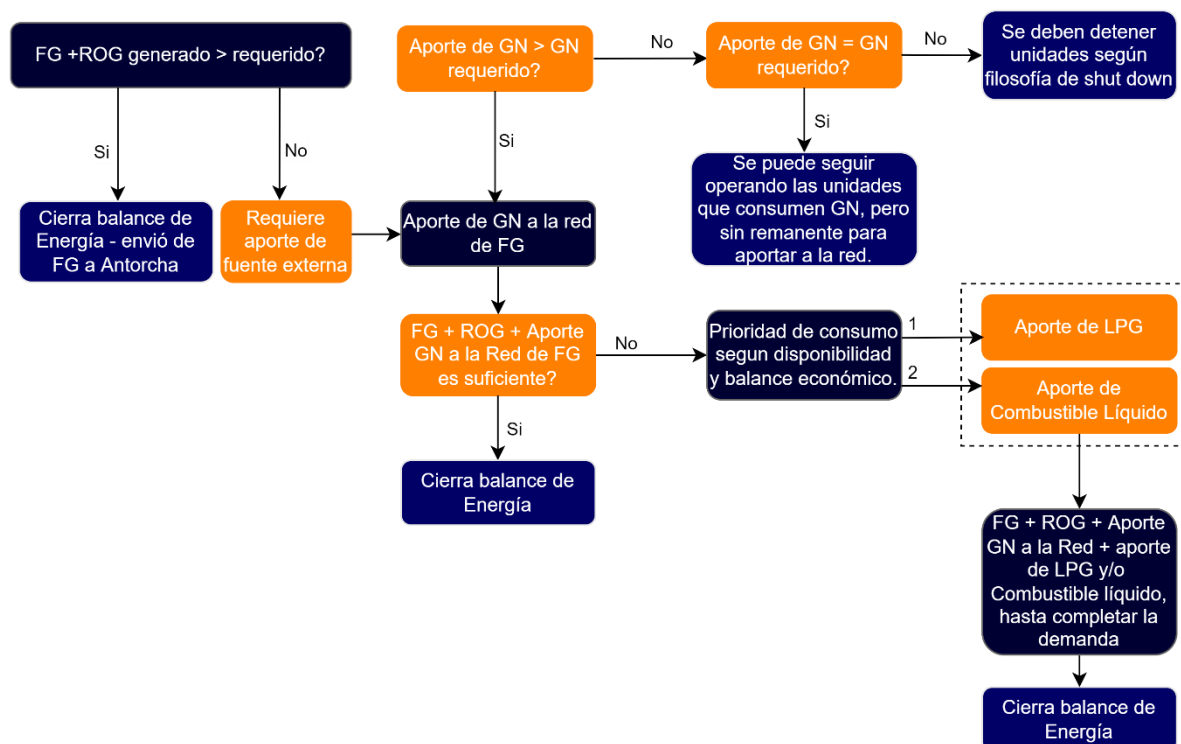


Figura 5 – Diagrama de Preferencia de Consumo

3.2. Balance de Masa y Energía

Ahora, ¿qué se necesita efectivamente para realizar el balance de masa y energía integral?

La respuesta es relativamente simple. Se necesita conocer la composición y el caudal de las corrientes que lo conformaran.

Teniendo claras las fuentes de energía y los consumidores de la Refinería se puede proceder a la caracterización de los fluidos de los distintos generadores mencionados, asignarles un caudal representativo y finalmente cuantificar la cantidad de energía que cada generador es capaz de aportar a sistema, el primer objetivo es generar con esta información un balance de energía global del sistema, que es una herramienta de detección.

3.2.1. Propiedades de las Corrientes

El caudal y la composición están intrínsecamente relacionados con la demanda energética que se quiera abastecer. La variable que relaciona la masa con la energía es el LHV (Poder Calorífico Inferior), dependiente de composición de la corriente, la relación a seguir para hallar la demanda energética o el aporte de cada unidad es no es más que el producto entre ambas variables.

$$Q = w \cdot LHV$$

Donde

Q = Energía aportada o requerida por cada unidad.

LHV = Poder Calorífico Inferior de la corriente que se está analizando.

w = Caudal de la corriente aportado o requerido por cada unidad.

3.2.2. Tipos de Balance

La finalidad del estudio energético es la de visualizar el comportamiento en tiempo real de la refinería, detectar puntos de optimización y mejora, o usarlo como herramienta de diseño ante la incorporación de nuevas unidades, maniobras, o grandes cambios en general y visualizar el impacto de las modificaciones que se realicen en la instalación sobre el sistema energético.

Para poder lograr lo mencionado, se desarrolla el balance de masa y energía con dos métodos de cálculo distintos. Uno orientado a la visualización de la planta en tiempo real y el impacto de las acciones que tome el operador, donde se toma información del sistema de control en tiempo real, a este modo se lo denomina Performance. Para ver la respuesta del sistema energético ante cambios en la instalación, como incorporación de nuevos equipos o unidades, se desarrolló el modo Design, que precisamente, contempla capacidades de diseño de los equipos y predice el comportamiento del sistema, en este modo, no se toma información del sistema de control en tiempo real.

Ahondaremos un poco en el desarrollo de cada uno de estos métodos de cálculo.

3.2.3. Modo Performance

Como se mencionó anteriormente el modo Performance tiene una gran flexibilidad, que radica en la posibilidad de visualizar la “foto” en tiempo real de la instalación, obteniendo la información directamente del sistema de control. Además de visualizar el estado, el operador puede intervenir sobre el mismo aplicando acciones para apagar o prender unidades, ingresar contingencias o incluso ver la “foto” de la instalación en alguna fecha pasada, repasar acciones tomadas y analizar si las decisiones ejecutadas fueron las mejores para la situación o si admiten optimización.

¿Como se calculó el balance de masa para el modo Performance?

Partiendo del diagrama de bloques de la refinería, se identifican las unidades y dentro de las mismas los equipos que las conforman.

Teniendo acceso al sistema de control, se necesita identificar el caudalímetro que está cuantificando el combustible que ingresa o sale de cada equipo/ unidad, así como también las mediciones de los aportes externos como GN y LPG. En caso de que este caudalímetro asociado a la corriente de interés no exista, se plantea teóricamente el consumo de la unidad basado en otras mediciones.

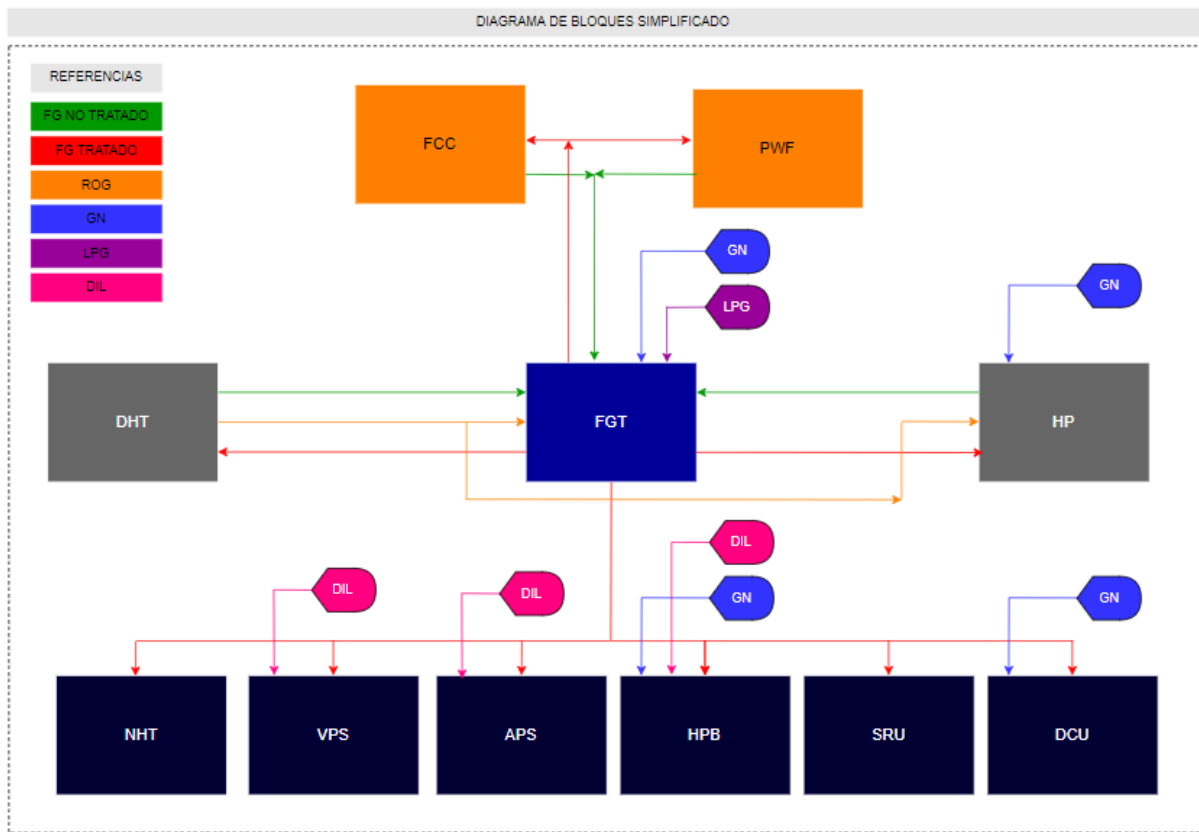


Figura 6 – Diagrama de Bloques – Combustibles

Además de identificar la línea y el caudalímetro asociado a cada equipo, para hacer un cálculo más fino, se requiere buscar la válvula de control u On/Off que maneja el suministro de combustible. Dependiendo del estado de la válvula, es decir, porcentaje de apertura, on u off, será considerado el caudal o no. Resumiendo, si en el sistema de control la válvula indica estar cerrada, no se computa el valor que mida el caudalímetro, por error intrínseco.

3.2.3.1. Extracción de Datos del Sistema de Control

Para realizar el balance de masa y energía de la instalación, la herramienta de cálculo extrae en tiempo real más de 500 mediciones del sistema de control, entre propiedades de los fluidos y caudales de combustible. Como consecuencia, uno de los procesos más complejos fue la selección de las mediciones apropiadas para el desarrollo de la herramienta; ya que al igual que sucede con las instalaciones físicas, el sistema de control sufrió actualizaciones a lo largo de la historia de la instalación, observándose denominaciones no homogéneas y representaciones gráficas que no son totalmente fidedignas de la realidad.

El sistema de control tiene las facilidades para extraer información a través de un complemento sobre una Planilla de Cálculo.

Por lo tanto, una vez identificados los caudalímetros, válvulas, o corrientes de las que se quiera extraer información, se ingresan los datos que provienen del sistema de control en la Planilla de Cálculo asociado, para poder visualizarlos y manipularlos.

Se evaluaron diversas maneras de desarrollar una herramienta de cálculo. Resultando la más conveniente dada su amplia disponibilidad, acceso y familiaridad usar como base una Planilla de Cálculo. La planilla resultante se encuentra conectada al sistema de control mediante el complemento mencionado y está programada para ejecutar las diversas acciones del balance de masa y energía.

Dentro del balance de masa y energía se visualizan las unidades de la refinería y los equipos que la componen, en caso de que sean consumidores o generadores.

UNIDAD / EQUIPO		G / C	GEN (in)	CON (out)	Cons/Gen Valor Ref	Carga Sistema	Caudal Combustible	LHV Combustible	RG1	RG2	RG3	RL1
		-	-	-	[kCal/h]	[%]	[kg/h]	[kCal/kg]	[kCal/h]	[kCal/h]	[kCal/h]	[kCal/h]
FCC	Fluid Catalytic Cracking Unit											
FCC	D-303	G	RG1		133864700	81	9459	11448	108284809			
FCC	F-151	C		RG1	14868800	107	1236	12859	-15887076			

Figura 7 – Herramienta Desarrollada – Visualización del Cálculo

Se indica de que red toman o a que red le aportan, se calcula la energía requerida o aportada, la carga del sistema, caudal de combustible, etc.

Tanto en la Figura 7 como en el resto de las figuras asociadas a la herramienta desarrollada, las variables en azul son valores de entrada para el desarrollo del balance de masa y energía, mientras que los valores en negro son resultados de los cálculos realizados y/o extraídos del sistema de control.

3.2.3.2. Homogeneización de Unidades

El sistema de control entrega la información en las unidades en las que los instrumentos miden, o procesan la información. Para poder trabajar de forma coherente se realiza un proceso de homogeneización de unidades, donde, a las unidades que tiene el dato, se las transforma a las convenientes para su trabajo en el balance.

3.2.3.3. Extracción de Composiciones para Cálculo de Propiedades

Como se menciona previamente, no solo se requieren datos de caudales y de estado de válvulas, si no que por la naturaleza del sistema de FG, se requiere obtener el LHV de cada corriente. Para poder calcular el mismo, como se explicó, se extrae la composición de todas las corrientes aportantes al sistema. Dicha composición también se usa para el cálculo de densidades y peso molecular, que se requieren para la homogeneización de unidades.

3.2.3.4. Determinación del Tiempo de Extracción de Datos

Como se adelantó anteriormente, el balance de masa y energía se puede realizar para el periodo de tiempo o la fecha que se desee.

Esto se ejecuta a través de una facilidad en la planilla donde se indica el rango horario y/o fecha en la que se quiere calcular el balance. Ese input, comanda al complemento asociado al sistema de control de para que corrija los valores al tiempo seleccionado. Permitiendo evaluar la Performance de la refinería en distintos momentos, capacidades y con nuevas visiones dadas por la experiencia operativa.

Modo:	Performance	
Fecha:	7/7/2021 09:00	
Período	30M	
GN Disponible:	18000	Nm3/h
GN Disponible:	432000	Nm3/d
LPG Disponible:	25	m3/h
Liq Disponible:	25	m3/h

Figura 8 – Herramienta Desarrollada – Ingreso de Parámetros de Cálculo

Desde este mismo panel, se ingresan los otros datos externos que se requieren para calcular el balance, que son la disponibilidad de Gas natural, de LPG y combustible líquido.

Otras propiedades referidas a estos combustibles deben ingresarse, ya que por ser de aporte externo sus datos no pueden extraerse del sistema de control.

Gas Licuado del Petró	537	kg/m3	10868	kcal/kg
Combustible líquido	887	kg/m3	10171	kcal/kg
Gas Natural	0,6	kg/Sm3	8785	kcal/kg

Figura 9 – Herramienta Desarrollada – Ingreso de Propiedades de los Fluidos

3.2.3.5. Contingencias y Variaciones de Caudal

Debido a su naturaleza operativa muchas unidades de la refinería operan de manera discontinua, generando fluctuaciones importantes de consumo o generación en los distintos sistemas.

Sumado a estas variaciones, existen factores externos que afectan en gran medida la operación de los distintos sistemas de combustibles.

En base a estos dos tipos de alteraciones, se planteó en la herramienta un panel de contingencias, en el cual se puede seleccionar alguna de ellas y evaluar el impacto que tendría si ocurriera en ese momento en la refinería, si está ocurriendo en ese instante, poder detectarlo y tomar las mejores acciones para contrarrestarlo o si ocurrió en el pasado recrear el escenario y evaluar la eficiencia de las decisiones tomadas.

CONTINGENCIAS			
Parada Evaporador			NO
Parada ALASA I	10	ton/h vapor	NO
Parada ALASA II			NO
Lluvia Torrencial	50	ton/h vapor	NO
Cambio Cámaras DKU	18	ton/h vapor	NO
Parada Compresor PK-201			NO
Parada Compresor C-201			NO
ALASA sin ROG, ROG a FG			NO

Figura 10 – Herramienta Desarrollada – Panel de Selección de Contingencias

3.2.3.6. Acciones

Para disminuir el consumo de gas combustible se pueden llevar a cabo diferentes acciones: reemplazar el gas combustible por GN, LPG o por combustible líquido; o efectuar cortes de vapor. La prioridad con la que se ejecutan estas acciones dependen de diferentes aspectos: la disponibilidad de GN, dependiente de los requerimientos del mercado; el costo en el mercado y la disponibilidad tanto de LPG como de combustible líquido; y los compromisos comerciales de LPG y combustible líquidos asumidos.

Dependiendo de los compromisos comerciales asumidos, se ingresa el límite de LPG y combustible líquido disponibles para compensar déficit (Figura 8). La prioridad con la que se consume uno u otro se puede modificar manualmente, según el costo del mercado de dichos combustibles.

Como contrapartida, las acciones de corte de vapor, que tienen un gran impacto en los requerimientos de gas combustible, conllevan una disminución en la carga de las unidades y como consecuencia

disminución en las ganancias. Estas acciones solo se llevarán a cabo en última instancia, conforme a lo establecido en los manuales de operación.

Para realizar el reemplazo de gas combustible por combustible líquido se debe tener en cuenta algunos factores:

- Disponibilidad y uso de combustible líquido
- Cantidad de quemadores duales, es decir los puntos que pueden recibir el combustible líquido en lugar del gaseoso.

Esto se puede implementar en la planilla de la misma manera en la que se trabajan las contingencias, se planteó un panel de manejo de combustible líquido, donde se pueden ver los posibles receptores del mismo y las cantidades que se quieran aportar.

ACCIONES SOBRE EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO			
F-1	Caudal de diluyente	6 m3/h	NO
F-51	Caudal de diluyente	3 m3/h	NO
F-101	Caudal de diluyente	1 m3/h	NO
C-23	Caudal de diluyente	5 m3/h	NO
C-24	Caudal de diluyente	0 m3/h	NO
C-25	Caudal de diluyente	3,5 m3/h	NO
C-26	Caudal de diluyente	1 m3/h	NO

Figura 11 – Herramienta Desarrollada – Panel de Selección de Acciones sobre el Consumo de Combustible Líquido

- La otra acción que se puede tomar es la de efectuar cortes de vapor.

Debido a las altas temperaturas a las que operan las refinerías, uno de los mayores consumos de energía se encuentra en la producción de vapor para calentamiento. Como consecuencia, disminuir los consumidores de vapor implica una baja en el consumo de combustible.

También, al igual que las contingencias y el manejo de combustible líquido, los cortes de vapor tienen un panel dentro de la planilla, desde el cual se pueden efectuar los cortes establecidos en el manual de la refinería para mantener la operación segura sin afectar ampliamente la producción.

ACCIONES DE CORTE DE VAPOR			
Corte N° 1	Tanques / Jet Pump	5 ton/h vapor	NO
Corte N° 1.4	Steam out camaras	10 ton/h vapor	NO
Corte N° 1.5	Vapor a SWS + Vapor T-408	5 ton/h vapor	NO
Corte N° 1.7	Vapor a E-1403 + Vapor a E-1404	15 ton/h vapor	NO
Corte N° 2	Inyectores de 1ra VPS	15 ton/h vapor	NO
Corte N° 2.1	DK-E-201	25 ton/h vapor	NO
Corte N° 2.2	DK-E-206	20 ton/h vapor	NO
Corte N° 3	Compresores C-401 (PWF)	10 ton/h vapor	NO
Corte N° 4	Compresores C-201 (FCCU)	5 ton/h vapor	NO
Corte N° 5	Vapor Emergencia horno DKU	24 ton/h vapor	NO

Figura 12 – Herramienta Desarrollada – Panel de Selección de Acciones de Corte de Vapor

3.2.3.7. Control de Aportes Externos y Compensación de Redes

Como se mencionó anteriormente una de las facilidades de la planilla es la de no solo contemplar los máximos posibles aportes de los combustibles, sino, que además se puede enviar el combustible excedente de una red a otra con déficit.

En un panel de la herramienta se pueden visualizar los distintos combustibles, el caudal que se tiene disponible y el que la instalación está demandando.

APORTE EXTERNO			
GN	Gas Natural		
	Actual	12000	Sm3/h
	Total Requerido	11987	Sm3/h
LPG	Gas Licuado del Petróleo		
	Actual	3,0	m3/h
	Total Requerido	3,0	m3/h
DIL	Diluyente		
	Actual	2,8	m3/h
	Total Requerido	2,8	m3/h

Figura 13 – Herramienta Desarrollada – Visualización del Aporte Externo Requerido

En base a esto dentro del balance se puede asignar la compensación correspondiente a la red que lo requiera. Cabe destacar, que cuando la planilla opera en modo Performance, también trae del sistema de control los caudales medidos en la línea de venteo a antorcha; obteniendo la imagen completa de la instalación.

UNIDAD / EQUIPO		G / C	GEN (in)	CON (out)	Cons/Gen Valor Ref	Carga Sistema	Caudal Combustible	LHV Combustible	RG1	RG2
		-	-	-	(kCal/h)	(%)	(kg/h)	(kCal/kg)	(kCal/h)	(kCal/h)
NGS	Natural Gas Supply									
	Gas Natural a RG1	G	RG1		84796959	2	221	8785	1939637	
	Gas Natural a RG3	G	RG3		84796959	75	7239	8785		
LPGS	LPG Supply									
	LPG Comercial a RG1	G	RG1		309314148	0	133	10868	1442964	
Diluyente	Diluyente									
	Diluyente a RL1	G	RL1		300000000	8	2484	10171		
Compensación	Compensación									
	RG2 a RG1	GC	RG1	RG2	20478896	100	848	24146	20478896	-20478896
	RG3 a RG1	GC	RG1	RG3	0	0	0	8785	0	
Flare	Flare									
	Venteo RG1	C		RG1	1152890	100	90	12859	-1152890	
	Venteo RG2	C		RG2	0	0	0	24146		0
	Venteo RG3	C		RG3	0	0	0	8785		
	Balance Global								75903193	0

Figura 14 – Herramienta Desarrollada – Compensación Entre Redes – Venteo a Antorcha

3.2.3.8. Equipos de Operación

Para manejar las distintas unidades de la refinería, la planilla cuenta con un panel desde el cual se puede afectar las mismas. Encendiendo, apagando o modificando la capacidad a la que se encuentran operando, se podrán evaluar las consecuencias en el sistema.

Eventualmente el operador podría tomar la decisión de disminuir la carga de una unidad para bajar el consumo de combustibles para generación energética.

UNIDAD		¿Activa?	Carga Unidad [G: Sm3/h L: m3/h]
FCC	Fluid Catalytic Cracking Unit	SI	70%
	Generación de FG		
	Consumo de FG		
KNHF	Coker Naphtha Hydrofiner	SI	80%
	Generación de FG		
	Generación de ROG		
PWF	Powerformer	SI	55%
	Generación de FG		
	Consumo de FG		
APS	Atmospheric Pipestill	SI	62%
	Consumo de FG		
	Consumo de DIL		
VNHF	Virgin Naphtha Hydrofiner	SI	77%
	Generación de FG		
VPS	Vacuum Unit	SI	88%
	Consumo de FG		
	Consumo de DIL		
HPB	Steam And Power Generation - Boilers	SI	69%
	Consumo de FG		
	Consumo de DIL		
FGT	Fuel Gas Treatment - Sulfur Recovery Unit	SI	36%
	Consumo de FG		
	Consumo GN		
HP	Hydrogen Plant (ALASA)	SI	48%
	Consumo ROG		
	Consumo GN		
DKU	New Delayed Coker	SI	57%
	Generación de FG		
	Consumo de FG		
	Consumo de GN		
DHT	Diesel Hydrotreater	SI	79%
	Generación de ROG		
	Generación de FG		
	Consumo de FG		
	Consumo de GN		
SE	New Flare System	SI	-
	Consumo de FG		

Figura 15 – Herramienta Desarrollada – Unidades Activas - % de Carga de Cada Unidad

Teniendo en cuenta los distintos paneles se puede hacer una combinación de efectos simultáneamente en la planilla y ver los resultados de distintas acciones sobre el balance de masa y energía.

En conjunto el control de la planilla se visualiza:

Modo:	Diseño	Gas Licuado del Petróleo	537	kg/m3	10046	kg/dg
Fecha:	07/07/2021 09:00	Diluyente	667	kg/m3	10171	kg/dg
Período:	30M	Gas Natural	0,6	kg/m3	8185	kg/dg
GN Disponible:	18000 Nm3/h					
GN Disponible:	432000 Nm3/d					
LPG Disponible:	25 m3/h					
LPG Disponible:	25 m3/h					

UNIDAD	¿Activa?	Carga Unidad (kg, Nm3/h, L, m3/d)	Consumo (kg, Nm3/h, L, m3/d)
FCC	SI	130	10504
Fired Catalytic Cracking Unit			
Generador de FG			10504
Consumo de FG			10504
KNHF	SI	45	3096
Coker Regenerador Hidrofiner			
Generador de FG			3096
Consumo de FG			3096
PVVF	SI	55	6391
Pneumoforador			
Generador de FG			6391
Consumo de FG			6391
APS	SI	544	2814
Atmósfera Píscini			
Generador de FG			2814
Consumo de FG			2814
Consumo de DL			13,9
VNF	SI	55	656
Vapores Regenerador Hidrofiner			
Generador de FG			656
Consumo de FG			656
VPS	SI	214	2104
Vapores Unit			
Generador de FG			2104
Consumo de FG			2104
Consumo de DL			0,2
HPB	SI	149	149
Steam And Power Generation - Boiler			
Consumo de FG			149
Consumo de DL			22,4
FOT	SI	10080	201
Fuel Gas Treatment - Sulfur Recovery Unit			
Consumo de FG			201
Consumo de GN			41
HP	SI	853	1262
Hydrogen Plant (ALASA)			
Consumo de FG			1262
Consumo de GN			10454
DKU	SI	166	11250
New Delayed Coker			
Generador de FG			11250
Consumo de FG			3145

CONTINGENCIAS		
Parada Externa		NO
Parada ALASA I	10	tenh rapor
Parada ALASA II		NO
Urnas Termal	10	tenh rapor
Combustor Coker	10	tenh rapor
Parada Compresor PK-201		NO
Parada Compresor C-201		NO
ALASA m-RDG, RDG y FG		NO

ACCIONES DE CORTE DE VAPOR		
Corte IV 1	Tanque / Jet Pump	5
Corte IV 1.4	Steam out control	0
Corte IV 1.5	Vapores VPS + Vapor T-408	5
Corte IV 1.7	Vapores E-1403 + Vapor E-1404	25
Corte IV 2	Regenerador de los VPS	15
Corte IV 2.1	DK-E-201	5
Corte IV 2.2	DK-E-206	0
Corte IV 3	Compresor C-401 (PVVF)	12
Corte IV 4	Compresor C-201 (FCCU)	13
Corte IV 5	Vapores Evaporación term DKU	24

ACCIONES SOBRE EL CONSUMO DE DILUYENTE		
F-1	Cantidad de diluyente	6
F-51	Cantidad de diluyente	3
F-101	Cantidad de diluyente	1
C-23	Cantidad de diluyente	5
C-24	Cantidad de diluyente	0
C-25	Cantidad de diluyente	3,5
C-26	Cantidad de diluyente	1

Figura 16 – Herramienta Desarrollada – Panel de Control

3.2.4. Modo Design

Así como el modo Performance desarrolla el balance a partir de los datos extraídos del sistema de control, el modo Design realiza el balance de masa y energía partiendo de los datos de diseño de los equipos y unidades que conforman la refinería.

Simplemente en el panel inicial se coloca modo Design y los valores de combustible con los que se quiera diseñar.

Modo:	Diseño
Fecha:	7/7/2021 09:00
Período:	30M
GN Disponible:	18000 Nm3/h
GN Disponible:	432000 Nm3/d
LPG Disponible:	25 m3/h
Liq Disponible:	25 m3/h

Figura 17 – Herramienta Desarrollada – Entrada de Datos

Manteniendo los mismos paneles que se describieron para el modo Performance, el modo Design permite evaluar la optimización del diseño general de la instalación, los desvíos en el consumo energético que implica la incorporación de nuevas unidades o la desvinculación de unidades que quedarán fuera de servicio.

3.3. Uso y Usuarios

“Lo que no se mide no se puede mejorar” ...

La planilla de cálculo desarrollada es una herramienta de gestión que permite optimizar la toma de decisiones operativas en la Refinería, que es de fácil comprensión y amplio alcance.

Durante el desarrollo se compartió la herramienta con los futuros usuarios para obtener sus opiniones y así mejorar la interfaz e incorporar visualización de variables de interés para la operación diaria. Fue puesta a prueba ante contingencias obteniendo resultados precisos que ayudaron en la toma de acciones operativas.

Adicionalmente, la planilla permite visualizar el impacto en el sistema energético ante la incorporación de nuevas unidades o la realización de modificaciones en los sistemas existentes, resultando en una herramienta de optimización en el diseño de ingeniería. Lo que se evidenció al evaluar la demanda energética de bajo escenarios de posibles nuevas instalaciones y configuraciones futuras.

4. Conclusiones

La integración energética global de una refinería es un proceso complejo. No solo por la cantidad de unidades y sistemas que podrían intervenir en dicha integración sino porque la naturaleza de la operación de una refinería tiene escenarios operativos cambiantes y situaciones imprevistas. Si bien esta herramienta fue particularizada para una refinería en particular, el método utilizado es extrapolable y escalable a cualquier instalación que necesite monitorear y optimizar su sistema energético.

El trabajo descripto presenta el desarrollo de una herramienta de cálculo versátil que contiene el balance de masa y energía, que se ejecuta en tiempo real obteniendo información del sistema de control. Permitiendo el monitoreo inmediato e identificación de situaciones de vulnerabilidad inminente y los posibles cursos de acción en la estrategia de manejo de la energía.

El sistema es capaz de evaluar distintas fuentes de energía para compensar la demanda y los órdenes de preferencia de consumo en función del costo y disponibilidad.

Adicionalmente es posible evaluar la respuesta del sistema ante la incorporación de unidades futuras y su optimización en el diseño.

En el camino esta herramienta logra el objetivo, no menos importante, de optimizar la eficiencia energética, reducir emisiones, minimizar los costos operativos actuales y futuros.

5. CVs Abreviados

Yamila Belen Peñalba | ypenalba@sparkgy.com

Ingeniera Química (UTN-FRBA)

Antecedentes Profesionales:

- Ingeniera de Procesos, SPARK Energy Solutions, 2020-Act
- Ingeniera de Procesos, Transeparation, 2019-2020.
- Ingeniera de Producto, Edelflex, 2018-2019.
- Ingeniera de Procesos, CONVE AVS, 2016-2018.

Antecedentes Académicos:

- Becaria en Planta Piloto de Ingeniería Química, UTN-FRBA, 2020-2021.

Lucia Haspert | lhaspert@sparkgy.com

Ingeniera Química (UTN-FRBA)

Antecedentes Profesionales:

- Ingeniera de Procesos, SPARK Energy Solutions, 2020-Act.
- Pasante de Ingeniería, Emerson Argentina, 2019-2020.
- Pasante de Investigación y Desarrollo, Unilever Argentina, 2018-2019.

Antecedentes Académicos:

- Becaria de Laboratorio de Química Analítica y Química Analítica Aplicada, UTN-FRBA, 2017-2019.

Juan Martín Pandolfi | jmpandolfi@sparkgy.com

Ingeniero Químico (UTN-FRBA)

Especialista en Petróleo (UBA)

Antecedentes Profesionales:

- Gerente de Ingeniería y Tecnología, SPARK Energy Solutions, 2019-Act.
- Gerente de Ingeniería, Tecna, 2014-2019.
- Jefe de Equipos Mecánicos, Tecna, 2008-2014.
- Responsable de Ingeniería Básica, Tecna, 2006-2008.
- Ingeniero de Procesos, Tecna, 2001-2006.

Antecedentes Académicos:

- Profesor Asociado Integración V - Proyecto Final de Ingeniería Química, UTN-FRBA.
- Profesor Invitado, Curso Técnico - Procesamiento de Gas Natural, IAPG.
- Profesor Invitado, Especialización en Gas - Procesamiento de Gas Natural, UBA-IGPUBA.
- Representante Docente Titular del Consejo Departamental de Ingeniería Química, UTN-FRBA.