

# Simulación computacional de la cadena logística de la Refinería San Lorenzo

**Carlos M. Bacigalupo**  
Petrobras Energía S.A.

Co-autores: **Carlos A. Gratti, Alberto O. Martínez**  
Petrobras Energía S.A.

**Luiz Augusto G. Franzese, Marcelo Moretti Fiorini, Daniel P. Paz**  
Paragon Tecnología

## Introducción

A comienzos de 2005, PESA (Petrobras Energía S.A.) se encontró con una serie de activos y esquemas de producción y distribución asociados que habían sido útiles para responder a las necesidades de las empresas que la integraban hasta su fusión, las cuales operaban de manera cuasi-aislada y con un mínimo nivel de integración entre sí, y no se correspondían con los requerimientos de una empresa integrada en proceso de expansión.

Estos activos que componen el sistema de producción y distribución de combustibles de PESA y los movimientos habituales de crudos y deriva-

dos que se realizan entre ellos pueden verse en la figura 1 de la página 59.

**Refinerías:** San Lorenzo (incluyendo el complejo petroquímico de PGSM (Puerto General San Martín) y Bahía Blanca.

**Plantas de almacenamiento y despacho propias:** Puerto Loyola (crudo), Bahía Blanca (crudo y productos), Dock Sud (crudo y productos), San Lorenzo (crudo y productos) y próximamente Caleta Paula (productos).

**Plantas de almacenamiento y despacho de terceros:** Cabo Negro (productos), Puerto Rosales (crudo), Dock Sud (productos), Campana (productos) y Tucumán (productos).

Los desafíos que buscó resolver la compañía a partir de este trabajo respondieron a dos necesidades:

- Por un lado, responder de forma económica, ágil y segura a una demanda de productos creciente.
- Por otro lado, “integrar” los activos existentes, de manera tal de lograr un sistema único y eficiente.

Los futuros planes de expansión de sus unidades de producción planteaban un problema adicional: ¿cómo determinar y dimensionar las inversiones necesarias de manera tal de alcanzar con éxito los objetivos organizacionales, optimizando recursos, tiempo y garantizando la seguridad de la operación?

Resolver la pregunta antes planteada llevó a enfocar el problema desde distintas ópticas. Entre ellas, se buscaron soluciones desde la experiencia del personal involucrado y se recurrió a sistemas de decisión basados en modelos de ecuaciones lineales habitualmente usados para optimizar la producción o la distribución a clientes.

Sin embargo, nos encontramos con que ninguna de estas opciones nos resultaba completamente adecuada.

En el primero de los casos, el sistema carecía de un soporte que no estuviera viciado de las percepciones personales de los individuos involucrados en el trabajo diario.

El segundo no consideraba los distintos comportamientos que adoptaban las variables intervinientes a lo largo del tiempo (variaciones en la demanda, aleatoriedad en llegada de los navíos, en los volúmenes transportados, etc.). Por lo tanto, el dimensionamiento de los recursos no se expresaba adecuadamente.

Ante estos obstáculos, optamos por recurrir a la experiencia que Petrobras introdujo en Brasil con análisis logísticos denominados “modelos computacionales basados en tecnologías de simulación”.

De esta forma, los nuevos modelos permitieron reproducir integralmente la cadena de *supply chain*, de manera tal de visualizar el comportamiento de los elementos que la componen, tanto a lo largo del tiempo, como a partir de la aleatoriedad que los caracteriza. Las facilidades de producción (unidades en refinería y planta petroquímica), de almacenaje (tanques monoproducción y de *blending*, líneas, bombas), de transporte (ductos, barcos, trenes, camiones) y los factores externos (variabilidad de la demanda, de factores climáticos que afectan la operación, etc.) fueron estudiados y modelados en detalle.

Además, estos modelos permitieron capturar e integrar correctamente otros comportamientos diferentes entre sí: los “procesos continuos” (típicamente asociados a procesos de producción) y los “eventos discretos” (vinculados con el *blending* de productos, al movimiento entre distintas plantas y al despacho de productos

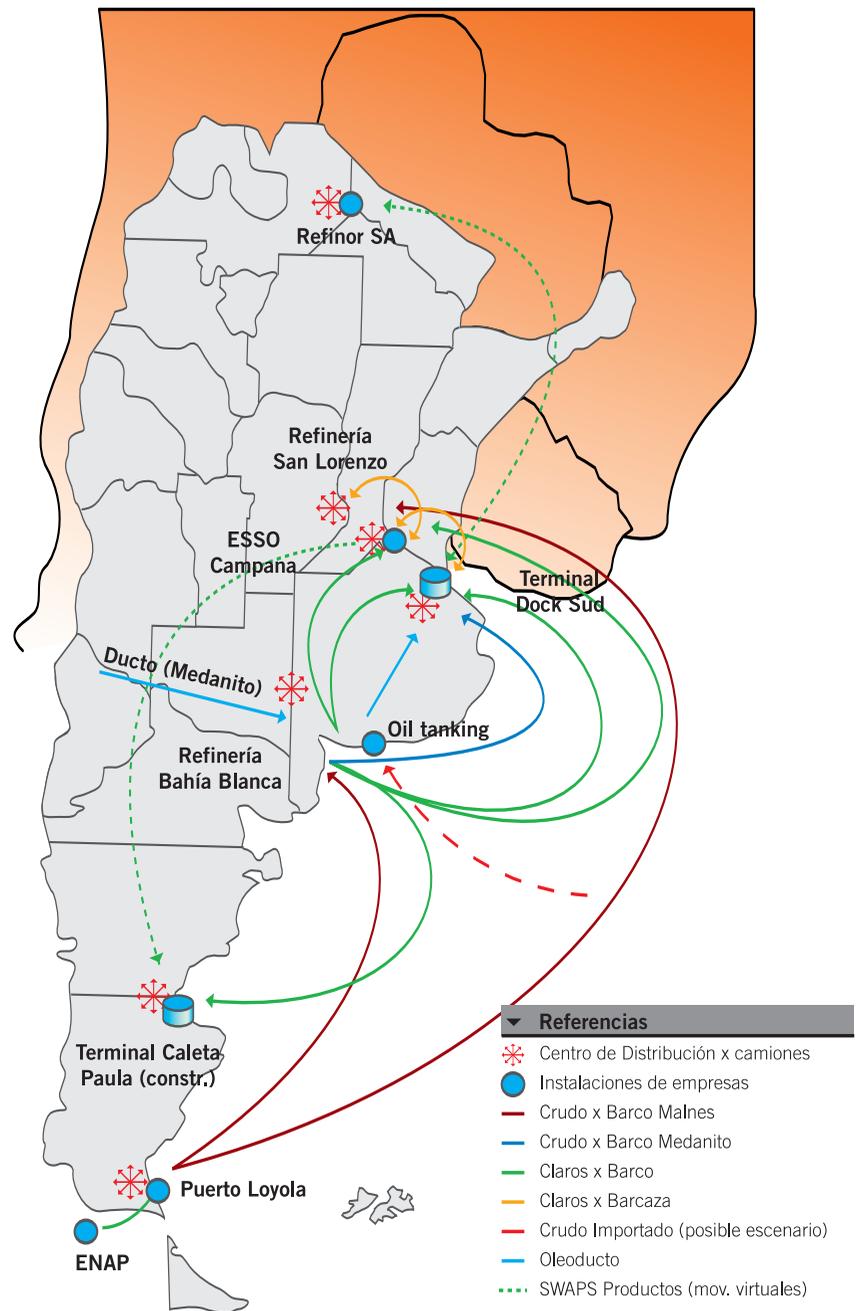


Figura 1. Plantas PESA y movimientos de productos.

por distintos medios de transporte).

A partir de estos cambios y definida la herramienta para estudiar la situación y responder a las preguntas antes planteadas, se pautó un esquema de trabajo secuencial para analizar las plantas y se estableció luego un acercamiento desde lo general a lo particular dentro de cada una de ellas.

En el esquema de estudio de plantas, el orden de prioridad estableció el

siguiente esquema:

- Complejo San Lorenzo – Puerto General San Martín
- Refinería Bahía Blanca
- Plantas de almacenaje y despacho
- Integración del sistema

Por último, y respecto del acercamiento incremental, éste permitió pasar de un entendimiento global del sistema (figura 2 de página 60) a una compren-

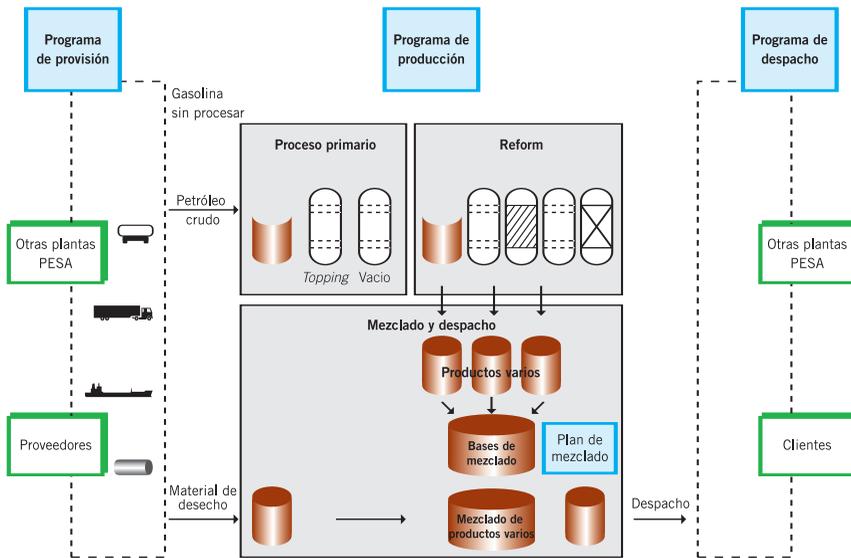


Figura 2. Sistema global del complejo San Lorenzo – PGSM.

sión detallada de los procesos involucrados (figuras 3 y 4 de páginas 60 y 62, respectivamente), para lo cual fue necesario modelar en detalle todas las variables intervinientes (figuras 5 y 6

de la página 64).

Para llevar a cabo el proceso antes descrito, se formó un equipo de trabajo mixto integrado por personal de PESA y de la consultora Paragon Tec-

nología. PESA brindó un líder de proyecto responsable de suministro de información a la consultora, quien por su parte aportó un grupo de especialistas en modelaje y simulación computacional.

Dentro de PESA, participó el personal de todas las áreas involucradas (Planeamiento, Planificación de la Producción, Procesos, Movimientos de Productos, Despacho, Suministros & Trading, Chartering, etc.), quienes trabajaron tanto en el relevamiento como en la validación continua de los resultados obtenidos.

## Desarrollo

Al inicio del trabajo hacia fines de 2005, la primera dificultad a la que se enfrentó el equipo de modelaje fue determinar cómo desarrollar un modelo que no sirviese exclusivamente para facilitar la toma de decisiones en una "única oportunidad", sino también que fuera reutilizable en

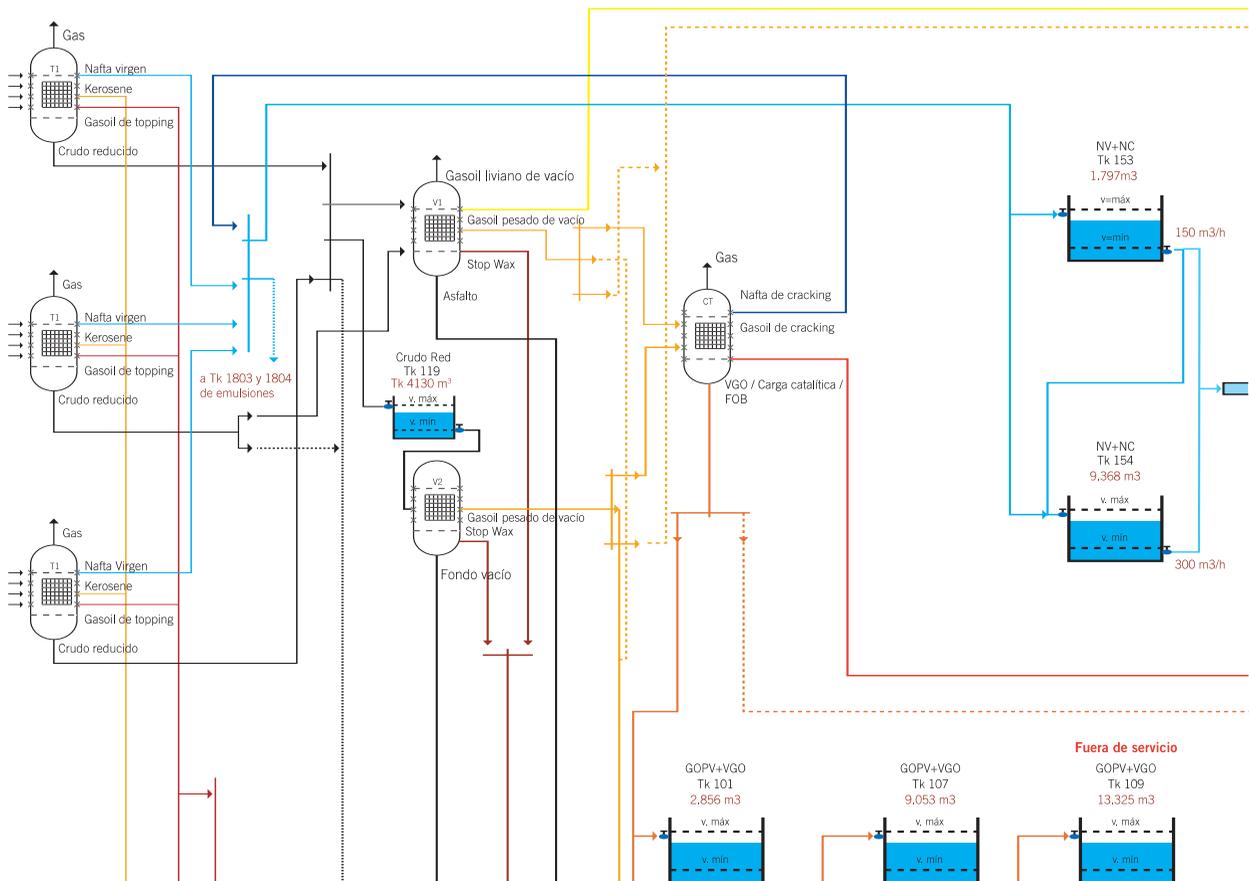


Figura 3. Detalle parcial de unidades, tanques y flujos del complejo San Lorenzo – PGSM.

# otras dos grandes marcas... ...ahora forman parte del grupo **Enraf**

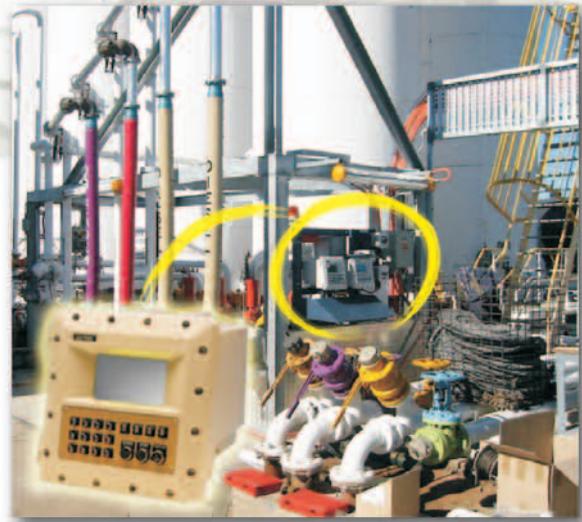


**LUBRIZOL**

ahora se llama

**Enraf** Fluid Technology

- Inyectores de Aditivos
- Sistemas de Blending para Ethanol y Biodiesel



**contrec**  
ahora se llama

**Enraf** Contrec

- Computadores de Carga
- Control de Acceso
- Abastecimiento de Aeronaves
- Control de Combustibles

## y ya tienen derecho al cariñoso servicio técnico de **BRUNO SCHILLIG**

Alejandro Paulucci es nuestro Responsable de Línea Enraf y tiene largos años de experiencia en Plantas de Almacenaje. Si ud. tiene algún equipo Lubrizol o Contrec que necesita atención, calibración, service o repuestos - - o si ud. desea ampliar su capacidad, llámelo! Alejandro tendrá mucho placer en buscar la manera de satisfacer sus requerimientos al menor costo factible.



**Enraf** Terminal Automation

- Medidores de Nivel, Temperatura y Presión
- Software para Control de Existencias



**Enraf** Marine Systems

- Medidores de Nivel para Buques Cisterna
- Alarmas de Sobrellenado
- Sistemas de Detección de Ingreso de Agua



**Enraf** Tanksystem

- Medidores de Nivel Portátiles
- Muestreadores
- Termómetros Digitales

alejandrop@schillig.com.ar  
4730-1100, fax 4761-7244  
Arenales 4030, Florida B1604CFD, PBA.  
www.schillig.com.ar



**BRUNO SCHILLIG**

Automatización, Caudalimetría y Nivelimetría desde 1956

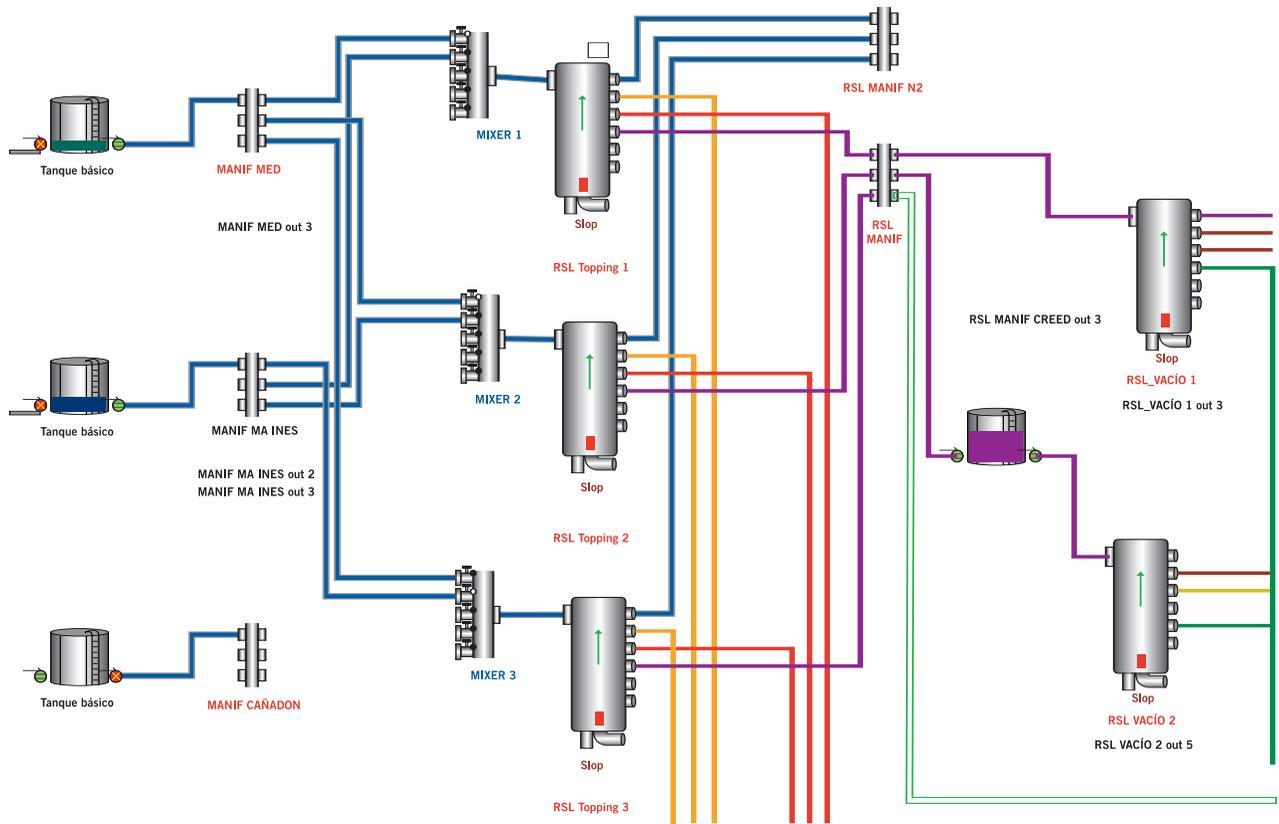


Figura 4. Reflejo dentro del modelo computacional de la figura 3.

situaciones recurrentes dentro de la misma planta e implementable en instalaciones con procesos productivos y logísticos de características similares.

Con el objeto de desarrollar un modelo de "larga vida", se recurrió entonces al desarrollo de *templates* específicos, componentes claves del

modelo computacional y compuestos por elementos creados especialmente por requerimiento de PESA.

Estos elementos tienen un compor-

## La más moderna tecnología en inspección de tanques por MFL (pérdida de flujo magnético)



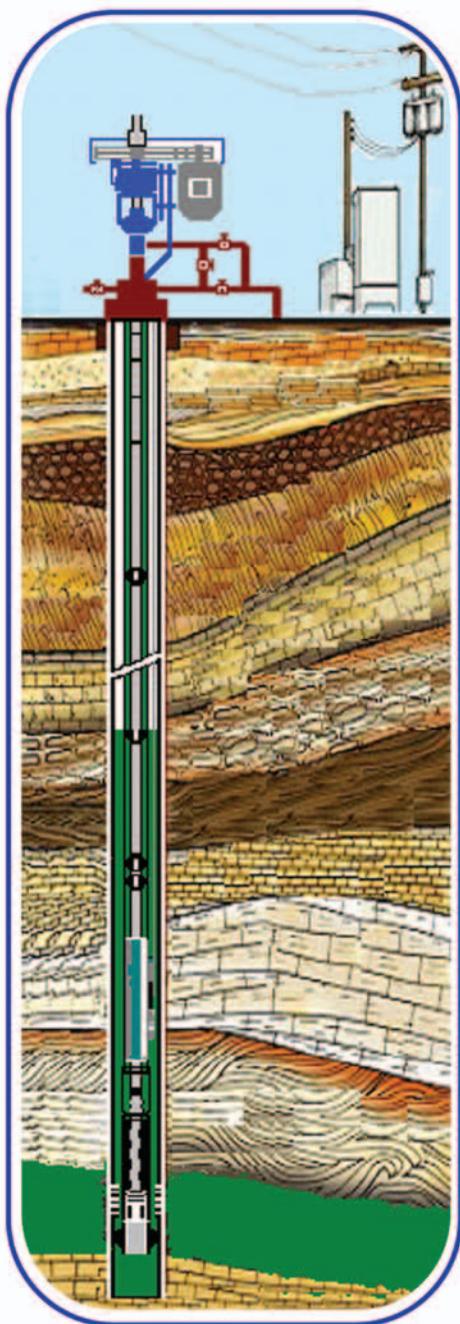
Único sistema en el país capaz de detectar disminuciones de espesor en chapas de acero con total precisión tanto en la ubicación como en la magnitud del defecto. Resultados expresados en un fácil y claro mapeado interactivo.



**Tecnocoating S.A.**  
WWW.TECNOCOATING.COM.AR

Olga Cossetini 1170 • Piso 2, Of. 202 (C1107CFK), Edif. Terrazas del Dique, Puerto Madero Este, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina.  
Tel/Fax (54-11) 5775-0219, E-mail: division.inspecciones@tecnocoating.com.ar.

# CLOSING THE LOOP



## 5 Stars Techs to Optimize your Well



drive-heads



SIEMENS

motors



*Danfoss*

VSD's



AXON  
INSTRUMENTS

down hole  
sensors



PC pumps

**Calidad Internacional impulsando el Crecimiento Nacional**

Belgrano 351 - 2° Piso (1642) San Isidro  
Pcia. de Buenos Aires - Tel./Fax: 4747-7587/7602/7618  
pcpoiltools@pcpoiltools.com.ar - www.pcpoiltools.com.ar

COMODORO RIVADAVIA - NEUQUEN



*The Original.*

**UP Complex**

Nombre:

Capacidad: (m3/hora)

---

Salidas

Productos (Texto)	Rendimientos (m3/m3)
Prod1: <input type="text" value="NV"/>	R1: <input type="text" value="V_MIXER1(1)"/>
Prod2: <input type="text" value="KERO"/>	R2: <input type="text" value="V_MIXER1(2)"/>
Prod3: <input type="text" value="GO"/>	R3: <input type="text" value="V_MIXER1(3)"/>
Prod4: <input type="text" value="CRUDO RED"/>	R4: <input type="text" value="V_MIXER1(4)"/>
Prod5: <input type="text"/>	R5: <input type="text" value="0"/>
Prod6: <input type="text"/>	R6: <input type="text" value="0"/>
Prod7: <input type="text"/>	R7: <input type="text" value="0"/>

---

Interrupciones Operativas

Carga Minima Operativa: (m3/hora)

Tiempo Puesta en Marcha: (m3)

Volumen Interno: (m3)

**Mixer**

Nombre:

FlujoMax: (salida)

% Valvulas Entradas

Entrada1:	Entrada2:	Entrada3:	Entrada4:	Entrada5:
<input type="text" value="0.9"/>	<input type="text" value="0.10"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>

Productos Entradas

	A1:	B1:	C1:	D1:	E1:
P1: <input type="text" value="R_NV"/>	0.2315	0.3900	0.0718	0.000	0.000
P2: <input type="text" value="R_K"/>	0.1647	0.2152	0.1615	0.000	0.000
P3: <input type="text" value="R_GO"/>	0.1563	0.2053	0.1853	0.000	0.000
P4: <input type="text" value="R_CR"/>	0.4448	0.1844	0.5785	0.000	0.000
P5: <input type="text"/>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Nota: "A" corresponde a la entrada de mas arriba

Figuras 5 y 6. Modelado en detalle. Ejemplo en las cargas y rendimientos en topping 1.

tamiento similar independientemente del lugar físico donde se encuentren emplazados (por ejemplo: un tanque

con una determinada capacidad de almacenamiento que recibe "n" corrientes las mezcla en un tiempo

"x" y luego disponibiliza un producto "z" como salida) y, si bien determinar y crear la cantidad de ellos que iba a ser necesaria insumió un tiempo próximo a los tres meses, en la actualidad están disponibles para su utilización "instantánea" en los modelos actuales o a crearse.

De esta manera, se definieron elementos con sus respectivos comportamientos e indicadores asociados, como ser: tanques, tanques de *blending*, unidades de proceso, tuberías simples de conexión, poliductos, *manifolds*, bombas, válvulas reguladoras, válvulas derivadoras, mezcladores, muelles, camiones, cargaderos de camiones, etc.

Un ejemplo de los elementos típicos considerados en ellos es el expuesto en la figura 7 de la página 66.

Definidos los elementos con los cuales se iba a desarrollar el trabajo, se avanzó en dos frentes distintos y simultáneos:

- Relevamiento de información histórica correspondiente a los seis últimos meses de operación.
- Construcción de flujogramas detallados de las distintas plantas.

Dentro del punto a) se relevó información de volúmenes despachados por día, producto y medio de transporte; lotes típicos de pedidos, formulación y bombeo por producto; navíos utilizados y módulos transportados por tipo de operación (ventas, importaciones y exportaciones); compras de materias primas con sus respectivos puntos de pedidos; formulaciones típicas de *blendings*; situación de la planta al día "cero" de la simulación (*stocks* por tanque, situación de los navíos, etc.); capacidades de las unidades de producción; rendimientos típicos; capacidades de los distintos cargaderos de productos; capacidades de líneas, poliductos y bombas. Un ejemplo de la información relevada puede visualizarse en la tabla 1 de la página 66.

Para llevar a cabo el punto b), se efectuaron reuniones periódicas con el personal de las distintas áreas mencionadas precedentemente, con el objetivo de determinar por cada una de las plantas que integran el complejo San Lorenzo (Refinería y Puerto General

## FAROL A GAS



Proveemos a las principales generadoras de electricidad del gas necesario para su funcionamiento.

Gracias a esto, miles de personas reciben diariamente la energía que necesitan para iluminar sus hogares.



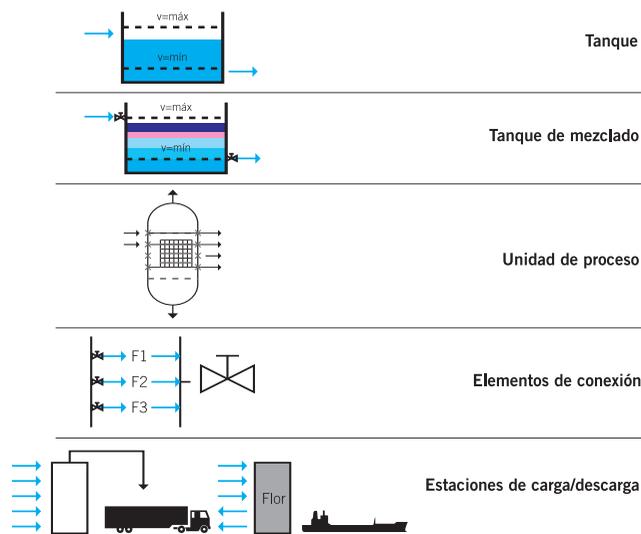


Figura 7. Componentes típicos de la planta de refinación.

San Martín) un flujograma único en el cual se reflejaran las unidades intervinientes, los flujos de entrada y salida de cada una de ellas, las alternativas de derivación de cada corriente y los tanques intermedios y finales, así fueran de *blending* o de producto. A modo de ejemplo, en la figura 8 de la página 68 podemos visualizar un flujograma detallado de

**Ventas por camiones**

**Planta fluvial**

			Volúmenes		
			Mes	Media diaria	Desv. Est.
Livianos	Nafta normal 86+	m3	2.539	99	36
	Nafta super 95+	m3	10.215	399	129
	Nafta Podium	m3	2.779	109	42
	Kerosene	m3	202	8	11
	Gas Oil	m3	47.394	1.850	575
Pesados	IFO	tn	741	29	26
	Fuel Oil	tn	2.315	91	54

Tabla 1. Ejemplo del tipo de información relevada: ventas por producto y planta.



SOLUCIONES EN DESARROLLOS PARA LA INDUSTRIA DEL PETROLEO

Asesoramos, desarrollamos y producimos todo tipo de piezas para petróleo

- Puentes de producción
- Válvulas de retención
- Uniones dobles
- Cuplas
- Niples
- Niples de reducción
- Accesorios forjados
- Bridas

Desarrollamos: Bridas forjadas, Uniones dobles y Válvulas de todo tipo.

Piezas en aluminio, cobre, acero inoxidable, bronce, latón y fundición

Asesoramiento técnico en planta, desarrollos especiales según cliente

Planta propia de tratamientos térmicos, antidesgaste y recubrimientos en Nickel, Cromo y Zinc

**CONSULTENOS**

**Olivos - ARGENTINA**  
fabricación y administración

Debenedetti 3895, Tel. +5411-4005-5540  
(CP: 1636) Bs. As. Fax. +5411-4005-5587

**Córdoba - ARGENTINA**  
Figueroa Alcorta 124 10 G  
Tel: 0351 (15) 4032098

**Monterrey - MEXICO**  
Camino de los Tzetzontles 329-A  
Col. San Jermo - Monterrey N.L.  
Tel. 83-33-77-38  
Fax. 83-33-77-18

info@duralitte.com  
www.duralitte.com



# Más energía



## para un país con más fuerza

En Transportadora de Gas del Norte, sabemos que el gas natural es una fuente de energía fundamental para el crecimiento del país.

Por eso trabajamos con vocación de servicio, comprometidos con nuestra labor. Desarrollamos nuevas tecnologías e implementamos procesos de máxima seguridad y calidad, asegurando el cuidado del medio ambiente y promoviendo el desarrollo sustentable de las comunidades regionales cercanas a los gasoductos.

Desde el inicio de nuestras operaciones en 1992, incrementamos nuestra capacidad de transporte en un 141%. En la actualidad transportamos diariamente más de 54,4 millones de m<sup>3</sup> de gas natural, que abastecen el centro y norte de la República Argentina a través de los 5.716 km de gasoductos que componen el sistema TGN.

Trabajamos activamente en la expansión de una infraestructura que impulse el desarrollo de la industria y potencie el crecimiento de la economía en su conjunto.

*En TGN, trabajamos para la Argentina que todos queremos.*



**TRANSPORTADORA  
DE GAS DEL NORTE S.A.**



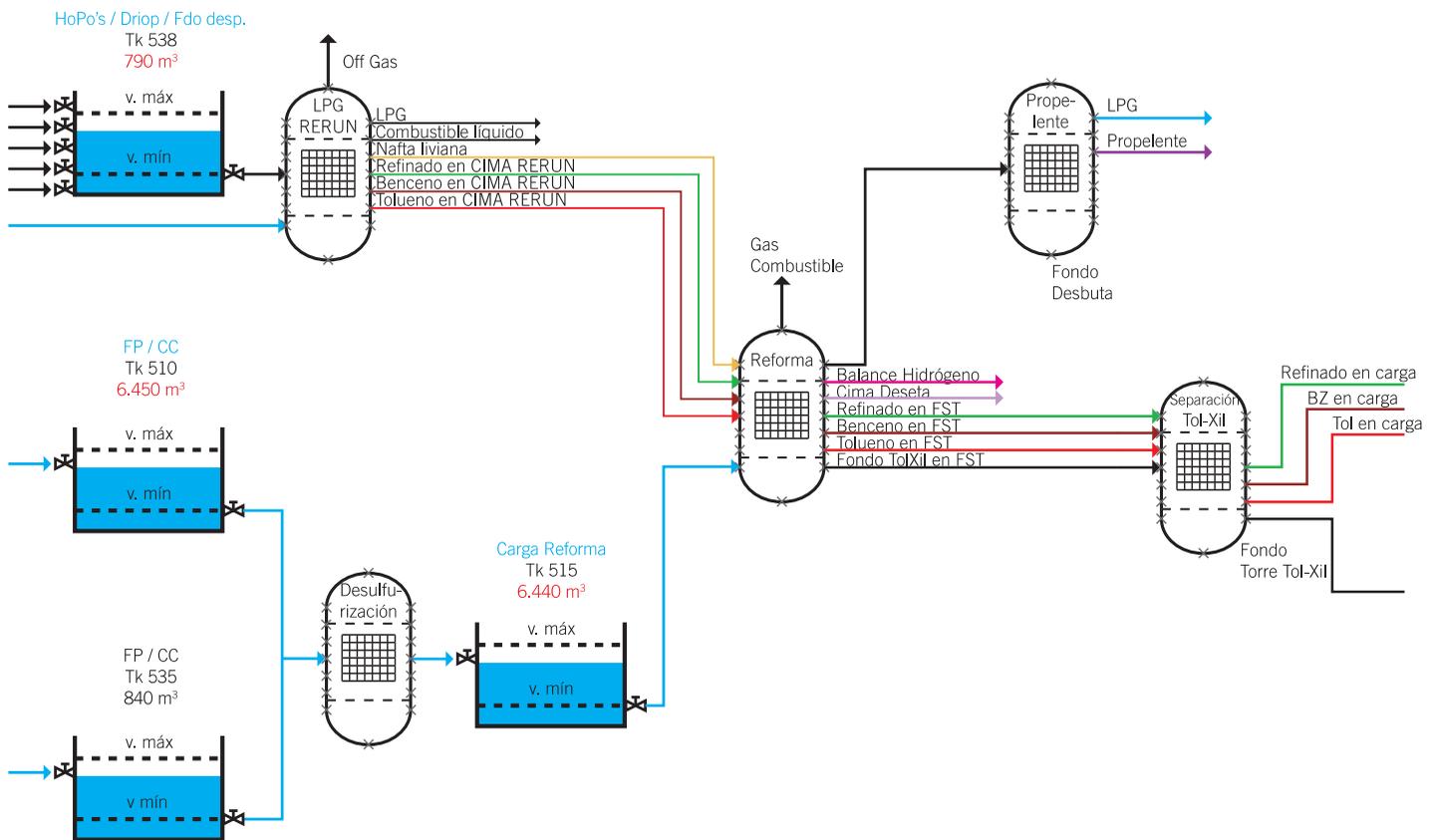


Figura 8. Flujograma detallado de parte del sistema de PGSM.

darse tanto por factores externos (por ejemplo: imposibilidad de cargar camiones de combustibles fuera de una banda horaria establecida) o intrínsecos del proceso (por ejemplo: imposibilidad de bombear simultáneamente dos corrientes determinadas a un mismo tanque).

Con los flujogramas y con el listado de restricciones y reglas operacionales con un alto grado de avance, se procedió a volcar en el modelo computacional toda la información recopilada.

En la figura 9 se puede visualizar parte del flujograma expuesto antes en la figura 8 ya volcado y "funcionando" dentro del modelo computacional. En él podemos observar el nivel de los tanques, sus flujos de entrada y salida, la carga promedio de las unidades, los rendimientos de salida y los destinos de éstos, transcurridos algunos días de la simulación.

Con los flujogramas, las reglas de operación, las restricciones, las demandas de clientes, los tipos y módulos de transportes volcados al

modelo computacional, se dio comienzo a la etapa más crítica en lo que hace a la validez del modelo como herramienta para la toma de decisiones: la *validación* de los resulta-

dos con los usuarios.

Esta etapa de validación requirió de continuas corridas del modelo y de sucesivos ajustes tanto de las premisas consideradas como de aquellas que

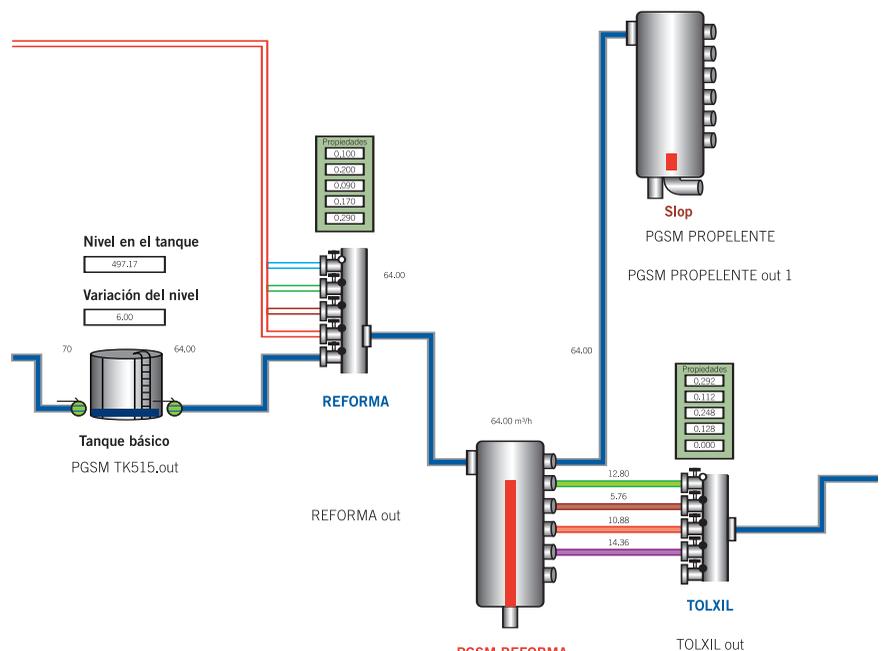


Figura 9. Visión parcial del funcionamiento del modelo dentro del complejo de PGSM.

# Soluciones en Intercambio Térmico

25 años de experiencia en el diseño y fabricación de equipos para la industria de procesos, bajo normas TEMA - ASME - API



## Línea de fabricación

- Aeroenfriadores
- Intercambiadores casco y tubos
  - Tubos aletados
- Generadores de vapor
  - Recipientes a presión
- Condensadores de vapor
- Paquetizado de compresores a tornillo
- Economizadores de aceite.
- Plantas de enfriamiento

Servicios de Montaje, Instalación y Mantenimiento están disponibles para toda nuestra línea de productos.

Representaciones:



**BALTIMORE AIRCOIL COMPANY INC.**  
Baltimore, Maryland 21227 USA  
Equipos de enfriamiento evaporativo, torres de enfriamiento, enfriadores de fluidos industriales en circuito cerrado, condensadores evaporativos para NH3 ó refrigerantes fluorados.



**SEMCO EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, Sao Pablo, Brasil.**  
División SEMCO-BAC  
Licenciataria de la línea Baltimore Aircoil Company INC  
División Procesos Mezcladores, agitadores emulsificadores



**TRANTER INC, Augusta, Georgia, USA**  
Intercambiadores de calor a placas PHE Superchanger, PHE soldadas Swep, Maxchanger, Plate Coil.



**SWEP International AB**  
Landskrona, Suecia  
Intercambiadores de placas soldadas CBE's  
Condensadores, evaporadores, enfriadores de agua o aceite.

EPSILON  
4941-7900



**argenfrio** S.A.I.C.

Visite Nuestro Web Site en [www.argenfrio.com.ar](http://www.argenfrio.com.ar)

Diagonal 141 N° 1857 - (B1650FNC) San Martín - Prov. de Bs. As. - República Argentina

Tel.: (54-11) 4750-0734 (L.R.) y 4750-2057 / 0388 - Fax: (54-11) 4759-2699 - E-mail: [argenfrio@argenfrio.com.ar](mailto:argenfrio@argenfrio.com.ar)

por error se habían omitido (típicamente restricciones operacionales). De esta manera, luego de casi un mes de trabajo, se logró alcanzar un modelo que trabaja con un rango de error menor al 5% en lo que hace a cargas de crudo procesadas y productos evacuados del sistema.

En todo este período, fue crítica la “visualización” del modelo por parte de los usuarios. De esta forma, la sensación de “representación de la realidad” afianzó la confianza en aquél, al evitar la resistencia que generan otras herramientas que no ofrecen esta alternativa. Otro ejemplo del modelo en operación, esta vez en la sección de despacho, puede ser visto en la figura 10.

Un elemento clave en el proceso de validación fue el continuo monitoreo de la situación de la planta durante el transcurso del tiempo. En las figuras 11 y 12 de las páginas 70 y 71, respectivamente, podemos observar algunos de los reportes que genera el modelo minuto a minuto y que sirven como una suerte de “panel de control” al operador del modelo.

A continuación, una vez que el modelo desarrollado fue validado y

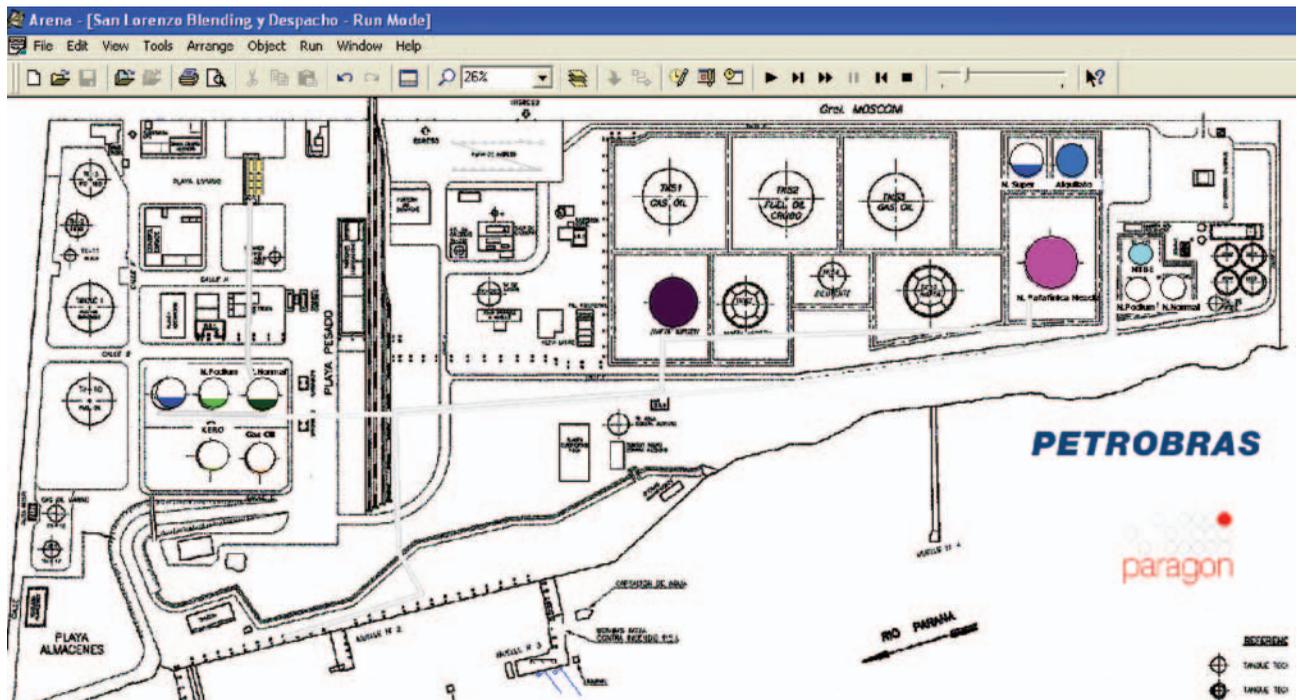


Figura 11. Panel de control: stocks en tanques de crudo, barcos cargados y descargados, volúmenes y despachados.

considerado apto para la toma de decisiones, se procedió a listar las modificaciones planeadas en las unidades de proceso y a analizar el comportamiento simulado en caso de que tanto el resto de los activos (líneas, bombas, tanques) como las reglas y

restricciones de operaciones se mantuviesen sin efecto.

Acto seguido, se enumeraron todas las modificaciones estructurales (tanques de almacenamiento, *blending*, aumento en las capacidades de bombeo y despacho, muelles) que a priori



el personal de Operaciones consideraba que podían resolver los diversos cuellos de botellas generados tanto por las modificaciones planeadas como por el escenario de demanda futura.

De esta manera, se introdujeron en el modelo los cambios sugeridos y se volvió a transitar el camino de: flujo-grama -> determinación de reglas de operación -> validación de resultados -> correcciones -> validación de resultados -> aprobación modelo final simulando situación futura.

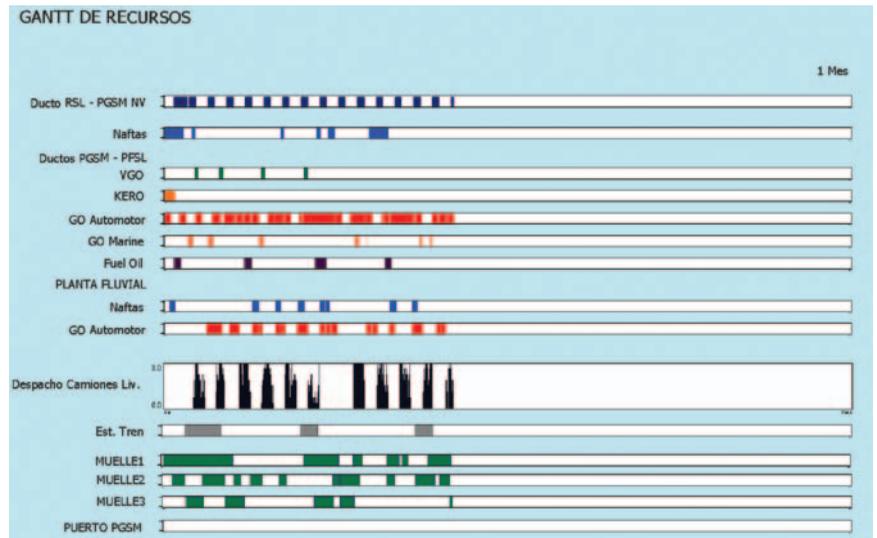


Figura 12. Panel de control: utilización de ductos y muelles.

## Conclusiones

Fue posible diseñar una herramienta que, bajo el formato de un modelo de simulación, permitió validar los esquemas de operación y determinar las inversiones necesarias para que el sistema de Refinería San Lorenzo – Puerto General San Martín afronte exitosamente los escenarios productivos y comerciales de los próximos años.

Adicionalmente, análisis futuros relacionados con eventuales modifica-

ciones de los esquemas de producción, movimientos y despachos dentro del complejo RSL-PGSM son factibles con mínimas modificaciones al modelo computacional desarrollado.

Por último, gracias a la generación de los *templates* genéricos antes mencionados, el modelo de este complejo será fácilmente adaptado al resto de las plantas integrantes del sistema de PESA en lo que hace a producción y distribución de combustibles. ■

## Bibliografía

- Arons, H. S.; Asperen, E.; Dekker, R.; Polman, M. (2004), *Coordination in a supply chain for bulk chemicals, proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, USA.
- Ruiter, K. C. R.; Sluijs, J. M.; Stoutjesdijk, W. B. (2000), *Simulation for recurring decisions, proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, USA.

