

¿Son seguras nuestras instalaciones?
Aseguramiento de integridad en grandes instalaciones con cambios constantes

Bruno, Dante dbruno@pan-energy.com
Alpert, Melina malpert@tecna.com
Di Campli, Yanina mdicamplici@tecna.com
Dominguez, Juan Carlos jdominguez@tecna.com

SINOPSIS

El cambiante escenario productivo demanda cambios constantes en las instalaciones. A pesar que dichos cambios se encuentren (o no) adecuadamente registrados, se esta ante la duda... siguen siendo nuestras instalaciones seguras?

Aquí se presenta un caso de una instalación que cuenta con: seis plantas compresoras, tres plantas de tratamiento de gas, tres sistemas de venteo y más de 85 km de cañerías de interconexión; en un área de más de 60 km².

En dicha instalación, se realizó un análisis cualitativo de riesgos con el fin de determinar los posibles escenarios de riesgo. A continuación, se modelaron dichos escenarios tanto en estado estacionario como dinámicamente para identificar cómo se comportarían los elementos de seguridad existentes y si éstos eran o no adecuados para garantizar la integridad de las instalaciones (evitando sobrepresiones y manteniendo los caudales de alivio por debajo de las capacidades máximas de los sistemas de venteo).

En resumen, el presente trabajo revisa cómo fueron identificados los riesgos y escenarios en una instalación compleja y cómo fueron analizadas distintas salvaguardas para definir si eran adecuadas o no para garantizar la integridad de las instalaciones.

INTRODUCCIÓN

Pan American Energy (PAE) es el segundo productor de hidrocarburos de la Argentina. Fue creado por BP y Bidas en 1997 con el objetivo de desarrollar el negocio energético en la región de Sudamérica. La cuenca de interés del presente trabajo es la del “Golfo San Jorge”, la cual produce más de 15900 m³/d (100000 bbl) de crudo y más de 7 MMSMCD (247 MMSCFD) de gas.

Tecna es una empresa global de ingeniería y construcciones, con más de 700 empleados y más de 35 años de experiencia en el mercado energético. Tecna ha contribuido con PAE en este estudio.

DESARROLLO

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Se presenta a continuación un esquema básico de la producción de gas.

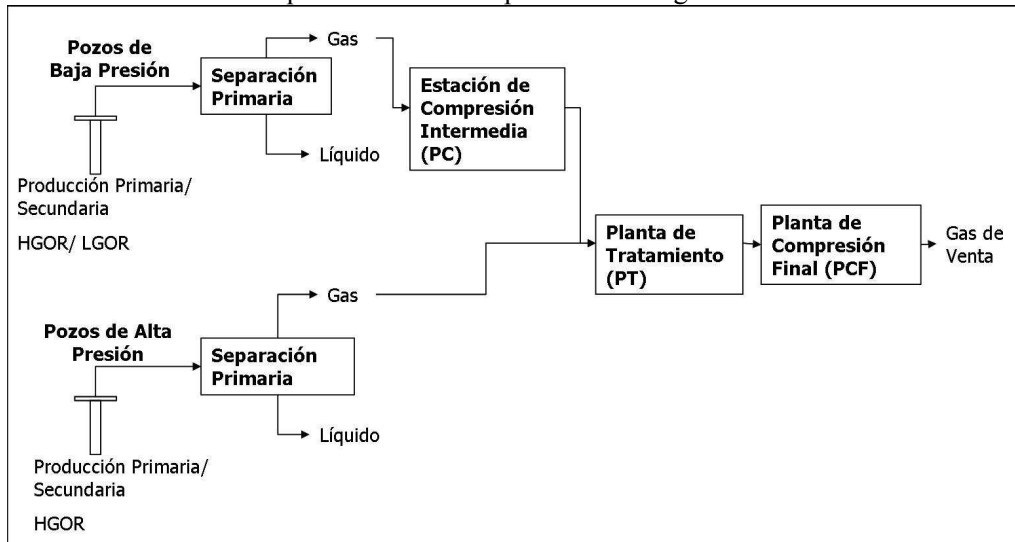


Figura 1. Sistema de Gas Básico.

Un esquema detallado del sistema de gas se presenta a continuación. Es una red de cañerías de alta complejidad, en donde las distintas instalaciones se encuentran interconectadas. Un evento en una de las Plantas de Tratamiento de Gas puede afectar no sólo la Planta Compresora que la alimenta sino otras instalaciones aguas arriba o aguas abajo conectadas por la misma red de cañerías.

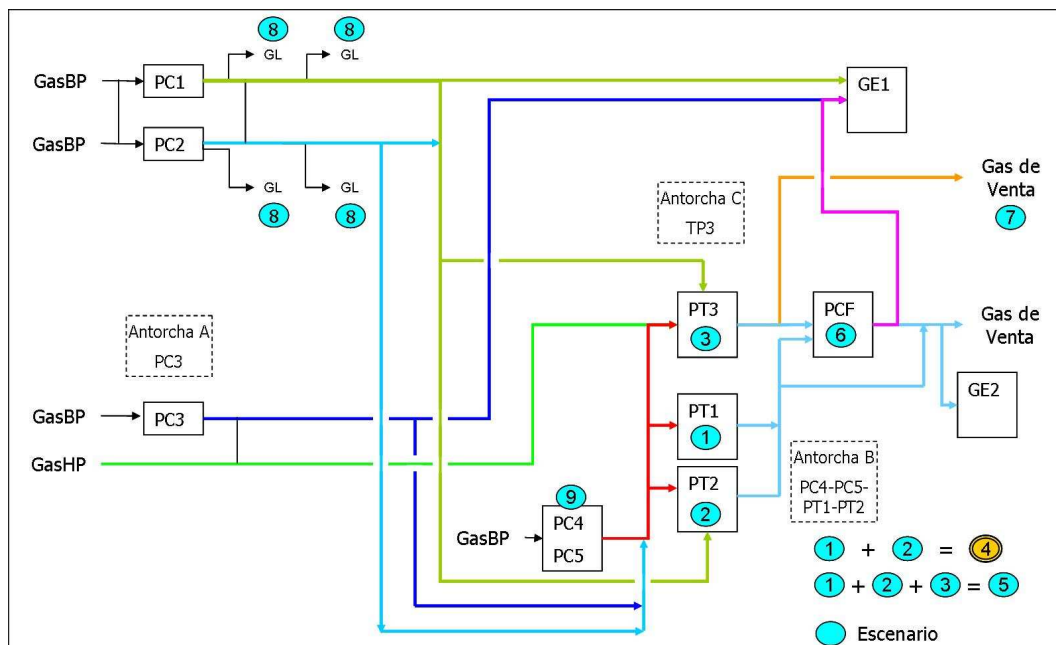


Figura 2. Sistema de Gas Detallado.

ESQUEMA DE TRABAJO

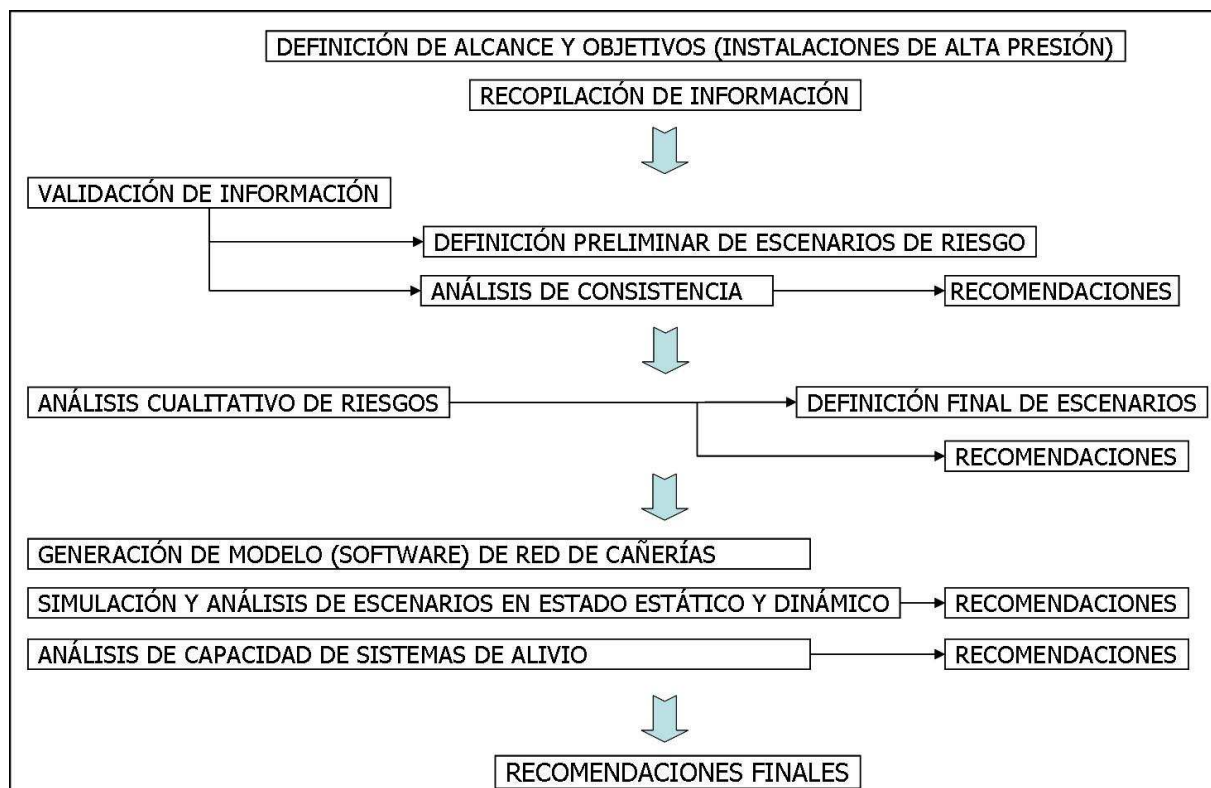


Figura 3. Esquema de Trabajo.

DEFINICIÓN DE ALCANCE (FÍSICO Y CONCEPTUAL) Y VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN DE PARTIDA

El estudio se enfocó en las instalaciones de alta presión, incluyendo cinco Plantas Compresoras intermedias, una Planta de Compresión Final, tres Plantas de Tratamiento de gas y más de 85 km de cañería de interconexión, como se muestra en la Figura 2. El objetivo principal del estudio era analizar si las protecciones existentes para el evento de alta presión, eran adecuadas o no para garantizar una operación segura ante distintos escenarios posibles.

Una vez definidos el alcance y objetivo del estudio, toda la información a ser utilizada fue validada. La tarea de validación de la información fue tanto compleja como esencial. Se verificaron todos los seteos de las alarmas y los elementos de seguridad, junto con datos operativos y se solucionaron todas las inconsistencias encontradas. Adicionalmente, se verificó que las recomendaciones de los estudios de seguridad (HAZOP) previos al proyecto hayan sido ejecutadas (o respondidas de alguna manera) y documentadas adecuadamente.

Durante el proyecto, se analizaron dos situaciones, un escenario actual y uno futuro, teniendo en cuenta posibles cambios en los valores de caudal y modificaciones en las instalaciones. Para mayor simplicidad, en el presente trabajo sólo se expone el escenario futuro.

En ésta fase del trabajo, las principales recomendaciones fueron: correcciones en seteos incorrectos (presiones de seteo mayores a aquellas de diseño) y correcciones en errores en documentación.

DEFINICIONES DE ESCENARIOS Y ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS

Con el objetivo de analizar posibles riesgos y sus consecuencias, se llevó a cabo un estudio cualitativo de riesgos.

Un equipo multidisciplinario participó en el estudio, incluyendo representantes de los sectores de gestión, operaciones, procesos y seguridad así como también un consultor de seguridad, quien lideró la reunión.

La desviación de mayor interés era la de alta presión. El sistema analizado, como se dijo previamente, era el sistema de alta presión que alimenta las Plantas de Tratamiento 1,2 y3, Generación Eléctrica, consumos de Gas Lift y gas de venta. Se analizaron nueve escenarios con sus consecuencias, salvaguardas y recomendaciones. Estos escenarios fueron definidos considerando la probabilidad y factibilidad de ocurrencia en la vida de las instalaciones en estudio.

- Escenario 1: Paro Planta de Tratamiento 1
- Escenario 2: Paro Planta de Tratamiento 2
- Escenario 3: Paro Planta de Tratamiento 3
- Escenario 4: Paro simultáneo de Planta de Tratamiento 1 & 2
- Escenario 5: Paro simultáneo de Planta de Tratamiento 1,2 & 3
- Escenario 6: Paro Compresora Final
- Escenario 7: Bloqueo de Cañería de Gas 1
- Escenario 8: Bloqueo de inyección de Gas lift (Intermitente y No Intermitente)
- Escenario 9: Paro simultáneo de Plantas Compresoras 4 & 5.

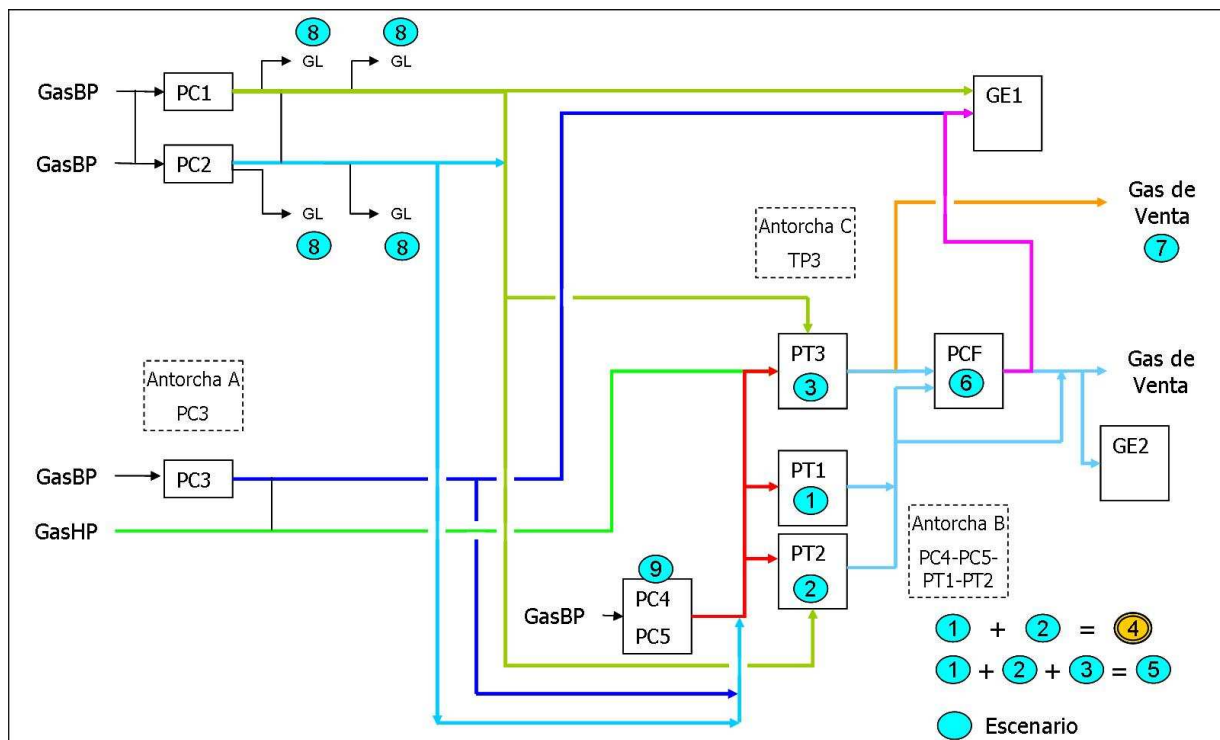


Figura 4. Definición de escenarios.

Tabla 1. Recomendaciones Análisis Cualitativo de Riesgos.

A continuación se presenta, a modo de ejemplo, el resumen de las recomendaciones del análisis cualitativo de riesgos para el escenario 4.

Nodo: 2. Sistema de Gas de alimentación a Plantas de Tratamiento 1, 2 &3, Generación eléctrica & consumos de Gas Lift y Gas de Venta. Escenario Futuro. Desviación: 1. Alta Presión				
Escenario	Consecuencia	Salvaguarda	Recomendaciones	Responsable
4. Paro simultáneo de Planta de Tratamiento 1 & 2	1. Paro de Plantas Compresoras 4 & 5.	1. Válvula de control de sobrepresión en descarga de compresores, Planta Compresora 1.	10. Verificar que las nuevas instalaciones (a instalar aguas abajo de las Plantas Compresoras 1& 2 y que procesarán el mismo gas que la Planta de Tratamiento 1) puedan manejar un posible aumento de presión debido al paro simultáneo de las Plantas de Tratamiento 1 & 2.	Procesos
		2. Válvula de Seguridad (Full flow) en cada compresor en las Plantas Compresoras 1 & 2.		
	2. Alto caudal en entrada a Planta de Tratamiento 3 (si la entrada a las plantas de tratamiento 1, 2 & 3 se encuentran conectadas).	3. Válvula de control de sobrepresión en descarga de compresores, Planta Compresora 2.	11. Verificar que el sistema de venteos pueda manejar el alivio simultáneo de Full Flow y Blowdown de las Plantas de Tratamiento 1 &2.	Procesos
	3. Posible Paro de Planta de Compresión Final.	4. Elementos de seguridad propios en Plantas Compresoras 1 & 2	12. Actualizar la Matriz Causa Efecto.	Operaciones
	4. Alta Presión en Plantas Compresoras 1 & 2.	5. Válvula de control de sobrepresión en descarga de compresores, Planta Compresora 4 & 5.		
	6. Posible alta presión en Planta Compresora 3.	6. Válvula de control de sobrepresión en descarga de compresores, Planta Compresora 3.		
	7. Aumento de presión y caudal en las nuevas instalaciones instaladas aguas abajo de Plantas Compresoras 1 & 2, que procesarán el mismo gas que la Planta de Tratamiento 1	7. Válvula de Seguridad (Full flow) en cada compresor en la Planta Compresora 3.		
		8. Paro Planta Compresora 3.		

ANÁLISIS

Con el objetivo de evaluar las recomendaciones surgidas del Estudio Cualitativo de Riesgos, se realizaron tres estudios:

- Cálculo hidráulico en estado estático, con la intención de definir y validar el modelo a utilizar en los cálculos hidráulicos en estado dinámico.
- Cálculo hidráulico en estado dinámico para poder analizar la respuesta del sistema frente a distintos escenarios.
- Análisis de la capacidad de los Sistemas de Alivio con la finalidad de poder asegurar que no existe sobrepresión en ninguna de las instalaciones.

Dichos estudios fueron realizados para todos los escenarios, excepto el 8. Esto es debido a que durante el estudio cualitativo de riesgos se determinó que estos eventos no causaban ningún efecto significativo en las instalaciones ni ningún problema de seguridad.

Por otro lado, el equipo de trabajo propuso dos nuevos escenarios: Paro de la Planta Compresora 1 y Paro de la Planta Compresora 2.

En el presente trabajo, se presenta únicamente un escenario por motivos de simplicidad. El escenario elegido es el 4 (Paro simultáneo de las Plantas de Tratamiento 1 & 2).

Análisis en Estado Estático y Dinámico

Los cálculos del estado estático se realizaron luego de cargar las instalaciones y la red de cañerías del sistema en análisis en el software elegido para realizar tanto los cálculos estáticos y dinámicos.

Con el objetivo de poder realizar esto de una manera sencilla pero sin perder la exactitud deseada, se realizaron ciertas simplificaciones:

- Se consideraron a las Plantas Compresoras como aportes constantes de caudal.
- Se consideraron a las cañerías de conducción de gas como nodos de presión constante.
- Se consideraron a Gas Lift y Generación Eléctrica como consumos constantes de caudal.
- Se consideró la caída de presión en las Plantas de Tratamiento como proporcional al caudal circulante por las mismas.

Asimismo, se realizaron las siguientes consideraciones adicionales:

- Temperatura constante y uniforme para toda la red de cañerías.
- Gravedad específica de gas constante.
- Rugosidad de cañería de gas 0.0009 pulgadas.
- El cierre de las válvulas de Shutdown se realiza en 1seg/pulgada de diámetro.
- Se considera que luego de 0.5 segundos de llegar a su valor de seteo, las válvulas de alivio se encuentran totalmente abiertas.

Con estas consideraciones y simplificaciones, se realizaron los cálculos hidráulicos en estado estático y se validaron los resultados con datos operativos corrigiendo cualquier desviación encontrada.

A continuación, se realizaron los cálculos hidráulicos en estado dinámico con el objetivo de analizar el comportamiento del sistema frente al paro simultáneo de las Plantas de Tratamiento 1 & 2.

Tabla 2. Consecuencias del Escenario 4.

Evento	Tiempo	Consecuencia
1	8 seg	Alarma de alta presión en descarga PC4/ 5
2	8 seg	Apertura de válvula de sobrepresión en descarga PC4/ 5
3	8 seg	Apertura de válvula de seguridad en descarga PC4/ 5
4	9 seg	Apertura de válvula de sobrepresión en PT3 por alto caudal
5	9 seg	Cierre de válvula de shutdown en entrada a PT3 por alto caudal
6	51 seg	Apertura de válvula de sobrepresión en entrada a PT3
7	2 min 50 seg	Apertura de válvula de seguridad en descarga PC3
8	9 min 54 seg	Alarma de alta presión en descarga de PC3
9	15 min 58 seg	Apertura de válvula de seguridad en entrada a PT3
10	27 min 27 seg	Alarma de muy alta presión en descarga PC3
11	27 min 34 seg	Cierre de válvula de shutdown en descarga PC3. Paro de PC3

Nota 1: Todos los tiempos se encuentran referidos al instante inicial del evento iniciador. Todas las simulaciones poseen su origen en el estado estático correspondiente a cada escenario.

La Figura 5 muestra la ubicación y los valores de seteo de presión y caudal de cada elemento de seguridad que debe actuar para el escenario 4, es decir, paro simultáneo de las PT 1 & 2.

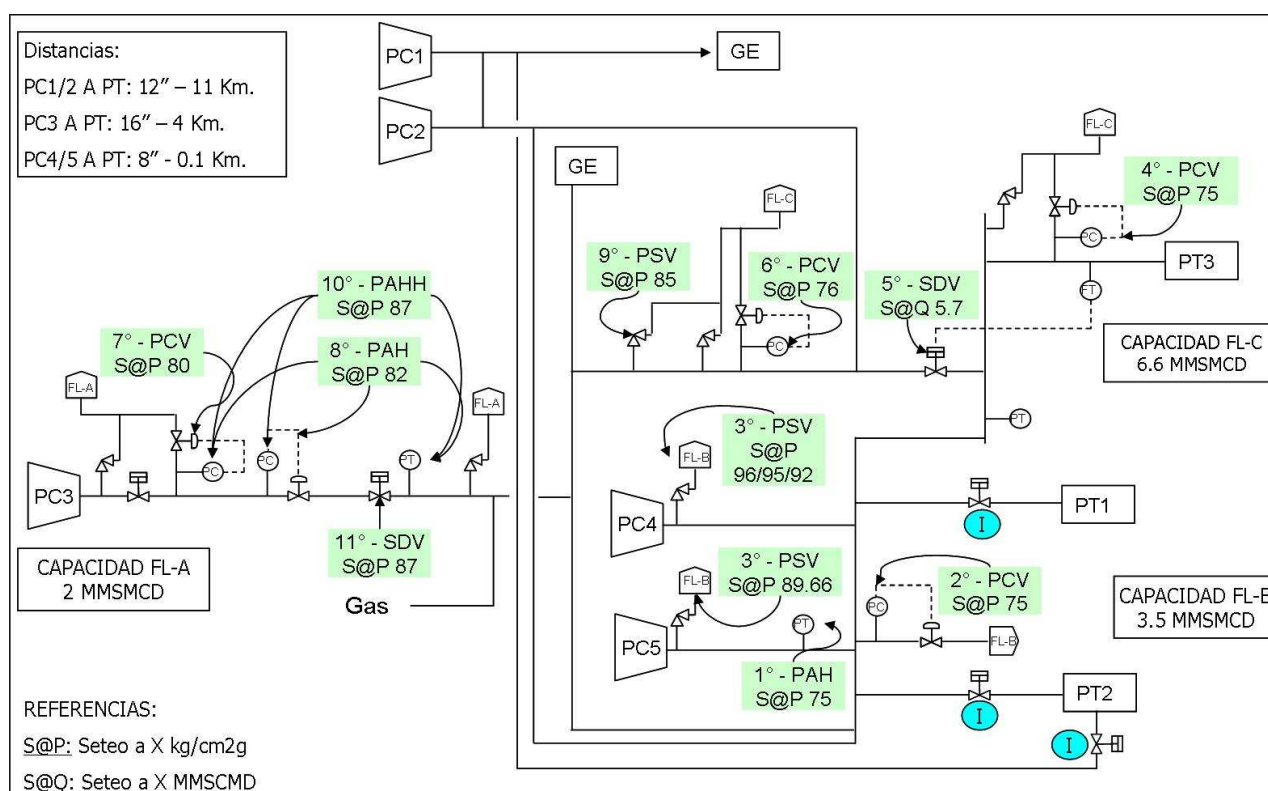


Figura 5. Consecuencias del Escenario 4.

Las Figuras 6 y 7 muestran cómo los distintos elementos de seguridad abren y descargan al sistema de venteos. Las consecuencias detalladas en la Tabla 1 pueden verse representadas en las mencionadas figuras.

El escenario 4 fue evaluado de manera conservadora, es decir, considerando el paro de PT 1 & 2 pero con un aporte continuo de las PC 4&5 (a pesar de su propio paro de planta). En consecuencia se produce inevitablemente el paro de la PT 3 por alto caudal.

Como conclusión del estudio dinámico, se puede decir que en caso de paro de las PT 1 & 2, el ingreso de gas debe ser restringido. Debe asegurarse el paro de los compresores de las PC 4 & 5 y el cierre de los pozos de alta presión para evitar un excesivo venteo de gas y el paro de la PT 3 por alto caudal.

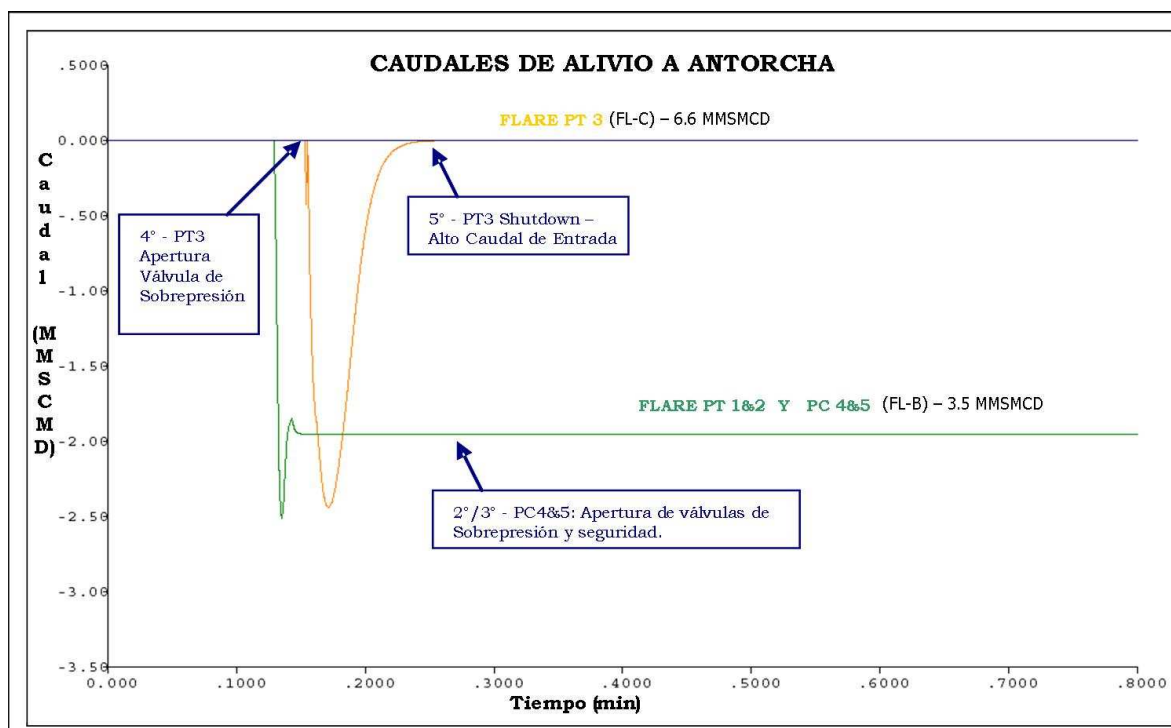


Figura 6. Caudales a Antorcha (Tiempo 0-1 min).

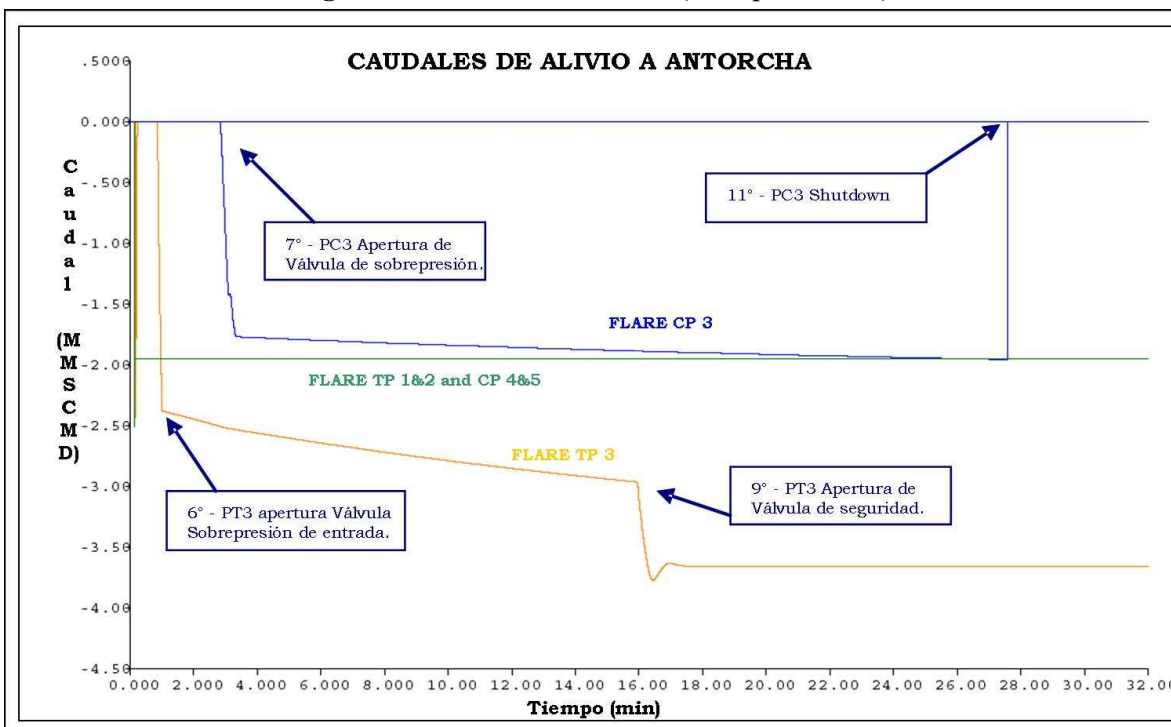


Figura 7. Caudales a Antorcha (Tiempo 0-32 min).

Análisis de Sistemas de Venteo

Debido a cambios en interconexiones e incrementos en las capacidades de procesamiento de las Planta de Tratamiento, considerando el escenario futuro, era necesario la evaluación de los Sistemas de Venteos.

Se evaluaron dos Sistemas de Venteos:

- Sistema de Venteos FL-B: Plantas de Tratamiento 1&2 y Plantas Compresoras 4&5 (todas estas instalaciones comparten el mismo sistema de venteos).
- Sistema de Venteos FL-C: Planta de Tratamiento 3

SISTEMA DE VENTEOS FL-B:

Se evaluaron diferentes escenarios:

- Full Flow de gas de entrada (debido a bloqueo de salida)
- Caudales máximos de válvulas de sobrepresión y/o válvulas de seguridad (definidos por los escenarios evaluados en la simulación dinámica)
- Falla de Sistema de Aire de Instrumentos
- Paro de Emergencia de PT2 (con despresurización automática). El paro de emergencia de la PT2 no implica el paro de emergencia de las otras plantas de tratamiento que comparten el sistema de venteos y en consecuencia, las mismas continúan venteando.

Como resultado de este estudio la posición de falla de una válvula de control de sobrepresión debió cambiarse de falla abre a falla cierra, debido a que se excedía la capacidad del sistema de venteos, en caso de falla de aire de instrumentos.

Esta válvula corresponde al elemento de seguridad que abre en segundo lugar en el escenario 4 (ver Tabla 2 y Figura 5)

Otra conclusión del análisis resultó que el sistema de venteos no podía manejar el paro de emergencia de PT 2 con despresurización simultánea. La despresurización debe mantenerse en modo manual o puede ser automática siempre y cuando pueda asegurarse el paro de aporte de caudal desde otras instalaciones. Vale la pena aclarar que en este caso no era una opción la despresurización automática ya que el sistema de venteos no podía manejar el caudal.

SISTEMA DE VENTEOS FL-C:

Se evaluaron diferentes escenarios:

- Full Flow de gas de entrada (debido a bloqueo de salida)
- Caudales máximos de válvulas de sobrepresión y/o válvulas de seguridad (definidos por los escenarios evaluados en la simulación dinámica)
- Falla de Sistema de Aire de Instrumentos
- Paro de Emergencia de PT3 (con despresurización automática).

La principal recomendación fue la de asegurar el cierre inmediato de los pozos de alta presión, debido a los escenarios de paro de emergencia de PT3 o falla de aire de instrumentos. Esta recomendación tenía por objetivo evitar la sobrepresión y un excesivo caudal de alivio al sistema de venteos.

RECOMENDACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

Se obtuvieron distintas recomendaciones del estudio realizado, principalmente del análisis de consistencia y de las simulaciones dinámicas.

Del análisis de consistencia se detectaron y corrigieron errores en seteos de alarmas, permitiendo una mejor condición operativa.

Asimismo, se detectó que algunas recomendaciones de estudios de seguridad (HAZOPs) previos al estudio no habían sido efectuados y se estableció un plan para su análisis e implementación.

Es fundamental que la documentación utilizada se encuentre actualizada para asegurar que las conclusiones de los estudios sean confiables.

Las principales recomendaciones del estudio dinámico fueron:

- Garantizar el cierre de ciertos pozos de alta presión/ alto caudal cuando sea necesario
- Cambios en seteos de válvulas de seguridad

Es muy importante poder analizar las instalaciones en su conjunto. Este trabajo muestra como un análisis metódico puede contribuir a comprender como nuestras instalaciones se comportarán frente a ciertos escenarios y cómo distintos eventos que ocurren en una instalación pueden afectar a otra.

Este estudio permite la evaluación de la integridad del sistema e instruye al personal responsable de la operación como se comportan sus instalación y como reaccionar frente a una desviación de las condiciones operativas normales.