



Crterios de diseo de ductos y redes de gas

Por *Ing. Oscar Guillermo lvarez*

La simulacin tambin tiene un importante rol cuando se aplica a la operacin de redes ya que busca facilitar la observacin de las variables operativas y ensayar caminos en caso de modificacin de alguna de ellas.

Las tcnicas de simulacin se aplican en el anlisis de la operacin de redes existentes o en el diseo de ampliaciones o modificaciones. Estas tcnicas requieren de la construccin de un modelo matemtico simplificado que facilita la representacin de las condiciones de operacin (actuales o futuras), lo que a su vez simplifica la observacin de los parmetros operativos en todo el sistema y su respuesta frente a distintas alternativas de modificacin.

Los resultados obtenidos por la aplicacin de las tcnicas de simulacin reflejan con mucha exactitud las variaciones de las variables de control reales solo en aquellos casos en que el modelo se ajusta a la red por analizar. Por lo expuesto, es necesario invertir tiempo en la construccin y verificacin del modelo, analizando las simplificaciones por introducir y comparando los resultados obtenidos de la simulacin con valores reales obtenidos de la red. El modelo de simulacin debe incluir bsicamente la siguiente informacin: caractersticas del

fluido por transportar, características geométricas más importantes de la red y distribución y característica de la demanda abastecida.

Régimen estático y dinámico

El gas natural es considerado un fluido newtoniano, por lo tanto, el transporte de fluidos responde a las leyes de la mecánica clásica, y se presentan fenómenos de rozamiento, continuidad de la materia e inercia.

Los sistemas de transporte o distribución de fluidos tienen una respuesta dinámica, pero existe una condición de transporte muy particular donde alcanzada una condición de régimen operativo, las variables de control se mantienen constantes a lo largo del tiempo. Esto se denomina *régimen permanente*. Si bien esta condición no resulta muy común, el análisis de ella nos permite deducir las fórmulas que rigen el transporte.

La fórmula general que rige el transporte de gas por cañerías se puede deducir a partir de la ecuación de Bernoulli para flujo real (con rozamiento) de un fluido que circula en régimen permanente.

$$Q = Ka \cdot \frac{T_o}{P_o} \cdot \sqrt{(P_1^2 - P_2^2) - \Delta P_{fr}} \cdot \sqrt{\frac{D^5}{f \cdot z \cdot L \cdot G \cdot T}}$$

En m³/d.

Las variables que se utilizan para el control del sistema son: la presión en ambos extremos del conducto, el caudal circulante y las características del fluido por transportar. Por tratarse de un fluido compresible, estas variables pueden atravesar variaciones en el transcurso de tiempo, es decir, son funciones del tiempo.

Por lo tanto, si tomamos un volumen de control para analizar la circulación de un fluido compresible (figura 1), se pueden presentar dos regímenes de transporte:

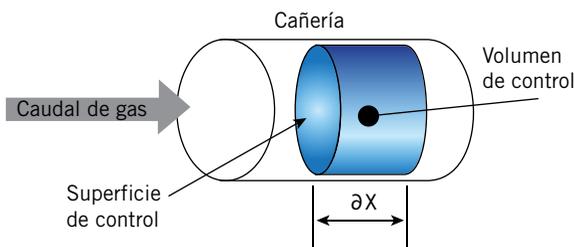


Figura 1.

El régimen estático o permanente es aquel en el que se verifica que la masa que ingresa (M_e) al sistema es similar a la masa que sale (M_s), por lo cual, la masa almacenada en el sistema es constante, entonces, la presión media no es función del tiempo ni hay variación del volumen almacenado en el sistema. Matemáticamente este régimen queda expresado por:

$$M_e - M_s = M_f - M_i = 0$$

Donde:

M_f = masa final.

M_i = masa inicial.

Es decir que las variables de control de la operación son independientes del tiempo, sólo responden a las ca-

racterísticas físicas del sistema. Este régimen es difícil de reproducir en la operación de sistemas de transporte de fluidos compresibles, dado que todas las variables (consumo, etc.) se deben mantener constantes en el tiempo.

El régimen transitorio o no permanente es aquel en el que se verifica que la masa que ingresa al sistema (M_e) es diferente de la masa que sale (M_s), por lo cual hay variación del volumen almacenado en el sistema (la masa almacenada en el sistema aumenta o disminuye en respuesta a las perturbaciones que afectan el sistema), por lo tanto, la presión media de cada tramo es función del tiempo. Matemáticamente este régimen queda expresado por:

$$M_e - M_s = M_f - M_i = \text{Variación de stock}$$

Es decir que las variables de control de la operación no son independientes del tiempo, responden a las características físicas del sistema y a las perturbaciones introducidas por los usuarios, productores, etc. Este régimen se presenta diariamente y es apreciable en la operación del sistema de transporte.

Este fenómeno ocurre también en los sistemas de distribución operados a presiones menores a 22 bar, pero, como tienen un pequeño volumen almacenado dentro de la red, carecen de la capacidad para hacer frente a importantes variaciones de demanda, entonces, trasladan el efecto rápidamente al sistema de transporte.

Diseño de redes

Existen importantes diferencias entre sistemas en operación y el diseño de sistemas nuevos. En el caso de los sistemas en operación, se dispone de gran cantidad de información al momento de analizar su respuesta en diferentes condiciones operativas, esto permite ajustar el modelo a la realidad.

Al momento de realizar el diseño de un sistema nuevo, el proyectista desconoce su geometría, que le hubiera permitido resolver el problema; tampoco conoce cómo y cuál es la respuesta de este sistema frente a los cambios de las variables a través del tiempo.

El diseño de redes se realiza inicialmente en régimen estacionario. El objetivo de este trabajo es dimensionar la geometría requerida por el sistema para poder resolver las necesidades de ampliación del sistema.

En el caso de las redes de distribución, este estudio se realiza atendiendo el abastecimiento de los consumos en las horas pico. La capacidad de almacenamiento de este tipo de redes es muy pequeña, por lo tanto, tiene muy poca incidencia el *stock* almacenado para cubrir el incremento o variación de demanda. Por este motivo, la solución obtenida del estudio es la que se debe implementar.

No ocurre lo mismo en el caso del diseño de redes de gasoductos troncales, el análisis en régimen estacionario es condición necesaria, pero no suficiente para diseñar el sistema. Ello se debe a que el sistema se diseña para el caudal promedio diario de la capacidad de transporte firme contratada.

El *stock* almacenado en la red se utiliza para cubrir las variaciones de demanda que se van presentando en la operación normal del sistema y como es función de la presión media de cada tramo, puede modificar los pará-

metros de control de los diferentes componentes del sistema, es decir, puede modificar la solución planteada en el análisis estacionario.

El empleo del *stock* en la solución del problema operativo plantea la necesidad de realizar análisis transitorios a los efectos de evaluar la respuesta dinámica del sistema diseñada frente a las variaciones de las condiciones operativas.

Criterios de diseño

Los criterios de diseño de sistemas de gasoductos dependen de las características físicas de los sistemas. Resulta interesante analizar por qué las redes de distribución y de transporte se diseñan para distintas condiciones de consumo.

En el caso de las redes de distribución, el diseño se realiza para el abastecimiento de los consumos en la hora pico, ello se debe a la necesidad de sobredimensionar la red a los efectos de poder abastecer siempre la totalidad de los consumos.

Si el sistema se diseñara para el caudal promedio diario de la capacidad de transporte firme contratada, la red no podría mantener el abastecimiento de la demanda durante gran parte del tiempo.

Este efecto es causado por el tipo de demanda abastecida por la red; en el caso de la red de distribución de Buenos Aires, la media horaria del consumo es del orden del 4,1%; mientras que la demanda horaria fluctúa entre el 1% del consumo diario en horas de la madrugada, al 7% al mediodía. Si se hubiera diseñado la red para la condición media, no resultaría posible el abastecimiento del consumo que superara ese volumen en condiciones operativas aceptables, ya que la red no poseería capacidad de respuesta.

En el caso de las redes de transporte, el diseño se realiza en función del caudal promedio diario de la capacidad de transporte firme contratada, ello se debe a la necesidad de no sobredimensionar la red y optimizar la inversión necesaria, con el objetivo de poder abastecer siempre la totalidad de los consumos.

Si el sistema se diseñara para el caudal pico diario de la capacidad de transporte firme contratada, la red de

transporte estaría siendo diseñada para abastecer la demanda de un pequeño periodo de tiempo, lo que requiere un elevado nivel de inversión para un muy bajo nivel de utilización.

Por ello, resulta necesario realizar estudios en régimen dinámico que permitan evaluar la respuesta del sistema frente a los escenarios de máxima demanda y que pueden modificar la configuración geométrica obtenida como solución al problema desde una evaluación en régimen estacionario.

Información necesaria

Para el diseño o evaluación de redes de transporte y distribución es necesario conocer la siguiente información:

- 1.- Puntos de inyección al sistema, se debe contar con la característica del gas por transportar (cromatografía, temperatura, etc.), volumen máximo disponible y la presión máxima de inyección.
- 2.- Estaciones de medición y regulación; capacidad máxima de transferencia, máxima presión regulada y descripción de la instalación.
- 3.- Plantas compresoras: máxima potencia instalada, cantidad y tipo de máquinas, mapa del compresor instalado, descripción de la instalación, máxima presión de descarga, caudal y condiciones operativas de diseño, etcétera.
- 4.- Cañerías: diámetro, tipo de material, espesor, máxima presión operativa (MAPO), etcétera.
- 5.- Demanda: ubicación, tipo y características de los usuarios, variación horaria, total diaria, etcétera.
- 6.- Características del fluido por transportar: cromatografía, densidad relativa al aire, cantidad de agua, etcétera.
- 7.- Características de traza: altimetría, topología de la ruta, población en las cercanías, cruces de ríos, rutas, etcétera.
- 8.- Características del suelo: dependiendo de la longitud del sistema, pueden existir diferencias en los tipos de suelo que se atraviesan, por ello se deben definir áreas. Para cada una de estas áreas se requiere: tipo de suelo, capacidad de transferencia de calor, temperatura del suelo, etcétera.

Etapa del proyecto	Estudio en régimen estático	Estudio en régimen dinámico
Prefactibilidad/ Factibilidad	Permite dimensionar el sistema y estimar un monto de inversión.	Solo en situaciones especiales.
Diseño	Define la solución a implementar.	Verifica que la solución adoptada cumpla con los requisitos operativos.
Operación programada	Fija las condiciones de inicio del estudio.	Predice el comportamiento de las variables operativas según las hipótesis de desarrollo de las tareas.
Operación especial		Permite conocer la respuesta de las maniobras por realizar durante el operativo.
Análisis posoperativo		Permite verificar la eficacia de las maniobras planificadas y evaluar alternativas para futuras operaciones especiales.
Estudios de investigación de problemas particulares		Estudios de mucha precisión permiten observar los cambios de las variables operativas en situaciones particulares que lo requieren o que están siendo investigadas.

Tabla 1.

Etapas del proyecto

No resulta necesario implementar todos estos estudios en todas las etapas de un proyecto o sistema en operación. El encargado de la evaluación de cada proyecto debe tener en cuenta sus particularidades y los objetivos perseguidos para la definición del estudio a encarar.

En la tabla 1 se plantea un criterio sobre qué estudio o evaluación realizar en cada paso.

Conclusiones

En definitiva, el problema se reduce a una interacción entre la precisión de los resultados obtenidos y el tiempo empleado para la realización del estudio. Esta situación debe ser resuelta por el especialista, quien, sobre la base de su experiencia y habilidad, deberá decidir cuál es el grado de estudio que se debe aplicar en cada caso.

La precisión de los resultados obtenidos depende también de la cantidad y calidad de información y del tipo de herramienta disponibles para realizar la simulación.

En el mercado existen y están disponibles varios desarrollos de herramientas que resuelven, con diferente grado de precisión, este tipo de problemas. Por ello se debe analizar cuál es la herramienta que mejor se adapta al tipo de estudio por realizar.

Finalmente, resulta necesario contar con personal especializado y experimentado en el desarrollo y solución de estos temas, que tenga la capacidad de interpretar en forma correcta los resultados obtenidos de la simulación. ■

Bibliografía

Álvarez, Oscar G., Hugo A. Carranza, Jorge A. Casanova y Carlos A. M. Casares: "Diseño de Gasoductos para abastecimiento de Centrales Eléctricas". 4.º

LACGEC, Río de Janeiro, Brasil. Disponible en: <http://www.gnc.org.ar/downloads/Trabajo%2074%20bis.pdf>

"Impacto de las Diferencias Altimétricas en el Análisis Dinámico y Operación de Gasoductos". *Ductos 2003*, Río de Janeiro, Brasil.

GIMOR: *Flujo Estacionario en Redes Anilladas*, 2002.

"Diseño de gasoductos con grandes diferencias Altimétricas", *IV.º Seminario Internacional en Exploración y Desarrollo de Oil y Gas*. Lima, Perú.

Álvarez, Oscar G., Hugo A. Carranza, Jorge A. Casanova y Carlos A. M. Casares: "Natural Gas Power Generation, Basic Pipeline Design Requirements". *PSIG 0105, Annual meeting*, Salt Lake City, Utah, Estados Unidos. Disponible en: <http://www.psig.org/papers/2000/0105.pdf>

Estaciones de compresión combinadas. Río Pipeline 2007, Río de Janeiro, Brasil.

Oscar Guillermo Álvarez es ingeniero civil por la Universidad Tecnológica Nacional, con más de 30 años de experiencia en el diseño y operación de redes de transporte y distribución de gas. Ha sido miembro fundador del Grupo de Interés en Modelado y Operación de Redes (GIMOR), ha dictado cursos y conferencias, y realizado publicaciones de trabajos en ámbitos nacionales e internacionales. Se desempeñó como jefe del Departamento de Ingeniería Operativa del Despacho Nacional de Gas (Gas del Estado), fue jefe de Planeamiento del Sistema en Transportadora de Gas del Norte (TGN) y gerente de Operaciones en el Gasoducto Cruz del Sur y BG Uruguay.