

## **Simulación del funcionamiento de sistemas de distribución de gas que contienen estaciones reductoras de presión**

Julio C. Massa<sup>(1,2)</sup>, Alejandro J. Giudici<sup>(1,3)</sup> y Juan F. Giró<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> *Departamento de Estructuras, Facultad de C. E. F. y N., Universidad Nacional de Córdoba, Casilla de Correo 916, (5000) Córdoba, Argentina. e-mail: jmassa@efn.uncor.edu*

<sup>(2)</sup> *Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nacional 36 Km. 601, 5800 Río Cuarto, Argentina.*

<sup>(3)</sup> *Gerencia Técnico Operativa, Distribuidora de Gas del Centro, Juan B. Justo 4301, Córdoba.*

### **RESUMEN**

Se presenta una metodología matricial similar a la empleada para resolver estructuras reticuladas para analizar sistemas de transporte y distribución de gas natural. El caudal circulante se calcula con la denominada "Fórmula General para la Conducción de Gas Natural por Tuberías".

El sistema se modela mediante nudos y tramos. Se deben definir los datos del fluido, la topología de la red, las propiedades de los tramos (longitudes, diámetros etc.), la presión en al menos un punto de inyección, las presiones deseadas a la salida de las Estaciones Reductoras de Presión (ERP) y los caudales salientes (consumos) o entrantes (inyecciones).

Como los elementos de la matriz de admitancia del sistema dependen del valor de las incógnitas, el problema resulta no lineal y se resuelve en forma iterativa hasta convergencia, siendo clave la forma de modelar el comportamiento de las ERP en el proceso iterativo.

Las ERP introducen una alta no-linealidad y deben modelarse adecuadamente. La presión de regulación deseada en el nudo aguas abajo de la estación reductora es un dato. Durante las iteraciones se debe controlar que la presión en la salida sea inferior a la presión de entrada en un porcentaje de reducción prefijado por las pérdidas de presión en la ERP (por ejemplo 10%). Si durante una iteración el caudal circula en sentido opuesto al esperado el algoritmo debe bloquear la ERP para que la misma se comporte como una válvula cerrada.

El algoritmo permite analizar el funcionamiento de sistemas en condiciones normales de operación, simular el comportamiento de las variables ante eventuales fallas y determinar el máximo incremento porcentual de consumo para el cual el sistema puede funcionar garantizando el valor prefijado de presión mínima. Este método matricial es aplicable a gasoductos troncales, a gasoductos de distribución y a redes de distribución a media presión para poblaciones.

**Palabras Claves:** redes de gas, gasoductos. estaciones reductoras de presión.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se presenta una metodología para analizar sistemas de transporte y distribución de gas natural en condiciones normales y también para simular el comportamiento de tales sistemas ante eventuales fallas de algunos de sus componentes.

El sistema que se desea estudiar se modela mediante nudos y tramos. Se deben definir: a) los datos del fluido, b) la topología de la red dando los nudos extremos de los tramos, c) las propiedades de los tramos (longitudes, diámetros y tipo de tramo), d) la presión en al menos un punto de inyección, e) las presiones deseadas a la salida de las estaciones reductoras de presión (ERP), f) la presión mínima garantizada al sistema y g) los caudales salientes (consumos) o entrantes (inyecciones).

La formulación es aplicable a:

- 1) Sistemas de gasoductos troncales donde se estudia el funcionamiento del sistema en régimen permanente.
- 2) Sistemas de gasoductos de distribución donde el análisis se realiza teniendo en cuenta los caudales picos porque no poseen una capacidad de almacenamiento importante.
- 3) Redes de distribución a media presión para abastecer poblaciones.

El caudal circulante se calcula con la denominada "Fórmula General para la Conducción de Gas Natural por Tuberías" [1] y se aplica una metodología matricial que mediante iteraciones sucesivas permite obtener las presiones del sistema. Dicha metodología se describe a continuación.

## 2. PLANTEO MATRICIAL DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE GAS

Para determinar el comportamiento de una red de gas natural se propone una metodología matricial similar a la empleada para resolver estructuras reticuladas [2]. La Figura 1 representa una parte de una red compuesta por nudos y tramos. Mientras el gas fluye por los tramos que conectan los nudos de la red, los nudos reciben caudal entrante de los tramos y también entregan caudal saliente. Además, algunos nudos son puntos de inyección o consumo de caudal desde el medio exterior.

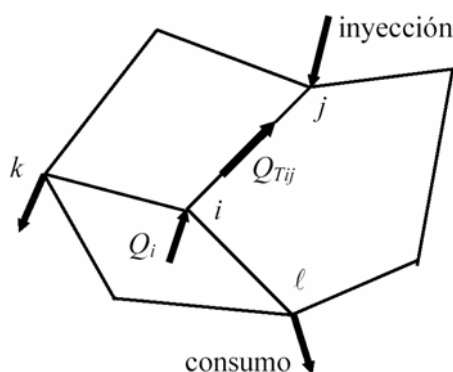


Figura 1 Parte de una red de gas.

La ecuación de continuidad de la mecánica de los fluidos [3] establece que en cada nudo de la red la suma de los caudales salientes (los caudales entrantes son negativos) por los tramos

que concurren al nudo es igual al caudal inyectado (los caudales consumidos son negativos) por el medio exterior. Para un nudo genérico  $i$  se tiene:

$$\sum_{j=1}^{N_i} Q_{Tij} = Q_i \quad (1)$$

donde:

$Q_{Tij}$ : caudal que sale desde el nudo  $i$  a través del tramo que une los nudos  $i$  y  $j$ .  $Q_{Tij}$  es negativo cuando el caudal ingresa al nudo  $i$ . La sumatoria incluye sólo a los tramos conectados al nudo  $i$ .

$N_i$ : número de tramos que concurren al nudo  $i$ .

$Q_i$ : caudal inyectado en el nudo  $i$  desde el medio exterior por un conducto que no se considera parte de la red en estudio y por lo tanto no está incluido entre los  $N_i$  tramos considerados en (1). Cuando  $Q_i$  tiene un valor negativo se trata de un caudal que egresa de la red (consumo).

El caudal  $Q_{Tij}$  que circula en el tramo que une el nudo  $i$  con el nudo  $j$  se calcula a partir de la fórmula general para la conducción de gases por tuberías [1,4,5] y lleva el signo de la diferencia ( $P_i^2 - P_j^2$ ).

$$Q_{Tij} = 0,21537 S \sqrt{\frac{1}{G f Z T}} \sqrt{\frac{|P_i^2 - P_j^2| D^5}{L}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \right] \quad \text{donde: } S = \frac{P_i^2 - P_j^2}{|P_i^2 - P_j^2|} \quad (2)$$

donde:  $P_i$  y  $P_j$  son las presiones absolutas en el inicio y en el final del tramo [bar].

$G$ : densidad relativa del gas circulante.

$T$ : temperatura absoluta del gas [K].

$L$ : longitud del tramo [m].

$D$ : diámetro interior del tramo [mm].

$f$ : factor de fricción de Chezy.

$Z$ : factor de compresibilidad del gas.

Los coeficientes  $f$  y  $Z$  dependen del valor de las presiones  $P_i$  y  $P_j$  [ ver Ec. (8) a (12) ].  $S$  puede valer 1 ó -1, cuando vale -1 significa que el caudal fluye desde  $j$  hacia  $i$ .

La Ec. (2) puede describirse considerando una constante  $C_{ij}$  independiente de las presiones:

$$Q_{Tij} = C_{ij} S \sqrt{\frac{|P_i^2 - P_j^2|}{f Z}} \quad \text{donde: } C_{ij} = \frac{0,21537 D^{2,5}}{\sqrt{G T L}} \quad (3)$$

Escribiendo el denominador de  $S$  como el producto de dos raíces cuadradas, simplificando y reordenando se tiene:

$$Q_{Tij} = A_{ij} (P_i^2 - P_j^2) \quad \text{donde: } A_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sqrt{|P_i^2 - P_j^2| f_{ij} Z_{ij}}} \quad (4)$$

El coeficiente  $A_{ij}$  función de las presiones, a priori desconocidas, se denomina admitancia del tramo. Reemplazando la Ec. (4) en la Ec. (1) para los  $NN$  nudos del sistema de distribución de gas se obtiene un sistema de  $NN$  ecuaciones cuyos coeficientes dependen de las incógnitas. Para resolver este problema se procede iterativamente recalculando en cada paso las admitancias usando las presiones de la iteración anterior:

$$(Q_{Tij})_m = (A_{ij})_{m-1} (P_i^2 - P_j^2)_m \quad (5)$$

La ecuación de continuidad para el nudo  $i$  se obtiene reemplazando la Ec. (5) en la Ec. (1).



### 3. MODELADO DE SISTEMAS CON ESTACIONES REDUCTORAS DE PRESIÓN

Para estudiar el comportamiento de un sistema de transporte y/o distribución de gas natural es necesario crear un modelo de análisis. El modelo aquí presentado está compuesto por nudos y tramos que representan los elementos típicos de todo sistema de transporte o distribución de gas natural (Figura 5). Se establecen las siguientes definiciones:

*Nudo*: es todo punto del sistema donde existe alguna variación en las características físicas del mismo. Para modelar el sistema en estudio, se deben considerar como nudos a: puntos de inyección (fuentes) o consumo (sumideros), puntos donde varía el diámetro de una línea, puntos donde convergen varias cañerías, puntos de entrada y salida de las válvulas de bloqueo y de las estaciones reductoras de presión.

*Tramo*: es todo conducto que transporta gas entre dos nudos del sistema. Por ello se deben modelar como tramos a las cañerías de conducción, las válvulas de bloqueo y las ERP.

#### 3.1 Representación de los elementos

1. *Cañerías de conducción*: se representan con tramos donde se indica la longitud y el diámetro interior de la cañería.
2. *Puntos de inyección*: se representan con nudos, donde se indica el caudal ingresado, o la presión de trabajo del punto. Si se indica la presión el caudal dato es ignorado.
3. *Puntos de consumo*: se representan con nudos, donde se indica el caudal egresado, o la presión de trabajo.
4. *Puntos de variación del diámetro de cañería*: se representan con nudos.
5. *Puntos de convergencia de cañerías*: se representan con nudos.
6. *Válvulas de bloqueo*: si están abiertas la admitancia es enorme, y cuando están cerradas es nula. Esos valores de las admitancias son fijados internamente por el programa.

De este modo, los nudos y tramos asumen las características físicas de los elementos típicos, lo que permite crear el modelo de análisis del sistema (ver Figuras 4 y 5).

#### 3.2 Estaciones Reductoras de Presión (ERP)

Estos elementos introducen una alta no-linealidad y deben modelarse adecuadamente. La presión de regulación deseada  $P_{Rd}$  en el nudo aguas abajo de la estación reductora es un dato. Durante las iteraciones se debe controlar que la presión  $P_S$  en la salida sea inferior a la presión de entrada en un porcentaje de reducción prefijado por las pérdidas de presión en la ERP (por ejemplo  $C_p = 10\%$ ). Si durante una iteración el caudal circula en sentido inverso al esperado el algoritmo debe bloquear la ERP para que la misma se comporte como una válvula cerrada.

A continuación se presenta el algoritmo para modificar la admitancia de una ERP durante las iteraciones. Resulta conveniente definir la siguiente notación:

$P_{E_i}$ : presión de entrada de la ERP en la iteración  $i$ .

$P_{S_i}$ : presión a la salida de la ERP en la iteración  $i$ .

$P_{Rd}$ : presión regulada deseada a la salida de la ERP (dato).

$P_L$ : presión mínima de entrada dada por (8) para la cual la ERP puede proveer la  $P_{Rd}$  deseada.

$C_p$ : mínimo coeficiente de reducción porcentual de presión por pérdidas en la ERP (dato).

$P_{S^*}$ : presión máxima obtenible a la salida en función de la presión de entrada.

$$C_p \rightarrow \alpha = 1 - C_p / 100 \rightarrow P_L = P_{Rd} / \alpha \quad P_{S^*} = \text{menor} \{ P_{Rd}, \alpha P_{E_i} \} \quad (8)$$

Planteando la ecuación del caudal en el tramo que simula la ERP se tiene:

$$Q_i = A_i \left( \bar{P}_{E_i}^2 - \bar{P}_{S_i}^2 \right) \quad Q_{i+1} = A_{i+1} \left( \bar{P}_{E_{i+1}}^2 - \bar{P}_{S_{i+1}}^2 \right) \quad (9)$$

donde la barra sobre una presión indica que se trata de una presión absoluta. En cada iteración se modifica la admitancia de la ERP suponiendo que la presión de entrada y el caudal mantienen el valor de la iteración anterior, pero se modifica la presión de salida para obtener la presión obtenible dada por (8):

$$\left\{ Q_{i+1} = Q_i, \quad \bar{P}_{E_{i+1}} = \bar{P}_{E_i}, \quad \bar{P}_{S_{i+1}} = \bar{P}_{S_i} \right\} \Rightarrow A_{i+1} = A_i \frac{\bar{P}_{E_i}^2 - \bar{P}_{S_i}^2}{\bar{P}_{E_i}^2 - \bar{P}_{S_i}^2} \quad (10)$$

Obviamente al cambiar  $A_{i+1}$  resulta  $Q_{i+1} \neq Q_i$  y  $P_{E_{i+1}} \neq P_{E_i}$  por lo que es necesario realizar un proceso iterativo. En la Figura 2 se muestra esquemáticamente como debe ser la modificación de la admitancia en la ERP según  $P_E$  sea mayor que  $P_L$  (Caso 1) o menor que  $P_L$  (Caso 2). Si durante una iteración el caudal circula en sentido inverso al esperado el algoritmo debe bloquear la ERP para que se comporte como una válvula cerrada:  $P_{S_i} > P_{S_i}^* \Rightarrow A_{i+1} = 0$ .



Figura 2 Modificación de la Admitancia de una ERP durante las iteraciones.

#### 4. IMPLEMENTACIÓN COMPUTACIONAL: EL PROGRAMA REDES

La metodología matricial desarrollada en este trabajo se implementó en un código computacional en lenguaje FORTRAN que resuelve en forma iterativa la ecuación (7) hasta llegar a convergencia [8].

##### 4.1 Archivo de datos del programa REDES

Datos generales: esta línea contiene:

- Densidad relativa del gas natural: se debe tomar la densidad relativa promedio histórica para sistemas existentes o una densidad estimada para sistemas nuevos. Para estos casos se recomienda utilizar: 0,6.
- Temperatura absoluta del gas natural: (en °K): se debe tomar la temperatura absoluta promedio histórica para sistemas existentes o una temperatura absoluta estimada para sistemas nuevos (utilizar: 288 °K).
- Rugosidad absoluta de la cañería: (en milímetros): se recomienda utilizar:  
Para cañerías de acero comercial: 0,05 mm. Para cañerías de polietileno comercial: 0,022 mm.
- Eficiencia de la cañería: refleja el estado general del sistema. Se debe tener en cuenta el método de fabricación de la cañería, el método de construcción de la línea, su estado de conservación, etc. Se recomienda utilizar un valor comprendido entre 0,9 y la unidad.

- e) Número de tramos: indica el número de tramos del sistema.
- f) Número de nudos: indica el número de nudos del sistema.
- g) Presión mínima garantizada en todos los puntos de consumo del sistema  $P_{Adm}$ .
- h) Porcentaje de caída de presión de las ERP: se debe ingresar el porcentaje de caída mínimo de la presión de salida respecto a la presión de entrada (digamos 10 %).

Características de los tramos: en cada línea se indican las características de un tramo particular:

- a) Nudo inicial y Nudo final.
- b) Longitud (en metros). Sólo para Tipo de Tramo = 1, en caso contrario ingrese cero.
- c) Diámetro interior: (en milímetros). Sólo para Tipo de Tramo = 1, en caso contrario ingrese cero.
- d) Tipo de tramo: se debe ingresar: 1 → cañería de conducción. 2 → válvula de bloqueo abierta. 3 → válvula de bloqueo cerrada. 4 → estación reductora de presión.

Características de los nudos: en cada línea se indican las características de un nudo particular:

- a) *Denominación*: numeración libre sin ningún orden, por ejemplo: 100, 120, 300, 400, etc.
- b) *Caudal*: (en m<sup>3</sup>/h), positivo cuando ingresa al nudo desde el exterior (inyección). Si el caudal egresa del nudo tiene valor negativo (consumo). En los puntos de inyección donde se fija la presión el caudal será calculado por el programa, en tal caso ingrese cero. En los puntos donde no hay ni inyección ni consumo ingrese cero.  
El programa no permite fijar caudal ni a la entrada ni a la salida de una estación reductora de presión. Si se da esa situación debe agregarse un nudo próximo a la estación.
- c) *Presión*: (en barM), en el caso de no conocerla, ingrese cero. Importante: si se fija la presión en un nudo, el caudal ingresado como dato en ese nudo es ignorado.
- d) *Ubicación*: texto aclaratorio asociado al nudo; se leen y escriben los 30 caracteres que siguen a derecha de la presión de operación.

#### 4.2 Secuencia de cálculo del Programa REDES

La secuencia de cálculos que realiza el Programa REDES se esquematiza en la Figura 3. El caudal dato  $Q_{dato}$  (consumo en todos los puntos) y la presión mínima admisible  $P_{Adm}$  son definidos por el usuario. Otros valores del caudal ( $Q = MC \times Q_{dato}$ ) se obtienen a través del Multiplicador de Consumos MC. El programa calcula el caudal  $Q_{Adm}$  para el cual  $P_{min} = P_{Adm}$  y el caudal  $Q_{Lim}$  para el cual  $P_{min} = 0$ .

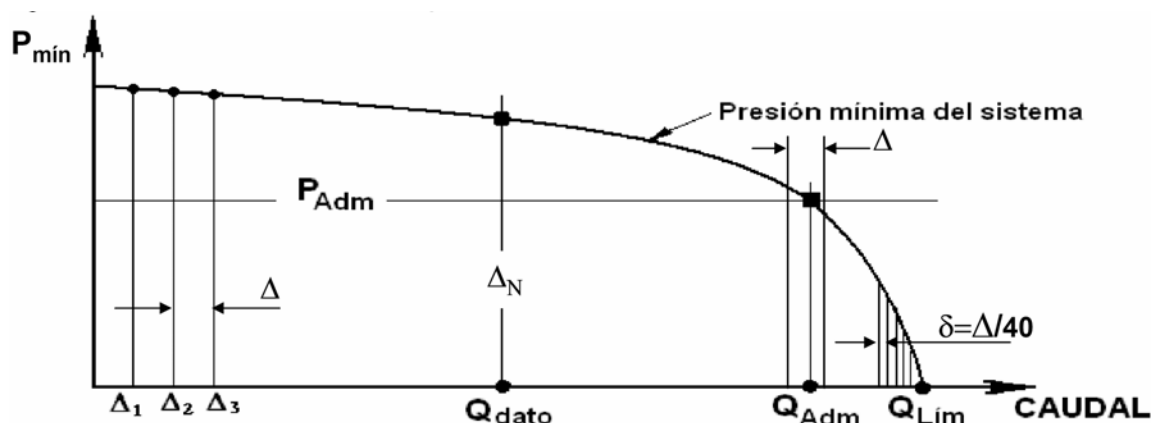


Figura 3 Presión mínima en el sistema en función del consumo.

1. Subdivide el intervalo  $Q_{dato}$  en  $N$  subintervalos de valor  $\Delta = Q_{dato}/N$ . Itera hasta convergencia para cada uno de los  $N$  caudales crecientes:  $\Delta_1 = \Delta$ ;  $\Delta_2 = 2\Delta$ ;  $\Delta_3 = 3\Delta$ ; .....
2. Escribe los resultados para  $\Delta_N = N\Delta = Q_{dato}$ . En cada tramo: caudal ( $m^3/h$ ), velocidad ( $m/s$ ), diferencia de presión porcentual (%). En cada nudo: presión (barM), caudal ( $m^3/h$ ) inyectado o consumido, este caudal ingresa (o egresa) a la red desde el medio exterior.
3. Avanza considerando caudales crecientes hasta que  $P_{mín} < P_{Adm}$ . Por el método de la bisección encuentra  $Q_{Adm} \leftrightarrow P_{Adm}$ . y escribe los resultados para el caudal  $Q_{Adm}$ .
4. Avanza considerando caudales crecientes ( $Q_{i+1} = Q_i + \Delta$ ) hasta superar  $Q_{Lím}$  (alguna  $P^2$  es negativa).
5. Retrocede  $\Delta$  y avanza usando  $\delta = \Delta/40$ . Cuando supera nuevamente  $Q_{Lím}$  (alguna  $P^2$  es negativa), obtiene  $Q_{Lím}$  extrapolando los dos últimos valores válidos.

### 5. EJEMPLO – SISTEMA MALLADO

En la Figura 4 se muestra esquemáticamente un sistema típico de gasoductos para proveer gas natural a un grupo de localidades que posee: a) Dos alimentaciones provenientes de un gasoducto de 70 bar, cada una de ellas tiene una estación reductora de presión de 70 - 25 barM. b) Gasoductos de distribución interconectados de 25 barM de diversos diámetros y longitudes. c) Siete puntos de consumo. La presión mínima requerida para el sistema se fijó en 6,6 barM. d) Numerosas válvulas de bloqueo para la operación del sistema.

A partir de las características indicadas en el esquema de la Figura 4, se elaboró el modelo de tramos y nudos de la red que se muestra en la Figura 5. La tabla 1 contiene la información necesaria para armar el archivo de datos.

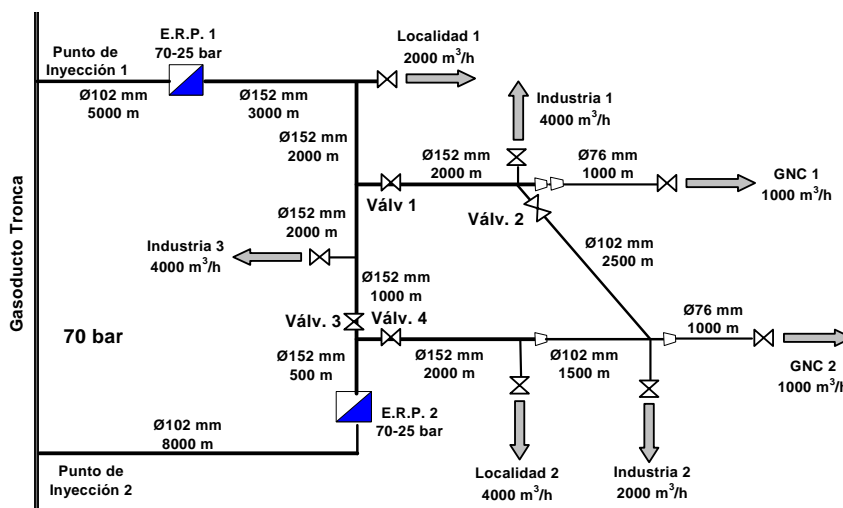


Figura 4 Esquema de la Red – Sistema mallado.

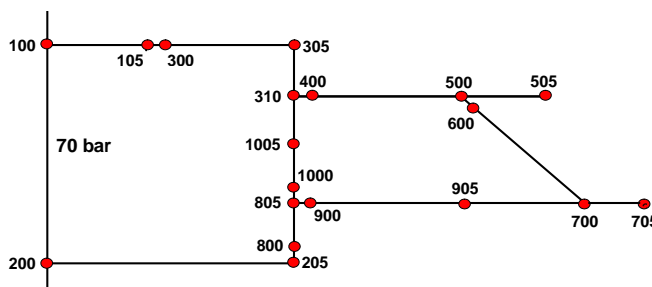


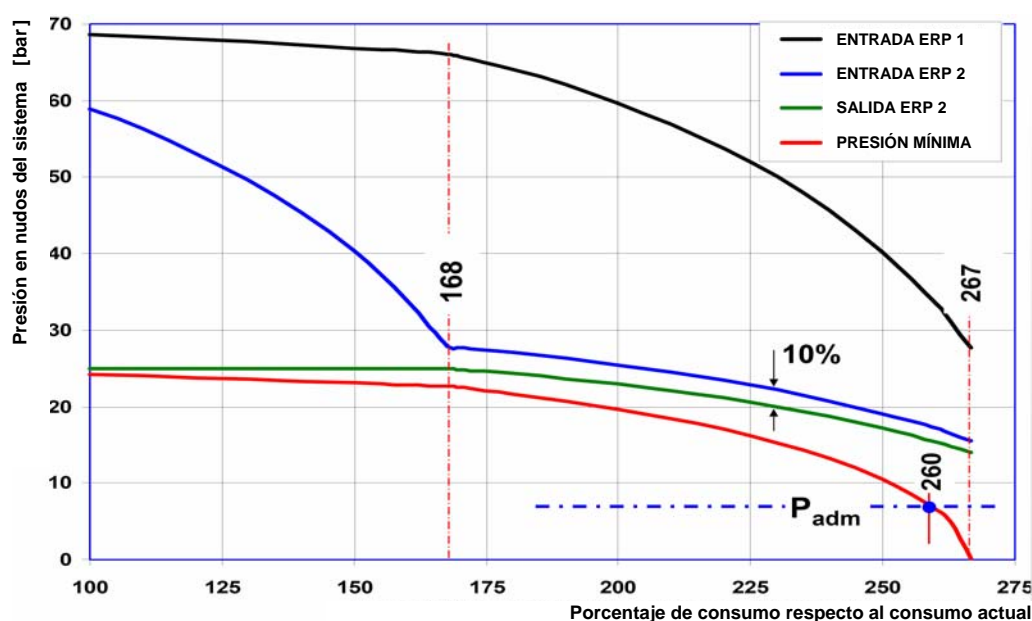
Figura 5 Modelo de nudos y tramos – Sistema mallado.

*Tabla 1 Datos – Sistema mallado.*

NUDOS				TRAMOS				
NUDO	Q (m <sup>3</sup> /h)	P (bar)	UBICACIÓN	INICIO	FIN	L (m)	Ø (mm)	TIPO
100	0	70	Punto de Inyección 1	100	105	5000	102	1
105	0	0	Entrada ERP 70-25 bar	105	300	10	102	4
200	0	70	Punto de Inyección 2	200	205	8000	102	1
205	0	0	Entrada ERP 70-25 bar	205	800	10	102	4
300	0	25	Salida ERP 70-25 bar	300	305	3000	152	1
305	-2000	0	Localidad 1	305	310	2000	152	1
310	0	0		310	400	10	152	2
400	0	0	Válvula 1	310	1005	2000	152	1
500	-4000	0	Industria 1	400	500	2000	152	1
505	-1000	0	GNC 1	500	505	1000	76	1
600	0	0	Válvula 2	500	600	10	102	2
700	-2000	0	Industria 2	600	700	2500	102	1
705	-1000	0	GNC 2	700	705	1000	76	1
800	0	25	Salida ERP 70-25 bar	800	805	500	152	1
805	0	0		805	1000	10	152	2
900	0	0	Válvula 4	1000	1005	1000	152	1
905	-4000	0	Localidad 2	805	900	10	152	2
1000	0	0	Válvula 3	900	905	2000	152	1
1005	-4000	0	Industria 3	905	700	1500	102	1

### 5.1 Resultados obtenidos

- a) Primero se analizó el comportamiento normal del sistema (Multiplicador de Consumos = MC=1) obteniéndose una presión mínima de 24,2 bar, lo que resulta satisfactorio.
- b) Cuando el sobreconsumo supera el 68 % (MC=1,68), la ERP 2 no puede mantener la presión regulada en el nudo 800 con el valor deseado  $P_{Rd} = 25$  barM. Para consumos mayores  $P_S = 0,9 P_E$  porque se utilizó  $C_P = 10$  %.
- c) Cuando el sobreconsumo es superior al 160 % (MC > 2,6), la presión en el nudo 705 resulta menor al mínimo prefijado en 6,6 bar. Cuando el consumo llega al 267 % la presión mínima del sistema es cero (nudo 705).
- d) Posteriormente, se simularon las salidas de servicio (por separado), de cada una de las estaciones reductoras de presión y la forma como operarías el sistema ante los cierres (una por una), de las válvulas de bloqueo N° 1, 2, 3 y 4. En ambos tipos de simulaciones, se pudo observar que los perfiles de presión y velocidad son mucho más exigidos; no obstante ello, el sistema es operable (la presión mínima es aceptable para estos casos de excepción).



*Figura 6 Caída de presiones por aumento de consumo – Sistema mallado.*

## **6. CONCLUSIONES**

La formulación matricial empleada es totalmente general, el algoritmo desarrollado permite resolver: a) problemas relativamente simples de flujo unidimensional estacionario con fricción en conductos (sistemas ramificados), y b) problemas muy complicados de sistemas mallados de transporte y distribución de fluidos, con varios puntos de entrada y varios de salida.

Los elementos clave del modelo adoptado son las Estaciones Reductoras de Presión ya que introducen una alta no-linealidad y deben modelarse adecuadamente. En este trabajo se ajustan las admitancias, durante las iteraciones hasta garantizar que aguas abajo se obtiene la presión de regulación deseada (dato) o bien un porcentaje prefijado de la presión de entrada (el que sea menor). Si durante una iteración el caudal circula en sentido inverso al esperado se bloquea la ERP y la misma se comporta como una válvula cerrada.

El algoritmo computacional desarrollado permite analizar sistemas de transporte y distribución de gas natural en condiciones normales y también simular el comportamiento de tales sistemas ante eventuales fallas de algunos de sus componentes. Además, se puede analizar posibles incrementos de consumo, lo que permite determinar: a) el máximo consumo al que puede operar el sistema garantizando una presión mínima en el sistema, prefijada de antemano; b) el nivel de sobreconsumo para el cual el sistema deja de ser físicamente posible porque la presión mínima del sistema cae a cero. El programa es aplicable a gasoductos troncales, a gasoductos de distribución y a redes de distribución a media presión para poblaciones.

## **7. REFERENCIAS**

- [1] L. Santos, *Informática Aplicada en Gasoductos*, Gerencia de Desarrollo - Gas del Estado, Argentina, 1992.
- [2] J. Massa y C. Prato, *Análisis Estructural - Problemas Estáticos*, Ed. Coop. Dto. Estructuras, U.N.C., 2003.
- [3] División de Ingeniería de Crane, *Flujo de Fluidos*; Mc Graw Hill, 1997.
- [4] W. Streeter, *Mecánica de Fluidos*, Mc Graw Hill, 1979.
- [5] W. Mc Adams, *Heat Transmission*; Mc Graw Hill, 1954.
- [6] J. Massa, *Compendio de Cálculo Estructural*, Ed. Coop. Dto. Estructuras, U.N.C. 2003.
- [7] A.G.A., *Manual for the Determination of Supercompressibility Factor for Natural Gas*, American Gas Association, 1967.
- [8] J. Massa y A. Giudici, Desarrollo del Programa "REDES" Para Analizar Sistemas de Transporte y Distribución de Gas, *JII 2005, Segundas Jornadas de Informática Industrial*, Rosario, 2005.