

OPTIMIZACIÓN PROYECTO DE GASODUCTOS

Ing. Remo Frabotta

Ing. Gustavo Cavallo

SÍNTESIS (Abstract)

Todo proyecto destinado a transportar gas natural por cañerías debe cumplir con las condiciones técnicas necesarias, esto es diámetro del gasoducto, cantidad de plantas compresoras (de cabecera y en línea), presión máxima y mínima en la cañería, distancia a transportar el fluido, y toda condición técnica que surja por razones de seguridad, medio ambiente, etc.

Sin embargo, cumplir con todas las condiciones técnicas enumeradas, no significa que el transporte se realice en condiciones óptimas económicas, puesto que se disponen de varios grados de libertad en el dimensionamiento de dicho proyecto. Esto ocurre porque en la formulación matemática, se tienen mayor número de incógnitas que ecuaciones, admitiendo infinitas soluciones del problema. Se trata de buscar entre las infinitas soluciones, aquella que haga mínimo el costo del transporte de gas por cañería.

Para esto, se utiliza una formulación matemática que permita obtener los parámetros necesarios para desembocar en un único proyecto óptimo – económico que cumpla con las condiciones técnicas necesarias, y además resulte una solución relativamente sencilla a los efectos de su utilización práctica.

INTRODUCCIÓN

Funciones de costo

Para facilitar el trabajo matemático en la obtención de las funciones, dividimos el costo de toda la instalación en tres grandes grupos:

- Costo de la cañería (material, revestimiento e instalación).
- Costo de la energía consumida para la operación de las instalaciones.
- Costo de las plantas compresoras y accesorios (equipos, materiales e instalaciones).

Costo de la cañería C_1

Se incluye en este costo, el correspondiente a la cañería propiamente dicha, el revestimiento aislante térmico y/o anticorrosivo, la unión de los distintos tramos con soldadura u otro sistema de unión, soportes, accesorios varios de cañerías, zanjeo en caso de cañería enterrada y todo costo debido a la mano de obra inherente a la instalación. Mediante una investigación de mercado se obtienen los distintos costos en función del diámetro, como se muestra en la figura N° 1.

Para la obtención de esta función, $C_1 = f(D)$, y a los efectos de una formulación sencilla, se dividen los costos que intervienen en dos grandes grupos, siendo la expresión resultante:

$$C_1 = C_{11} + C_{12}$$

C_{11} : Incluye aquellos costos que resultan función del peso de la cañería, como el material del caño propiamente dicho, la soldadura y parcialmente la mano de obra de la instalación.

C_{12} : Incluye aquellos costos que resultan función de la superficie de la cañería como ser el revestimiento aislante térmico y/o anticorrosivo, mano de obra del zanjeo y posterior reacondicionamiento del terreno, etc. Se debe incluir en ambos casos el costo correspondiente al mantenimiento durante todo el tiempo de funcionamiento de la instalación.

Costo de la energía consumida en las plantas compresoras “ C_2 ”

Este costo, puede considerarse como una función de la potencia necesaria en las plantas y el tiempo de funcionamiento previsto de la instalación. La figura N° 2 da una idea aproximada de la variación del costo de la energía consumida en función del diámetro D del gasoducto.

Costo de las plantas compresoras C_3

Este costo puede considerarse como una función de la potencia (ver figura N° 3) incluyendo la necesaria para el funcionamiento del gasoducto y la reserva (potencia instalada). Se debe incluir el mantenimiento y/o reemplazo de partes de la planta durante todo el tiempo de funcionamiento.

Costo total de la instalación C_T

Una vez obtenidas las tres funciones de costo, se procede a sumarlas para obtener el costo total C_T

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = f(D)$$

El mínimo de C_T se obtiene derivando respecto del diámetro $\frac{\partial C_T}{\partial D} = 0$ y con esto el diámetro óptimo. El planteo gráfico puede observarse en la figura N° 4.

Lo expuesto para la búsqueda del diámetro óptimo, no es posible porque las funciones de costo C_1 , C_2 y C_3 no resultan función de una sola variable a optimizar “ D ” sino que son función de varias variables.

En este caso, para optimizar varias variables, sujetas a condicionamientos técnicos, se utiliza el método de Lagrange “máximos y mínimos condicionados” cuya formulación matemática se expone a continuación.

DESARROLLO

Formulación matemática

Todo gasoducto en general consta de la cañería de línea, una estación compresora de cabecera y estaciones recompresoras intermedias, como se muestra en la figura N° 5.

Siendo L la longitud de toda la cañería y “ X ” la cantidad de estaciones compresoras, la cañería queda dividida en “ X ” tramos.

En cada tramo, la cañería tiene una presión máxima P_1 al comienzo y una presión mínima P_2 al final de la cañería debido a la pérdida de presión causada por el flujo. A los efectos de este cálculo, se supone un flujo isotérmico en toda su extensión. La ecuación correspondiente a este flujo condicionado isotérmico y simplificada para cañerías largas es la siguiente:

$$C_p^2 = \frac{\delta^2}{16} \frac{D_i^5}{RTfL} (P_1^2 - P_2^2) = \frac{\delta^2}{16} \frac{D_i^5 P_1^2}{RTfL} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{-2} \right]$$

C_p : Caudal de masa $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{seg}} \right]$

D_i : Diámetro interior de la cañería

χ : Cantidad de plantas compresoras incluida la de cabecera

R : Constante particular del gas $\left[\frac{J}{\text{Kg}^0 K} \right]$ T : Temperatura equivalente del gas para suponerlo isotérmico $[^0 K]$

f : Factor de fricción obtenido de la fórmula de Colebrook-White o equivalente, en función de la rugosidad de la cañería (prácticamente es independiente de número de Reynolds)

L : Longitud total de la cañería

P_1 : Presión máxima en el interior de la cañería (en el comienzo)

P_2 : Presión mínima en el interior de la cañería (en el final)

Por lo expuesto, el caudal másico C_p de un determinado gas que puede transportarse por una cañería de longitud L es función del diámetro D_i ; de la cantidad de plantas compresoras χ , de la presión P_1 y de la relación de compresión $\left(\frac{P_1}{P_2} \right)$.

Luego tenemos una sola ecuación con 4 incógnitas, lo cual admite infinitas soluciones. El problema es seleccionar entre las infinitas soluciones aquella que haga mínimo el costo de toda la instalación, es decir la “solución óptima”. Para este objetivo, se deben crear las funciones de costo de todos los elementos que intervienen en la instalación. Como se dijo anteriormente, dividimos los costos de la instalación en tres grandes grupos: costo de la cañería C_1 , costo de la energía utilizada en las plantas compresoras C_2 y costo de las plantas compresoras C_3 .

Para simplificar el desarrollo, definimos un coeficiente $K_D = \frac{D_i}{D}$ siendo D el diámetro exterior.

Costo de la cañería “C”

$$C_1 = C_{11} + C_{12}$$

$C_{11} = f(\text{peso})$, función del peso que a los efectos prácticos suponemos una función lineal, válida dentro de un determinado intervalo de diámetros.

$$C_{11} = \kappa_{11} \pi D_m e L \gamma_F L$$

$$\gamma_F = \text{peso específico del material de la cañería} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right]$$

Teniendo en cuenta la resistencia de los materiales para envolvente cilíndricas delgadas:

$$\sigma = \frac{P_1 D}{2e}$$

$$\sigma : \text{tensión admisible del material} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right]$$

Esta tensión se obtiene a partir de la tensión de fluencia del material, afectando de un coeficiente de seguridad que depende del proyecto y de normas vigentes.

e: espesor de la cañería [m].

Reemplazando estos valores, resulta:

$$C_{11} = K_{11} \frac{1 + K_D}{2} \frac{\pi D^2 P_1}{2\sigma} \gamma_F L$$

$$K_{11} = \left[\frac{\$}{\text{N}} \right] \text{ constante de proporcionalidad}$$

$C_{12} = f$ (superficie exterior del caño) a los efectos de cálculo se supone una función lineal con la superficie exterior la cañería, válida para un intervalo determinado de diámetro.

En este costo, se incluye el correspondiente al revestimiento aislante térmico y/o anticorrosivo, con un coeficiente K_{12} , y el correspondiente a la zanja de alojamiento, arreglos y otros factores inherentes a la instalación, con un coeficiente K_{13} .

$$C_{12} = (K_{12} + K_{13}) \pi D L$$

$$K_{12}; K_{13} = \left[\frac{\$}{\text{m}^2} \right] \text{ constante de proporcionalidad}$$

$$C_1 = K_{11} \frac{1 + K_D}{2} \frac{\delta D^2 P_1}{2\sigma} \gamma_F L + (K_{12} + K_{13}) \delta D L$$

Costo de la energía utilizada por las plantas compresoras “ C_2 ”:

Para este cálculo, se admite un costo unitario de la energía constante $\left[\frac{\$}{\text{Kw} - \text{h}} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \frac{\$}{\text{J}} \right]$

Potencia necesaria en la compresión:

Se admite una compresión isentrópica, afectada de un rendimiento isentrópico η_i .

$$N = C_p \frac{K}{K-1} \frac{RT}{\eta_i} \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \chi$$

Los compresores están accionados por máquinas motoras, que pueden ser turbinas de gas o motores eléctricos, las cuales tienen su propio rendimiento η_m .

$$C_2 = K_{02} K_2 \frac{N}{\eta_m} t$$

K_2 : constante de proporcionalidad, correspondiente al costo unitario de la energía $\left[\frac{\$}{Kw-h} \text{ ó } \frac{\$}{J} \right]$

t : tiempo de funcionamiento de la instalación.

K_{02} : Coeficiente de actualización de costo.

Dado que la energía se paga por n períodos de tiempo (generalmente mensual), durante todo el tiempo de funcionamiento, el costo de la energía se afecta de un coeficiente K_{02} que permite calcular el valor actual del costo C_2 .

Suponiendo que la energía se paga en forma mensual, con tiempo vencido, la tasa de interés mensual es i , y el número de período (meses) es n , el valor de K_{02} resulta:

$$K_{02} = \frac{(1+i)^n - 1}{ni(1+i)^n}$$

$$C_2 = \frac{K_{02} K_2 t}{\eta_m \eta_i} \frac{K}{K-1} C_p RT \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \chi$$

Costo de las plantas compresoras " C_3 "

Este costo resulta una función no lineal de la potencia de las plantas. Para simplificar los cálculos, suponemos una función lineal válida dentro de un cierto rango de potencia. La figura N° 6 muestra gráficamente tal simplificación.

$$C_3 = (K_{03} + K_3 N) \chi$$

$$C_3 = K_{03}\chi + K_3 \frac{K}{K-1} \frac{C_p RT}{\eta_i} \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \chi$$

Costo total de la instalación

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C_t = K_{11} \frac{1+K_D}{2} \frac{\delta D^2 P_1}{2\phi} \phi_f L + (K_{12} + K_{13}) \pi D L + \frac{K}{K-1} \left(\frac{K_{02} K_{2t}}{\zeta_m \zeta_i} + \frac{K_3}{\zeta_i} \right) C_{\tilde{n}} RT \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] + K_{03} \div$$

$$C_p : \text{Caudal másico} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{S}} \right]$$

$$R : \text{Constante particular del gas} \left[\frac{\text{J}}{\text{Kg} - \text{K}} \right] \quad (\text{incluye el factor de compresibilidad "Z"})$$

$$K : \text{Exponente de las adiabáticas} \quad K = \frac{C_p}{C_v}$$

$$C_p : \text{Calor específico a presión constante} \left[\frac{\text{J}}{\text{KgK}} \right]$$

$$C_v : \text{Calor específico a volumen constante} \left[\frac{\text{J}}{\text{KgK}} \right]$$

Optimización de las variables

Obtenida la función de costo $C_t = f\left(D; P_1; \frac{P_1}{P_2}; \chi\right)$, se trata de optimizar las variables $D; P_1; \frac{P_1}{P_2}; \chi$

$$\text{condicionadas a la ecuación de flujo isotérmico: } C_{\tilde{n}}^2 = \frac{\delta^2}{16} \frac{K_D^5 D^5 P_1^2}{RTfL} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{-2} \right]$$

Utilizando el método de los multiplicadores de Lagrange.

$$C_t = f\left(D; P_1; \frac{P_1}{P_2}; \chi\right) \text{ Función de costo}$$

$$\phi = C_p^2 - \frac{\pi^2}{16} \frac{K_D^5 D^5 P_1^2 \chi}{RTfL} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{-2} \right] = 0 \text{ Ecuación de condición}$$

$$1) \frac{\partial C_T}{\partial D} + \lambda \frac{\partial \phi}{\partial D} = 0$$

$$2) \frac{\partial C_T}{\partial P_1} + \lambda \frac{\partial \phi}{\partial P_1} = 0 \quad \lambda = \text{multiplicador de Lagrange}$$

$$3) \frac{\partial C_T}{\partial \left(\frac{P_1}{P_2} \right)} + \lambda \frac{\partial \phi}{\partial \left(\frac{P_1}{P_2} \right)} = 0$$

$$4) \frac{\partial C_T}{\partial \chi} + \lambda \frac{\partial \phi}{\partial \chi} = 0$$

Hemos obtenido 4 ecuaciones con el método de Lagrange, junto con la ecuación de condición se conforma un sistema de 5 ecuaciones con 5 incógnitas $D; P_1; \frac{P_1}{P_2}; \chi; \lambda$.

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtienen las siguientes expresiones:

$$(I) \left(\frac{K_{02} K_2 t}{\eta_m \eta_i} + \frac{K_3}{\eta_i} \right) C_p RT \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 - \frac{3K-1}{K-1} \right] + \frac{K}{K-1} \right\} - K_{03} = 0$$

(II)

$$D = \left\{ \frac{(1 + K_D)^2 \left(\frac{\gamma_F C_p}{4\sigma} \right)^2 \frac{16K_{11}^2}{[\pi(K_{12} + K_{13})]^3} \left\{ K_{03} + \left(\frac{K_{02} K_2 t}{\eta_m \eta_i} + \frac{K_3}{\eta_i} \right) \frac{K}{K-1} C_p RT \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \right\} \frac{RTf}{\left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{-2} \right]} \right\}^{\frac{1}{4}}$$

$$(III) P_1 = \frac{2}{1 + K_D} \frac{K_{12} + K_{13}}{K_{11}} \frac{4\sigma}{\gamma_F D}$$

$$(IV) \chi = \frac{16C_p^2}{\pi^2 K_0^5} \frac{RTf}{D^5 P_1^2 \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{-2} \right]} L$$

De la ecuación (I) se obtiene la relación de compresión $\frac{P_1}{P_2}$

De la ecuación (II) se obtiene el diámetro exterior D

De la ecuación (III) se obtiene la presión máxima en la cañería P_1

De la ecuación (IV) se obtiene la cantidad de estaciones compresoras χ incluida la de cabecera.

Con las variables calculadas (óptimas, que hacen mínimo el costo total de la instalación) se procede a calcular el espesor de la cañería

$$e = \frac{P_1 D}{2\sigma}$$

La tensión admisible σ , se obtiene a partir de la tensión de fluencia σ_f del material, afectada de un coeficiente de seguridad K_4

$$\sigma = K_4 \sigma_f$$

AJUSTE PRÁCTICO DE LOS VALORES OBTENIDOS

Diámetro de la cañería D

Se selecciona dentro de la serie estandarizada el diámetro más próximo al óptimo calculado ya sea mayor o menor.

Si el diámetro óptimo resulta mucho mayor que los posibles de fabricar dentro de la serie normal, se subdivide en dos cañerías en paralelo con la mitad del caudal cada una, y se vuelven a calcular las variables óptimas.

Presión máxima P_1

Si por razones de normas de seguridad o por limitaciones tecnológicas no puede alcanzarse la presión P_1 óptima, se adoptará la mayor posible. Si esta presión máxima difiere mucho del valor óptimo, se debe realizar una nueva optimización, fijando la presión P_1 posible y buscar los valores óptimos del diámetro D, la relación de compresión $\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$ y la cantidad de plantas compresoras “ χ ”, resultando lo siguiente:

$$(V) \left(\frac{K_{02} K_{2t}}{\eta_m \eta_i} + \frac{K_3}{\eta_i} \right) C_p RT \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 - \frac{3K-1}{K-1} \right] + \frac{K}{K-1} \right\} - K_{03} = 0$$

$$(VI) \left(\frac{1+K_D}{2} K_{11} \frac{\pi P_1 \gamma_F}{5\sigma} \right) D^7 + \left(\frac{K_{12} + K_{13}}{5} \pi \right) D^6 - \left[\left(\frac{K_{02} K_{2t}}{\eta_m \eta_i} + \frac{K_3}{\eta_i} \right) C_p RT \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\left(3-\frac{1}{K}\right)} \frac{8C_p^2 RT f L}{\pi^2 K_D^5 P_1^2} \right] = 0$$

$$(VII) \chi = \frac{16C_p^2 RT f}{\pi^2 K_D^5 D^5 P_1^2 \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{-2} \right]} L$$

De la (V) se obtiene la relación de compresión $\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$

De la (VI) se obtiene el diámetro exterior D

De la (VII) se obtiene la cantidad de plantas compresoras χ .

Relación de compresión $\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$

En caso de no poder cumplir con la relación de compresión óptima por cualquiera de las razones prácticas, se fija el valor posible de $\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$ y se optimizan las variables $D; P_1; \chi$, resultando lo siguiente:

(VIII)

$$D = \left\{ \frac{(1 + K_D)^2 \left(\frac{\gamma_F C_p}{4\sigma} \right)^2 \frac{16K_{11}^2}{[\pi(K_{12} + K_{13})]^3} \left\{ K_{03} + \left(\frac{K_{02}K_{2t}}{\eta_m \eta_i} + \frac{K_3}{\eta_i} \right) \frac{K}{K-1} C_p RT \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] \right\} \frac{RTf}{\left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{-2} \right]} \right\}^{\frac{1}{4}}$$

$$(IX) P_1 = \frac{2}{1 + K_D} \frac{K_{12} + K_{13}}{K_{11}} \frac{4\sigma}{\gamma_F D}$$

$$(X) \chi = \frac{16}{\pi_2 K_D^5} \frac{C_p^2 RTf}{D^5 P_1^2 \left[1 - \frac{P_1}{P_2} \right]^{-2}} L$$

De la (VIII) se obtiene el diámetro exterior D

De la (IX) se obtiene la presión máxima P_1

De la (X) se obtiene la cantidad de plantas compresoras χ .

ENFOQUE DEL PROBLEMA PARA CAUDALES VARIABLES EN EL TIEMPO

Como suele ocurrir normalmente, los proyectos deben contemplar un caudal inicial de transporte C_{p0} y luego un incremento, a través de los años, hasta alcanzar un caudal máximo $C_{\tilde{n}max}$.

El gasoducto debe proyectarse para poder transportar el caudal máximo, pero desde el punto de vista del consumo y costo de la energía, corresponde utilizar valores medios temporales.

Como se ha expuesto en los casos anteriores, la determinación del proyecto óptimo, contempla ambos aspectos: el técnico y el económico.

Para enfocar este problema, con caudales variables en el tiempo, se definen valores medios y su relación con los valores máximos.

$$\text{Caudal medio} \quad c_{\bar{n}} = \frac{\sum (c_{\bar{n}i} \Delta t_i)}{\sum \Delta t_i} \quad t_i = \text{Tiempo}$$

$$\text{Caudal máximo} \quad C_{\bar{n}max} = K_c C_{\bar{n}} \quad K_c = \frac{C_{\bar{n}max} \sum \Delta t_i}{\sum (C_{\bar{n}i} \Delta t_i)}$$

Manteniendo constante la presión P_2 (al final), al caudal máximo le corresponde P_{1max} . Siendo P_1 la presión correspondientes al caudal medio, se puede escribir lo siguiente:

$$P_{1max} = K_p P_1$$

Con los coeficientes K_c y K_p plantean las funciones de costo y la ecuación de condición. Luego, utilizando el mismo procedimiento de optimización de los casos anteriores, se determinan los valores óptimos correspondiente a la relación de compresión $\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$, al diámetro (D), a la presión (P_1), y a la cantidad de plantas compresoras ($\div$).

La cañería se dimensiona con $P_{1max} = K_p P_1$ y el diámetro (D), obteniendo el correspondiente espesor (e).

La relación de compresión de las plantas compresoras debe ser tal que pueda operar hasta el valor máximo

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)_{max} = K_p \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

CONCLUSIONES

Como quedara visto para enfocar el problema, primero se requiere realizar una investigación en el mercado a los efectos de obtener todos los costos de los elementos (materiales, mano de obra y equipos) que intervienen en la instalación y luego hacer una regresión matemática para obtener una función de costo.

Debe plantearse a continuación la ecuación que condiciona técnicamente el proyecto, como por ejemplo la ecuación de flujo isotérmico aquí utilizada, en la cual intervienen todas las variables a determinar.

Seguidamente, con la función de costo total, se busca el mínimo costo condicionado a la ecuación del flujo, utilizando el método de los multiplicadores de Lagrange, obteniendo de este modo las soluciones buscadas.

Por último deben ajustarse los valores óptimos a valores prácticos o sea diámetro, máxima presión operativa y relación de compresión en plantas compresoras.

REFERENCIAS y BIBLIOGRAFÍA

El presente trabajo se basa en clases de los cursos de grado (Mecánica de los Fluidos y Transporte de Fluidos por Tuberías) desarrollados en la UTN (Regional Bs.As.) y en el ITBA (Mecánica de los Fluidos), y de los cursos de posgrado (Transporte de Gas Natural) dictados en la UBA (Instituto del Gas y del Petróleo), por parte de los autores durante mas de 20 años de actividad docente universitaria.

Asimismo ha servido de guía los textos preliminares del libro “Transporte de Fluidos por Tuberías” en vías de preparación por los autores.

FIGURAS

Fig. N° 1: Costo de la cañería C_1

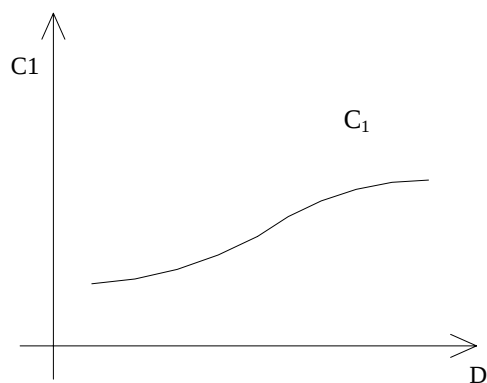


Fig. N° 2: Costo de la energía consumida en las plantas compresoras C_2

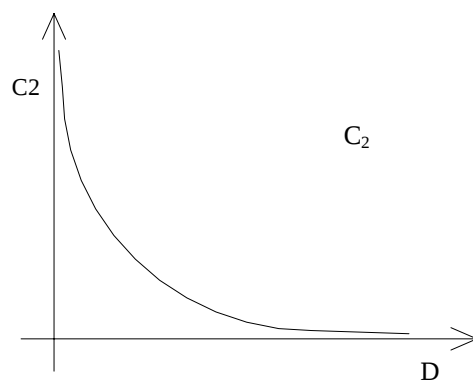


Fig. N° 3: Costo de las plantas compresoras C_3

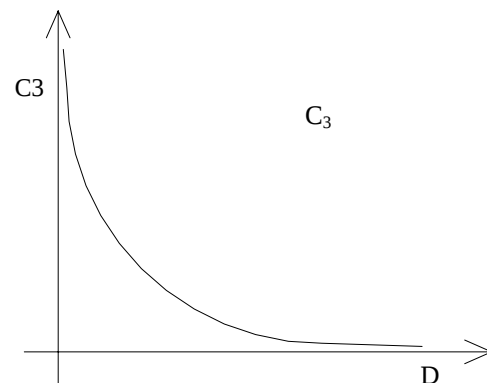


Fig. N° 4: Costo total de la instalación C_T

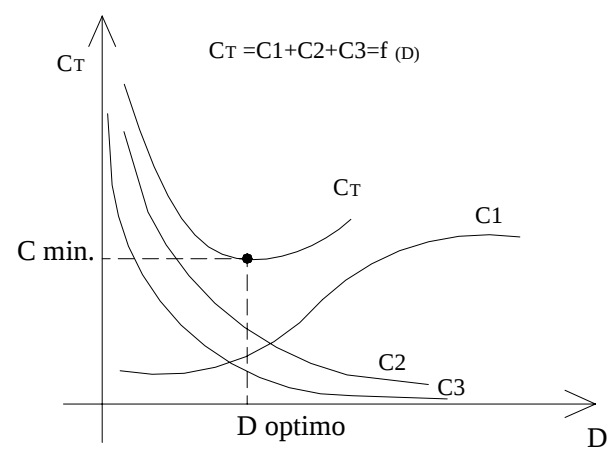


Fig. N° 5: Línea de Gasoducto

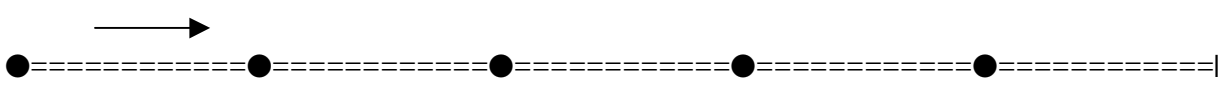
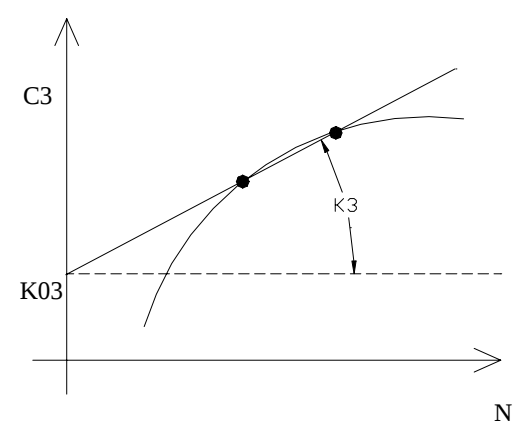


Fig. N° 6: Costo de las plantas compresoras C_3



Remo FRABOTTA

Remo Frabotta, es ingeniero especialista en mecánica y termodinámica de los fluidos, y ha desarrollado numerosos trabajos de su especialidad tanto en el ámbito industrial -como consultor independiente- como en el ámbito académico, y está especializado en el análisis de alternativas hidráulicas, estudios de golpe de ariete, y estudios térmicos de flujos de fluidos compresibles e incompresibles. Actualmente se desempeña como Consultor externo en la categoría de “Sr. Engineering Specialist” en INTEC Engineering de Argentina SRL.

El ingeniero Frabotta posee amplios antecedentes docentes como profesor asociado en cursos de grado de mecánica de fluidos y transporte por ductos (ITBA, UTN, U.de Morón, U.N.Matanza).

Gustavo CAVALLO

Gustavo Cavallo es ingeniero mecánico y actualmente se desempeña como responsable técnico de la filial argentina de INTEC Engineering Inc., firma consultora dedicada a brindar servicios de ingeniería para cañerías de gas y petróleo, y sus estructuras asociadas, a nivel mundial.

Entre 1969 y 1989 cumplió funciones ejecutivas y técnicas en la ex Gas del Estado, donde en 1988 asumió la Gerencia Departamental Técnica hasta su desvinculación. Entre 1990 y 1993 participó en la órbita privada en numerosos estudios técnico-económicos de gas y petróleo en EcoEnergía S.A. De 1993 a 1998 integró el ENARGAS con el cargo de Gerente de Transmisión.

Posee además amplios antecedentes docentes (UTN, ITBA, UdeMM) y es director de la carrera de gas en el IGPUBA.