

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

**TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE
HIDROCARBUROS**

Plantas de Regulación de Presión

ESTACIONES REGULADORAS DE PRESIÓN

A. Introducción

El objeto del presente texto es definir los criterios principales del proyecto dimensional, funcional y de resistencia de una estación de regulación de presión de gas natural (ERP), destinada a la distribución de gas por redes.

Es conveniente aclarar que las soluciones técnicas para el proyecto de una ERP son muy diversas y pueden no estar previstas todas las alternativas posibles en el presente texto. La evaluación técnica debe hacerse para cada caso en particular, adoptándose finalmente la solución funcionalmente más conveniente.

Una ERP deberá ser proyectada y construida cumpliendo estrictamente con las leyes, normas, y disposiciones en vigencia, teniendo en cuenta que el diseño abarca tanto instalaciones mecánicas como eléctricas, de instrumentación, de comunicaciones y civiles.

Otro aspecto de gran importancia es el efecto que la operación de la futura ERP provocará en el Medio Ambiente. Estos efectos pueden ser, entre otros: ruido, eventuales emanaciones gaseosas y difusión de olores. Estos aspectos deberán ser tenidos en cuenta en el diseño de la ERP, con el objeto de minimizar la afección del Medio Ambiente durante la operación.

B. Componentes de una Estación Reguladora de Presión

El circuito principal del gas en la ERP está constituido por las cañerías, válvulas, filtros, intercambiadores de calor, reguladores, medidores, etc., a través de los cuales el gas fluye para pasar desde una cañería a mayor presión a otra, aguas abajo, de menor presión.

Una Estación Reguladora de Presión puede estar compuesta por las siguientes instalaciones:

1) Instalación Mecánica

- a) Válvula principal de entrada: su accionamiento provoca el bloqueo total del ingreso de gas a la estación. Puede instalarse en cámara en el exterior de la estación o aérea en el interior de la misma.
- b) Cañería de entrada: se entiende al tramo de cañería que va desde la válvula principal de entrada, si esta es externa, o desde el límite físico de la ERP, si la válvula es interna, hasta el colector del sistema de filtrado.
- c) Sistema de Filtrado: separación de partículas sólidas y/o líquidas eventualmente presentes en el gas.

- d) Sistema de Calentamiento: se instala eventualmente, cuando el salto de presión provoca una caída importante de la temperatura del gas, con el consiguiente riesgo de formación de hidratos.
- e) Sistema de Regulación de Presión: comprende a los reguladores activos, monitores y dispositivos de bloqueo.
- f) Válvula de Seguridad por alivio de Presión.
- g) Sistema de Medición: generalmente a presión regulada, con su by-pass
- h) Sistema de Odorización, si es necesario.
- i) Cañería de salida: se entiende al tramo de cañería que va desde el colector de salida de la planta hasta la válvula de salida, si es externa, o hasta el límite físico de la ERP si la válvula es interna.
- j) Válvula principal de salida: su accionamiento provoca el bloqueo total de la salida de gas de la estación. Puede instalarse en cámara en el exterior de la estación o aérea en el interior de la misma.

2) Instalación Eléctrica

- a) Instalación de Iluminación, perimetral y localizada (eventual)
- b) Instalación eléctrica para alimentación de equipos de medición, odorización, comunicaciones, etc. (eventual)
- c) Instalación eléctrica para alimentación de equipos de iluminación portátiles (eventual)

3) Protección Catódica y Puesta a Tierra

4) Instalación de Comunicaciones

- a) Instalación del Sistema de Telemedición (caudal instantáneo en condiciones de operación y corregido, volumen acumulado corregido y sin corregir, alarmas, etc.) (eventual)
- b) Instalación del Sistema de Telecontrol (comando de válvulas, modificación de la odorización, etc.) (eventual)

Nota: las señales pueden ser transmitidas mediante línea telefónica dedicada, teléfono celular, radio, satélite, etc.

5) Instrumentación

- a) Indicadores locales de Presión (Manómetros)
- b) Indicadores locales de Temperatura (Termómetros)
- c) Indicadores de Presión Diferencial
- d) Medidores de caudal
- e) Unidad correctora electrónica (P,T,Z)
- f) Computador de flujo

- g) Transmisores de presión estática
 - h) Transmisores de presión diferencial
 - i) Transmisores de temperatura
 - j) Presóstatos
 - k) Alarmas (Baja ó alta presión de salida, accionamiento de la válvula de seguridad, bajo nivel de odorante, nivel de odorización insuficiente, saturación del filtro, bajo nivel de agua en calentador o caldera, puertas abiertas, fugas de gas, inundación, posición incorrecta de válvulas, fallo en alimentación eléctrica, etc.)
 - l) Manifolds y válvulas para instrumentos
- 6) Obra Civil
- a) Cabina o predio
 - i) Aérea con cerco olímpico
 - ii) Aérea en cabina con o sin techo
 - iii) Subterránea
 - b) Veredas y caminos internos
 - c) Accesos desde ruta o calle
- 7) Estructuras Metálicas
- a) Skids y soportes
 - b) Puentes grúa o aparejos
 - c) Escaleras y pasarelas de acceso

C. Consideraciones de Diseño

Para el diseño de la ERP asumiremos los siguientes supuestos:

- a) El gas natural no es corrosivo
- b) La instalación no estará sometida a solicitaciones relevantes, salvo aquella provocada por la presión interna del gas natural.
- c) La ERP se ubicará en lugares donde las condiciones atmosféricas pueden ser:
 - Temperatura: -10°C a $+50^{\circ}\text{C}$
 - Humedad: menor al 95 %

En tales condiciones todos los elementos de la estación funcionarán normalmente.

- d) La temperatura de diseño a considerar para el dimensionamiento de la instalación, a los efectos de su resistencia mecánica, son:
- – 10°C a + 95 °C: para el sistema de calentamiento y la parte de la instalación cercana al mismo.
 - – 10°C a + 50 °C: para todo el resto de la instalación.

D. Definiciones relativas a caudales y presiones

1) Caudal

El caudal, a menos que este indicado de otra manera, será expresado en m³/h a 15°C y 1.01325 bar absoluto, es decir en la condición estándar (Sm³/h)

a) Caudal Máximo (Q_{máx})

Es el caudal máximo efectivo que la instalación debe poder entregar

b) Caudal Mínimo (Q_{mín})

Es el caudal mínimo efectivamente entregado por la instalación, no como un evento excepcional

c) Caudal de Diseño (Q_d)

Se entiende por caudal de diseño al máximo caudal para el cual, teniendo en cuenta ciertas previsiones, es dimensionada la instalación.

Estas previsiones deben contemplar un eventual incremento razonable del Q_{máx}, de manera que no implique la reconstrucción o remodelación de la planta, en un plazo estimado como razonable.

El caudal de diseño será entonces igual o mayor al Q_{máx}

d) Caudal de la rama de regulación (Q_{reg})

Es el caudal en base al cual va ser dimensionada la rama de regulación en estudio, teniendo en cuenta la configuración adoptada para la ERP.

e) Caudal de habilitación

Es el caudal inicial previsto para una planta que alimentará una localidad con escaso desarrollo de usuarios. En este caso la ERP tendrá una rama de habilitación, de menor capacidad que Q_{mín}, que funcionará desde la habilitación hasta que el número de usuarios se haya incrementado lo suficiente para utilizar las ramas de regulación normales, previstas en el diseño.

2) Presión

La presión, a menos que este indicado de otra manera, será expresado en bar manométrico (barM)

a) Presión Máxima de Operación

Es el valor máximo de la presión a que puede estar sometido cada componente individual de la instalación durante la operación.

b) Presión de Diseño (P_d)

Es la presión utilizada a los fines del cálculo de la resistencia mecánica de la instalación. Esta presión debe ser mayor o igual a la presión máxima de operación.

c) Presión Mínima de Operación

Es el valor mínimo de la presión a que puede estar sometido cada componente individual de la instalación durante la operación normal.

d) Presión de Prueba

Es la presión a la cual debe realizarse la prueba de resistencia de la instalación.

e) Presión de Prueba de Hermeticidad en campo

Es la presión a la cual se realiza la prueba de hermeticidad neumática de la instalación. Como se realiza en campo, y utilizando gas natural, la presión será la máxima presión disponible.

f) Presión de Entrada (P_e)

Es la presión a la entrada de la instalación y en general es definida por la empresa distribuidora o transportadora de gas. Se definen tres valores, uno máximo ($P_{emáx}$) que se corresponderá con la MAPO del gasoducto o ramal de alimentación a la ERP; un valor mínimo ($P_{emín}$), a entregar por la transportista o distribuidora; y un valor de operación, que variará en el tiempo en función de la carga del gasoducto de alimentación, pero que siempre deberá estar comprendido entre los valores máximo y mínimo de entrada definidos.

g) Presión Regulada (P_{reg})

Es la presión a la salida del sistema de regulación de presión. Se define un rango de presión regulada entre un valor mínimo y máximo ($P_{rmín}$ y $P_{rmáx}$)

h) Presión de Salida

Es la presión a la salida de la instalación.

i) Presión de Medición

Es la presión a la cual se efectúa la medición. En la mayoría de las instalaciones es prácticamente igual a la presión regulada, salvo en los casos que la medición se efectúa directamente a presión de gasoducto.

j) Presión Diferencial

Es la diferencia de presión existente entre el tramo aguas arriba y el tramo aguas abajo de un elemento de la instalación. (por ejemplo, el filtro)

k) Presión de Calibración (P_{set})

Es la presión a la cual se calibra una válvula reguladora de presión.

l) Presión de Timbre (Pap)

Es la presión a la cual está calibrada la válvula de alivio de presión para que abra y descargue a la atmósfera.

m) Presión de Bloqueo

Es la presión a la cual se calibra una válvula de bloqueo por sobrepresión para que cierre.

n) Presión Nominal (Pnom)

La presión nominal es la indicación convencional de la presión manométrica máxima mas allá de la cual no se garantiza la estabilidad mecánica de la instalación. Basándose en esta se definen los estándares dimensionales de los elementos que constituyen el sistema de cañerías, tales como bridas, válvulas, accesorios, etc.

En la tabla siguiente se reproduce un extracto de los valores de las presiones nominales establecidos por la norma ANSI B16.34, para el grupo 1.1 de materiales, de acuerdo a la temperatura de trabajo:

Tabla 1- Presiones Nominales (tabla 2-1.1 A de la Norma ANSI B16.34-1998)

Temperatura °C	Presión Nominal para cada Serie (barM)			
	150	300	400	600
-28.9 a 37.8	19.65	51.02	68.26	102.04
93.3	17.93	46.54	62.05	93.08

Nota: El grupo 1.1 incluye los siguientes materiales: A 105, A 216 WCB, A 515 70 y A 516 70

E. Criterios Generales de Diseño

Los criterios generales en el diseño de una ERP pueden ser los siguientes:

- La instalación debe ser capaz de operar al caudal de diseño y para el valor mínimo de la presión de entrada.
- El dimensionamiento debe minimizar la pérdida de carga y garantizar el buen funcionamiento de la instalación en todas las condiciones de operación.
- Una baja velocidad de circulación permite una mejor regulación, menor nivel de ruido y una menor pérdida de carga.
- La instalación debe diseñarse para garantizar la seguridad, confiabilidad y continuidad del servicio, aún en el caso de falla de sus componentes.
- La instalación debe diseñarse tratando de minimizar el impacto ambiental que esta produce.
- La válvula de bloqueo ubicada aguas abajo de la rama de regulación divide a la planta en dos secciones:
 - Una sección aguas arriba de la misma, que debe resistir la presión máxima de entrada, incluyendo a dicha válvula.

- ii) Otra sección aguas abajo, que debe resistir la máxima presión regulada prevista.
- g) Para garantizar la continuidad del servicio el sistema de regulación debe poseer doble rama de regulación, en paralelo, de manera que una de ellas funcione durante el servicio normal y la otra en emergencia, para lo cual la capacidad de cada una debe poder abastecer la demanda individualmente.
- h) Cuando se trate de plantas que abastecerán únicamente localidades sin desarrollo de usuarios, debe preverse una rama de habilitación de bajo caudal.
- i) Se respetará para la selección del regulador el valor de ruido máximo permitido por las normas y disposiciones en vigencia.
- j) Preferentemente las conexiones desmontables serán del tipo bridada.
- k) Al menos el sistema de medición, el de odorización por inyección y los tableros eléctricos, deben estar protegidos de la intemperie. El quemador del calentador indirecto o de la caldera debe tener protección antiviento para evitar el apagado de la llama piloto. En todos los casos es necesario el cercado del predio.
- l) Con respecto al tipo de válvulas a utilizar en la ERP, se definen en función de la ubicación
 - i) En general, salvo en las ubicaciones indicadas en los puntos siguientes, deben instalarse válvulas del tipo esféricas o macho lubricado. La válvula esférica puede ser del tipo paso reducido.
 - ii) En el tramo de baja presión (serie 150) puede instalarse válvulas tipo mariposa.
 - iii) Las válvulas del sistema de medición y su by-pass deben ser del tipo esféricas paso total.
 - iv) En las válvulas de seguridad por alivio con descarga a la atmósfera, no deben instalarse válvulas de bloqueo entre la cañería a proteger y dicha válvula.

F. Parámetros

Teniendo en cuenta que el gas natural es de composición variable y que a los fines del dimensionamiento no es necesaria una precisión absoluta de sus parámetros, es conveniente adoptar parámetros orientativos.

ρ_s = masa volumétrica del gas a 15 °C y 1,01325 bar = 0,70 Kg/m³

Mm = masa molecular del gas = 16,57 g/mol

Vm = Volumen molecular del gas a 15 °C y 1,01325 bar = 23,64 dm³/mol

σ = exponente isoentrópico = 1,31

ρ_{SA} = masa volumétrica del aire a 15 °C y 1,01325 bar = 1,22551 Kg/m³

μ = viscosidad dinámica media del gas = 10,8 μ Pa.s

P_b = Presión barométrica media = 1 bar

P = Presión absoluta = $p + 1$ bar = bar (donde p es la presión relativa en bar)

K = coeficiente de la ley de los gases perfectos respecto a las condiciones de ρ_S ; ($K \cong 1 - 0,002 p$)

h = salto entálpico obtenido del diagrama presión / entalpía para el metano puro, en KJ/Kg o en Kcal/Kg

t = temperatura del gas = 5°C, a menos que se especifique de otra manera.

G. Resumen de Fórmulas utilizadas

1) Velocidad del gas en las cañerías

$$V = 345,92 \times \frac{Q}{D^2} \times \frac{(1 - 0,002p)}{(1 + p)}$$

Donde :

V = velocidad del gas, en m/s

345,92 = constante numérica

Q = caudal en condiciones standard, en m³/h

p = presión manométrica a la entrada de la cañería, en barM

D = Diámetro interno de la cañería, en mm

2) Potencia del calentador indirecto de gas

La capacidad del equipo calentador indirecto en baño de agua, se obtiene de la siguiente fórmula:

$$C = \frac{h \times \rho_S \times Q}{\eta_{eq}}$$

Donde :

C = Capacidad del equipo, en Kcal/h

h = salto entálpico dado por la diferencia entre la entalpia del gas en la condición inicial y la entalpia del gas a la condición requerida, en Kcal/kg

ρ_S = masa volumétrica del gas en condición standard $\approx 0,7$ Kg/m³

η_{eq} = rendimiento del equipo $\approx 0,75$

Q = Caudal de diseño, en Sm^3/h

3) Potencia del intercambiador de calor

La capacidad del equipo intercambiador, se obtiene de la misma manera que en el ítem anterior, teniendo en cuenta un rendimiento del equipo de 0,9.

La capacidad de la caldera se obtiene con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{h \times \rho_s \times Q}{\eta_{eq} \times \eta_{cal}}$$

Donde :

η_{cal} = rendimiento de la caldera $\approx 0,8$

η_{eq} = rendimiento del equipo $\approx 0,9$

El resto de los símbolos tienen el mismo significado que en el ítem anterior

4) Fórmula general para dimensionamiento del regulador

La fórmula general de mayor difusión entre los constructores de válvulas de regulación es la siguiente:

$$Q = 6,965 \times \sqrt{\frac{1}{G \times T}} \times C_g \times P_1 \times \sin \left[\frac{3417}{C_1} \times \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_1}} \right]$$

Donde:

Q = Caudal de la válvula, en Sm^3/h

G = Densidad del gas relativa al aire, adimensional

T = Temperatura absoluta del gas aguas arriba de la válvula, en $^{\circ}\text{K}$

C_g = Coeficiente característico de la válvula relativo al gas, determinado experimentalmente, correspondiente al caudal en scf/h de aire entregado por la válvula totalmente abierta, en el salto crítico, con presión aguas arriba de 1 psia y temperatura 60°F

P_1 = Presión absoluta, aguas arriba de la válvula, en barA

P_2 = Presión absoluta, aguas abajo de la válvula, en barA

C_1 = Relación entre los coeficientes C_g/C_v , donde C_v representa el coeficiente líquido de la válvula, definido como el caudal en galones USA de agua por minuto, entregado por la válvula completamente

abierta, con la presión diferencial de 1 psi entre aguas arriba y abajo. En el caso que el valor C_g sea desconocido, pero sea conocido C_v , se asumirá $C_1 = 30$ y consecuentemente $C_g = 30 C_v$

H. Deducción de la fórmula de la velocidad del gas en las cañerías

La fórmula general para determinar el caudal de un fluido en una cañería es:

$$Q = vA$$

Donde:

Q = caudal, en m^3/s

V = velocidad del fluido, en m/s

A = Sección de la cañería, m^2

En el caso de cañería de sección circular:

$$Q = v \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde:

D = Diámetro interior de la cañería, en m

De esta expresión, se deduce:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (1)$$

Si expresamos Q en m^3/h y D en mm , la fórmula 1 queda:

$$v = \frac{4}{\pi} \frac{\frac{Q}{3600}}{\left(\frac{D}{1000}\right)^2}$$

Operando queda:

$$v = 353,68 \frac{Q}{D^2} \quad (2)$$

Donde Q es el caudal efectivo, no corregido, del fluido.

Para expresar la velocidad en función del caudal referido a la condición standard (1,01325 bar y 15°C), debemos tener presente la relación:

$$\frac{PV}{zT} = \text{cte}$$

Donde:

P = presión absoluta del gas

V = volumen del gas

z = coeficiente de compresibilidad de la ley de los gases perfectos

T = temperatura absoluta del gas

Igualando la condición de operación y la condición standard, queda:

$$\frac{PV}{zT} = \frac{P_s V_s}{z_s T_s}$$

De donde se obtiene el coeficiente de corrección de volumen, para referirlo a la condición standard:

$$V = V_s \frac{P_s}{P} \frac{T}{T_s} \frac{Z}{Z_s} \quad \Leftrightarrow \quad Q = Q_s \frac{P_s}{P} \frac{T}{T_s} \frac{Z}{Z_s} \quad (3)$$

Llamando C al coeficiente de corrección:

$$C = \frac{P_s}{P} \frac{T}{T_s} \frac{Z}{Z_s}$$

Donde:

P_s = Presión absoluta a la condición standard = 1,01325 bar

P = Presión absoluta a la condición de operación, en barA

T_s = Temperatura absoluta a la condición standard = 288 °K

T = Temperatura absoluta a la condición de ejercicio. A menos que se indique lo contrario el valor de T es 278 °K (5°C)

Z/Z_s = Coeficiente de compresibilidad de la ley de los gases perfectos respecto de la condición standard = 1 – 0,002 P

Sustituyendo en la ecuación 2, y expresando en función de P, queda:

$$v = 353,68 \frac{Q}{D^2} = 353,68 \frac{1}{D^2} Q_s \cdot \frac{101325}{(1+p)} \cdot \frac{T}{T_s} \cdot \frac{Z}{Z_s}$$

Reemplazando:

$$v = 353,68 \frac{1}{D^2} Q_s \cdot \frac{101325}{(1+p)} \cdot \frac{278}{288} \cdot (1 - 0,002 \cdot p)$$

Operando, queda:

$$v = 345,92 \frac{Q_s}{D^2} \cdot \frac{(1 - 0,002 \cdot p)}{(1+p)} \quad (4)$$

I. Especificación de Materiales

Los materiales que componen la ERP deben cumplir con las especificaciones de calidad y dimensiones aceptadas por la normativa en vigencia. En el siguiente listado se indican las más usuales:

Tabla 2 - Normas de Aplicación

Norma	Nombre
API 5L	Line Pipe
API 6D	Pipeline Valves
API 1104	Standard for Welding Pipelines and Related Facilities
ANSI/ASME B16.5	Steel Pipe Flanges and Flanged Fittings
ANSI/ASME B16.9	Factory-Made Wrought Steel Buttwelding Fittings
ANSI/ASME B16.11	Forged Steel Fittings, Socket-Welding and Threaded
ANSI/ASME B16.20	Ring Joint Gaskets and Grooves for Steel Pipe Flanges
ANSI/ASME B16.34	Steel Valves (Flanged and Buttwelding end)
ANSI/ASME BPV-VIII-1	Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII Div 1 Pressure Vessels
ANSI/ASME BPV-IX	Boiler and Pressure Vessel Code Section IX Welding Qualifications
ASTM A 53	Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated Welded and Seamless
ASTM A 105/A 105M	Forgings, Carbon Steel, for Piping Components

Tabla 2 - Normas de Aplicación

ASTM A 106	Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service
ASTM A 181	Forgings, Carbon Steel for General Purposes
ASTM A 193/A 193M	Alloy Steel and Stainless Steel Bolting Materials for High-Temperature Service
ASTM A 194/A 194M	Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High Pressure and High-Temperature Service
ASTM A 216	Carbon-Steel Castings Suitable for Fusion Welding for High-Temperature Service
ASTM A 234	Piping Fittings of Wrought Carbon Steel and Alloy Steel for Moderate and Elevated Temperature
ASTM A 515	Pressure Vessel Plate, Carbon Steel for Intermediate and Higher Temperature Service
ASTM A 516	Pressure Vessel Plate, Carbon Steel for Moderate and Lower-Temperature Service
AWS A3.0	Welding Terms and Definitions

J. Dimensiones Standard de las Cañerías

Debe tenerse en cuenta que el valor del diámetro interior que se determine para las cañerías que conforman la ERP, tiene el carácter de un dato teórico y que el real deberá ser establecido en función de la disponibilidad comercial, una vez definida la calidad de la cañería y el espesor correspondiente.

Para la construcción de las ERP es recomendable el uso de cañerías Schedule 40, construidas según norma ASTM A 53 ó A 106 G° B.

Según dicha especificación, para diámetros nominales comprendidos entre 2" y 12", los espesores y diámetros interiores correspondientes a las cañerías son los indicados en el cuadro siguiente:

Tabla 3 – Dimensiones Standard de Cañerías Sch 40

Diámetro nominal (pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
2"	60.3	3.91	52.48
2 ½"	73.0	5.16	62.71
3"	88.9	5.49	77.92
4"	114.3	6.02	102.26
6"	168.3	7.11	154.08
8"	219.1	8.18	202.74
10"	273.1	9.27	254.56

K. Sistema de regulación

El sistema de regulación de presión representa el corazón de la ERP y uno de los elementos más importantes en la operación del sistema de distribución, desde el punto de vista de la seguridad y de la calidad del servicio.

a) Configuraciones

El sistema de regulación se compone de dos elementos o grupos de elementos principales, uno encargado de la regulación de la presión y otro encargado de proteger a la instalación y a la red de distribución, ante la falla de algún componente.

Los siguientes esquemas ejemplifican las configuraciones más usuales en sistemas de regulación, dependiendo su selección de factores asociados al tipo de servicio:

Tabla 4 – Configuraciones de ramales de regulación

Tipo	Configuración	Referencias
I		1. Válvula Reguladora de Presión 2. Válvula de Seguridad por Bloqueo 3. Válvula de Alivio de Baja Capacidad
II		1. Válvula Reguladora Activa 2. Válvula Reguladora Monitor
III		1. Válvula Reguladora Activa 2. Válvula Reguladora Monitor 3. Válvula de Seguridad por Bloqueo
IV		1. Válvula Reguladora Activa 2. Válvula Reguladora Monitor 3. Válvula de Seguridad por Bloqueo 4. Válvula de Alivio de Baja Capacidad

Nota : En la tabla se indica solo una de las ramas del sistema de regulación. La otra rama puede ser de igual configuración o distinta.

La configuración Tipo I puede ser utilizada en sistemas ligados, como rama principal y secundaria, o combinada con una Tipo II, como rama principal.

La configuración Tipo III se utiliza en sistemas antena, como rama principal y secundaria, generalmente para abastecimiento de ciudades con gran desarrollo de usuarios.

La configuración Tipo IV también se utiliza en sistemas antena, como rama principal y secundaria, pero para localidades con poco desarrollo de usuarios.

b) Válvula Reguladora de Presión Activa

La válvula reguladora de presión es el elemento que cumple la función de controlar que la presión de salida se mantenga estable dentro del rango deseado ante cualquier variación en la presión de entrada al sistema o ante cualquier variación de la demanda.

c) Válvula Reguladora de Presión Monitor

La válvula monitor es un elemento de seguridad de similares características a la válvula reguladora, cuya función es la de trabajar como regulador ante una falla de la válvula activa. Permite un alto grado de seguridad en el sistema sin riesgo de interrupción del servicio.

d) Válvula de Seguridad por Bloqueo

Es un elemento de seguridad que se coloca como último recurso y está destinado a producir la interrupción del flujo de gas cuando la presión de salida supere el valor para la cual fue calibrada.

e) Válvula de Seguridad por Alivio

Es un elemento de seguridad que ventea a la atmósfera el exceso de presión, cuando se supera el valor de timbre a la cual fue calibrada. La capacidad se limita a valores iguales o menores del 5% del $Q_{\text{máx}}$. El valor de calibración debe ser intermedio entre la válvula de seguridad por bloqueo y la válvula monitor, a fin de impedir que una pequeña sobrepresión momentánea haga actuar el bloqueo, con la consiguiente interrupción del suministro.

En los casos que el se instale una válvula de alivio en un ramal de regulación que no disponga de una válvula de seguridad de bloqueo por alta presión el caudal de alivio de la válvula debe ser el máximo caudal que pasa por la válvula cuando el C_g se encuentra al 100.

En los casos descriptos en el párrafo anterior donde no existe la válvula por bloqueo por alta presión hay que calcular cual es caudal que permite pasar la válvula con una presión máxima de entrada (MAPO) y el Cg que indica el fabricante cuando el vástago de la reguladora se encuentra totalmente abierto (Cg=100).

L. Diseño y Dimensionamiento

a) Generalidades.

Previo al dimensionamiento corresponde proponer una distribución de los elementos y equipos a emplear y volcarlos en un esquema unifilar donde se deben señalar también las cañerías que conformarán la ERP que se desea diseñar.

Con el fin de simplificar tanto las verificaciones como el diseño, los criterios de dimensionamiento, como el aquí indicado no tienen en cuenta las pérdidas de carga a través de la instalación, asumiendo que en la mayoría de los casos dicha omisión es aceptable.

Con respecto a la resistencia de la instalación, salvo lo eventualmente especificado en los puntos siguientes, valen los principios definidos en el apartado “E” Criterios Generales de Diseño y la información provista en el punto “D” con respecto a las presiones.

b) Diámetros y presiones máximas de operación de válvulas, cañerías y equipos.

Como criterio general, las válvulas deben tener el mismo diámetro nominal de la cañería en la cual se conecta, y además los tramos de cañería deben tener diámetros uniformes.

El diámetro nominal se obtiene a partir del diámetro teórico, utilizando los datos de la cañería disponible de la tabla 3.

El diámetro teórico se calcula de modo que no se superen las velocidades máximas indicadas en la tabla 5 con los valores de caudal y presión mínima de operación indicados.

En la tabla 5 también se indican los valores de la presión máxima de operación a utilizar, a los efectos del dimensionamiento de la resistencia mecánica de los componentes de la instalación.

c) Válvulas principales de entrada y salida

Toda ERP debe contar con válvulas que permitan aislar a la estación del resto del sistema en una emergencia.

Estas válvulas deben estar preferentemente en el exterior de la estación para evitar tener que ingresar a la misma en caso de siniestro. En este caso las mismas estarán ubicadas en cámara con tapa para impedir su accionamiento accidentalmente. Pueden eventualmente instalarse en el interior de la estación en forma aérea y lo más cercanas posible a la puerta de acceso, en el caso de la existencia de napas muy altas o falta de espacio.

Aguas arriba de la válvula de entrada y aguas abajo de la de salida se instala una junta monolítica para aislar eléctricamente la estación del gasoducto o ramal. Las juntas monolíticas se instalan dentro de la misma cámara que contiene a las válvulas.

Tabla 5 – Parámetros de dimensionamiento

Tramo		Dimensionamiento de los Diámetros			Resistencia Mecánica
		V _{máx} m/s	Caudal Q	Presión mínima de Operación	Presión Máxima de Operación
1	Cañería de Entrada	25	Q _d	P _{emín}	P _{emáx}
2	Sistema de Filtrado	25	Q _d	P _{emín}	P _{emáx}
3	Colector Aguas Abajo de los filtros	25	Q _d	P _{emín}	P _{emáx}
5	Cañerías y válvulas del Sistema de Calentamiento	25	Q _d	P _{emín}	P _{emáx}
6	Colector Aguas Arriba de la Regulación	25	Q _d	P _{emín}	P _{emáx}
7	Cañería y Válvula aguas arriba de primer Regulador	25	Q _{reg}	P _{emín}	P _{emáx}
8	Cañería y Válvula aguas abajo de la regulación	20	Q _{reg}	P _{rmín}	P _{emáx}
9	Colector Aguas Abajo de la Regulación	20	Q _d	P _{rmín}	P _{rmáx}
10	Cañería aguas arriba y aguas abajo, válvulas de entrada y salida del tramo de medición	20	Q _d	P _{rmín}	P _{rmáx}
12	Cañerías y válvulas de by pass del sistema de medición	25	Q _d	P _{rmín}	P _{rmáx}
13	Cañerías del tramo de medición y medidor	20	Q _{máx}	P _{rmín}	P _{rmáx}
15	Tramo de odorización y cañería de salida	20	Q _d	P _{rmín}	P _{rmáx}

d) Cañería de entrada

Comprende el tramo de cañería que va desde la válvula principal de entrada, si esta es externa, o desde el límite físico de la ERP, si la válvula es interna, hasta el colector del sistema de filtrado.

La cañería debe ser de diámetro uniforme y de diámetro tal que satisfaga las siguientes condiciones:

- i) La caída de presión debe ser menor o igual al 1% de la P absoluta mínima de entrada.
- ii) La velocidad del gas no debe superar los 25 m/s

Para el cálculo de la velocidad y la caída de presión deben usarse las fórmulas del apartado G.

e) Sistema de Filtrado

Es aconsejable que en plantas de primera etapa, conectadas directamente al gasoducto de transporte, la estación cuente con filtro separadores de polvo y líquido. Las plantas que se deriven de esta última podrán contar con separadores de polvo exclusivamente.

Los equipos deben garantizar una eficiencia de separación como se indica a continuación, para garantizar el buen funcionamiento de los reguladores y/o de los medidores:

- i) Retención del 98% de las partículas sólidas ≥ 5 micrón
- ii) Retención del 100% de las partículas sólidas ≥ 10 micrón
- iii) Retención del 95% en peso de las partículas líquidas transportadas (para el caso que el separador incluya retención de líquidos)

La pérdida de carga en el elemento filtrante limpio no debe ser mayor a 100 mbar en condición de caudal de diseño y presión mínima de entrada.

El diámetro de entrada y salida del filtro no debe ser inferior al de la cañería donde está instalado.

Es aconsejable, para disminuir tiempos operativos del reemplazo de filtros, la utilización de tapas de cierre rápido en lugar de tapas de acceso bridadas, sobre todo para cuerpos de grandes diámetros.

El diseño del o los recipientes que conforman el cuerpo del equipo debe realizarse de acuerdo al código ASME sección VIII división 1 y la soldadura del equipo responderá a la sección IX.

Para la determinación de la cantidad de elementos filtrantes que debe poseer un equipo determinado deben utilizarse las recomendaciones del fabricante de dichos elementos, y las curvas de capacidad para distintas presiones.

f) Sistema de Calentamiento

Debe asegurarse que la temperatura del gas después de la reducción de presión no sea inferior a 5°C. Esto debe ser garantizado por el sistema de calentamiento en condiciones de caudal de diseño y presión máxima de entrada.

El sistema debe evitar la formación de hidratos que obstruyan los reguladores y asegurar una buena regulación de la temperatura en el tramo de medición.

En zonas de humedad ambiente elevadas evitan además el congelamiento exterior de las válvulas reguladoras y la cañería de salida de la regulación.

El calentador puede no ser instalado para presiones de entrada máximas hasta 25 bar, ya que los reguladores en tales condiciones no necesitan, para su normal funcionamiento, de gas precalentado.

i) Calentador indirecto en baño de agua

Las características principales que debe cumplir el calentador son:

- El diámetro de la cañería de entrada y salida no debe ser inferior al diámetro de la cañería donde está conectado.
- La serpentina de circulación debe ser inspeccionable
- Debe responder en todo lo que sea de aplicación a la norma API 12K
- La velocidad del gas en la serpentina, a la presión mínima de entrada no será superior a 30 m/s
- La caída de presión entre el ingreso del gas y la salida no será superior a 0,2 bar a la presión mínima de entrada.

La capacidad del calentador en Kcal/h se obtiene de la fórmula indicada en el apartado G:

$$C = \frac{h \times \rho_s \times Q}{\eta_{eq}}$$

Donde :

C = Capacidad del equipo, en Kcal/h

h = salto entálpico dado por la diferencia entre la entalpía del gas en la condición inicial y la entalpía del gas a la condición requerida, en Kcal/kg

ρ_s = masa volumétrica del gas en condición standard $\approx 0,7 \text{ Kg/m}^3$

η_{eq} = rendimiento del equipo $\approx 0,75$

Q = Caudal de diseño, en Sm^3/h

El salto entálpico se obtiene del diagrama presión - entalpía para el metano puro que se indica en el gráfico N° 2.

La evolución del gas en el sistema formado por el calentador y la regulación no debe atravesar la curva de formación de hidratos.

En el grafico N° 3 se indica la curva de formación de hidratos y distintas alternativas de calentamiento y regulación. Debe tenerse en cuenta que el calentamiento se realiza a presión aproximadamente constante y que la evolución en el regulador es isoentálpica.

Gráfico 2 – Diagrama Presión – Entalpía del Metano puro

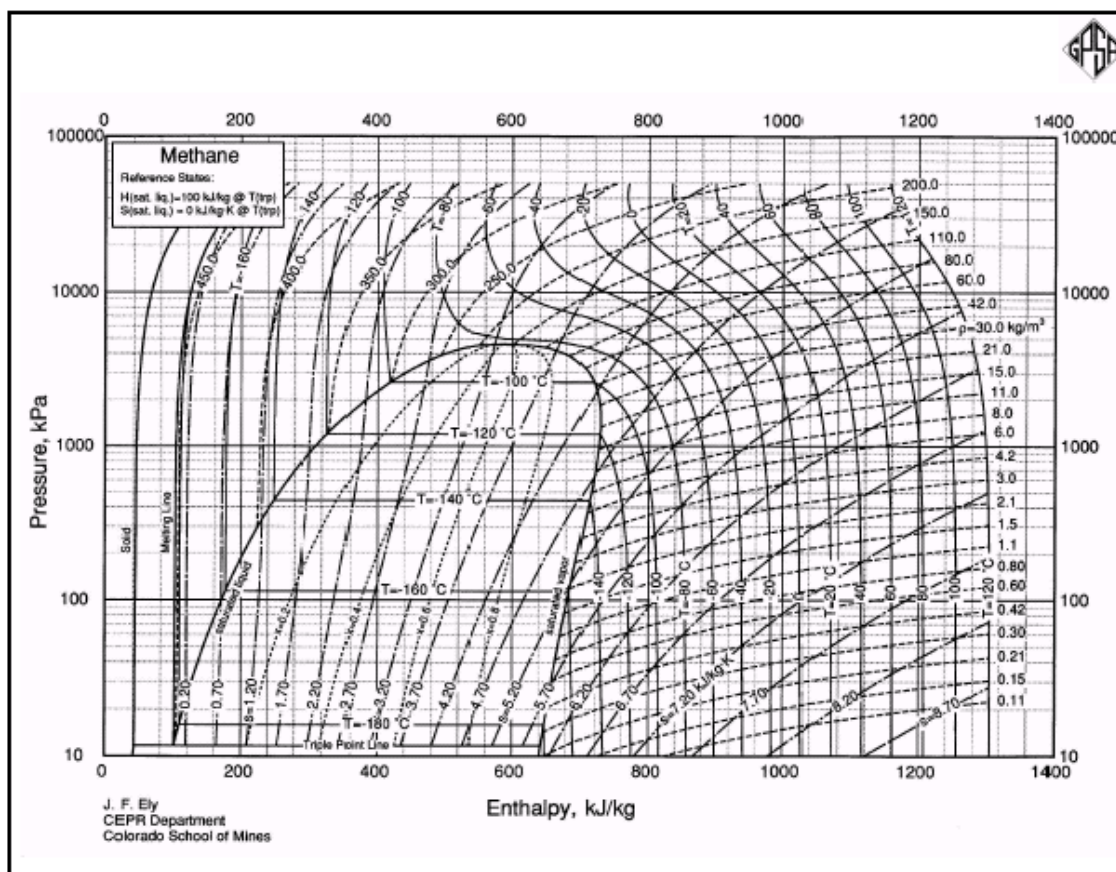
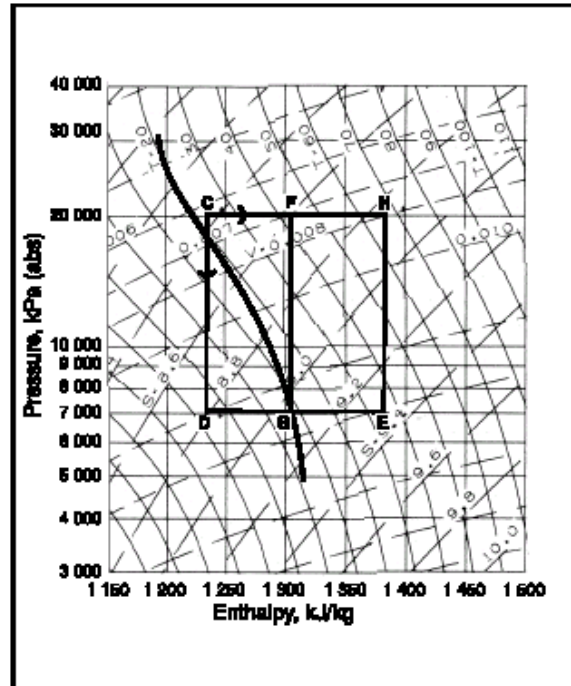


Gráfico 3 – Curva de Formación de Hidratos del Gas Natural



ii) Intercambiador de calor con caldera independiente

Este sistema está compuesto por dos equipos independientes, el intercambiador de calor, instalado en línea con la ERP, y la caldera instalada a distancia de fuegos abiertos de la instalación.

Las características principales que debe cumplir el intercambiador son:

- El diámetro de la cañería de entrada y salida no debe ser inferior al diámetro de la cañería donde está conectado.
- El haz de tubos debe ser inspeccionable
- La velocidad del gas en el haz de tubos, a la presión mínima de entrada no será superior a 30 m/s
- La caída de presión entre el ingreso del gas y la salida no será superior a 0,2 bar, a la presión mínima de entrada.

La capacidad del necesaria intercambiador se calcula de la misma manera que el calentador indirecto, pero teniendo en cuenta un rendimiento del 90% ($\eta_{eq} \approx 0,9$)

La capacidad de la caldera debe contemplar su propio rendimiento, por lo que la expresión para la determinación de la misma será la indicada en el apartado G:

$$C = \frac{h \times \rho_s \times Q}{\eta_{eq} \times \eta_{cal}}$$

Donde :

η_{cal} = rendimiento de la caldera $\approx 0,8$

η_{eq} = rendimiento del equipo $\approx 0,9$

g) Sistema de Regulación de Presión

Se considera al sistema de regulación como aquella parte de la instalación constituida por el conjunto de válvulas de bloqueo, monitor, seguridad, regulación, pilotos, etc. En este apartado trataremos exclusivamente los criterios dimensionales de la válvula reguladora.

La válvula reguladora debe poder mantener la presión regulada dentro de un rango de $\pm 5 \%$ de la presión de calibración de la válvula.

El conjunto de válvulas formado por regulador activo, monitor y seguridad por bloqueo puede estar constituido por tres válvulas distintas, dos válvulas (regulador + monitor con bloqueo incorporado) ó por una sola válvula que cumple las tres funciones.

La válvula reguladora activa debe ser de diseño "Fail to open" para asegurar que ante una falla de la misma pueda ser reemplazada por la válvula monitor instalada en serie en la misma rama.

La válvula de seguridad por bloqueo será del tipo de reposición manual para asegurar que la falla ha sido reparada antes de poner en servicio la rama afectada.

i) Fórmula de Dimensionamiento

La fórmula general de mayor difusión entre los constructores de válvulas de regulación es la siguiente:

$$Q = 6,965 \times \sqrt{\frac{1}{G \times T}} \times C_g \times P_1 \times \sin \left[\frac{3417}{C_1} \times \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_1}} \right]$$

Donde:

Q = Caudal de la válvula, en Sm^3/h

G = Densidad del gas relativa al aire, adimensional

- T = Temperatura absoluta del gas aguas arriba de la válvula, en °K
 C_g = Coeficiente característico de la válvula relativo al gas, determinado experimentalmente, correspondiente al caudal en scf/h de aire entregado por la válvula totalmente abierta, en el salto crítico, con presión aguas arriba de 1 psia y temperatura 60 °F
 P_1 = Presión absoluta, aguas arriba de la válvula, en barA
 P_2 = Presión absoluta, aguas abajo de la válvula, en barA
 C_1 = Relación entre los coeficientes C_g/C_v , donde C_v representa el coeficiente líquido de la válvula, definido como el caudal en galones USA de agua por minuto, entregado por la válvula completamente abierta, con la presión diferencial de 1 psi entre aguas arriba y abajo. En el caso que el valor C_g sea desconocido, pero sea conocido C_v , se asumirá $C_1 = 30$ y consecuentemente $C_g = 30 C_v$

La fórmula es válida cuando el salto de presión, aguas arriba y aguas abajo de la válvula es inferior al salto crítico.

En el caso del gas natural se da el salto crítico cuando:

$$P_2 \leq 0,544 P_1$$

O expresado de otra manera:

$$P_1 - P_2 \geq 0,456 P_1$$

Cuando se tiene un salto de presión igual o mayor al salto crítico, la fórmula se reduce a la siguiente:

$$Q = 6,965 \times \sqrt{\frac{1}{G \cdot T}} \times C_g \times P_1$$

Considerando un valor medio de $G = 0,571$ y asumiendo un valor medio de T igual a 278,15 °K las dos fórmulas a utilizar quedan:

Con $(P_1 - P_2) < 0,456 P_1$

$$Q = 0,55 \times C_g \times P_1 \times \sin \left[\frac{3417}{C_1} \times \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_1}} \right]$$

Con $(P_1 - P_2) \geq 0,456 P_1$

$$Q = 0,55 \times C_g \times P_1$$

ii) Valores de C_g y C_1

Los valores de C_g y C_1 son suministrados por el fabricante. En la siguiente tabla se indican algunos ejemplos:

Tabla 6 – Algunos valores de C_g y C_1

Diám.	Fisher EZR		Epta VD 277		Tormene Sirio		Tormene Alphard		Fiorentini Aperflux 851		Fiorentini Reflux	
	C_g	C_1	C_g	C_1	C_g	C_1	C_g	C_1	C_g	C_1	C_g	C_1
1"	481	33.4	686	30	600	31,9	480	30	565	30	575	32
2"	1.800	35.7	2.379	30	2.250	31,9	1.800	30	1.823	30	2.220	32
3"	3.390	37.4	4.805	30	4.800	31,9	4.200	30	4.400	30	4.937	32
4"	5.540	38.2	7.528	30	8.900	31,9	7.120	30	6.943	30	8.000	32
6"	11.200	35.7	13.580	30	17.400	31,9	14.800	30	13.890	30	16.607	32

iii) Valores de P_1 y $(P_1 - P_2)$

El valor de P_1 es el valor de la presión absoluta mínima de entrada. El valor de $(P_1 - P_2)$ será igual a $(P_1 - P_{reg})$, si este último es igual o mayor al Δp mínimo establecido por el fabricante y menor a $0,456 P_1$.

Para valores $(P_1 - P_{reg}) \geq 0,456 P_1$ la fórmula de cálculo no requiere dicho valor.

h) Válvula de seguridad por alivio

La válvula de seguridad por alivio se instala a los efectos de evitar el aumento de la presión regulada que puede verificarse ante la eventual falta de hermeticidad, en posición cerrada, del regulador activo y la válvula monitor.

La capacidad de la válvula no debe ser mayor al 5% del caudal de diseño, para evitar venteos innecesarios a la atmósfera.

Es aconsejable la instalación de una válvula por cada rama de regulación. En el caso de instalar una sola en el colector, obligaría a interponer una válvula de bloqueo entre la cañería y la válvula para permitir su mantenimiento, lo cual no es conveniente.

i) Sistema de Medición

En líneas generales, se entiende al conjunto de aparatos e instrumentos instalados, tales como el medidor, computador, etc., y la cañería necesaria para normalizar y by-pasear el flujo de gas a medir.

El elemento primario de medición debe dimensionarse para permitir una medición válida en el rango $Q_{\min}$ / $Q_{\max}$.

Los sistemas de medición deben responder a las normas correspondientes de acuerdo al tipo de medidor seleccionado, como se indica en la tabla 7. La selección del medidor no es tratada en este texto, ya que escapa del alcance pretendido, y es motivo de textos especiales.

Tabla 7 – Norma de Aplicación según el Sistema de Medición

Sistema de Medición	Norma de Aplicación
Inferencial (Placa Orificio)	AGA Report N° 3
Turbina	AGA Report N° 7
Diafragma	AGA Report N° 7
Rotativo	AGA Report N° 7
Ultrasónico	AGA Report N° 9

j) Cañería de Salida

Comprende el tramo de cañería que va desde el último colector de la planta hasta la válvula principal de salida, si esta es externa, o hasta el límite físico de la ERP, si la válvula es interna.

La cañería debe ser de diámetro uniforme y de diámetro tal que la velocidad del gas no supere los 20 m/s.

Para el cálculo de la velocidad debe usarse la fórmula del apartado G.

Sobre la cañería de salida inmediatamente después del colector de salida del sistema de medición se instala el sistema de odorización, tema que es tratado en texto separado.

M. Distancias Mínimas de Seguridad

Los distintos componentes de una ERP deben guardar distancias mínimas entre sus componentes o desde sus componentes a los límites de propiedad, línea municipal, etc.

Estas distancias están indicadas en la normativa vigente y se resumen en las siguientes tabla:

Tabla 8 – Distancias mínimas de seguridad en plantas de regulación

Presión de Entrada	Desde	Hasta	Diámetro Cañería de Entrada (mm)		
			Hasta 6"	8" a 12"	> a 12"
25 a 70 bar	Planta de Regulación y/o Medición	Calentador	15	25	30
	Planta de Regulación y/o Medición	Límite Instalación Eléctrica Área Peligrosa	7,5	10	15
	Planta de Regulación y/o Medición	Tanque de Choque o Depósito de productos de drenaje	3	3	3
	Planta de Regulación y/o Medición. Calentador	Línea municipal. Medianera. Límite de Propiedad. Válvula de bloqueo aérea.	10	15	30
	Tanque de choque o purga. Depósito	Línea municipal. Medianera. Límite de Propiedad. Calentador	20	25	30
10 a <25 bar	Planta de Regulación y/o Medición	Calentador	15	20	25
	Planta de Regulación y/o Medición	Límite Instalación Eléctrica Área Peligrosa	3,5	7,5	10
	Planta de Regulación y/o Medición	Tanque de Choque o Depósito de productos de drenaje	3	3	3
	Planta de Regulación y/o Medición. Calentador	Línea municipal. Medianera. Límite de Propiedad. Válvula de bloqueo aérea.	7,5	10	15
	Tanque de choque o purga. Depósito	Línea municipal. Medianera. Límite de Propiedad. Calentador	15	20	25

Tabla 8 – Distancias mínimas de seguridad en plantas de regulación (continuación)

Presión de Entrada	Desde	Hasta	Diámetro Cañería de Entrada (mm)		
			Hasta 6"	8" a 12"	> a 12"
<10 bar	Planta de Regulación y/o Medición. Tanque de choque.	Calentador	10	15	20
	Planta de Regulación y/o Medición. Tanque de choque	Límite Instalación Eléctrica Área Peligrosa	3	5	7,5
	Planta de Regulación y/o Medición. Calentador	Línea municipal. Medianera. Límite de Propiedad. Válvula de bloqueo aérea.	5	7,5	10
	Tanque de choque o purga. Depósito	Línea municipal. Medianera. Límite de Propiedad. Calentador	10	15	15

Tabla 9 – Distancias mínimas de seguridad a gasoductos

Desde	Hasta	Diámetro Gasoducto (mm)		
		Hasta 6"	8" a 12"	> a 12"
Gasoducto de Transporte Presión > 40 bar	Cañería aérea a planta de regulación, o planta de separación y medición	10	15	30

N. Ejercicio de Dimensionamiento

a) Datos

Se trata de realizar el dimensionamiento y cálculo de un salto de regulación cuyos parámetros de diseño son los siguientes:

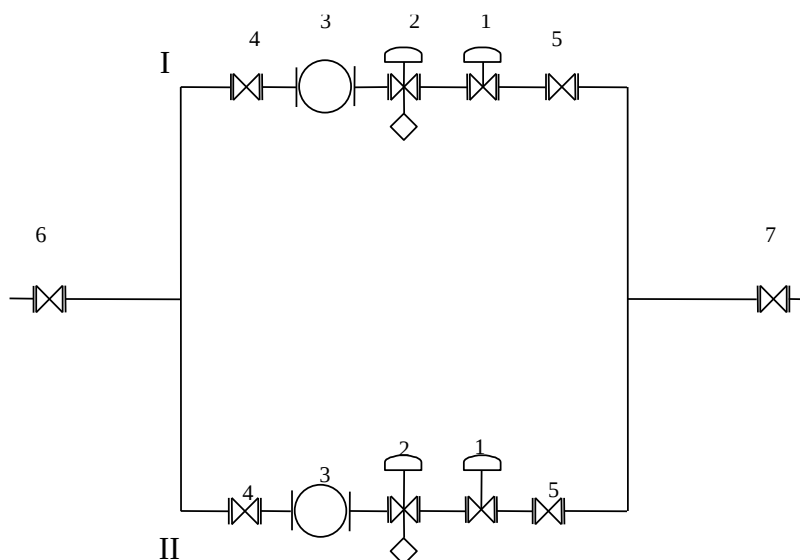
Parámetros		Presión (bar M)	Caudal (Sm ³ /hora)
Presión	De entrada máxima	25	-
	De entrada mínima	12.5	-
	Regulada	10	-
Caudal	Mínimo	-	2,500
	Máximo	-	8,000
Nivel Ruido máximo	85 decibeles (*)	-	-

G (aire) = 1	G (Gas Natural) = 0,6
--------------	-----------------------

* Medidos a un metro de la reguladora activa.

b) Esquema unifilar

A los efectos de este ejercicio se analizará exclusivamente la parte correspondiente a la regulación propiamente dicha.



Posición	Denominación
1	Válvula Reguladora Activa
2	Válvula Reguladora Monitor con Bloqueo Incorporado
3	Filtro
4	Válvula de bloqueo de la rama (entrada)
5	Válvula de bloqueo de la rama (salida)
6	Válvula de entrada
7	Válvula de salida

c) Dimensionamiento de las cañerías

De acuerdo a la expresión desarrollada en el apartado H:

$$V = 345,92 \times \frac{Q}{D^2} \times \frac{(1 - 0,002p)}{(1 + p)}$$

- Para el tramo de cañería que funciona con presión no regulada, adoptamos como parámetro de diseño un valor no superior a lo 25 m/seg.
- Para el tramo de cañería que funciona con presión regulada, adoptamos como parámetro de diseño un valor no superior a lo 20 m/seg.
- Como caudal de diseño se adopta el caudal previsto, más un 25%.
- Por simplicidad se le asigna a la presión atmosférica el valor de 1 bar.

i) Diámetro interior de las cañerías

El diámetro de las cañerías de entrada y salida debe calcularse, teniendo en cuenta los valores de velocidad aconsejados para cada parte, mediante la aplicación de la siguiente fórmula, surgida de la expresión anterior:

$$Di = \sqrt{345,92 \times \frac{Q}{V} \times \frac{(1 - (0,002 \cdot P))}{(1 + P)}}$$

Realizando el cálculo indicado reemplazando en la fórmula anterior los valores de velocidad máxima, caudal y presión correspondiente, se obtienen los diámetros teóricos buscados según se indica a continuación.

Parte de la rama	Caudal (m³/hora)	Velocidad (m/seg.)	P (bar)	Pr (bar)	Di teórico (mm)
Alta	10,000 (*)	25	12.5	--	99.96
Regulada		20	--	10	124.13

(*) 8,000 m³/hora * 1.25

Si observamos la tabla de diámetros reales del apartado J, vemos que para la parte de alta corresponde adoptar cañería de 4" de diámetro nominal, que tiene un diámetro interior de 102.26 mm y que para la parte de presión regulada corresponde adoptar cañería de 6" de diámetro nominal, que tiene un diámetro interior de 154.08 mm, valor que satisface el teórico calculado que es de 124.13 mm.

En la selección del diámetro real debe tenerse en cuenta que el cálculo del diámetro interior teórico es orientativo y tiene por objeto establecer solo un orden de magnitud del diámetro a seleccionar ya que el definitivo debe ser establecido por el proyectista según su criterio.

Por ejemplo si el diámetro teórico superara ligeramente el real correspondiente podría a criterio del proyectista mantenerse este valor si además se verificara la velocidad adoptada como límite superior.

Rama	Di teórico (mm)	Di real (mm)	Di real (pulgadas)	Espesor (mm)	Norma de fabricación	Schedule
Entrada	99,96	102,26	4"	6,02	ASTM A 53 ó A 106 G° B	40
Salida	124,13	154,08	6"	7,11		

ii) Recálculo de las velocidades

Debemos recalcular los valores de las velocidades de entrada y salida atento a que los diámetros adoptados son distintos que los teóricos obtenidos por cálculo.

Debemos utilizar ahora nuevamente la expresión inicial pero introduciendo los valores reales de D:

$$V = 345,92 \times \frac{Q}{D^2} \times \frac{(1 - 0,002p)}{(1 + p)}$$

Tramo	Di real (mm)	Velocidad m/seg.	Velocidad de referencia
Entrada	102,26	23,89	< 25 m/seg.
Salida	154,08	12,98	< 20 m/seg.

d) Dimensionamiento del regulador

El dimensionamiento de la válvula reguladora se debe realizar de modo que pueda suministrar satisfactoriamente el caudal previsto en las condiciones de diseño establecidas y verificar que no se superarán los niveles de ruido autorizados.

Para la selección de la válvula correspondiente se debe establecer en todos los casos el valor de su coeficiente de capacidad Cg.

Tomando a título ilustrativo el criterio de cálculo propuesto por el fabricante de las válvulas EPTA, para su modelo VD-277, se observa que dicho coeficiente se obtiene de la expresión:

$$C_g = 30 \times 0,044 \times Q \times \sqrt{\frac{G}{\Delta P \times P_2}}$$

Donde:

Q = Caudal en Sm³/hora

G = Gravedad específica del gas (aire = 1)

P₁ = Presión de entrada en ATA (atmósferas absolutas)

P₂ = Presión regulada en ATA (atmósferas absolutas)

Δ P = Presión diferencial (P₁ - P₂) (*)

(*) Para Δ P > P₁ / 2, se debe tomar Δ P = P₁ / 2

El fabricante de las válvulas EPTA recomienda para la selección de la reguladora, adoptar para las condiciones de máxima exigencia una válvula para la cual el coeficiente de capacidad (Cg) calculado no supere el 70% del valor correspondiente de tabla.

Siguiendo este criterio se tiene:

$$Cg_{\text{tabla}} = \frac{Cg}{0,7}$$

Reemplazando en la ecuación original:

$$Cg_{\text{tabla}} = 1,8857 \times Q \times \sqrt{\frac{G}{\Delta P \times P_2}}$$

Donde:

G = 0,60

Q = 1,25 * 8.000 = 10.000 Sm³/hora

P₁ = 13,5 bar A

P₂ = 11 bar A

Δ P = 2,5 bar

Se obtiene:

$$Cg_{\text{tabla}} = 2.785$$

Recurriendo al catálogo de EPTA, observamos que los valores de los coeficientes de capacidad (Cg) máximos aplicables son:

Dn de la válvula (pulgadas)	1	1 ½	2	3	4	6	8
Cg	686	1.301	2.379	4.805	7.528	13.580	21.070

Sabiendo que el Cg calculado es 2.785 concluimos que corresponde seleccionar una válvula de 3" de diámetro, cuyo Cg según catálogo es 4,805.

Con respecto al nivel de ruido el fabricante garantiza 75 dB si se cumplen las condiciones de diseño.