

2024

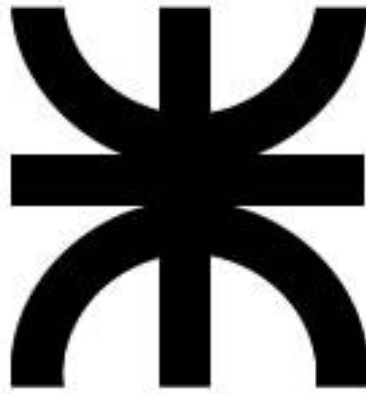
# Instalaciones Industriales

## Instalaciones Auxiliares

**Prof. Ing. Javier Eduardo Salomone**  
**Ing. Luciano Manavella**

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba





Universidad Tecnológica Nacional

*Facultad Regional Córdoba*

**Título:**

Instalaciones de Gases

Combustibles (GN)

---

**Autores:**

Prof. Ing. Javier Eduardo Salomone

Ing. Luciano Manavella

---

**Lugar, Fecha:** Córdoba, 2024

## TABLA DE CONTENIDO

---

Tabla de contenido.....	3
CAPÍTULO 6 : INSTALACIONES DE GASES COMBUSTIBLES.....	4
1.1.1. Gases combustibles.....	4
1.1.2. Clasificación de los gases combustibles .....	4
1.1.3. GAS NATURAL.....	4
1.1.4. Gas Licuado DE PETRÓLEO .....	6
1.1.5. Gas Manufacturado.....	7
1.1.6. Gas de Hulla.....	7
1.1.7. Gas Acetileno.....	7
1.1.8. Biogas .....	8
1.1.9. Otros gases combustibles.....	8
1.2. Parámetros que definen la calidad de un gas combustible .....	8
1.3. Instalación para gases combustible .....	10
1.3.1. Instalación para gas Natural.....	10
1.4. Instalación de gas natural en plantas industriales. ....	15
1.4.1. Normas aplicables .....	15
1.4.2. Instalación y equipamiento .....	17
1.4.3. Estación Reguladora Principal (ERP).....	18
1.4.4. Estación Reguladora Secundaria (ERS).....	41
1.4.5. Válvula reguladora de caudal .....	42
1.4.6. Dimensionamiento de las Instalaciones.....	51
1.4.7. Consideraciones para determinar el diámetro de la tubería: .....	51
1.5. Bibliografía .....	58

## CAPÍTULO 6 : INSTALACIONES DE GACES COMBUSTIBLES

---

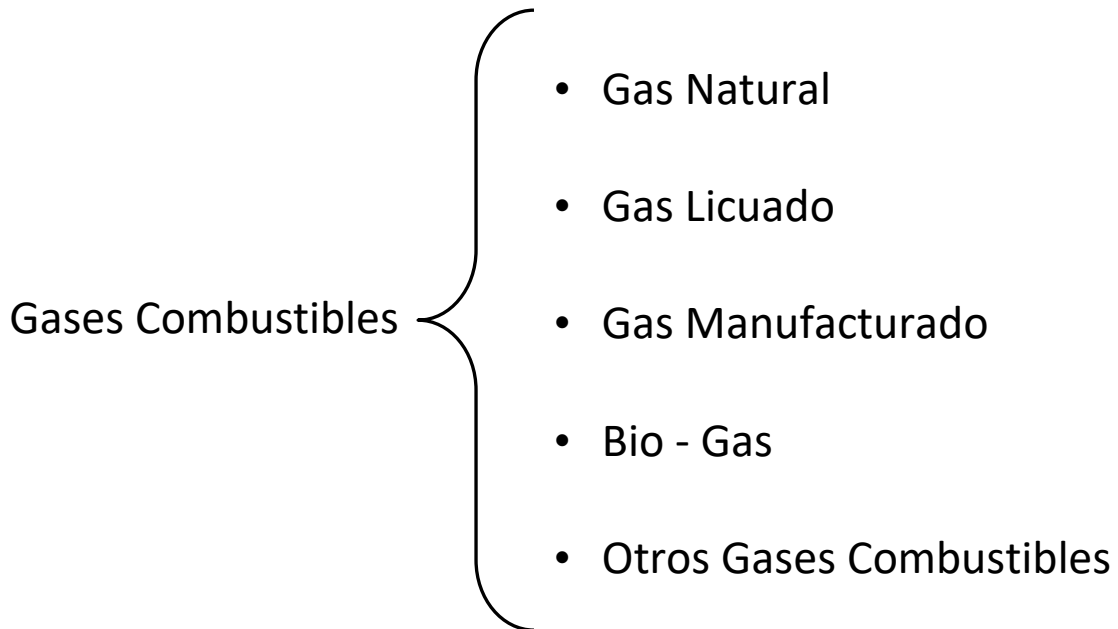
### 1.1.1.1. GASES COMBUSTIBLES

---

Los gases combustibles son aquellos elementos que combinados con O<sub>2</sub> en ciertas y determinadas condiciones, dan origen a un proceso químico llamado combustión y se utilizan con el objetivo principal de generar calor.

### 1.1.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS GASES COMBUSTIBLES

---



### 1.1.1.3. GAS NATURAL

---

Es inodoro, incoloro y no tiene sabor. Esta formado por una mezcla de hidrocarburos livianos. Puede encontrarse en yacimientos subterráneos, asociado o disociado del petróleo. En el primer caso se denomina gas asociado, mientras que el segundo se conoce como gas no asociado o gas libre.

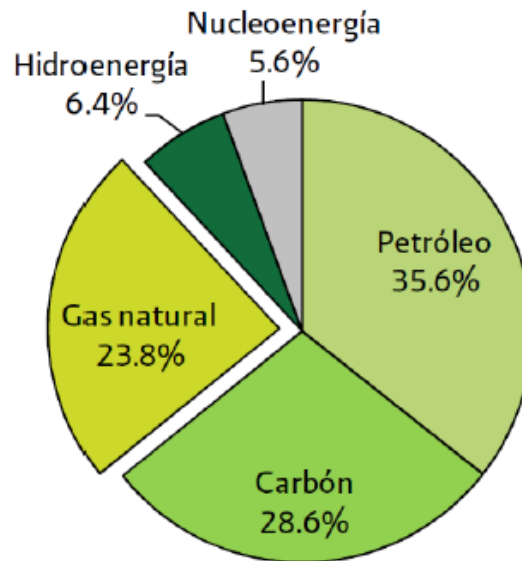
Sus componentes pueden variar según el yacimiento, pero en general posee la siguiente composición:

Componente	Fórmula	Gas No Asociado	Gas Asociado
Metano	CH <sub>4</sub>	95-98 %	60-80 %
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1-3 %	10-20 %
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.5-1 %	5-12 %
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.2-0.5 %	2-5 %
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.2-0.5 %	1-3 %
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0-8 %	0-8 %
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0-5 %	0-5 %
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0-5 %	0-5 %
Otros	A, He, Ne, Xe	trazas	trazas

Las propiedades del gas natural, según la composición son:

- Poder Calorífico = de 4000 a 9500 Kcal/m<sup>3</sup>
- Densidad relativa = de 0,6 a 0,7 (respecto al aire)

Además, constituye la tercer fuente de energía a nivel mundial después del petróleo y el carbón.



Posee las siguientes ventajas respecto a los combustibles líquidos

- No requiere de grandes procesos de depuración.
- No es tóxico.
- Facilidad de Medición.
- No requiere almacenamiento por parte del usuario.
- Combustión limpia.
- Llama fácilmente regulable.

## Peligros

- Facilidad para formar mezclas explosivas.
- Puede causar asfixia por desplazamiento del oxígeno.
- Es inodoro e incoloro.

---

### 1.1.1.4. GAS LICUADO DE PETRÓLEO

---

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es un producto compuesto por Propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), Butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), o una mezcla de ambos.

Se obtiene del proceso de refinación del petróleo y de Plantas Recuperadoras de Gas Natural.

#### **Tipos de GLP comerciales:**

Existen dos tipos de GLP comercial, comúnmente llamados: Propano (propano comercial) y Butano (butano comercial).

El propano comercial es una mezcla de propano, propileno y otros compuestos minoritarios (etano, butano, etc.). Puede tener hasta un máximo de 30% de butano.

El butano comercial es una mezcla de butano, butilenos y otros compuestos minoritarios (propano, pentanos, etc.). Puede tener un máximo de 50% de propano.

#### **Características del GLP**

- Poder Calorífico = 20000 a 25000 Kcal/m<sup>3</sup> (según la composición)
- Densidad relativa = 1,5 (respecto al aire)

#### **Estado**

A presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20°C), el GLP se encuentra en estado gaseoso.

Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0,5°C y la del propano a -42,2°C. En cambio, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter al GLP a presión. Para el butano, la presión debe ser de más de 2 bar. Para el propano, la presión debe ser de más de 8bar.

Un litro de líquido se transforma en 272,6 litros de gas para el propano y 237,8 litros de gas para el butano.

#### **Efecto de la temperatura**

Al aumentar la temperatura del GLP que se encuentra dentro de un tanque cerrado, aumenta su presión. Esto es debido a que aumenta la presión de vapor y, además, el líquido se expande. Por lo tanto, nunca se debe calentar un recipiente que contiene GLP y tampoco se debe llenar totalmente un recipiente con GLP líquido, sino que se debe dejar un espacio de por lo menos el 15% del volumen total del recipiente para la dilatación del líquido.

## Densidad y viscosidad

La densidad y presión de vapor del GLP varían según la composición. La densidad y peso específico son mayores que el aire, por lo que el GLP resulta más pesado que éste. Por lo tanto una nube de GLP tenderá a permanecer a nivel del suelo.

El GLP es más liviano y menos viscoso que el agua, por lo que hay que tener cuidado ya que puede pasar a través de poros donde ni el agua, gasoil o kerosene pueden hacerlo.

## Almacenamiento

El GLP se utiliza fraccionado en garrafas y cilindros para usos domésticos (principalmente calefacción y cocina), a los que se suman las ventas industriales a granel.

---

### 1.1.1.5. GAS MANUFACTURADO

---

Se obtiene por procesos de fabricación partiendo de materias primas sólidas o líquidas.

---

### 1.1.1.6. GAS DE HULLA

---

Antiguamente fue muy utilizado como gas para alumbrado público.

## Características

- Poder Calorífico = 5000Kcal/m<sup>3</sup>
- Densidad relativa = 0,4 a 0,5 (respecto del aire)

---

### 1.1.1.7. GAS ACETILENO

---

Es un hidrocarburo cuyo símbolo químico es C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>.

No tiene color, es un gas altamente inflamable y un poco más ligero que el aire. En estado comercial, tiene un olor característico similar al del ajo.

El Acetileno se obtiene mediante la reacción del agua con el Carburo de Calcio.

## Características

- Poder Calorífico = 14000 Kcal/m<sup>3</sup>
- Densidad relativa= 0,9 (respecto del aire)

## Aplicaciones

Acetileno se utiliza en soldadura y corte. Como gas de alta pureza en equipos de espectrometría de masas.

## Peligros

El acetileno disminuye la cantidad de oxígeno disponible. Se debe determinar de forma periódica el contenido de oxígeno para asegurar de que exista al menos el 19.5% por volumen.

#### 1.1.1.8. BIOGAS

---

Es un gas combustible que se genera en medios naturales (pantanos) o en dispositivos específicos (biodigestores), por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno.

El producto resultante es una mezcla constituida por metano (CH<sub>4</sub>) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S).

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es considerado un modo útil para tratar residuos biodegradables ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico.

Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, o para generar calor en hornos, estufas, secadoras, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptadas para tal efecto.

#### Características

- Poder Calorífico = 5500 Kcal/m<sup>3</sup>

---

#### 1.1.1.9. OTROS GASES COMBUSTIBLES

#### 1.1.1.10. HIDROGENO

---

Es un gas incoloro, inodoro, insípido altamente inflamable y no es tóxico, este se quema en el aire formando una llama azul pálido casi invisible.

El Hidrógeno es el más ligero de los gases conocidos en función a su bajo peso específico con relación al aire. Por esta razón, su manipulación requiere de cuidados especiales para evitar accidentes.

Es particularmente propenso a fugas debido a su baja viscosidad y a su bajo peso molecular.

No es tóxico y no es contaminante, pero es difícil de detectar sin sensores adecuados ya que es incoloro, inodoro y su flama en el aire es casi invisible.

#### Características

- Poder Calorífico = 15000 Kcal/m<sup>3</sup>
- Densidad relativa= 0,07 (respecto del aire)

**Los autos del próximo milenio, gracias a un nuevo tipo de combustible generado por la mezcla de hidrógeno y oxígeno, serán 100% cero emisión.**

---

#### 1.1.1.11. PARÁMETROS QUE DEFINEN LA CALIDAD DE UN GAS COMBUSTIBLE

---

A continuación se detallan algunos parámetros que se utilizan para comparar los gases combustibles y definir la calidad de los mismos:

#### Poder Calorífico [Kcal/m<sup>3</sup>]

Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.

### **Poder Calorífico Superior**

Se define suponiendo que todos los elementos de la combustión (combustible y aire) son tomados a 0° C y los productos (gases de combustión) son llevados también a 0° C después de la combustión, por lo que el vapor de agua se encontrará totalmente condensado.

Vapor de agua que proviene de: a) la humedad propia del combustible y b) el agua formada por la combustión del hidrógeno.

De esta manera al condensar el vapor de agua contenido en los gases de combustión tendremos un aporte de calor de: 597 kcal / kg vapor de agua condensado.

### **Poder Calorífico Inferior**

El poder calorífico inferior considera que el vapor de agua contenido en los gases de la combustión no condensa.

Por lo tanto no hay aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua. Solo se dispondrá del calor de oxidación del combustible.

### **Cantidad de Aire**

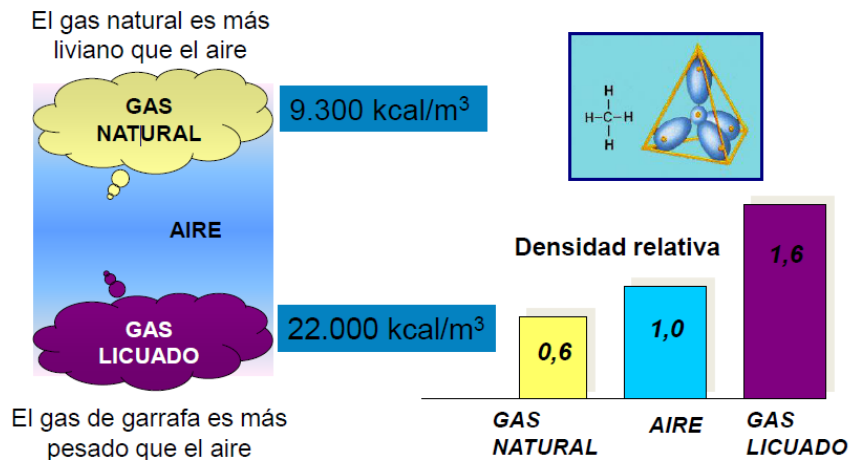
Se refiere a la cantidad de aire necesario para producir la combustión completa. Se usa en el diseño de quemadores y equipos de combustión.

***Para gas natural = 17 kg. de aire / kg. de gas.***

### **Densidad Relativa (respecto del aire)**

Conociendo el valor de la densidad de una sustancia, y la densidad de otra sustancia de referencia o patrón, es posible definir la **densidad relativa** de la sustancia, como el resultado del cociente entre el valor de su densidad y la densidad de la sustancia de referencia o patrón.

Para los gases, se acostumbra a tomar como referencia el aire y su densidad a una presión de 1 atmósfera, y una temperatura de 0° C, es de 1,2928 Kg/m<sup>3</sup>.



#### 1.1.1.12. INSTALACIÓN PARA GASES COMBUSTIBLE

Condiciones de las instalaciones de gases combustibles:

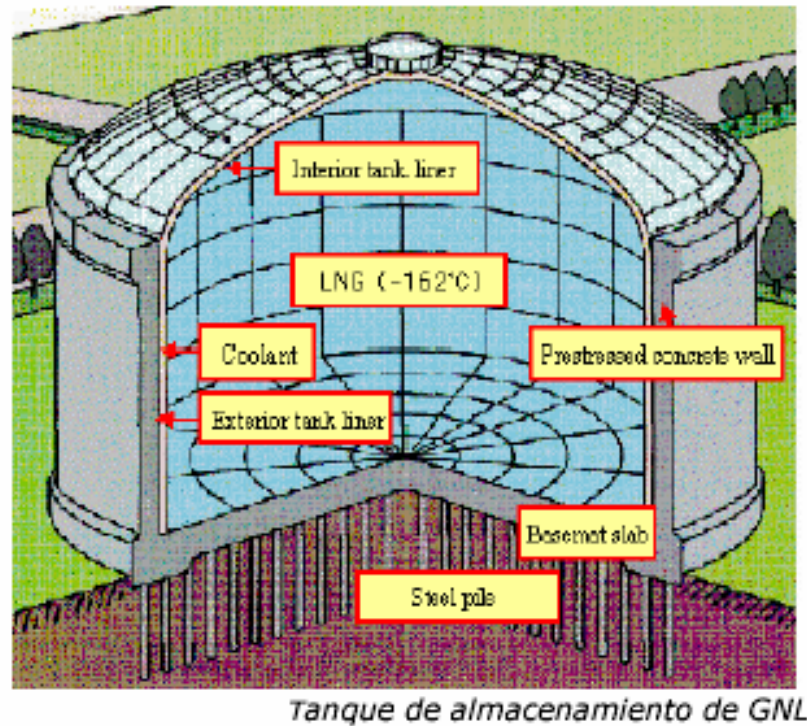
- **Seguridad de Provisión**  
Asegurar la provisión en todo momento.
- **Seguridad hacia los bienes y las personas**  
Posibilidad concreta de la formación de mezclas explosivas  
Evitar chispas  
Evitar fuentes de calor

#### 1.1.1.13. INSTALACIÓN PARA GAS NATURAL

##### ALMACENAMIENTO

- **En estado líquido (GNL)**

Una vez que los buques metaneros llegan a puerto, el gas líquido es almacenado en depósitos grandes donde permanece a la espera de ser regasificado e introducido en las redes de distribución, cuando el incremento de la demanda así lo exija.



- **En estado gaseoso (GNC)**

Subterráneo:

- Reservorios de gas agotados
- Acuíferas
- Cavernas de sal

En algunos casos, el gas es almacenado en estado gaseoso en formaciones geológicas similares a los yacimientos naturales inyectándolo en capas de terreno acuífero –en las que el gas queda atrapado ocupando el lugar del agua–, en minas de sal, o en antiguos yacimientos de gas natural. Este procedimiento permite ir utilizando en invierno el gas almacenado durante el verano, época en la que el consumo es menor.

En los núcleos de población que no están conectados a la red de gasoductos ni les llegan los barcos metaneros, se construyen plantas satélite que reciben el gas mediante camiones cisterna, lo almacenan y lo inyectan a la red de distribución local.

En las estaciones de GNC el almacenamiento se realiza en cilindros con capacidades desde 60 lts hasta 120 lts a 250 bar y el despacho a no más de 200 bar.



Tanques para almacenamiento de gas en estaciones de GNC.

### Transporte y distribución

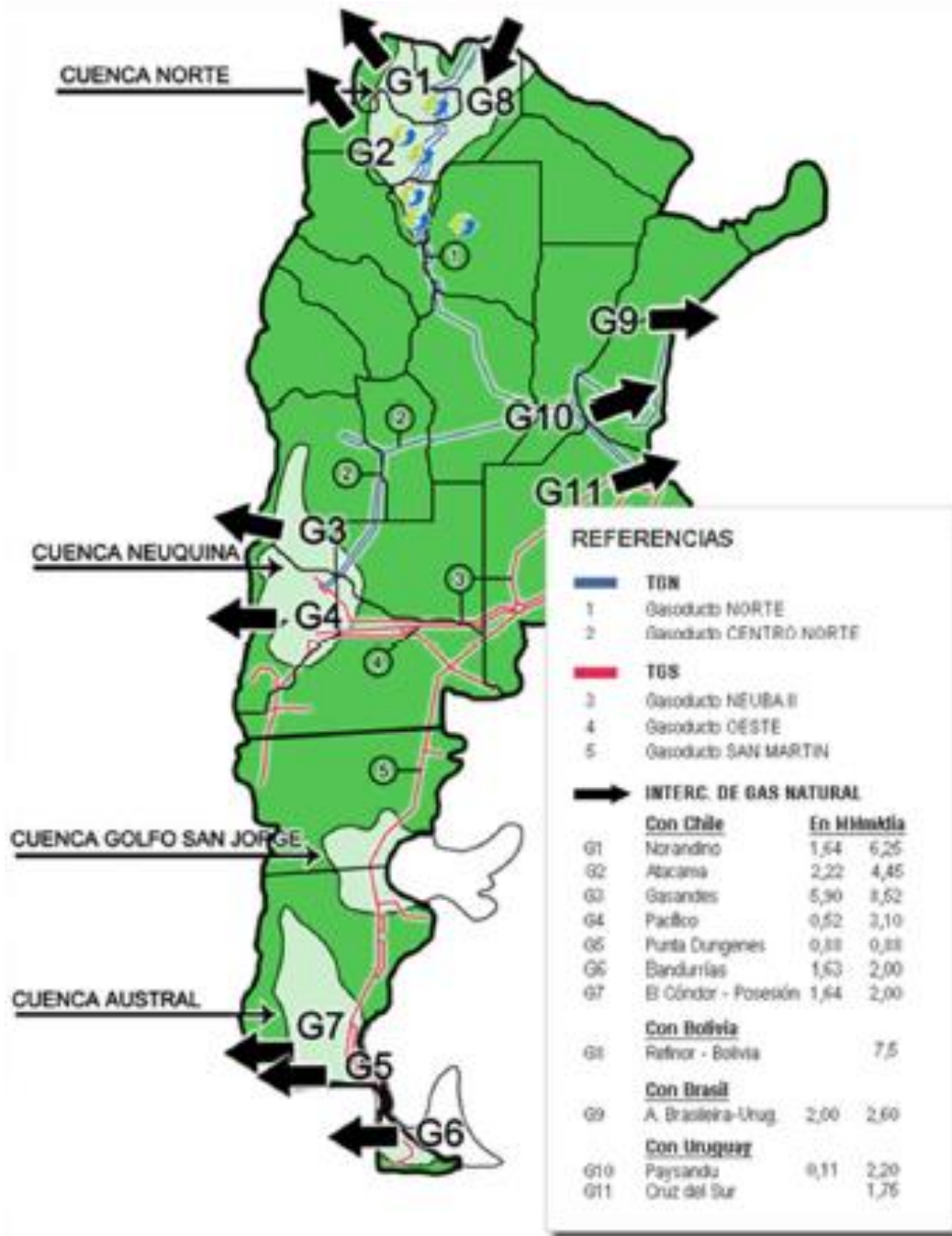
El gas natural no asociado es extraído de los yacimientos de hidrocarburos y se transporta a los centros de consumo a través de **gasoductos**<sup>1</sup>.

Las empresas encargadas del transporte en Argentina son:

- *Transportadora de gas del norte (TGN)*
- *Transportadora de gas del sur (TGS)*

---

<sup>1</sup> Tuberías de acero por las que los gases combustibles, principalmente el gas natural, circulan a alta presión desde un punto de origen hasta un centro de distribución. Se construyen enterrados en zanjas a una profundidad habitual de un metro y hasta dos metros, dependiendo del terreno y la seguridad. Excepcionalmente, se construyen sobre la superficie.



Red de gasoductos en Argentina

Transportan el producto desde las explotadoras (yacimientos) hasta los puntos de toma acordados con las distribuidoras finales (ej.: Metrogas, Gasnor, Camuzzi Gas Pampeana, Ecogas, etc.).



Empresas distribuidoras de gas natural en Argentina.

Las empresas de distribución final reciben el producto procesado y le reducen la presión, en una primera etapa a un valor intermedio (presiones de los ramales internos de distribución) y además, le anexas una sustancia odorante (**mercaptan<sup>2</sup>**) para que, frente a pérdidas, pueda reconocerse su presencia en el ambiente.

En etapas posteriores se reduce nuevamente la presión para uso domiciliario o industrial.

En base a esto se definen las siguientes infraestructuras:

#### INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE

Transportan el fluido hasta la infraestructura de distribución desde los gasoductos troncales que atraviesan las provincias, **Presión de trabajo: 70 o 60 bar.**

#### INFRAESTRUCTURA DE DISTRIBUCIÓN

Distribuyen en cañería de acero el fluido a cada una de las localidades, **Presión de trabajo: 40, 25, 19, 15, 10 o 5 bar.**

<sup>2</sup> Es un producto químico inofensivo que se agrega al gas natural, contiene azufre, que le da olor.

## REDES DOMICILIARIAS

Conducen el Gas Natural hasta la puerta de cada domicilio, **Presión de trabajo: 4,0; 1,5 o 0,020 bar.**

## INSTALACIÓN INTERNA DEL CLIENTE

Suministra el fluido a cada uno de los artefactos instalados, **Presión de trabajo: = 0,020 (Residencial) o > 0,020 bar (Industrial).**

Otra forma de transportar el gas natural es en estado líquido. El **gas natural licuado (GNL)** es gas natural sometido a un proceso de licuefacción durante el cual se lo lleva a una temperatura aproximada de -160 grados Celsius.

El GNL es inodoro, incoloro, no tóxico, su densidad relativa (respecto al agua) es 0,45 y sólo se quema si entra en contacto con aire a concentraciones de 5 a 15%.

Al licuar el gas natural y obtener GNL, se logra reducir su volumen en 600 veces, con el objeto de poder transportar una cantidad importante de gas en **buques tanque llamados metaneros.**



Buque Metanero.

Por lo general, el transporte se realiza desde países que cuentan con importantes reservas excedentes a países que carecen de yacimientos o bien, que precisan fuentes de energía adicionales para cubrir su demanda interna.

---

1.1.1.14. INSTALACIÓN DE GAS NATURAL EN PLANTAS INDUSTRIALES.

---

1.1.1.15. NORMAS APLICABLES

---

A la hora de realizar una instalación de gas natural es necesario y obligatorio conocer las normas vigentes.

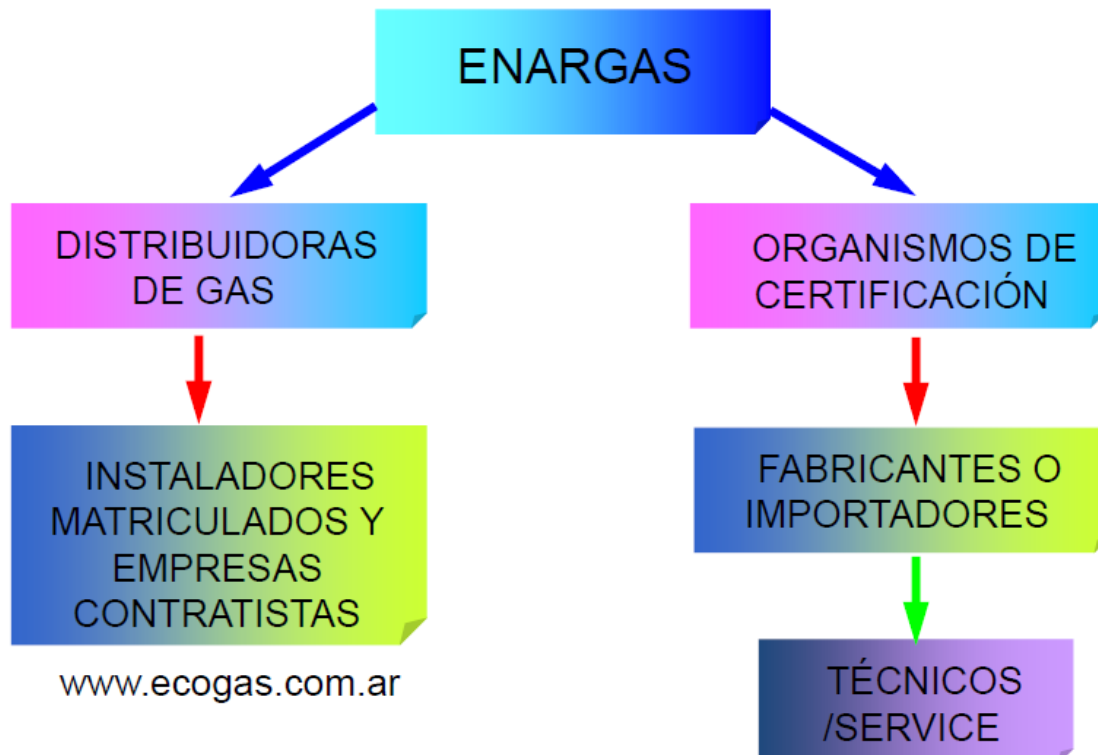
En función de esto, existe un ente a nivel nacional llamado **ENARGAS (Ente Nacional Regulador del Gas)**. Este es un organismo autárquico creado mediante la Ley N.º 24.076 —Marco Regulatorio de la Industria del Gas— en el año 1992.

Se encuentra en el ámbito de la Secretaría de Gobierno de Energía del Ministerio de Hacienda de la Nación, y cumple con las funciones de regulación, control, fiscalización y resolución de controversias, que le son inherentes en relación con el servicio público de transporte y distribución de gas de la República Argentina.

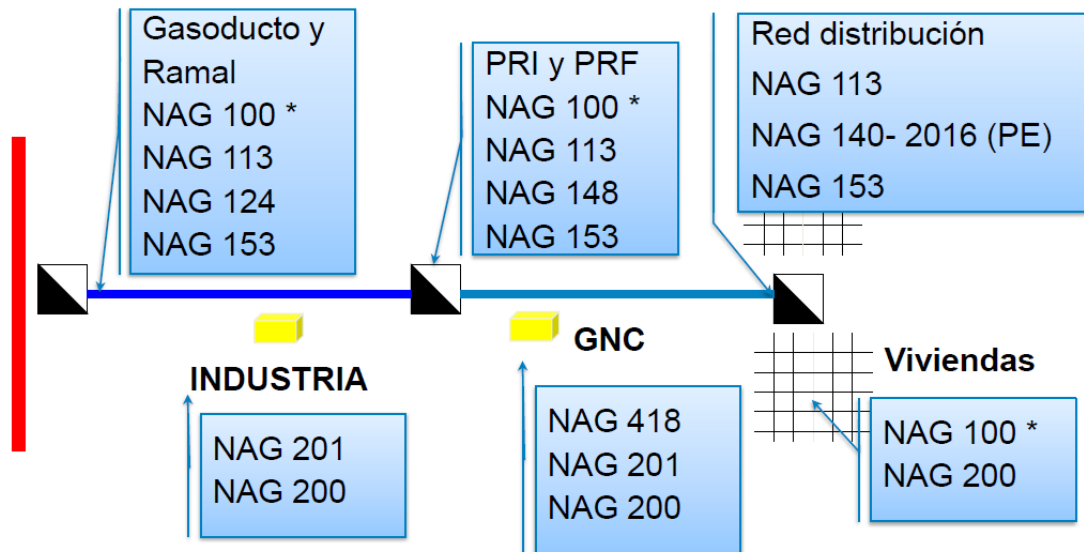
Las Resoluciones ENARGAS N.º 2747 y N.º 2785 pusieron en vigencia el "**Código Argentino de Gas – NAG**", conjunto de normas y especificaciones técnicas de cumplimiento obligatorio para la industria del gas en la República Argentina con nomenclaturas unificadas bajo la sigla NAG. Los grupos en que se ha sistematizado el cuerpo normativo son cuatro ([www.enar-gas.gov.ar](http://www.enar-gas.gov.ar)):

- **Grupo I:** Redes de distribución, líneas de transmisión e instalaciones complementarias.
- **Grupo II:** Instalaciones internas.
- **Grupo III:** Artefactos.
- **Grupo IV:** Gas natural comprimido (GNC).
- **Grupo V:** Gas Natural Licuado (GNL) (en elaboración).

A continuación se muestra de manera esquemática como se implementa el cuadro normativo en nuestro país:



Las normas aplicables se detallan a continuación:



#### REFERENCIAS:

**PRI:** Planta Reguladora Intermedia (City Gate).

**PRF:** Planta Regulador Final.

\* NAG 100 y su Adenda N° 1 (Parte o Gerenciamiento de Integridad de Líneas de Transmisión) y Adenda N° 2 (Parte G Requisitos generales para la construcción de LTyD).

Es importante saber que además de los requisitos de estas Normas, son obligatorios los cuerpos legales nacionales, provinciales y municipales que en cada caso sean de aplicación; mencionándose en especial, pero no en forma excluyente, la Ley Nacional N° 19.587 y su decreto reglamentario.

#### 1.1.1.16. INSTALACIÓN Y EQUIPAMIENTO

Yendo ya específicamente a la instalación para proveer gas natural a una planta industrial, la misma se inicia en la acometida necesaria para ingresar el gas desde la red que pasa por la calle hacia el predio de dicha planta; a esto se lo llama **Servicio (dobla)**.

Luego, se coloca una **Válvula de Vereda** (¼ de vuelta), la cual tiene la función de actuar como válvula de corte de suministro y su nombre se debe a que se encuentra ubicada en la línea de la vereda.

A partir de aquí se hace necesario incluir una estación que permita adecuar el caudal y la presión del gas en función a los consumos internos. Es por esto que surgen: la **Estación Reguladora Principal (ERP)** y la **Estación Reguladora Secundaria (ERS)**.

Finalmente, el gas llega a cada consumo a través de una **red de distribución** interna en la planta.

---

1.1.1.17. ESTACIÓN REGULADORA PRINCIPAL (ERP)

---

Tiene dos funciones principales:

**Regular el caudal:** suministrar el caudal requerido por los consumos manteniendo la presión constante.

**Medir el caudal** volumétrico consumido.

Posee dos partes fundamentales: **la obra civil y la obra mecánica.**

La obra civil puede hacerse **sobre nivel o subterránea.**

---

1.1.1.18. OBRA CIVIL

---

1.1.1.19. OBRA CIVIL SOBRE NIVEL

---

La misma debe cumplir los siguientes requisitos:

- Debe ubicarse sobre la línea municipal y tener una puerta de chapa, cuyas llaves deben estar en manos de la empresa proveedora de gas para que el personal de la misma pueda ingresar cuando sea necesario. Si se encuentra dentro del predio, debe existir un camino de 2,5m de ancho.
- Casilla antisísmica de hormigón con paredes de 30 cm de espesor y revoque interior.
- De uso exclusivo para la ERP
- Piso de cemento alisado
- Techo Ignifugo
- Dimensiones según el consumo:
  - Q > 500m<sup>3</sup>/h: 6m x 3m x 2,5m
  - Q < 100m<sup>3</sup>/h: 2,3m x 1m x 2m
- Instalación eléctrica e iluminación: antiexplosivas
- Ventilación mínima: 5% de la superficie total de paredes
- Seguridad: debe poseer un extintor de polvo de 10kg
- Iluminación mínima requerida: 150 Lux en la zona de medición

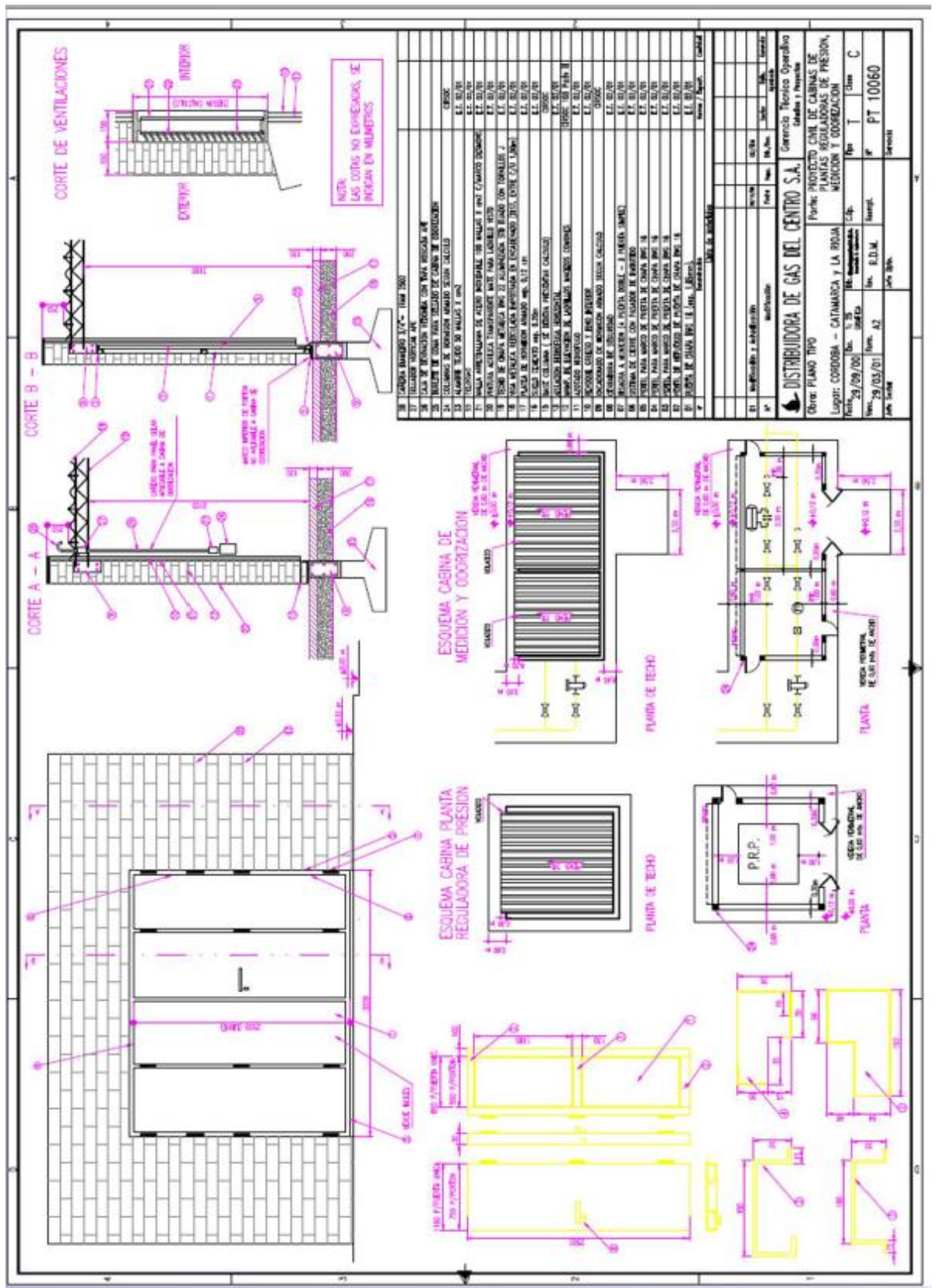
---

1.1.1.20. OBRA CIVIL SUBTERRÁNEA

---

*La misma debe cumplir los siguientes requisitos:*

- Puerta contrapesada 1,2m x 1,5m
- Escalera de 1,2m de ancho con baranda
- Ventilación mínima: 6,5% de la superficie y forzada
- Paredes ignífugas e impermeabilizadas
- Proveer montacargas y/o Guinche de 500kg de capacidad
- Bomba de achique y sumidero para agua
- Mantener una distancia mayor a 3m del ingreso de energía eléctrica



Obra civil sobre nivel para una estación de medición y regulación



## 1.1.1.21. OBRA MECÁNICA

Incluye todos los componentes y equipos que operan para regular y medir el caudal consumido. En la siguiente imagen se muestra el diagrama unifilar con todos los equipos que se encuentran dentro de la ERP. Se puede apreciar que existen dos ramales en paralelo; esto es para garantizar el suministro dado que, ante una falla o rotura de un ramal, se habilita el otro ramal hasta tanto se repare el primero. Es importante mencionar que solo el personal de la empresa proveedora puede intervenir para habilitar el segundo ramal y realizar la reparación del ramal principal (donde se encuentra instalado el medidor de consumo).

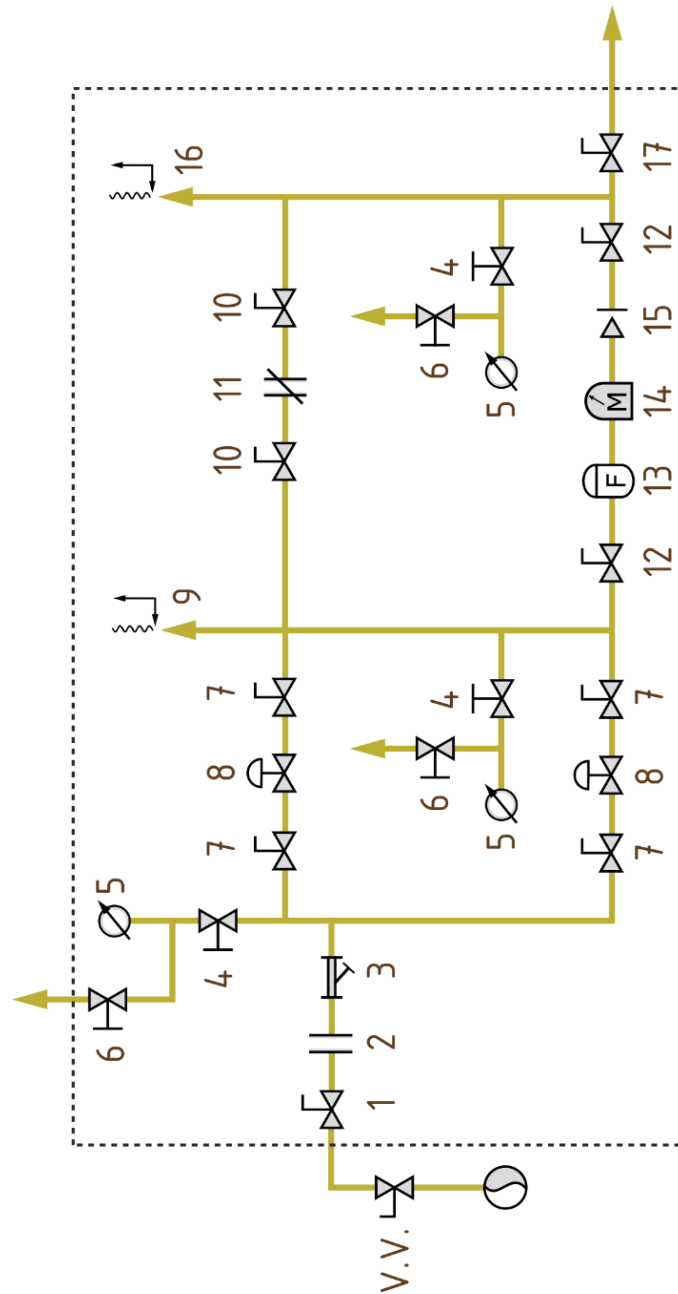


Diagrama unifilar de la ERP

### 1. Válvula de accionamiento Rápido (1/4 de vuelta)

Es una válvula manual de  $\frac{1}{4}$  de vuelta que se utiliza para cortar el suministro cuando se considere necesario (mantenimiento o reparación).

En la imagen se observa una válvula de tipo esférica que se utiliza para corte de suministro.



Válvula de Vereda tipo esférica

### 2. Junta dieléctrica

Son utilizadas para controlar las corrientes parásitas principalmente en las tuberías de gas, plantas químicas, de aceite, agua, refinerías, etc. Constituyen la forma más eficaz de aumentar el rendimiento de las protecciones catódicas y confinar o eliminar la corrosión electrolítica. Están constituidas por una junta sellante y aislante, tubos aislantes, arandelas aislantes y metálicas.

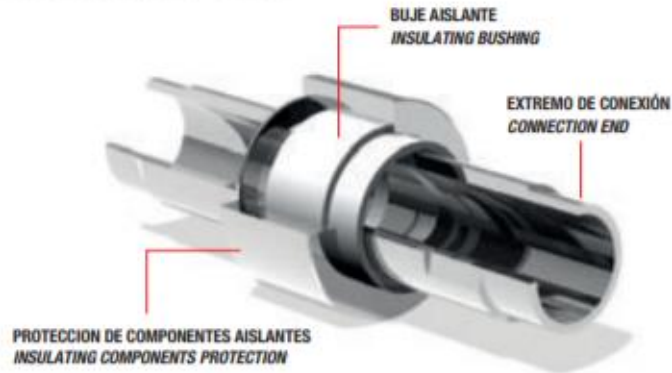


Junta dieléctrica con todos sus accesorios

Por otro lado existen **las juntas monolíticas**, las cuales son estructuras prefabricadas compactas, que garantizan la no continuidad eléctrica en las redes de tuberías. Al ser construidas en una sola pieza que va soldada al caño, no requiere un kit de aislamiento con todas sus partes, no requiere de las bridas y ahorra valioso tiempo de instalación en campo.

Están diseñadas para separar los conductos de gas aislando los equipos del sistema de tuberías, de tal forma que permita mantener la protección catódica cerca de los tramos a proteger.

### **Junta Monolítica** **Monolithic Seal**



Junta monolítica.

### **Protección catódica (PC)**

Es una técnica **para controlar la corrosión galvánica de una superficie de metal** convirtiéndola en el cátodo de una celda electroquímica.

El método más sencillo de aplicar PC es mediante la conexión del metal a proteger con otro metal más fácilmente corroible, al actuar como ánodo de una celda electroquímica.

En la práctica, se puede aplicar protección catódica en metales como acero, cobre, plomo, latón y aluminio en contacto con todos los suelos y con casi todos los medios acuosos con el objeto de controlar o eliminar el deterioro por corrosión en todas sus formas (bajo tensión, Inter granular, picadura, ataque generalizado, etc.).

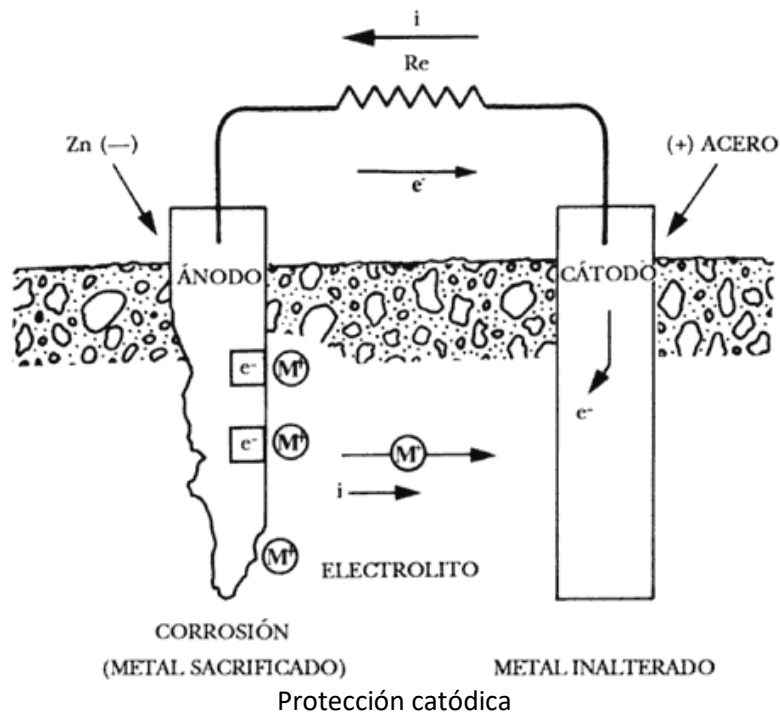
Como condición fundamental, las estructuras componentes del objeto a proteger y del elemento de sacrificio deben mantenerse en contacto eléctrico e inmerso en un electrolito.

La protección catódica es el único medio preventivo que asegura la inmunidad del metal contra la corrosión; además, se neutraliza toda corriente que circula por la estructura y que origina corrosión (corrientes generadas por cargas estáticas).

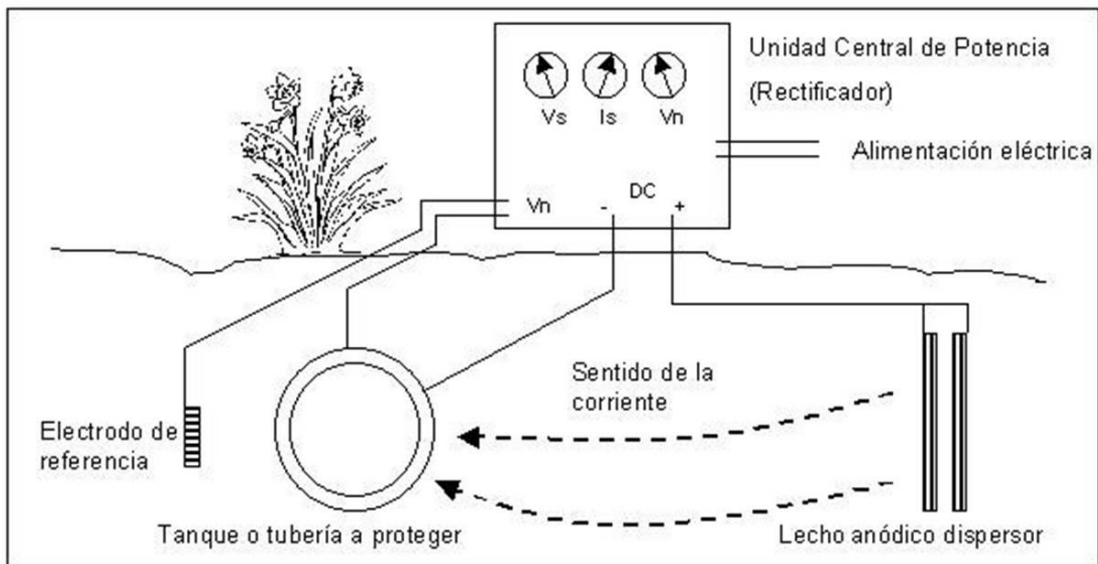
Actualmente, el ánodo galvánico o ánodo de sacrificio se realiza en diversas formas con **aleación de zinc, magnesio y aluminio**. El potencial electroquímico, la capacidad actual, y la tasa de consumo de estas aleaciones son superiores para el aluminio que para el hierro. ASTM International publica normas sobre la composición y la fabricación de ánodos galvánicos.

Para estructuras más grandes, los ánodos galvánicos no pueden suministrar económicamente suficiente corriente para proporcionar una protección completa. **Protección de corriente catódica forzada (CIPC)** utiliza un sistema de ánodos conectados a un CC (o rectificador de protección catódica). Los ánodos para los sistemas CIPC son tubulares y sólidos en forma de barras o cintas continuas de diversos materiales especializados. Estos incluyen el silicio hierro fundido, grafito, mixta de óxido metálico, platino y niobio recubiertos con alambre y otros.

Un sistema típico de CIPC para un gasoducto incluiría un rectificador de corriente alterna, accionado con una potencia máxima de salida de entre 10 y 50 amperios y 50 Volts de CC. El terminal positivo de DC de salida se conecta a través de un cable de la matriz de ánodos enterrados en el suelo.



Para muchas aplicaciones los ánodos se instalan a 60 m (200 pie) de profundidad, 25 cm (10-pulgadas) de diámetro vertical y relleno con conductores Coque (un material que mejora el rendimiento y la vida de los ánodos). Un cable clasificado para la corriente de salida se espera se conecta el polo negativo del rectificador a la tubería. La salida de funcionamiento del rectificador se ajusta al nivel óptimo después de realizar varias pruebas incluyendo medidas de electroquímica potencial.



Protección de corriente catódica forzada (CIPC)

### 3. Filtro en Y

Cumple la función de retener particular solidas de gran tamaño, por lo que se denomina filtro grueso.

Estos filtros están formados por un cartucho removible construido con una malla metálica. El tamaño de los orificios de la malla define el tamaño máximo de partícula que puede retener y por ende el grado de filtración.

Al ser la malla removible, la misma puede extraerse para limpiarse.



Filtro en Y

### 4. Sistema de medición de presión

Está formado por tres elementos: dos válvula tipo aguja (4 y 6) y un manómetro.



Válvula aguja y manómetro de Bourdon

La operación para realizar una medición es la siguiente: con la válvula (6) cerrada, se abre lentamente la válvula (4) y se observa la presión en el manómetro (5). Luego se cierra la válvula (4) y se abre lentamente la válvula (6) para ventear el manómetro.

Actualmente en el mercado existen unos componentes llamados “manifolds”, los cuales tiene integrado en un solo cuerpo ambas válvulas (una para presurización y otra para venteo).



Manifold con 2 válvulas

### Sistema de regulación

**Este sistema esta redundado para asegurar el suministro.**

Posee una válvula reguladora de caudal (8) y dos válvulas de bloqueo (7) de tipo esférica (1/4" de vuelta) aguas arriba y aguas abajo.

#### **8. Válvula reguladora de caudal**

Comúnmente se la denomina “regulador”.

Su función es regular el caudal según la demanda de los consumos, manteniendo la presión constante. Esto implica que aunque varíe el caudal de los consumos la presión de los mismos debe mantenerse constante o dentro de límites razonables.

***Como regla general se acepta que durante la operación, la presión de consumo puede variar  $\pm 10\%$  de la presión regulada.***

En definitiva, el regulador debe ser capaz de mantener la presión, sin ser afectado por cambios en las condiciones operativas del proceso para el cual trabaja.



EQA modelo S 246 con bloqueo

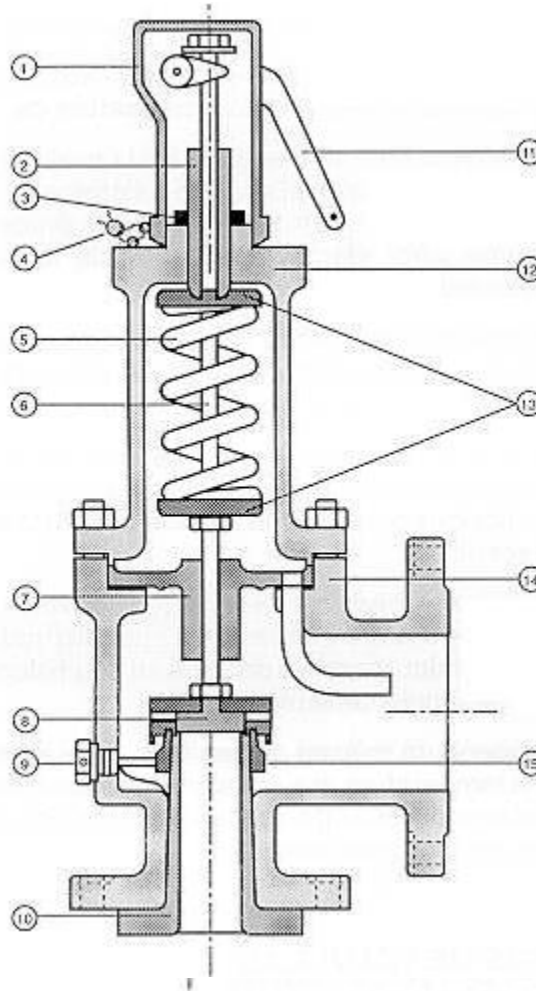


EQA modelo 7349 A

### 9. Válvula de seguridad por alivio

Dispositivo de seguridad empleado para evacuar el caudal de fluido necesario de tal forma que no se sobrepase la presión de trabajo del o los elementos protegidos. **Capacidad = 10 % Q max.**

**La ubicación de esta válvula permite proteger al sistema en caso de una falla en la válvula reguladora de caudal.**



- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 1. Caperuza.                         | 9. Tornillo de fijación del anillo de ajuste. |
| 2. Tensor.                           | 10. Tobera de entrada.                        |
| 3. Contratuerca fijación regulación. | 11. Palanca de apertura manual.               |
| 4. Precinto.                         | 12. Cúpula o Arcada.                          |
| 5. Resorte.                          | 13. Placas resorte.                           |
| 6. Vástago.                          | 14. Cuerpo.                                   |
| 7. Tapa guía.                        | 15. Anillo de ajuste o regulación.            |
| 8. Disco de cierre u obturador.      |   |

## Ramal principal

El ramal principal es el que posee instalado el sistema de medición de gas consumido.

Está equipado con un filtro (13), un medidor de gas (14) y un elemento para restricción de caudal (15).

Posee también dos válvulas de bloqueo 1/4" de vuelta (12) cuya función es cortar el suministro de gas para hacer mantenimiento o reparación de alguno de los equipos del ramal.

A continuación, se detallan los equipos que forman parte del ramal principal:

### 13. Filtro

Este filtro es para partículas pequeñas y su función es proteger al medidor de caudal consumido (14). **Se selecciona en función del caudal y la presión de trabajo.**

**Como los filtros con el tiempo se van obstruyendo por la acumulación de suciedad, es necesario monitorear la presión aguas arriba y aguas debajo de los mismos para saber cuándo realizarles mantenimiento.**

Existen diferentes tipos de filtros para esta función; los más utilizados son:

#### Filtro húmedo

Están formados por una carcasa que en su interior posee aceite. El gas ingresa al filtro y entra en contacto con el aceite. Las partículas sólidas quedan atrapadas en el aceite y luego decantan hacia el fondo. El gas limpio continúa su camino hacia el puerto de salida, pasando primero por un bafle y un extractor de niebla para separar restos de aceite arrastrados por el gas.

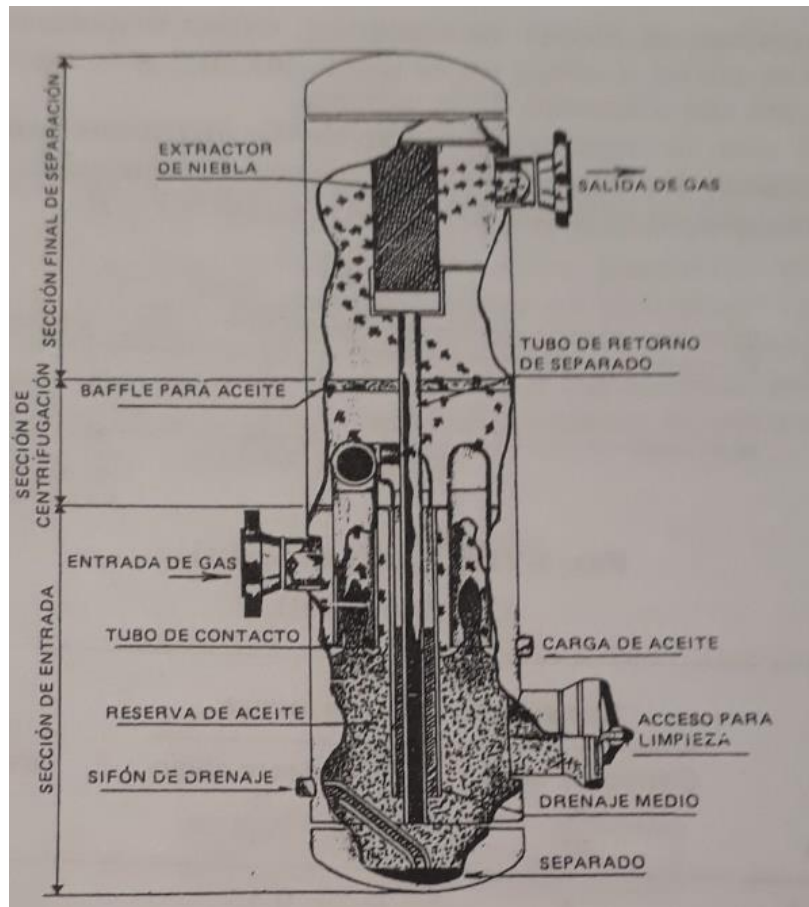
#### Filtro seco

Están formados por una carcasa que contiene en su interior un elemento filtrante que por la forma que tiene se denomina "cartucho".

El elemento filtrante está formado por un material que posee poros. El tamaño de esos poros define el grado de filtración que se puede lograr.

El grado de filtración disponible puede ser de 5, 10, 20, 30, 40, 50  $\mu\text{m}$  (micro metro) y aún más. Este número representa el tamaño máximo de partícula que dicho elemento filtrante puede retener; es decir, un elemento filtrante con grado de filtración 10  $\mu\text{m}$  va a retener partículas de este tamaño o superiores, pero dejará pasar partículas más pequeñas que dicho valor.

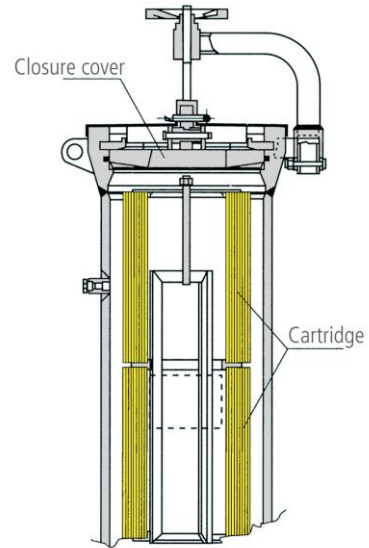
El funcionamiento es simple, el gas pasa a través del elemento filtrante, donde las partículas quedan atrapadas y el gas sigue su camino.



Filtro húmedo



Filtro Seco - Pietro Fiorentini modelo HFA



Corte donde se observa la carcasa y el elemento filtrante



Filtro seco con indicador de perdida de carga (grado de suciedad)

#### **14. Medición de gas consumido**

Los equipos de medición se utilizan para cuantificar el gas consumido. Por la función que cumplen deben ser muy confiables y tener un muy bajo nivel de error.

Debido a esto, están sujetos a una verificación obligatoria cada cierto tiempo. Hay unas ordenanzas (específicas de cada compañía) que definen los periodos respectivos en el cual el medidor será sometido a una calibración.

Son instalados en la ERP por la empresa proveedora de gas, se encuentran precintados y solo personal de dicha empresa puede manipularlos.

#### **Estos equipos se seleccionan en función del caudal y la presión de trabajo.**

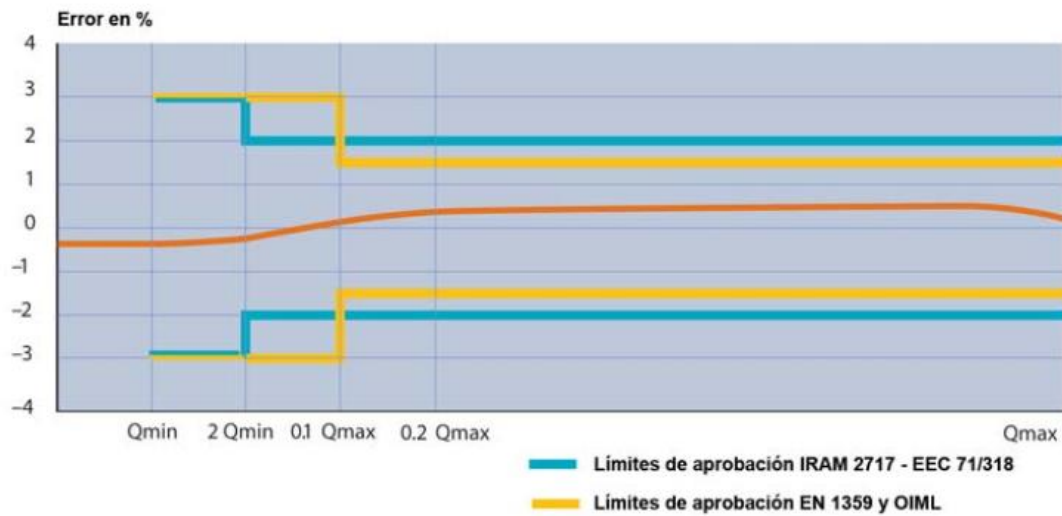
Existen diferentes tipos de medidores. A continuación se describen dos de los más utilizados:

##### **Medidor de volumen con paredes deformables**

Estos equipos son muy utilizados para la industria y el hogar. Son medidores de desplazamiento positivo. Como todo instrumento de medición, si opera fuera de ciertos límites el error en la medición se incrementa y además, el equipo puede dañarse. (Baja presión de trabajo: max. 1 bar – bajo caudal: min. = 0,016 m<sup>3</sup>/h a 3 m<sup>3</sup>/h).



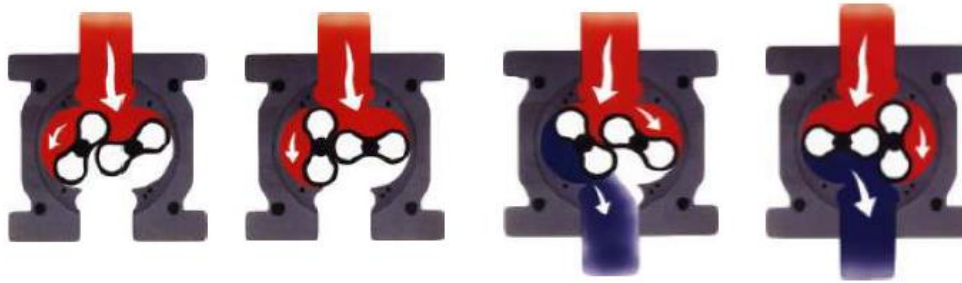
Pietro Fiorentini modelo RS/2,4



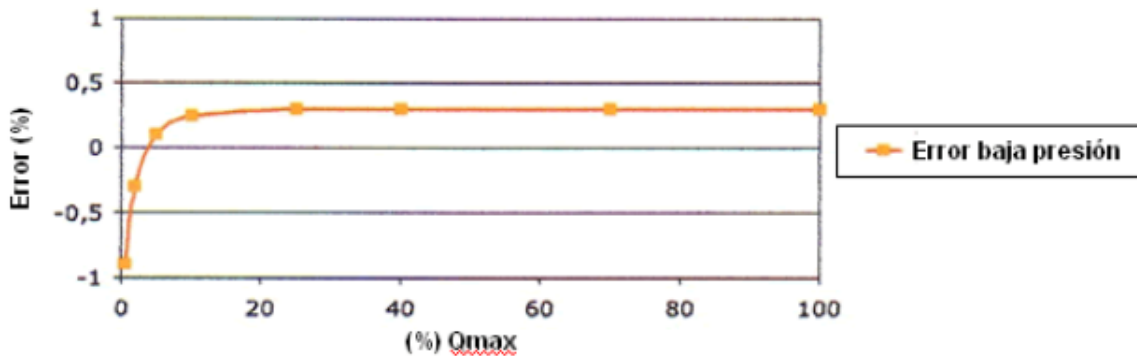
Curva de error en la medición vs caudal (medidor a diafragma).

### El medidor de gas rotativo

Es un tipo de medidor de gas por desplazamiento positivo. La medición en tiempo real la realizan dos lóbulos con forma de 8 en combinación con una cámara de medida. Durante una revolución completa de los lóbulos, se desplaza un volumen fijo de fluido desde la entrada a la salida del medidor. El número de revoluciones representa así el volumen circulado a través del medidor. El valor del volumen se muestra por lectura directa en un cuadrante indicador de tipo contador. **(Media y alta presión de trabajo: max. 20 bar – Caudal medio: 0,5 m<sup>3</sup>/h a 650 m<sup>3</sup>/h).**



Principio de funcionamiento del medidor rotativo.



Curva de error en la medición vs caudal (medidor rotativo)

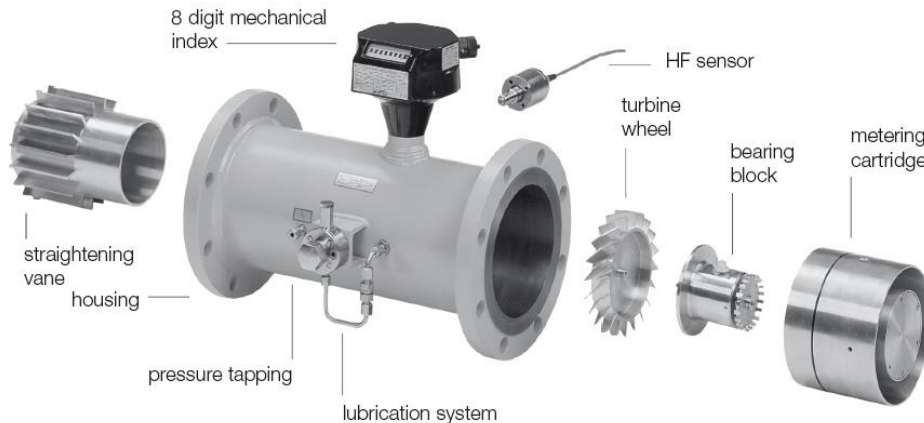
**Caudalimetro de turbina.**

Mide el caudal volumétrico que circula a través de él.

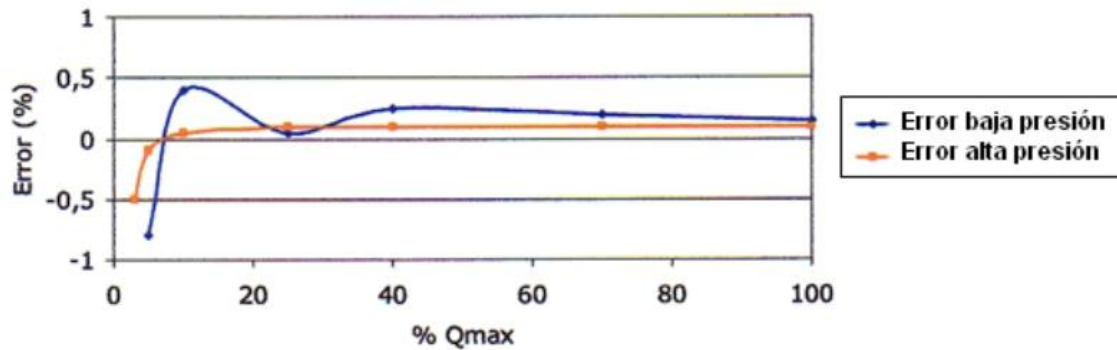
En su interior posee un rotor con alavés, cuya velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de circulación del gas, y por ende al caudal. Un eliminador de turbulencias integrado modifica el perfil del flujo entrante para eliminar completamente los efectos de la tubería de entrada.

A su vez están equipados con un sensor magnético que detecta el movimiento del rotor. Por cada vuelta del rotor se genera una cierta cantidad de pulsos, que luego a través de una placa electrónica se contabilizan dichos pulsos en función del tiempo y se determina el caudal.

**Están diseñados para operar a presiones elevadas, por lo que son muy utilizados en gasoductos. (Media y alta presión de trabajo: max. 80 bar – Alto caudal: 8 m<sup>3</sup>/h a 6500 m<sup>3</sup>/h).**



Despiece de un caudalímetro marca Pietro Fiorentini modelo IGTM-CT.

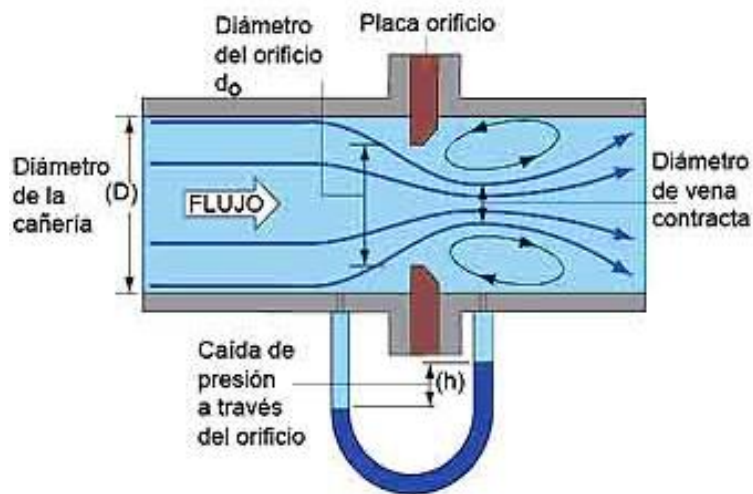


Curva de error en la medición vs caudal (caudalímetro de turbina)

### 15. Placa de restricción

Los elementos para restricción de flujo son accesorios que se instalan en medio de la tubería aguas abajo del sistema de medición y se caracterizan por reducir drásticamente el área de flujo. Como consecuencia de esta reducción en el área se reproduce un fenómeno denominado "flujo crítico" bajo el cual se logra un control del caudal con independencia de las condiciones presentes aguas abajo del elemento de restricción de flujo, es decir independiente de lo que ocurre en los consumos.

En las ERP se utiliza como elemento de restricción una "**placa orificio**". Consistente en disco con un orificio circular concéntrico, de bordes rectos y afilados. El orificio de pasaje se calcula en función al caudal máximo declarado a la empresa proveedora. **De esta forma se protege al medidor de gas consumido.**



Efecto que genera la placa orificio sobre la vena de fluido.

Para facilitar su montaje y desmontaje se instala entre bridas. Una vez instalada es precintada y solo puede manipularla la empresa proveedora de gas.



Conjunto: Bidas – Placa orificio – Tornillos y juntas

### Ramal secundario

El ramal secundario se utiliza en caso de que haya que reparar algún componente del ramal principal (ej. Medidor de caudal).

Está equipado con una placa ciega (11) y también dos válvulas de bloqueo 1/4" de vuelta (10) cuya función es cortar el suministro de gas para anular el ramal o habilitarlo para su uso temporario.

En caso de que ocurra un desperfecto, por ejemplo, en el medidor de gas consumido (14), se anula el ramal principal y se habilita el ramal secundario, quitando la placa ciega y en su lugar colocando una placa orificio. ***Esta maniobra solo puede realizarla la empresa proveedora de gas.***

### 16. Válvula de seguridad por alivio

Cumple la misma función de alivio que la válvula 9. La diferencia radica en que esta válvula, por su ubicación, protege los equipos de la ERP por sobrepresiones provenientes de los consumos.

**Una situación de riesgo ocurre cuando se corta bruscamente la provisión de gas a un consumo (ej.: un quemador de una caldera). Esto genera un golpe de ariete, cuya onda de presión aumenta bruscamente la presión en la línea.**

## COMPONENTES Y SISTEMAS OPTATIVOS DE LA ERP

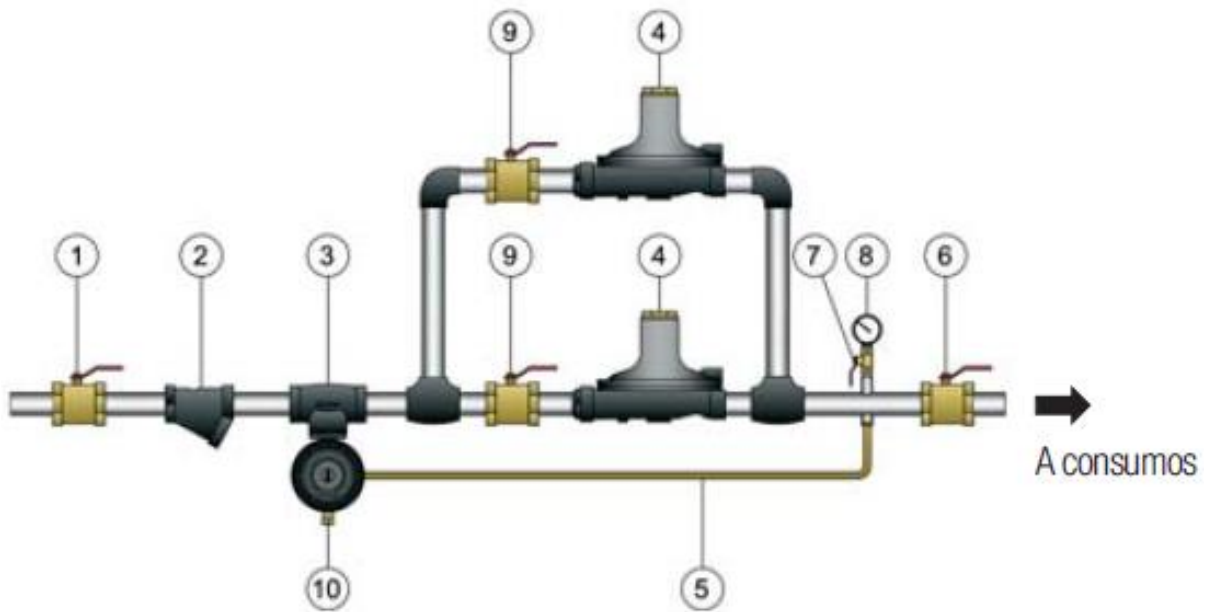
Hay componentes o sistemas que no siempre se encuentran presentes en la ERP. Entre ellos se encuentran:

### Válvula de bloqueo por sobre presión

Estas válvulas son diseñadas con el fin de monitorear la presión aguas debajo de la válvula reguladora de caudal, y si ésta aumenta respecto al valor prefijado, activan un mecanismo interno que interrumpe el paso de gas. Para restablecer el servicio hay que actuar sobre el mecanismo manualmente (Reset), es decir, no son auto-reseteables. Esto obliga al operador

a observar el problema que causó la interrupción. **En definitiva, es un dispositivo de seguridad.**

Se instalan aguas arriba de la/las válvulas reguladoras, con una conexión externa aguas abajo de la misma (ver esquema).



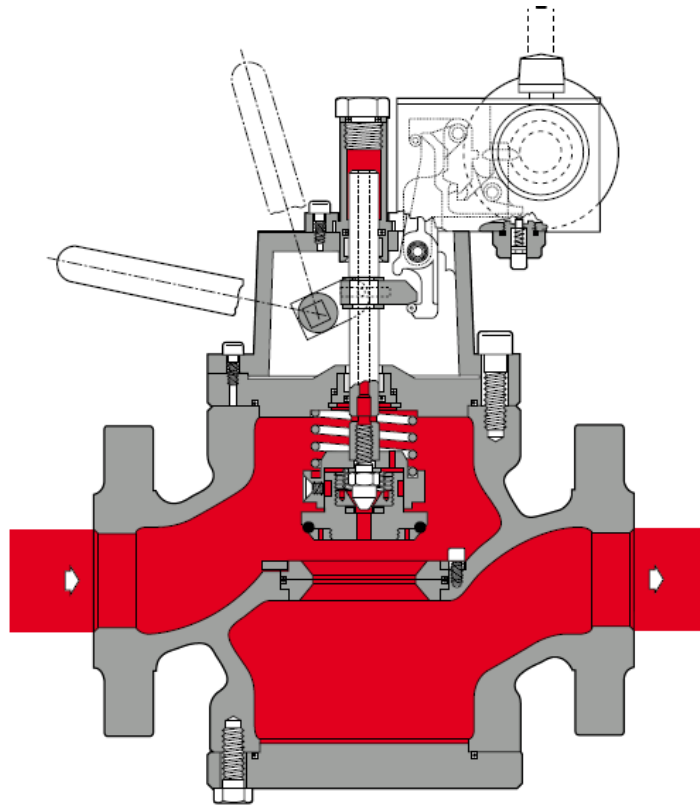
Esquema de instalación de una válvula de bloqueo por sobre presión

**Referencias:**

- 1) Válvula de bloqueo tipo esférica (1/4 de vuelta)
- 2) Filtro en Y
- 3) Válvula de bloqueo por sobrepresión
- 4) Válvulas reguladoras de caudal
- 5) Toma de presión para la válvula de bloqueo
- 6) Válvula de bloqueo tipo esférica (1/4 de vuelta)
- 7) Válvula aguja
- 8) Manómetro
- 9) Válvula de bloqueo tipo esférica (1/4 de vuelta)
- 10) Reset

Pueden ser utilizadas tanto para gas natural como para GLP y en cada caso se elige la presión de bloqueo que exija la norma correspondiente colocando el resorte adecuado.

Es muy importante en la instalación de estos equipos colocar válvulas esféricas aguas arriba (entrada) y aguas abajo (salida) de la/las válvulas reguladoras ya que es necesario cerrarlas para la operación de reseteado.



Corte de una válvula de bloqueo por sobrepresión



Imagen externa de la válvula de bloqueo por sobrepresión





Sistema odorizador instalado

### Sistema inhibidor de hidratos

Los hidratos de gas natural representan una clase de compuestos conocidos como compuestos de inclusión o clatratos (Parrish & Prausnitz, 1972). De forma general, los hidratos son sustancias químicas que se forman cuando componentes de bajo peso molecular se encuentran en equilibrio con agua a ciertas condiciones de presión y temperatura. Las moléculas de agua se enlazan a través de puentes de hidrógeno permitiendo la formación de estructuras cristalinas que contienen cavidades capaces de alojar moléculas de gas y estabilizan así la estructura mediante fuerzas de van der Waals (Anderson & Prausnitz, 1986).

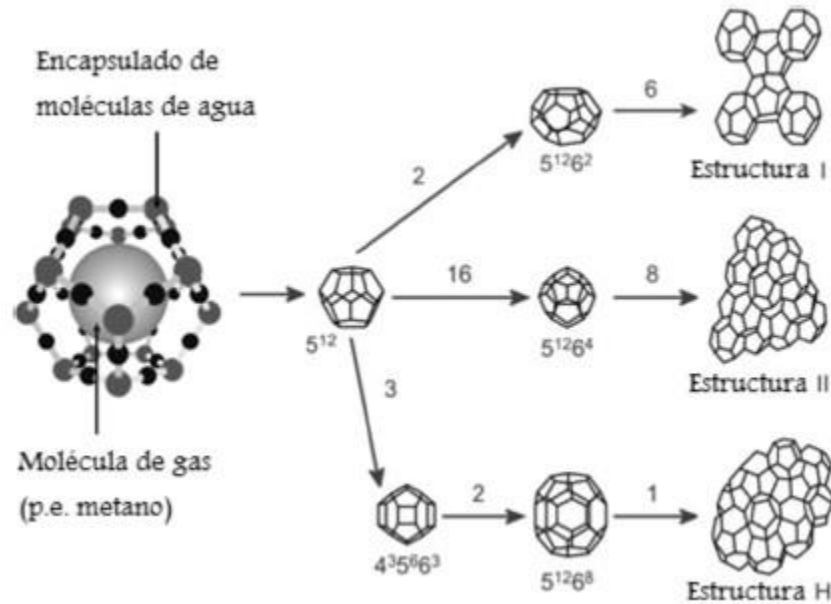
Existen gases capaces de formar hidratos, entre ellos se aprecian hidrocarburos ligeros, refrigerantes y hasta gases ácidos (Koh, 2002). Para lograr la formación y estabilidad adecuada del hidrato, son necesarias ciertas condiciones, entre ellas:

- La combinación adecuada de presión y temperatura. La formación de hidratos se favorece a bajas temperaturas, aproximadamente entre 275 y 285 K y a altas presiones, las cuales pueden ir desde 2500 hasta 11000 kPa (Koh, 2002). A medida que la presión aumenta, la temperatura de formación también aumenta.
- La presencia de agua libre, bien sea en estado líquido o vapor y de hidrocarburos livianos u otros gases capaces de formar los hidratos (Pickering et al. 2001).
- Altas velocidades de gas, así como también la agitación, ya que permite un incremento del área interfacial entre el gas y el agua (Zhang et al. 2004).

La unidad básica de un hidrato es un cristal hueco de moléculas de agua que contiene una sola molécula de gas flotando en su interior. Existen tres tipos de estructuras de hidratos de gas, entre ellas se distinguen las estructuras I, II y H, las cuales difieren en el tipo y número de cavidades que contienen por unidad de celda (Thompson et al. 2006). El tamaño del gas ocupante generalmente determina el tipo de estructura que se forma (Song & Kobayashi, 1989). En la industria del gas, las estructuras I y II son las de mayor importancia, ya que

ambas hospedan pequeñas moléculas de gas natural. A pesar de haberse comprobado la existencia de la estructura H, su formación es muy poco común, de hecho, no es utilizada en los estudios de equilibrio y formación de los hidratos de gas natural (Koh, 2002).

En la siguiente se muestran ilustraciones de los tres tipos de estructuras que pueden formar los hidratos de gas natural.



Estructuras de los hidratos (Centre for Gas Hydrate Research, 2001).

## INHIBICIÓN DE HIDRATOS

Las estrategias para inhibir los hidratos generalmente consisten en modificar una o varias de las condiciones necesarias para su formación a fin de desestabilizar el hidrato (Pickering et al. 2001), entre ellas se encuentran:

- **Control de temperatura.** Uno de los métodos más empleados para prevenir la formación de los hidratos consiste en mantener la temperatura del fluido de producción por encima de la temperatura de formación del hidrato; ello se logra con el calentamiento o recubrimiento de tuberías en los procesos de operación o transporte.
- **Control de presión.** Para evitar el riesgo de la formación de los hidratos se debe mantener la presión de operación del sistema suficientemente baja; sin embargo, este método no resulta adecuado en condiciones normales de operación ya que las presiones que se requieren para el transporte de los fluidos de producción generalmente son bastante elevadas.
- **Remoción de agua.** Otro de los métodos empleados es la deshidratación o secado del gas, eliminando agua de las corrientes a partir de la reducción del punto de rocío del vapor de agua, en el flujo de gas, por debajo de la temperatura de operación.
- **Adición de inhibidores químicos.** Otro método adoptado especialmente por las industrias de gas y petróleo para prevenir o controlar la formación de los hidratos consiste en la inyección de inhibidores químicos (Koh et al. 2002). El inhibidor, al ser agregado en grandes cantidades, altera las condiciones de formación de los hidratos hacia mayores presiones y menores temperaturas, por lo que se modifica el diagrama de fase del hidrato o su cinética de formación. Existen tres clases principales

de inhibidores químicos: inhibidores termodinámicos, inhibidores cinéticos, e inhibidores antiaglomerantes. Estos dos últimos son también llamados inhibidores de dosis baja, pues la dosis necesaria es pequeña comparada con la de inhibidores termodinámicos (Pickering et al. 2001):

- **Inhibidores termodinámicos.** Esta clase de inhibidores es capaz de alterar el potencial químico de la fase acuosa, de forma tal que la curva de equilibrio de disociación se desplace hacia temperaturas aun menores y presiones mayores. Los mismos se añaden en concentraciones relativamente altas, aproximadamente entre 10 y 60% en peso en fase acuosa (Lovell & Pakulski, 2003). Los inhibidores de este tipo más comúnmente usados son: metanol, el cual representa un inhibidor bastante demandado debido a su efectividad y bajos costos; el monoetilenglicol (MEG), así como también algunas sales inorgánicas que se forman de manera natural en agua de mar (Pickering et al. 2001). Los mismos actúan disminuyendo la fugacidad del agua en sus fases coexistentes, lo que hace que el hidrato se forme a temperaturas menores y presiones mayores.

- **Inhibidores cinéticos.** Este tipo de inhibidores no altera la termodinámica de formación del hidrato, por el contrario, modifica la cinética de formación y se basa en la inyección de productos químicos a base de polímeros (Huo et al. 2001). Su efecto depende del tiempo de residencia, pues los hidratos se formarán y bloquearán las tuberías únicamente si el tiempo de paso por la tubería es suficientemente largo. A diferencia de los inhibidores termodinámicos, estos se agregan en bajas concentraciones, generalmente menos de 1% en peso en fase acuosa (Pickering et al. 2001).

- **Anti-aglomerantes.** Esta clase de productos químicos no previene la formación de los hidratos de gas; sin embargo, buscan evitar la aglomeración de los cristales que podrían bloquear las tuberías. Estos químicos se adhieren al cristal del hidrato y lo estabilizan. Se aplican en dosis bajas, típicamente menor a 1% en peso en la fase acuosa, así como también se requiere de la existencia de una fase condensada (Pickering et al. 2001).

***En caso de ser necesaria la colocación de un inhibidor de hidratos se ubicará entre la junta dieléctrica (2) y el filtro en Y (3).***

---

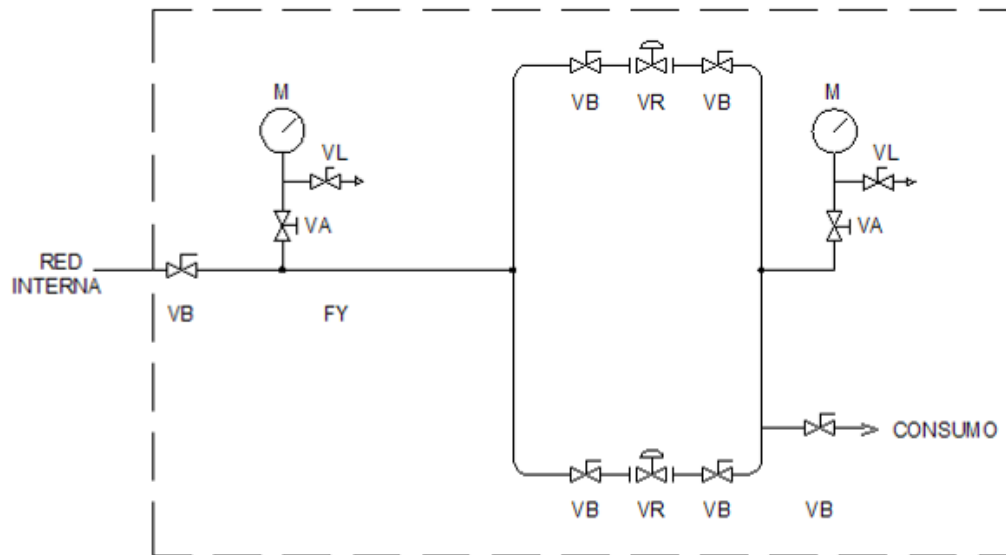
#### 1.1.1.23. ESTACIÓN REGULADORA SECUNDARIA (ERS)

---

Su función principal es:

**Adecuar (reducir) la presión** acorde a los requerimientos de los consumos.

Se instala cuando existen ciertos consumos dentro la planta que operan a una presión diferente a la entregada por la ERP.



## REFERENCIAS

	VB	VÁLVULA DE BLOQUEO (APERTURA Y CIERRE RÁPIDO)
	VA	VÁLVULA AGUJA (APERTURA Y CIERRE LENTO)
	VL	VÁLVULA DE LIBERACIÓN
	VR	VÁLVULA REGULADORA DE CAUDAL Y REDUCTORA DE PRESIÓN
	M	MANÓMETRO

## 1.1.1.24. VÁLVULA REGULADORA DE CAUDAL

Comúnmente se la denomina “regulador”.

Su función es regular el caudal según la demanda de los consumos, manteniendo la presión constante. Esto implica que, aunque varíe el caudal de los consumos la presión de los mismos debe mantenerse constante o dentro de límites razonables.

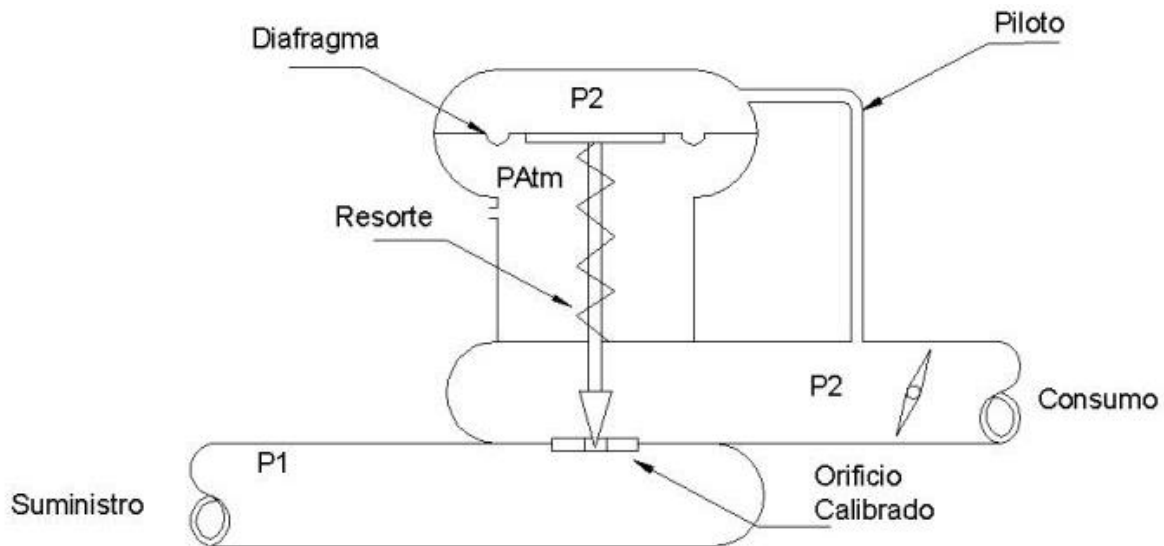
**Como regla general se acepta que, durante la operación, la presión de consumo puede variar  $\pm 10\%$  de la presión regulada.**

En definitiva, el regulador debe ser capaz de mantener la presión, sin ser afectado por cambios en las condiciones operativas del proceso para el cual trabaja.

**Partes constitutivas**

En esencia está compuesto por tres elementos:

- 1. Elemento restrictor:** orificio calibrado de la válvula y obturador.
- 2. Elemento de medida o sensor:** diafragma y conducto piloto. El diafragma puede ser metálico o elastomérico.
- 3. Elemento de Carga:** Resorte, peso o un gas.



Esquema básico de una válvula reguladora

#### 1.1.1.25. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento es automático.

Básicamente posee un obturador de recorrido ajustable conectado mecánicamente a un diafragma. (Ver figura anterior). Sobre el diafragma actúan fuerzas que generan el desplazamiento del obturador, el cual modifica la sección de pasaje del orificio calibrado, variando el caudal erogado.

Sobre la parte superior del diafragma actúa una fuerza dada por:

$$F_2 = P_2 \cdot A \text{ (EQ.1)}$$

donde;

$F_2$ = Fuerza (Nw)

$A$ = Area del diafragma ( $m^2$ )

$P_2$ = Presión de consumo (Kpa)

Y en la parte inferior del diafragma actúa la fuerza del resorte:

$$F_1 = - K \cdot X \text{ (EQ.4)}$$

donde;

$F_1$ = Fuerza (Nw)

$K$ = Constante de elasticidad del resorte (Nw/m)

$X$ = Deformación del resorte (m)

Además de la carga del resorte, existe también la presión ejercida por el aire (presión atmosférica).

Cuando el caudal de consumo es cero las fuerzas antes mencionadas están en equilibrio y la válvula permanece cerrada.

Cuando se activa un consumo, el equilibrio de fuerzas se rompe porque la presión  $P_2$  que actúa sobre el diafragma disminuye, haciendo que la fuerza del resorte ( $F_1$ ) desplace hacia

arriba el diafragma, moviendo el obturador y aumentando la sección de pasaje del orificio calibrado.

Cuando el caudal alcanza un valor constante, se establece nuevamente un equilibrio de fuerzas manteniendo el obturador en una posición fija y estable.

Si ocurre lo contrario y el caudal de consumo disminuye, el equilibrio de fuerzas se rompe nuevamente porque la presión  $P_2$  comienza a aumentar. Esto genera un aumento de la fuerza que actúa en la parte superior del diafragma, venciendo la fuerza del resorte y desplazando el obturador logrando una disminución de la sección de pasaje del orificio calibrado. Cuando el caudal alcanza un valor constante, se establece nuevamente un equilibrio de fuerzas manteniendo el obturador en una posición fija y estable.

#### 1.1.1.26. CARACTERÍSTICAS DE PERFORMANCE

En primer lugar, antes de comenzar a hablar de performance de un regulador, se hará una mención respecto al caudal de gas. El gas es un fluido compresible y su volumen depende de las condiciones de presión y temperatura, por ende el caudal volumétrico de un gas también dependerá de estos parámetros. Es por esto que surgen los siguientes caudales:

##### **Caudal normal**

Es una magnitud que define un volumen de aire o gas. En este caso, por convención se consideran las siguientes condiciones de referencia:

Medido a nivel del mar, es decir, con una presión absoluta de 1,013 bar Abs.

Temperatura 0°C

Seco. El valor de caudal no incluye el vapor de agua.

Nomenclatura "N" delante de la unidad. (Ej.: N m<sup>3</sup>/h ó N m<sup>3</sup>/min)

##### **Caudal Estándar**

También se pueden encontrar algunos valores medidos en condiciones Standard que, al igual que los caudales anteriores, se trata de una magnitud que define un volumen de aire o gas. En este caso las condiciones de referencia son:

Medido a nivel del mar, es decir, con una presión absoluta de 1,013 bar Abs.

Temperatura 15 °C

Seco. El valor de caudal no incluye el vapor de agua.

Nomenclatura "Std" delante de la unidad. (Ej.: Std m<sup>3</sup>/h ó Std m<sup>3</sup>/min)

Todo esto es muy importante porque las curvas de caudal de los reguladores para gas vienen expresadas en estas unidades.

Por lo tanto, si en algún caso el dato de caudal de gas viene establecido en condiciones de presión y temperatura diferentes a las mencionadas, es necesario realizar la conversión para poder seleccionar el regulador adecuado.

$$Q_N = Q \times \left( \frac{P + 1,033}{1,033} \right) \times \left( \frac{273}{T + 273} \right)$$

Donde:

$Q_N$  = Caudal en condiciones normales (N m<sup>3</sup>/h)

$Q$  = Caudal volumetrico ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$P$  = Presion relativa ( $\text{kg}/\text{cm}^2$  o bar)

$T$  = Temperatura de trabajo ( $^{\circ}\text{C}$ )

O:

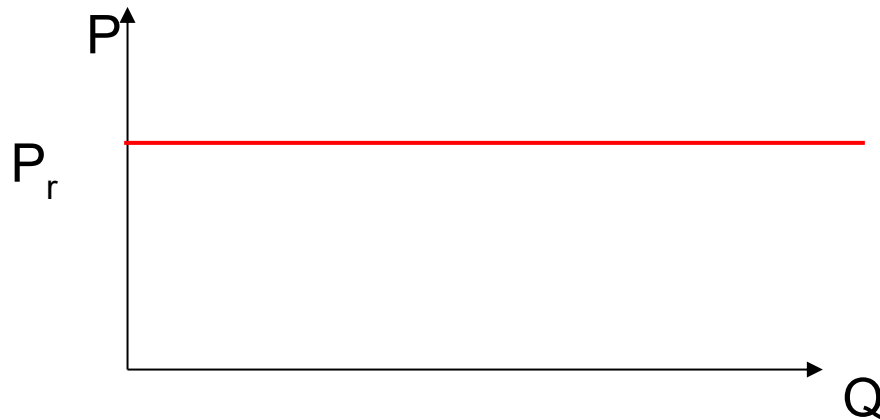
$$Q_{Std} = Q \times \left( \frac{P + 1,033}{1,033} \right) \times \left( \frac{288}{T + 273} \right)$$

Donde:

$Q_{Std}$  = Caudal en condiciones estandar ( $\text{Std m}^3/\text{h}$ )

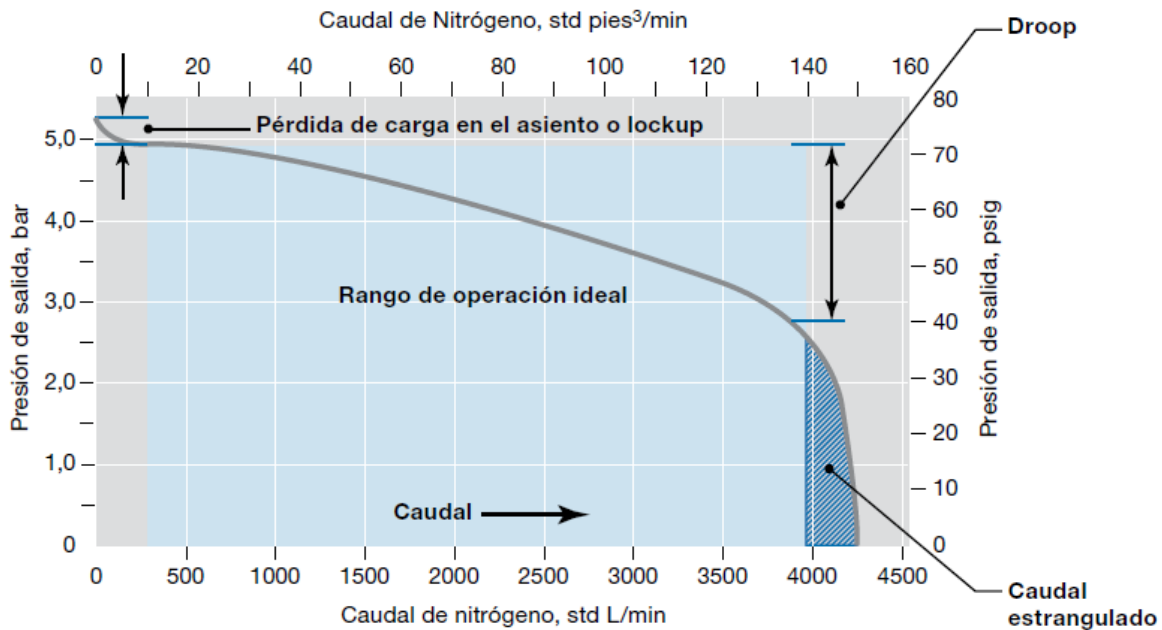
Visto esto, se iniciará con el estudio de la performance de un regulador. Dicha performance se observa a través de un gráfico llamado **“curva de caudal”**. Esta curva muestra el rendimiento del regulador en términos de presión de salida (eje Y) y caudal (eje X). Dicha curva es provista por el fabricante del regulador.

**La curva de caudal ideal sería una línea recta horizontal.** Pero ningún regulador puede funcionar produciendo una curva de caudal como una línea perfectamente recta debido a las limitaciones de sus componentes internos.



Curva de caudal ideal

La curva de caudal real difiere bastante de la curva de caudal ideal. A continuación, se muestra una curva real donde se detallan diferentes fenómenos que ocurren en el regulador.



Curva de caudal real

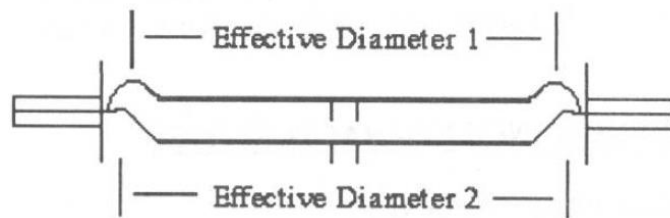
**Perdida de carga en el asiento o lockup (caudal cero)**

Esta caída de presión se genera cuando comienza a circular caudal a través del orificio calibrado. Esto es sin duda una pérdida de energía generada por la velocidad del fluido. Cuando no hay caudal, no hay velocidad, la pérdida de energía desaparece y por ende la presión aumenta.

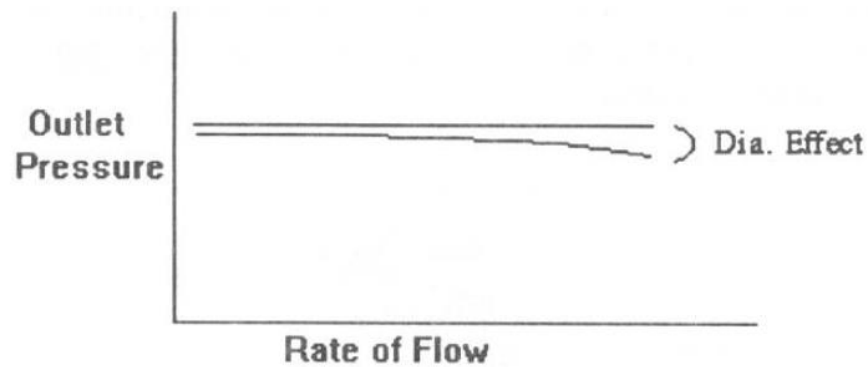
**Decaimiento de la presión o Droop**

Esta caída de presión se produce por efecto: *del diafragma, el resorte y el cuerpo del regulador.*

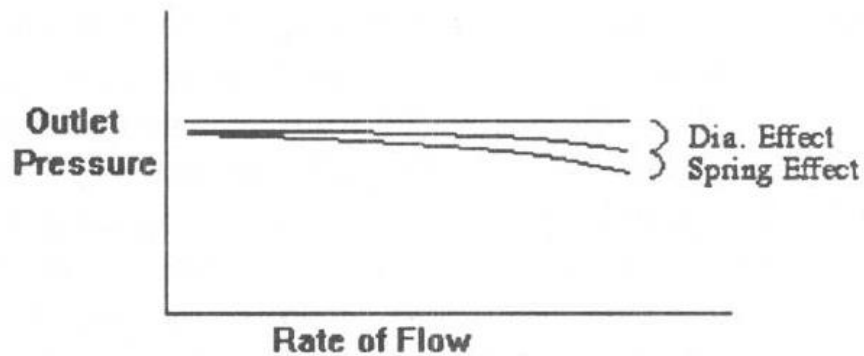
El efecto que produce el diafragma es por el cambio en el área efectiva del mismo cuando se deforma.



Esto genera un cambio en la fuerza que actúa en la parte superior del diafragma en función al desplazamiento, que afecta a la presión de consumo  $P_2$ .

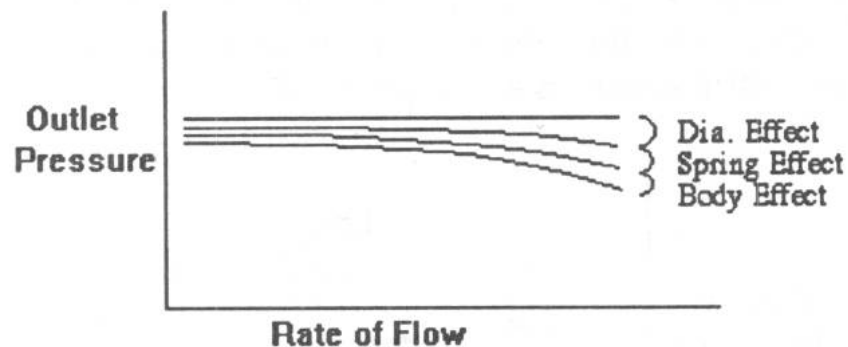


El efecto que genera el resorte está relacionado con la fuerza que éste genera, la cual es proporcional a la deformación. Esa fuerza actúa sobre el diafragma y la magnitud de la misma depende de la posición de dicho diafragma. En el siguiente grafico se muestra cómo afecta la performance del regulador los efectos combinados del resorte y el diafragma.



Por último, el efecto que produce el cuerpo está relacionado con la turbulencia que se genera cuando el gas pasa a través del cuerpo. Este efecto depende de la geometría interna del cuerpo y no es otra cosa que una pérdida de energía.

En el siguiente grafico se observa cómo afecta a la performance del regulador los tres efectos combinados (diafragma, resorte y cuerpo):



### Caudal estrangulado

El caudal estrangulado se observa en el extremo derecho de la curva de caudal real, a los 3960 std L/min (140 std pies<sup>3</sup>/min) donde la presión empieza a caer bruscamente. En este punto, la demanda de caudal excede las capacidades de control del regulador. Ahí el orificio de pasaje está totalmente abierto y no puede regular; un componente de control de caudal

que se convierte en un orificio abierto. Aumentar el caudal aguas abajo de este punto o más allá, hace al regulador ineficiente. Debido a la brusca caída de presión, no es aconsejable utilizar un regulador en esta zona.

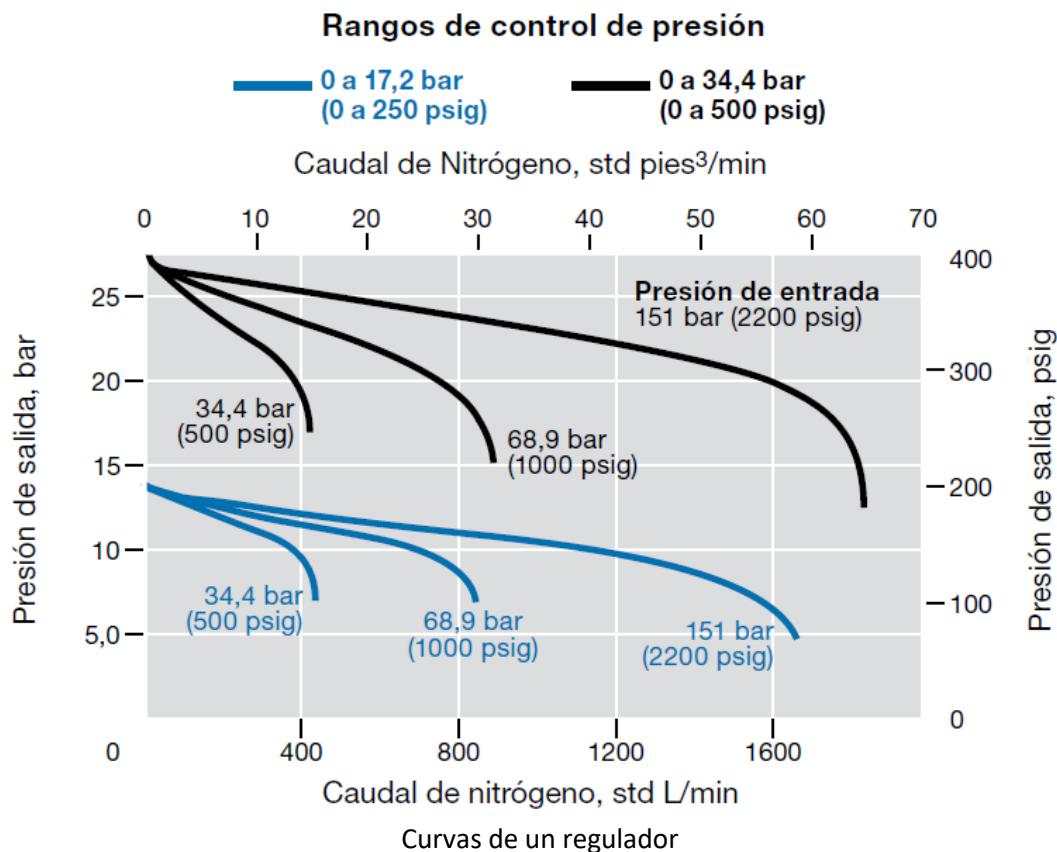
**Es importante mencionar que el coeficiente de caudal ( $C_v$ ) de un regulador se obtiene con el orificio de pasaje totalmente abierto, y por ese motivo no puede utilizarse como indicativo de su rendimiento general.**

De hecho, seleccionar un regulador basándose solo en su  $C_v$  puede producir resultados insatisfactorios. Puede parecer que, si el caudal del sistema está en el rango del  $C_v$  del regulador, su "tamaño." será el correcto. Pero eso no es necesariamente cierto. El  $C_v$  representa la máxima capacidad de caudal del regulador, pero en esta condición, el regulador no puede controlar el caudal (no puede hacer frente a un incremento de caudal).

#### 1.1.1.27. SELECCIÓN DE UNA VÁLVULA REGULADORA

En base a todo lo mencionado sobre la performance de un regulador, veamos cómo interpretar una curva de caudal.

Si se observa la curva superior de la Fig. 44. Ésta se inicia en 27,5 bar (400 psig), pero cae ligeramente a lo largo de todo el gráfico según aumenta el caudal.



**Al leer una curva se deben identificar los diferentes caudales posibles en el sistema. Y entonces comprobar en el gráfico cuáles serán las correspondientes presiones de salida. ¿Son aceptables? Si no, se necesita un regulador diferente.**

Normalmente el rendimiento óptimo del regulador se logra en la parte más plana de la curva, donde mantendrá presiones relativamente constantes aún ante cambios significativos del caudal. Los extremos de la curva representan caídas pronunciadas, donde las presiones cambian radicalmente al menor cambio en el caudal. Estas zonas de la curva muestran las condiciones en que el regulador no operará en su mayor nivel de eficiencia.

Hay una curva distinta para cada presión de ajuste (presión de consumo). La Fig. 44 muestra dos grupos principales de curvas: una tiene como base una presión de ajuste de 27,5 bar (400 psig) y la otra de 13,7 bar (200 psig). Si la presión de ajuste deseada está entre las curvas, éstas se pueden interpolar. Se observa que los dos grupos de curvas tienen una forma muy parecida, aunque ubicada en diferentes áreas del gráfico.

**Hay otra variable que afecta a la forma de la curva y es la presión de entrada (presión de suministro).** Observe que para cada uno de los dos grupos de curvas de la Fig. 44, poseen diferentes presiones de entrada (presión de suministro) 151 bar, 68,9 bar y 34,4 bar.

Es importante mencionar las curvas de caudal de gas suministradas por los fabricantes normalmente están basadas en un caudal de aire o nitrógeno. Si el fluido del sistema es otro, puede ser necesario ajustar la escala de caudal para incluir la diferencia entre la densidad de éste ( $\delta$  nuevo) y el del fluido utilizado para crear la curva ( $\delta$  referencia). El efecto de la densidad cambia el caudal con un **factor de corrección (FG)**. Este factor se calcula de la siguiente forma:

$$FG = \sqrt{\frac{\delta_{gas\ referencia}}{\delta_{nuevo\ gas}}}$$

En este caso la curva del regulador es con nitrógeno (densidad: 0,97), por lo que si se utiliza otro gas se deberá calcular el factor de corrección de la siguiente forma:

$$FG = \sqrt{\frac{0,97}{\delta_{nuevo\ gas}}}$$

A continuación, se listan los factores de corrección calculados con esta ecuación, para ajustar las escalas de caudal de nitrógeno a otros gases.

Gas	Factor de corrección FG
Aire	0,98
Amoníaco	1,28
Argón	0,84
Dióxido de carbono	0,80
Helio	2,65
Hidrógeno	3,72
Cloruro de hidrógeno	0,87
Oxígeno	0,94
Gas natural	1,22

Por ejemplo, el factor de corrección del dióxido de carbono es 0,80. Por tanto, el punto de una curva que indique un volumen de caudal de nitrógeno de 2831 std L/min (100 std

pies<sup>3</sup>/min) indica un caudal de 2265 std L/min (80 std pies<sup>3</sup>/min) para el dióxido de carbono. **La curva es la misma, pero la escala de caudal cambia.**

**De todo lo visto se deduce que para seleccionar un regulador habrá que tener en cuenta varios factores, los cuales se listan a continuación:**

- » Presiones y Caudales: máximo, mínimo y nominal.
- » Tipo de gas.
- » Presión de consumo o regulada, y el alcance de ajuste que se desea ( $\pm 10\%$ ).
- » Precisión del control que se necesita.
- » Tipo de obturador, asientos duros o blandos.
- » Características del flujo.
- » Tamaño de las conexiones.
- » Facilidad de mantenimiento y reparaciones futuras.
- » Presión de diseño aguas abajo de la misma.
- » Nivel sonoro.

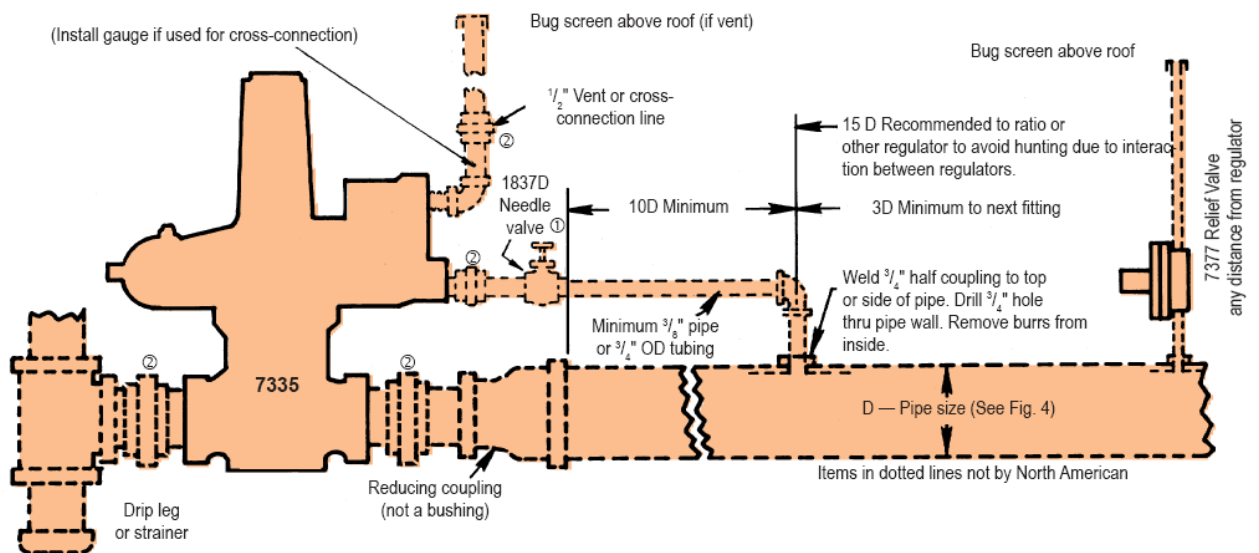
#### 1.1.1.28. MONTAJE

A la hora de instalar una válvula reguladora hay que respetar ciertas distancias mínimas. En estos casos es importante seguir las recomendaciones del fabricante pero como regla general se considera lo siguiente:

**Ubicación del tubo piloto: mínimo 10 diámetros de tubería**

**Ubicación de una válvula: mínimo 15 diámetros de tubería (con respecto a la ubicación del tubo piloto)**

**Ubicación de un elemento de medición de caudal: mínimo 15 diámetros de tubería (con respecto a la ubicación del tubo piloto)**



Distancias mínimas recomendadas para el montaje

---

 1.1.1.29. DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES.
 

---

El dimensionamiento de la instalación implica determinar el diámetro óptimo de la tubería por donde va a circular el gas. Para esto se recomienda proceder de la siguiente manera:

**Determinación del consumo volumétrico de un aparato a gas**

El consumo volumétrico (en m<sup>3</sup>/h) de un aparato a gas se calcula como el cociente entre su consumo calorífico y el poder calorífico superior del gas suministrado, expresado en las mismas unidades, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Q_n = \frac{1,1 \times P_{A\_PCI}}{PCS}$$

Donde:

$Q_n$  = Consumo volumétrico del equipo a gas N m<sup>3</sup>/h

$P_{A\_PCI}$  = Consumo calorífico del equipo a gas, referido al PCI (Kw o kcal/h)

$PCS$  = Poder Calorífico Superior del gas suministrado (Kwh/m<sup>3</sup> o kcal/N m<sup>3</sup>)

1,1 = Coeficiente corrector medio, función del PCS y del PCI del gas suministrado

**Nota: Si el consumo calorífico del aparato a gas viene referido al PCS (PA\_PCS), no ha de aplicarse el coeficiente corrector medio 1,10.**

$$Q_n = \frac{P_{A\_PCS}}{PCS}$$

---

 1.1.1.30. CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA:
 

---

- Toda la instalación deberá estar dimensionada para el caudal requerido por los equipos y las ampliaciones, teniendo en cuenta las limitaciones en la pérdida de carga y velocidad de circulación del gas en la tubería.
- Los elementos componentes de la instalación comprendidos entre el punto de entrega en el límite municipal y las válvulas reguladoras de caudal, deberán ser aptos para soportar la presión máxima de suministro que fija ENARGAS.
- El tramo de la cañería comprendida entre la válvula de bloqueo de servicio y la entrada a las válvulas reguladoras, se calculará con una caída de presión máxima no superior al **10 %** de la presión mínima de suministro.
- Los tramos de la red interna comprendidos entre dos etapas de regulación (entre ERP y ERS) se calcularán con una caída máxima del **20 %** de la presión regulada al comienzo de esos tramos.
- Los tramos de cañería que alimentan directamente artefactos de consumo serán calculados de tal manera que la caída de presión entre la válvula reguladora que los abastece y los artefactos no exceda el **10 %** de la presión regulada.

---

 1.1.1.31. INSTALACIONES DE BAJA PRESIÓN
 

---

Se aplica a instalaciones donde la Presión de trabajo  $\leq 0,034$  bar Man. (0,035 kg/cm<sup>2</sup> Man.). La pérdida de carga admisible deberá ser  $\Delta P \leq 0,98$  mbar Man. (1,0 g/cm<sup>2</sup> M.).

Cañerías a baja presión utilizando la fórmula del **Dr. Poole**. También para el cálculo de cañerías por tramos.

$$Q = \sqrt{\frac{D^5 \times h}{2 \times \delta \times l}}$$

Donde:

$Q =$  Caudal en Nm<sup>3</sup>/h

$D =$  Diametro interior del tubo en cm

$h =$  Perdida de carga en mm de columna de H<sub>2</sub>O

$\delta =$  Densidad relativa del gas (respecto del aire)

$l =$  longitud de tubería en metros (incluir la longitud equivalente de los accesorios)

---

 1.1.1.32. INSTALACIÓN DE MEDIA PRESIÓN
 

---

Se utiliza la Ecuación de **Renouard** simplificada (**presión de trabajo hasta 4 bar**).

$$P_a^2 - P_b^2 = 48600 \times \delta \times L \times Q^{1,82} \times D^{-4,82}$$

Se deberá verificar que se cumpla la siguiente relación:

$$Q/D \leq 150$$

Donde:

$P_a$  y  $P_b =$  Presion absoluta en ambos extremos de la tubería - kg/cm<sup>2</sup> Abs.

$\delta =$  Densidad relativa del gas (respecto del aire)

$L =$  longitud de tubería en Km (inccluir la longitud equivalente de los accesorios)

$Q =$  Caudal en m<sup>3</sup>n/h

$D =$  Diametro interior del tubo en mm

El cálculo de la velocidad de circulación del fluido se realizará con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{365,35 \times Q}{D^2 \times P}$$



## 1.1.1.33. INSTALACIÓN DE ALTA PRESIÓN

Se aplica la Fórmula de Weymouth en instalaciones donde la Presión de trabajo  $\geq 4$  bar. La pérdida de carga admisible deberá ser  $\Delta P \leq 25\%$ . *Velocidad máxima recomendada 25 m/s.*

Fórmula de Weymouth para alta presión:

$$Q = 35,28 \cdot D^{8/3} \cdot \sqrt{\frac{(p_1^2 - p_2^2)}{L}} \cdot \sqrt{\frac{1}{Z}}$$

$\left\{ \begin{array}{l} Q \text{ [Nm}^3\text{/día]} \\ p_1 \text{ [kg/cm}^2\text{]} A \\ D \text{ [cm]} \\ L \text{ [m]} \\ Z \text{ [coef.compr]} \end{array} \right.$

Tabla 1

Diámetro [pulgadas]	Constante [C]
1,5	1552
2	3022
3	9085
4	19054
6	58526
8	118662
10	216033
12	342814

Fórmula simplificada de Weymouth para alta presión:

$$Q = C \sqrt{\frac{(p_1^2 - p_2^2)}{L}} F_{pv}$$

$\left\{ \begin{array}{l} Q \text{ [Nm}^3\text{/día]} \\ p_1 \text{ [kg/cm}^2\text{]} A \\ L \text{ [m]} \\ C \text{ Constante de Weynouth (tabla 1)} \\ F_{pv} \text{ Factor de presión y volumen (tabla 2)} \end{array} \right.$

Tabla 2

Presión [Kg/m2]	Coficiente [Fpv]
5 a 10	1.01
10 a 20	1.02
20 a 25	1.03

Fórmula de Weymouth Corregida:

$$Q = C C_0 \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{L}} F_{pv}$$

Q [Nm<sup>3</sup>/día]  
 pi [kg/cm<sup>2</sup>] A  
 L [m]  
 C Constante de Weymouth  
 C<sub>0</sub> Coeficiente de corrección  
 F<sub>pv</sub> Factor de presión y volumen

Velocidad máxima recomendada 25 m/s

Caída de presión recomendada máx. 25%

Coeficiente de corrección (C <sub>0</sub> ) para la fórmula de Weymouth									
Diámetro [pulgadas]	Caudal [m <sup>3</sup> /día]								
	50000	30000	20000	12000	8000	5000	3000	2000	1000
3/4	1,321	1,318	1,313	1,305	1,295	1,279	1,255	1,23	1,191
1	1,307	1,301	1,295	1,282	1,268	1,246	1,215	1,184	1,138
1 1/2	1,266	1,255	1,242	1,219	1,196	1,164	1,121	1,083	1,031
2	1,237	1,221	1,203	1,174	1,146	1,108	1,061	1,02	0,967
3	1,177	1,151	1,125	1,086	1,052	1,008	0,958	0,917	0,863
4	1,128	1,095	1,065	1,022	0,985	0,941	0,89	0,849	0,796
6	1,042	1,002	0,968	0,923	0,885	0,841	0,792	0,753	0,704
8	0,984	0,942	0,907	0,861	0,824	0,781	0,734	0,697	0,65
10	0,934	0,891	0,856	0,811	0,775	0,733	0,687	0,651	0,606
12	0,895	0,852	0,818	0,774	0,738	0,697	0,653	0,618	0,574

### DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR DE LA CAÑERÍAS

Se deberán utilizar tubos con o sin costura, Schedule 40 – bajo normas ASTM A53 o IRAM 2502.

El espesor se verificar con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma} \times K$$

Donde:

$P = \text{Presión máxima de diseño} - \text{kg/cm}^2 \text{ Man.}$

$D = \text{Diámetro interior del tubo en cm}$

$\sigma = \text{Tensión de fluencia del material} - \text{kg/cm}^2.$

$K = \text{Factor de seguridad}$

Siendo:

$$K = \frac{1}{F \times E \times T}$$

Donde:

$F = \text{Tipo de obra (0,4 - 0,5)}$

$E = \text{Tipo de caño}$

Según ASTM A53:

E= 1 caño sin costura

E= 0,6 caño con costura

Según IRAM 2502:

E= 0,5

$T = \text{Factor por temperatura.}$

Es igual a 1 si la temperatura es menor a 120 grados Celsius

## ACCESORIOS

### Todos los accesorios deben cumplir lo siguiente:

Para soldar (codos, curvas, te, etc) según IRAM 2607 o ANSI B169. Material: fundición maleable según IRAM 2548

Bridas: Forjadas en caliente según ANSI B165.

Espárragos y tuercas: Acero al Cr-Mo o Acero al Carbono.

Juntas p/ Bridas: deben mantener la presión máxima, las propiedades físicas y químicas hasta los 500°C.

Juntas, Canutos y Arandelas dieléctricas: especificaciones ASTM D709.

Válvulas de Bloqueo: ¼ de vuelta, Fabricante, P<sub>max.</sub>, tipo de Material, etc.

Válvulas Regulatoras: Grabadas con Fabricante, P<sub>max.</sub> Adm., P<sub>r</sub>, Q [m<sup>3</sup>/h], Φ del orificio y tipo.

De Seguridad: Idem anterior + P de apertura, Φ del orificio de la tobera, Q de venteo y mes y año de calibración.

## SOPORTES PARA CAÑERÍAS

El espaciado entre soportes para las cañerías no deberá ser mayor a lo indicado en la siguiente tabla correspondiente a la norma **ANSI B 31.1.1**.

ø (mm)	distancia (m)	
	con prueba hidráulica	con prueba neumática
13	1,8	2,0
19	2,0	2,5
25	2,1	2,7
51	3,0	4,0
76	3,7	4,6
102	4,3	5,2
152	5,2	6,4
203	5,8	7,3
305	7,0	9,1
407	8,2	10,7
508	9,1	11,9
610	9,8	12,8

## ENSAYOS A LA INSTALACIÓN

Una vez finalizada la construcción y ante de su puesta en servicio, se deberá someter a la instalación a los siguientes ensayos:

- Prueba de resistencia con agua o aire de acuerdo a la presión de trabajo de las secciones de la instalación y una prueba de hermeticidad final.
- De resistencia deberán realizarse en instalaciones que trabajen a más de 4,935 bar M. (5 kg/cm<sup>2</sup> M.) con agua, para presiones menores se podrá realizar con aire o gas inerte.
- Para instalación que operan a 4,935 bar Man. (5 kg/cm<sup>2</sup> Man.) o más, P de prueba deberá ser 1,5 veces la máxima presión admisible de operación, manteniendo la presión durante **6 horas** como mínimo.
- Las que operan a menos de 4,935 bar Man. (5 kg/cm<sup>2</sup> Man.) pero mayor que 2,96 bar Man. (3 kg/cm<sup>2</sup> Man.), deberán ser probadas a 1,5 veces la máxima presión admisible de operación **4 horas** como mínimo.
- Las que operen a una presión menor que 2,96 bar Man. (3 kg/cm<sup>2</sup> Man.) pero mayor que 98 mbar M. (0,1 kg/cm<sup>2</sup> Man.) deberán ser probadas a 1,5 veces la máxima presión admisible de operación durante un lapso **2 horas**. Esta presión no podrá ser inferior a 1,97 bar Man. (2 kg/cm<sup>2</sup> Man.).
- Se hará una prueba de hermeticidad final con aire a la presión de trabajo de la instalación, verificando tal hermeticidad pasando una solución de agua y jabón mientras el sistema se encuentra bajo presión, o prolongando el período de prueba a un tiempo no menor de 24 horas.
- Los ensayos realizados a la instalación tendrán una validez máxima de 1 (un) año.

1.1.1.34. BIBLIOGRAFÍA

- <https://www.enargas.gob.ar/secciones/normativa/normas-tecnicas-items.php>
  - NAG 201 – Disposiciones, Normas y Recomendaciones para uso de Gas Natural en Instalaciones Industriales
  - NAG 148 – Condiciones de seguridad para la ubicación e instalación de estaciones de separación y medición y estaciones reductoras de presión
  - NAG 123- Normas de colores de seguridad para instalaciones y lugares de trabajo
- **INSTALACIONES DE GAS – 3º Edición – Nestor Pedro Quadri – Eitorial Alsina -1998**
- **TRATADO GENERAL DE GAS – Ing. Raúl R. Llobera – Cesarini Hnos.**