



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**REDES DE DISTRIBUCIÓN DE  
GAS NATURAL**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A :**

**AXEL CORNEJO AGUILAR**

**DIRECTOR M. en I. PATROCINIO ARROYO HERNÁNDEZ**

**San Juan de Aragón, Edo. de México, octubre de 2023**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A G R A D E C I M I E N T O S   Y*  
*D E D I C A T O R I A S*

**Le agradezco a Dios y a mi familia, a mi padre Alejandro Cornejo Ceja, a mi madre Gloria Aguilar Hernández y a mi hermano Alan Stefan Cornejo Aguilar que nunca dejaron de apoyarme y nunca dejaron de creer en mí.**

**A mi asesor M. en I. Patrocinio Arroyo Hernández por su calidad como docente, por demostrar paciencia e interés por guiarme durante mi formación académica y durante el desarrollo de este proyecto.**

# Í N D I C E

## Introducción

## Objetivo

### I. CONSIDERACIONES GENERALES

1.1	Introducción.	5
1.2	Origen.	5
1.3	Extracción.	6
1.4	Almacenamiento y transporte.	7
1.5	Situación mundial.	10
1.6	Características.	11
1.7	Ventajas y desventajas.	13

### II. FUNDAMENTOS DE FLUJO DE GAS EN TUBERÍAS

2.1	Ecuaciones del movimiento de flujo en tuberías.	15
2.2	Instalaciones de gas.	19
2.3	Componentes de la instalación de gas.	23
2.4	Aspectos constructivos.	25
2.5	Normativa.	31

### III. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

3.1	Proceso de cálculo.	32
3.2	Caudales.	33
3.3	Perdidas de carga.	41
3.4	Velocidad del gas dentro de tuberías.	42

### IV. CASO DE ESTUDIO

5.1	Planteamiento del problema.	44
5.2	Consideraciones del modelo de red.	45
5.3	Memoria de cálculo.	45

## CONCLUSIONES

## REFERENCIAS

## I N T R O D U C C I O N

La energía es parte fundamental del desarrollo económico y por supuesto, la base de la vida moderna. Dentro de las distintas y contemporáneas alternativas energéticas, el gas es una opción absolutamente fructífera, en la que sus usos se han ido ampliando y adaptando a las necesidades de los diferentes mercados en los que opera: como el industrial, el comercial y el residencial.

Es precisamente éste último, el mercado doméstico, al que dedicaremos nuestra atención en el desarrollo de éste trabajo. En la actualidad, en nuestro país, la utilización del gas como solución energética de uso residencial es indispensable en todas las actividades del hogar, y éstas han sido resueltas con gas licuado de petróleo (LP), pero recientemente se viene impulsando una opción con el empleo de gas natural; lo que implica un marco regulatorio, un cambio cultural, de mentalidad y de mercado, así como, el de conocer sus limitaciones.

Razón por la cual, en este apartado nos avocaremos al estudio y análisis de las propiedades básicas que determinan el comportamiento del gas natural cuando circula bajo el suelo en arterias, conocidas con el nombre genérico de redes de distribución.

Estas redes, están conformadas por una infinidad de tuberías de diferentes dimensiones que se encuentran interconectadas, deben cumplir ciertas especificaciones para brindar confort y la energía necesaria. Pero todo esto, involucra una problemática social, de ingeniería y nivel tecnológico que al conjugarse permiten alcanzar márgenes de seguridad convenientes.

Es importante señalar, que el abastecimiento de gas natural a las redes mencionadas se efectúa en estado líquido y se almacena para volúmenes de gas relativamente pequeños en depósitos denominados gasómetros, y cuando se precisa disponer de grandes volúmenes se recurre al almacenamiento subterráneo.

## O B J E T I V O

Exponer los aspectos fundamentales de las redes de distribución domésticas de gas natural y de ésta manera complementar la formación y conocimientos técnicos de los ingenieros.

## UNIDAD 1

### CONSIDERACIONES GENERALES

#### 1.1 - Introducción

El gas natural, comúnmente conocido como gas metano, es un combustible incoloro e inodoro que se mezcla con olores químicos, como el mercaptano, para hacerlo detectable en caso de fuga.

Está compuesto por una mezcla de hidrocarburos gaseosos naturales que impregnan las rocas de la corteza terrestre (Figura 1), en donde el metano ( $\text{CH}_4$ ) es el componente principal, generalmente en proporción aproximada de 85%, con proporciones aproximadas 10% de etano, un 3% de propano, un 0,1% de butano y un 0,7% de nitrógeno, que varían con los distintos yacimientos de donde se extrae. (*gasNatural, 2002, p. 4*)

#### 1.2 - Origen

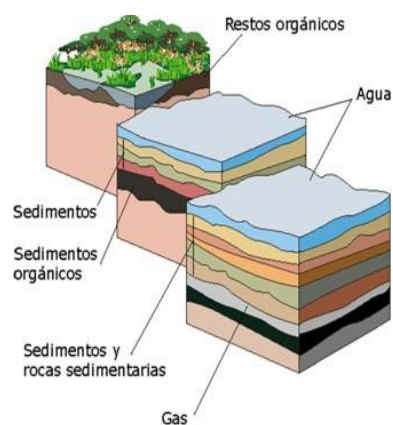
El gas natural, se encuentra en la naturaleza en yacimientos subterráneos, ya sea sólo o asociado con el petróleo; cuando se encuentra asociado con el petróleo se conoce como gas natural húmedo.

La lenta degradación de las grasas y proteínas de las especies vivas que quedaron atrapadas en el fondo marino por la acción de los estratos de arena, en combinación con los sedimentos salinos que se generaron al evaporarse el agua del mar, es lo que le confiere su origen fósil. Establecieron las condiciones necesarias para la creación y almacenamiento de petróleo y gas (Figura 2).

Las ocasionales fallas en depósitos naturales, permitían salir el gas al exterior, y su facilidad de inflamación, permitieron que se conociera su existencia desde tiempos anteriores. (*gasNatural, 2002, p. 4*)



**Figura 1** Composición del gas natural. Quemadores y calderas europeas S.A. (s.f.). *Gas Natural*. Recuperado el 03 de 10 de 2022, de Qyce: <http://www.qyce.com.mx/pages/inicio/articulo-inicio/gas-natural.php>

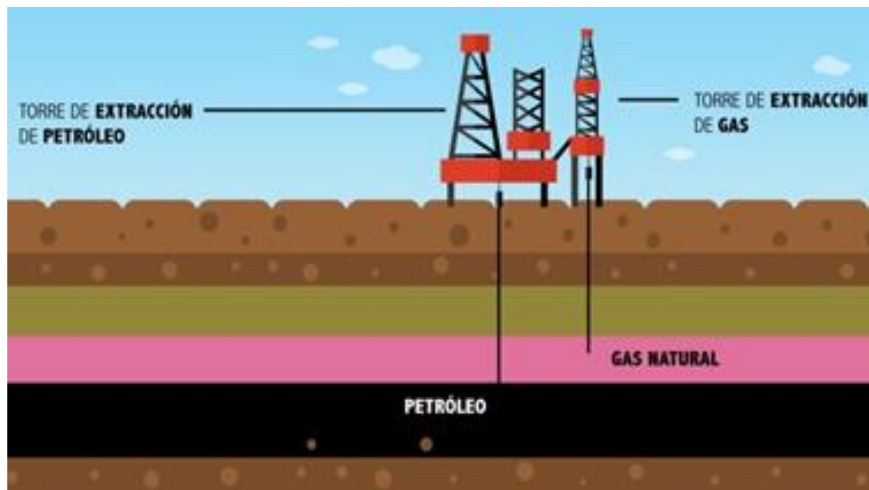


**Figura 2** Origen del gas natural. Villescas, Casilda. (s.f.). *Energía del gas natural*. Recuperado el 03 de 10 de 2022, de <https://slideplayer.es>: <https://slideplayer.es/slide/1109616/>

### 1.3 - Extracción

Normalmente, se emplean estructuras en forma de torre (Figura 3), lo que permite la colocación de sondas que perforan las distintas capas alrededor de las "bolsas".

Una vez determinado si el pozo es rentable después de analizar la composición química y la presión del petróleo y/o gas natural, se pone en operación para proceder con la extracción. (*gasNatural, 2002, p. 6*)



**Figura 3** Extracción de gas natural.

TECMAGA. (s.f.). *Lo que debes saber del Gas Natural*. Recuperado el 03 de 10 de 2022, de  
TECMAGA: <http://www.gas-natural.tecmaga.com.mx/blog/lo-que-debes-saber-del-gas-natural.html>

Inmediatamente extraído del yacimiento, el gas se limpia y pasa a denominarse gas natural seco o simplemente gas natural, que es el gas vendible, prácticamente libre de impurezas.

Los propios yacimientos de petróleo y gas natural una vez agotados se pueden utilizar como centros de almacenamiento de gas natural de los yacimientos adyacentes, para lo cual se inyecta nuevamente el gas natural.

El gas natural que se entrega a las plantas de procesamiento se compone de metano, etano, propano, butano e hidrocarburos más pesados, junto con contaminantes como el azufre, el cual se elimina de la corriente de gas natural en la primera etapa en una planta de endulzamiento.

Luego, se entrega a una planta criogénica, donde el enfriamiento y las expansiones sucesivas producen dos corrientes: una líquida (licuable) y otra gaseosa, creada principalmente por metano (gas residual). (*Jaime & Julia, 2019*)

## 1.4 Almacenamiento y transporte.

El gas natural aprovecha los yacimientos agotados de petróleo o gas en acuíferos o cavernas salinas, dándoles una segunda oportunidad de vida útil a dichos almacenes subterráneos que cumplan con los requisitos necesarios de porosidad y permeabilidad.

(gasNatural, 2002, p. 7)

Este tipo de depósitos pueden usarse para almacenamiento y facilitar su disponibilidad debido a que se trata de una opción de almacenamiento más económica, sin embargo también se utilizan tanques en plantas de regasificación, estas instalaciones llevan a cabo un proceso para cumplir esta finalidad utilizando tecnología criogénica para llevar a cabo el almacenamiento . (Pulso Energetico, 2018)

El gas natural licuado (GNL) es un medio más ecológico y sostenible que está ganando progresivamente atención desde la perspectiva de la búsqueda de combustibles y fuentes de energía menos contaminantes.

Debido a que el GNL se enfría a una temperatura de  $-160^{\circ}\text{C}$ , su volumen se reduce más de 600 veces, lo que permite un mayor almacenamiento. Se trata de un combustible que no tiene olor ni color y además no es corrosivo ni tóxico, sólo arde cuando entra en contacto con el aire en concentraciones del 5 al 15% y tiene una densidad de 0,45 (con respecto al agua).

Las terminales de gas natural licuado (GNC) consisten en un grupo de tanques donde el gas se enfría a  $-160^{\circ}\text{C}$  en la figura 4 se observa el proceso de transporte.

(CRYOSPAIN, 2021)



**Figura 4** Cadena de valor del gas natural licuado.

Structuralia. ¿Cómo se realiza el transporte del Gas Natural? Recuperado el 11 de 03 de 2023, de Structuralia: <http://www.blog.structuralia.com/el-transporte-del-gas-natural>

Una alternativa para el transporte de gas natural es el gas natural comprimido (GNC), la diferencia más notable es que el GNL es transporta y almacena en estado líquido a temperaturas bajas de  $-160^{\circ}\text{C}$ , mientras que el GNC se almacena sometándolo a presiones elevadas (de 200 a 250 bares).

Para transportar gas natural desde las zonas de producción de gas natural a los centros de consumo se utilizan gasoductos (figura 5) o buques metaneros (figura 7). (CRYOSPAIN, 2021)

Sin embargo, para grandes cantidades de gas el medio más económico de transporte es el de gasoducto, las tuberías empleadas en la construcción de gasoductos son de acero que miden entre 20 y 100 centímetros de diámetro, en ocasiones alcanzando hasta 250 centímetros, siendo su espesor función del diámetro y la presión del gas que circula a presiones elevadas (de 36 a 70 bares), por lo que se necesitan estaciones de compresión en los puntos intermedios del trayecto, pueden ser terrestres o submarinos. (Hernandez Gonzales & Navarro Santiago, 2003, pp. 25, 26)

Por otra parte, para transportar a tierra el gas de los yacimientos descubiertos en el mar se utilizan gasoductos submarinos (Figura 6), el gasoducto submarino mas largo del mundo es el Nord Stream 1 (Torrente Nordico 1) con una longitud de 1200 kilometros, atraviesa el mar baltico desde la costa cerca de San Petesburgo al oeste de Rusia hasta el noreste de Alemania, transportando hasta 170 metros cubicos de gas natural por dia. (BBC News, 2022)



**Figura 5** Gasoducto.

Secretaría de Energía. (s.f.). *Mayor abasto de gas natural en el sureste de México, particularmente en la península de Yucatán*. Recuperado el 03 de 10 de 2022, de gob.mx:  
<https://www.gob.mx/sener/prensa/mayor-abasto-de-gas-natural-en-el-sureste-de-mexico-particularmente-en-la-peninsula-de-yucatan-con-la-interconexion-del-gasoducto-texas-tuxpan?idiom=es>



**Figura 6** Gasoducto submarino.

Mundo portuario. (s.f.). *Construcción de gasoducto marino Sur Texas-Tuxpan iniciará pronto*. Recuperado el 03 de 10 de 2022, de Mundo portuario:  
<https://mundoportuario.com/2016/07/construccion-gasoducto-marino-sur-texas-tuxpan-iniciara->

Los buques metaneros transportan gas natural a lugares donde este no es accesible, para su almacenaje y posterior traslado dentro del buque se aplican técnicas de licuefacción.

Esto implica la compresión del gas, su refrigeración a temperatura ambiente y su brusca expansión, este proceso se lleva a cabo repetidamente hasta reducir su temperatura a 160 grados Celsius bajo cero, una vez que alcanza esta temperatura el gas pasa de estado gaseoso a líquido a presión atmosférica, lo que reduce su volumen 600 veces facilitando tremendamente su almacenamiento y por extensión su transporte.

(Hernandez Gonzales & Navarro Santiago, 2003, p. 26)

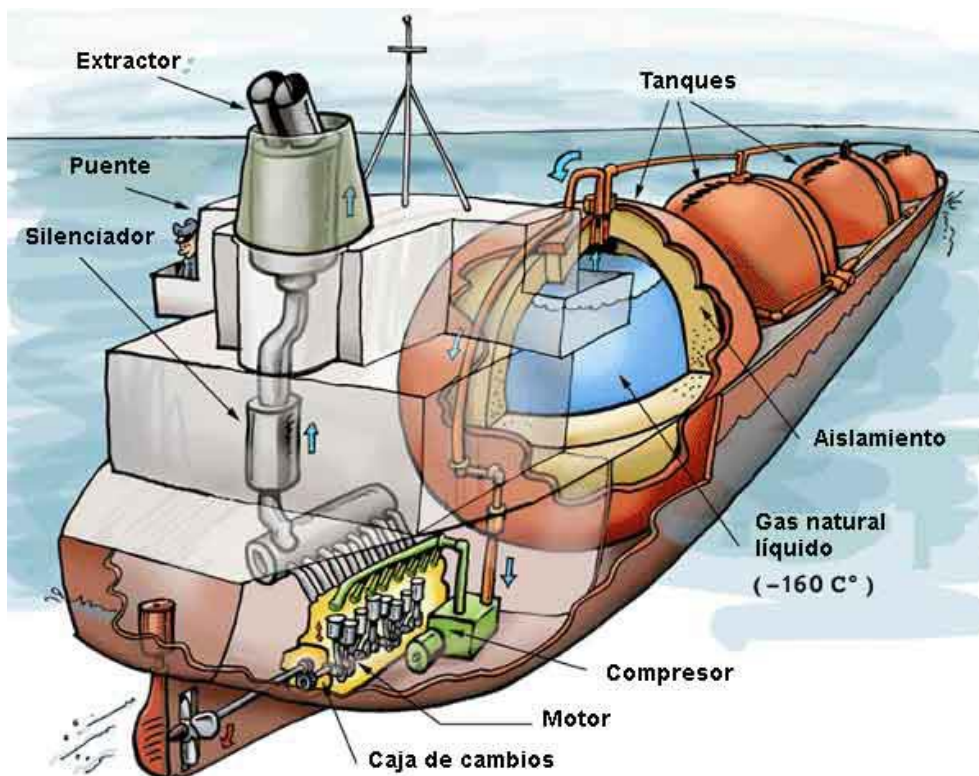


Figura 7 Buque metanero.

Wikipedia *Metanero* Recuperado el 11 de 03 de 2023, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Metanero>

Estos buques tienen una capacidad de carga de entre 100,000 y 266,000 metros cúbicos, para realizar la descarga de GNL una vez que alcance su destino se necesita una planta receptora, la cual se compone de tanques criogénicos para almacenamiento, redes de conexión de la planta con redes de media presión, estaciones de regulación y estaciones de control auxiliares. (Hernandez Gonzales & Navarro Santiago, 2003, p. 27)

## 1.5 - Situación mundial

El gas natural se encuentra en todos los continentes y en variable proporción en todas aquellas regiones que cuentan con yacimientos petrolíferos.

En 1999 se estimaba que las reservas de gas natural conocidas en el mundo superaban los 146 billones de metros cúbicos. (*gasNatural, 2002, p. 5*)

El volumen total de estas reservas evoluciona constantemente como demuestran las tablas 1 y 2.

**Tabla 1** Mayores reservas a nivel mundial.

País	Reservas comprobadas de gas natural (trillones de metros cúbicos)	Año
Rusia	38	2020
Irán	32	2020
Qatar	24	2020
Turkmenistán	19.5	2020
Estados Unidos	12.9	2020
China	8.4	2020
Venezuela	6.3	2020
Arabia Saudita	6	2020
Emiratos Árabes	5.9	2020
Nigeria	5.4	2020

(*British Petroleum, 2020, p. 32*)

**Tabla 2** Mayores reservas en el continente americano.

País	Reservas comprobadas de gas natural (trillones de metros cúbicos)	Año
Estados Unidos	12.9	2020
Venezuela	6.3	2020
Canadá	2	2020
Brasil	0.4	2020
Argentina	0.4	2020
Perú	0.3	2020
Trinidad y Tobago	0.3	2020
Bolivia	0.2	2020
México	0.2	2020
Colombia	0.1	2020

(*British Petroleum, 2020, p. 32*)

Los nuevos descubrimientos y las modernas técnicas de extracción hacen que esta cifra varíe sensiblemente cada año y hasta ahora, sigue en alza.

Cada vez los hallazgos en general, son más importantes que los consumos registrados en el mismo período, aún cuando también el porcentaje de consumo de gas natural aumenta año tras año. (*gasNatural, 2002, p. 5*)

## 1.6 - Características

Es uno de los combustibles más utilizados a nivel mundial y está disponible en nuestro país gracias a una red de distribución en continua expansión.

Debido a que el gas natural se consume tal y como se presenta en la naturaleza, sus propiedades físicas y químicas lo hacen ser uno de los principales generadores de energía que no deteriora el ambiente.

- Aunque se crea en forma de vapor, se puede licuar fácilmente mediante compresión y enfriamiento.
- Es incoloro, en estado líquido carece de color igual que el agua.
- Es inodoro, cuando se crea y se licua se le añade una sustancia química llamada mercaptano, una sustancia química de fuerte olor para detectarlo en caso de una fuga.
- No es apropiado respirarlo por periodos prolongados ya que a pesar de no ser toxico, desplaza el oxígeno.
- Es altamente volátil, durante una fuga y al vaporizarse enciende violentamente al contacto con la menor chispa o flama.
- Es un combustible limpio que no produce hollín ni altera el sabor en los alimentos cuando se quema adecuadamente en combinación con aire.
- Es económico en comparación con otros combustibles por su rendimiento.
- Debido a que es más pesado que el aire, el gas buscará asentarse en las áreas más bajas, como el suelo, pozos o fosas en zonas cercanas.

(*MABE, n.d., p. 9*)

El gas natural se compone principalmente de metano hasta en un 95% independientemente del lugar de donde se extraiga, el resto son proporciones variables de otros elementos como etano, dióxido de carbono, oxígeno, propano, butano, nitrógeno y otros gases. Se le añade mercaptano para da al gas un olor característico que permite su detección en caso de fugas de gran compatibilidad en su estado gaseoso. (*PrecioGas, 2022*)

Las propiedades químicas juegan un papel importante con los cambios de temperatura al momento de ser conducido y cuando es mezclado, la tabla 3 describe brevemente estas propiedades.

**Tabla 3** Propiedades químicas del gas natural.

Propiedades químicas	
Fórmula molecular	CH <sub>4</sub>
Peso molecular mezcla	18,2
Temperatura de ebullición a 1 atmósfera	-160,0 °C
Temperatura de fusión	-180,0 °C
Densidad de los vapores (Aire =1) a 15.5	0.61
Densidad del líquido (Agua=1) a 0°/4 °C	0.554
Relación de Expansión	1 litro de líquido se convierte en 600 litros de gas
Solubilidad en agua a 20 °C	Ligeramente soluble (de 0.1 a 1%)

(nedgia Grupo Naturgy, 2009)

Entre las propiedades físicas del gas natural se encuentra su densidad (tabla 4) y poder calorífico (tabla 5).

**Tabla 4** Densidad del gas natural.

Densidad el gas natural			
Estado	Temperatura (°C)	Presión (atm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Gas Natural	15	1	0.737
GNL	-160	1	431
GNC	15	197	158.49

(PrecioGas, 2022)

La densidad relativa es un parámetro adimensional que resulta de la comparación entre 2 densidades absolutas, la del elemento a comparar y la del elemento de referencia, el gas natural tiene una densidad de 0.737 kg/m<sup>3</sup> y el aire tiene una densidad de 1.225 kg/m<sup>3</sup>. (PrecioGas, 2022)

La densidad relativa del gas natural resulta de la densidad absoluta del gas natural dividida sobre la densidad absoluta del aire:

$$\text{densidad relativa} = \frac{\text{densidad absoluta gas natural}}{\text{densidad absoluta aire}} = \frac{0.737}{1.225} = 0.60$$

**Tabla 5** Poder calorífico del gas natural.

Poder calorífico del gas natural	
Poder calorífico inferior	10.83 kWh/Nm <sup>3</sup>
Poder calorífico superior	11.98 kWh/Nm <sup>3</sup>
Poder calorífico superior por kg	14.69 kWh/Nm <sup>3</sup>

(PrecioGas, 2022)

## 1.7 - Usos, ventajas y desventajas.

Como ya se ha establecido el gas natural se encuentra de forma natural en los yacimientos del subsuelo incluyendo grandes depósitos en el mar, mientras que el gas L.P. se obtiene como producto del proceso de refinación del petróleo, el gas L.P. es de gran importancia para la economía mexicana, en el sector residencial representa 31% del consumo total. (Expansion, 2021)

El gas natural también puede usarse para fines domésticos, a pesar de esto solo representa un 7.3%, esto se debe a que este combustible está disponible solo en ciertas ciudades del país, principalmente en las regiones del norte. (Gas Naturalix, 2021)

De acuerdo con la secretaria de energía (Sener) alrededor del 70% del gas natural en México es importado (principalmente por Estados Unidos) por lo que el precio de este queda a la deriva de la demanda internacional y del tipo de cambio, mientras le corresponde a la secretaria de energía establecer la regulación de precios y tarifas aplicables al transporte, almacenamiento y distribución de gas L.P. (Excelsior, 2021)

Otra razón importante es que no se cuenta con infraestructura subterránea suficiente y en algunos casos es el usuario final quien debe pagar por la instalación necesaria. (Expansion, 2021)

En cuanto a rendimiento el gas L.P. concede más energía por unidad de volumen, por la misma unidad de volumen el gas L.P. proporciona 2500 BTU mientras que el gas natural da 1000 BTU ya que el gas natural tiene un mayor octanaje, el octanaje es un acelerador de encendido, entre más octanaje tenga el combustible se tarda más tiempo en encender. (Expansion, 2021)

Sin embargo, es un combustible muy utilizado a nivel mundial y al que nuestra nación tiene acceso gracias a una red de distribución en continuo desarrollo.

Se utiliza para diversos procesos industriales y principalmente para la producción de electricidad.

La tabla 6 resume algunos de los beneficios y desventajas de este combustible. Se utiliza para satisfacer las necesidades energéticas de los hogares, como por ejemplo para el funcionamiento de sistemas de calefacción y refrigeración.

**Tabla 6** Ventajas y desventajas del gas natural.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Su poder calorífico es elevado.</li> <li>➤ Puede utilizarse en varios instrumentos o artefactos, sea para generar agua caliente, calor, etc.</li> <li>➤ La combustión de este producto, no produce residuos consistentes.</li> <li>➤ Se propaga rápidamente a la atmósfera, lo que resulta ventajoso en caso de fuga.</li> <li>➤ Hoy en día, hay suficiente personal capacitado para la instalación de este producto, como también para su mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Debido a que es difícil de almacenar y ocupa más espacio que un sólido o un líquido, se deben utilizar procesos especiales (como la compresión a presiones muy altas), lo que genera gastos energéticos adicionales.</li> <li>➤ Es un combustible volátil, un manejo inapropiado de este puede causar violentas explosiones.</li> <li>➤ El gas natural no tiene olor, las fugas no serán evidentes de inmediato. Para identificar cualquier fuga, al gas que se utiliza en los hogares se le añade una sustancia química que le da un olor que permita su detección en caso de fugas.</li> </ul>

(PrecioGas, 2022)

El control de consumo se hace a través de un medidor y el pago se realiza de acuerdo a la cantidad de combustible que ha sido utilizado. El precio a pagar por el servicio depende de la zona geográfica donde se vive.

Por ejemplo, en la ciudad de México el gas natural es más económico que el gas L.P. de acuerdo con una comparación publicada en mayo de 2020 por la comisión reguladora de energía.

20 kilos de gas L.P tiene un costo de 371 pesos mexicanos, por la misma cantidad el gas natural tiene un costo de 282 pesos, marcando una diferencia de 89 pesos.

Mientras que en otras zonas como Zacatecas, Aguascalientes, Monterrey, Celaya, Saltillo, San Luis Potosí y Zacatecas, la diferencia puede ir de los 30 a los 200 pesos mexicanos. (Gas Naturalix, 2021)

## UNIDAD 2

### Fundamentos del flujo de gas en tuberías

#### 2.1 – Ecuaciones del movimiento de flujo de tuberías

Para poder dirigirse a las ecuaciones para flujo de tubería hay que examinar las presiones que determinaran las cargas y perdidas con que se van a trabajar, la presión es el resultado de dividir una fuerza por el área sobre la cual esta aplicada.

##### Presión Estática

Se aplica normalmente a líquidos, que es la presión aplicada a las paredes de un recipiente por el líquido o fluido que lo contiene debido al propio “peso” del fluido.

##### Presión Atmosférica

La presión estática debida al peso de la capa de aire que rodea la superficie de la tierra. Se considera que la presión atmosférica normal al nivel del mar es de 760 milímetros de columna de mercurio (760 mmHg).

##### Presión Absoluta

Es la presión que toma como origen de escala la presión cero o vacío absoluto.

##### Presión Efectiva o Relativa

Toma como origen de escala la presión atmosférica local, si la presión relativa es mayor que cero decimos que hay una sobrepresión y si es menor que cero una depresión.

$$P_{relativa} = P_{absoluta} - P_{atmosferica\ local} \quad (1)$$

$$P_{absoluta} = P_{relativa} + P_{atmosferica\ local} \quad (2)$$

Para medir las presiones se utilizan manómetros, la mayoría de los manómetros miden presiones efectivas o relativas, aunque existe algún tipo que mide presiones absolutas.

### Caída de presión

Son las pérdidas de presión o carga que ocurren durante el flujo del gas a través de una tuberías como resultado de la fricción con las paredes del conducto y los accesorios por los que circula (codos, tubos t, válvulas, medidores, etc.).

Para determinar la presión a utilizar en un determinado sistema influyen variables como la densidad de clientes por unidad de superficie, tipo de consumo a suministrar, presiones de garantía, etc.

El diseño se realiza con tolerancias aceptables para minimizar lo mejor posible los errores de los métodos de cálculo, desgaste de las tuberías y hasta cierta medida errores en la cuantificación del mercado potencial por posibles suministros que no se hayan contemplado inicialmente.

### Presión máxima de suministro

Es la máxima carga de presión admisible de acuerdo al diseño con la cual puede operar una sección de la instalación o la instalación completa de gas, en función a dicha presión una red puede clasificarse de acuerdo a la tabla 7. *(Alberto, 2004)*

**Tabla 7** Tipo de red de acuerdo a la presión máxima de suministro.

Presiones máximas de suministro	
Tipo de red	PMS (bares)
Media presión A (MPA)	0.5
Media presión B (MPB)	5
Media presión C (MPC)	7
Alta presión A (APA)	19
Alta presión B (APB)	Mayor a 19

*(Alberto, 2004)*

### Presión máxima de dimensionado

Es la presión máxima a la cual puede operar de acuerdo a su diseño una sección o toda la instalación receptora y deberá ser inferior a la presión máxima de suministro.

Se elige la presión de dimensionado en función del margen de error del estudio de mercado y de los eventuales incrementos de capacidad de caudal que se pretenda disponer. *(Alberto, 2004)*

En la tabla 8 se presentan los rangos de presiones de dimensionado más habituales y los incrementos de capacidad de caudal que se consiguen para absorber los errores antes señalados.

**Tabla 8** Rangos de presiones de dimensionado.

Tipo de red	Presión de dimensionado (bares)	Presión máxima de referencia (bares)	Incremento de capacidad de caudal (%)	Incremento de diámetro (%)
APB	35 – 60	45 - 80	46 – 41	16 – 14
APA	16	19	25	9
MPC	5	7	48	16
MPB	3 - 2*	4 - 3*	36 – 23	12 – 8
MPA	0.45	0.5	12	4
*Solo en zonas sísmicas				

(Alberto, 2004)

#### Presión de garantía.

Es la presión mínima con la que se debe disponer al inicio de la instalación receptora y deberá de considerarse para cada tipo de red. (Alberto, 2004)

Los tipos de red se clasificarán dependiendo su destino es decir si el caudal o gasto corresponde a un caudal domestico unitario o caudal industrial y gran comercial como muestra la tabla 9.

**Tabla 9** Rangos de presiones de garantía.

Presiones de garantía		
Tipo de red	PMS (bares)	Presión de garantía (bares)
Media presión A (MPA)	0.5	0.2
Media presión B (MPB)	5	1
Media presión C (MPC)	7	2
Alta presión A (APA)	19	5-7 (*)
Alta presión B (APB)	Mayor a 19	21 o lo acordado con el cliente
(*) en caso de que exista cogeneración		

(Alberto, 2004)

Una vez establecidas las presiones a manejar se recurre a las ecuaciones de Renouard para el cálculo de tuberías de gases combustibles y para el dimensionado de sistemas de distribución, salvo excepciones justificadas. (Alberto, 2004)

Con ellas se determinaran los diámetros y las caídas de presión para conductos de gas butano, propano o natural.

### Formula de Renoard lineal.

Para determinar la caída de presión de una sección se usa la fórmula de Renouard lineal para baja presión y media presión A hasta 100 mbar, normalmente para instalaciones particulares o individuales. (*gasNatural, n.d., pp. 4.1-5*)

$$\Delta P = 23200 (d)(Le)(Q^{1.82})(D^{-4.82}) \quad (3)$$

### Formula de Renoard cuadrática.

La fórmula cuadrática de Renouard se usa para alta presión media presión A mayor a 100 mbar y media presión B. (*gasNatural, n.d., pp. 4.1-5*)

$$P_i^2 - P_f^2 = 48.6 (d)(Le)(Q^{1.82})(D^{-4.82}) \quad (4)$$

Las presiones son absolutas y se dan en bares en esta versión de la fórmula. Debemos incluir la presión atmosférica normal para derivar la presión absoluta a partir de la presión manométrica.

Para realizar cálculos para gas y trabajar en bar, la presión atmosférica será 1.01325 *bar*.

En la tabla 10 se describen las variables para la ecuación (3) y (4).

**Tabla 10** Variables para las formulas de Reounardl.

Dónde:	
ΔP	Es la diferencia de presión entre el inicio y el final de un tramo de instalación ( <i>mbares</i> )
D	Densidad relativa (adimensional)
Le	Longitud equivalente del tramo ( <i>m</i> )
Q	Caudal de gas en condiciones normales ( <i>m<sup>3</sup>/h</i> )
D	Diámetro interior de tubería ( <i>mm</i> )
Pi	Presión relativa inicial ( <i>mbares</i> )
Pf	Presión relativa final ( <i>mbares</i> )

(Ingenieros industriales, 2020)

## 2.2 – Instalaciones de gas

- El primer paso para la conexión de las instalaciones es la construcción de la acometida, la acometida es una tubería de polietileno de 20 milímetros que se conecta a la red de gas natural para el suministro y debe cumplir con los requerimientos de materiales y construcción de la NOM-003-ASEA-2016.
- Dentro de la acometida se instala un dispositivo llamado gas stop, el cual tiene un mecanismo de seguridad que bloquea el paso del gas natural ante un daño en la acometida.
- La acometida también cuenta con una válvula de paso que ayuda a controlar o bloquear el suministro de gas en caso de una emergencia.
- El segundo paso es realizar la instalación interna de la vivienda, comenzando por el regulador y bajando la presión del gas a un nivel óptimo para el correcto funcionamiento de los aparatos de consumo, el regulador mantiene y controla la presión del gas.
- Para la instalación del medidor se hacen pruebas de hermeticidad para descartar la presencia de fugas, posteriormente se coloca el medidor para cuantificar el volumen de gas natural en metros cúbicos que circulan a través de él.
- El tercer paso es la conexión de los dispositivos domésticos con el tubo multicapa, el cual se caracteriza por su resistencia y seguridad ya que está compuesto de aluminio flexible y doble capa de polietileno lo que hace difícil que se deforme, además de que no requiere soldaduras por lo que el riesgo de fugas es mínimo.
- Como último paso se lleva a cabo la calibración que consiste en la modificación de las espreas de los dispositivos domésticos, siguiendo los lineamientos conforme a la NOM-002-SECRE-2010.
- Cabe recordar que hay que hacer revisiones y mantener en buenas condiciones la instalación interna de gas natural periódicamente para garantizar su adecuado funcionamiento.

*(ENGIE Mexico, 2022)*

Características que debe cumplir una instalación de gas.

Deberán instalarse a una profundidad mínima recomendada de 15 centímetros cuando la instalación sea subterránea.

Además, las tuberías se pueden instalar fuera de una estructura debajo de las banquetas solo si están confinadas por un conducto y selladas herméticamente para evitar la entrada de agua. (Trejo, 2010, p. 59)

Se colocan a manera de ser fácilmente accesibles en caso de fugas, la tubería siempre debe estar alojada dentro de una vaina de acero ventilada para poder evacuar el gas en caso de fuga si la tubería discurre por cámaras o paredes, la longitud máxima de esta de este tramo no puede superar los 2 metros de longitud.

Las vainas para muros además protegen la tubería de esfuerzos de compresión, así como absorber los movimientos de asentamiento del edificio. Para protección contra impactos, la tubería debe discurrir en una vaina de acero cuando se encuentre a menos de 90 cm del pavimento. (Trejo, 2010, p. 59)

#### Tanques portátiles y estacionarios

No se necesita ningún medio de almacenamiento porque los sistemas de gas natural se suministran directamente a las regiones de consumo y simplemente registran la cantidad de gas consumido a través de un medidor. (Harper, 2004, p. 40)

#### Reguladores

Se requieren reguladores de presión en todas las instalaciones de gas de acuerdo con los requerimientos del servicio, ya sea de alta o de baja presión.

En caso de alta presión, se deben instalar lo más cerca posible de la válvula de servicio del tanque, y en caso de baja presión, antes de las acometidas al interior donde se encuentren instalados los aparatos de consumo. (Trejo, 2010, p. 61)

#### Medidores

Deben colocarse en áreas bien ventiladas, seguras y de fácil acceso, como los techados de los edificios de apartamentos, en lugares visibles donde se pueda realizar la lectura sin dificultades.

Deberán ubicarse por separado en cada sitio para diferentes servicios públicos, como áreas de alimentos en mercados e instalaciones similares. (Trejo, 2010, p. 61)

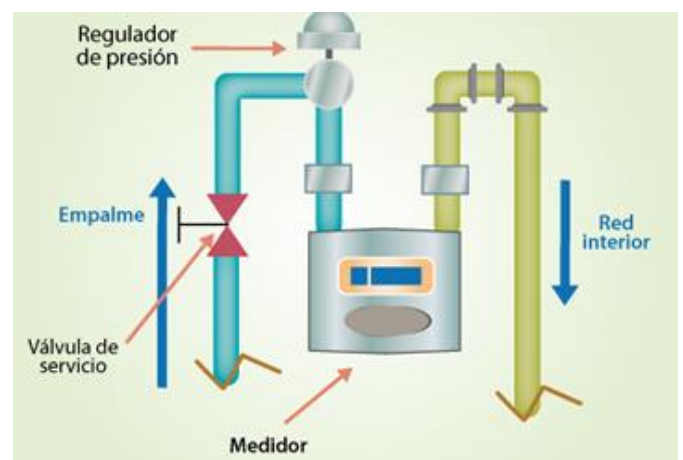


Figura 8 Medidor de gas natural.

OSINERGMIN Acometida. Recuperado el 28 de 04 de 2022, de <http://www2.osinerg.gob.pe/pagina%20osinergmin/gas%20natural/contenido/img/acometida.png>

Las instalaciones deberán estar siempre equipadas con una válvula de control con orejas de candado, si llegara a ser necesario detener temporalmente el servicio.

Además, se debe proporcionar una tuerca de unión en el lado secundario del medidor para facilitar su extracción. En la Figura 8 se muestra un medidor utilizado en acometidas de gas natural. (Trejo, 2010, p. 61)

#### Aparatos de consumo

Además de instalar las válvulas de seguridad, será necesario contar con una llave de maneral de mano antes de cada aparato. (Trejo, 2010, p. 61)

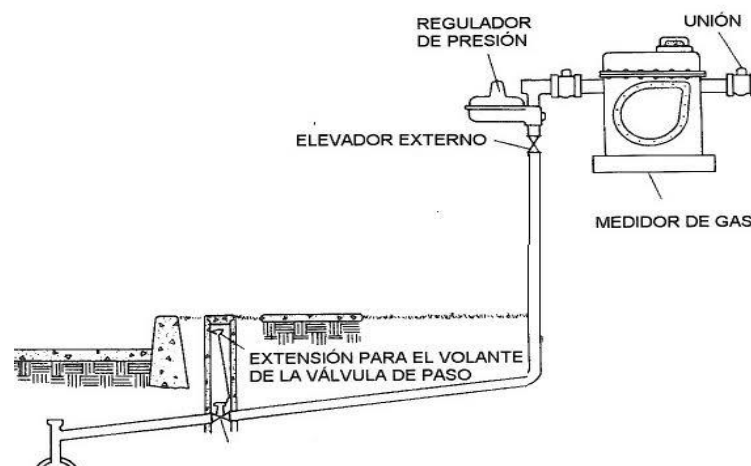
#### Señalización.

Las tuberías que conducen gas se pintan de ciertos colores para poderlas identificar, de acuerdo a lo siguiente:

- Amarillo con franjas rojas: tuberías de alta presión.
- Amarillo canario: tuberías de baja presión.
- Esmalte rojo: tubería de llenado.
- Esmalte amarillo: tubería de retorno.

#### Acometida de gas natural

La acometida de gas natural es la conexión requerida para habilitar un nuevo punto de suministro para adquirir gas natural y aprovechar sus beneficios, como demuestra la figura 9. Esto se realiza conectando la red de gas a la vivienda o edificio, partiendo del punto de conexión a la red municipal, mediante un regulador y un medidor como se indica en la figura 10. (Trejo, 2010, p. 62)



**Figura 9** Elementos de una acometida de gas natural.

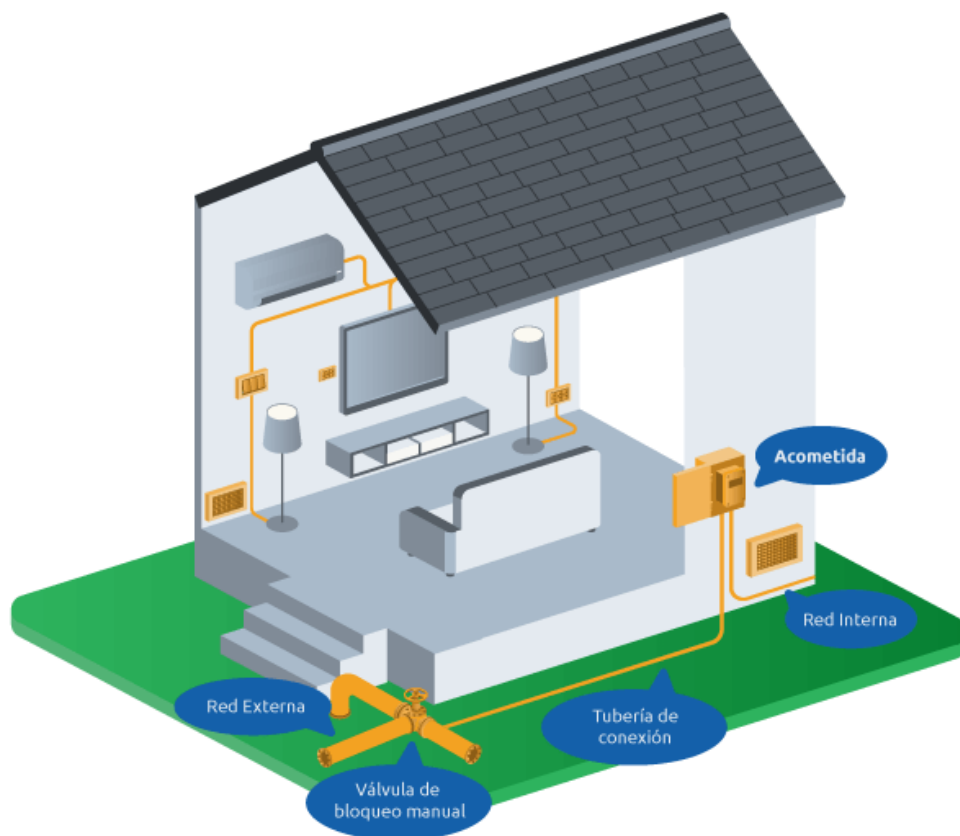
Ptolomeo.UNAM R *Instalación de gas III* ecuperado el 28 de 04 de 2022, de [www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/556/A6.pdf?sequence=6&isAllowed=y](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/556/A6.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

Las tuberías que conducen a los lugares de consumo son diseñadas de acuerdo con los requerimientos de gas de cada aparato de consumo.

En el armario está el regulador de gas natural cuyo objetivo es reducir la presión con la que entra el gas natural a la vivienda, las líneas que transportan el gas van directamente desde el medidor hasta los aparatos de consumo y se requiere un modelo de regulador dependiendo del tipo de red de la zona. (PrecioGas, 2022)

Para una red de media presión tipo A (MPA) con una presión máxima de 0,40 bares (400 mbar), se requiere un regulador para bajar esos 400 mbar a una presión máxima de 22 mbar.

Para una red de media presión tipo B (MPB) con una presión máxima de 4 bares de igual manera se requiere un regulador para bajar esos 4 bares a una presión máxima de 22 mbar. (PrecioGas, 2022)



**Figura 10** Conexión de una acometida de gas natural.

PrecioGas *Solicitar acometida de gas natural* Recuperado el 28 de 08 de 2022, de <http://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/acometida>

## 2.3 – Componentes de la instalación de gas.

Para poder conectarse a la instalación, previamente hay que situarse dentro de la zona de la red de gas natural. Las tuberías, válvulas y otras partes que transportan el gas natural desde la red de suministro hasta los dispositivos de consumo forman la columna vertebral de la conexión de gas natural. Para hacer algunas distinciones entre los distintos tipos de instalaciones de gas, se consideran las siguientes categorías de instalaciones de gas:

- Instalaciones para gas natural
- Instalaciones para recipientes estacionarios
- Instalaciones con cilindros o recipientes portátiles

Las tuberías, contenedores, reguladores, conexiones de válvulas y llaves son componentes básicos del material utilizado para estos sistemas. (*Harper, 2004, p. 20*)

### A. Tuberías

Para los ductos de gas natural se utiliza una amplia variedad de materiales, algunos para instalaciones subterráneas, otros para instalaciones aéreas o ambos tipos. Los materiales más comunes para las tuberías son:

#### Tubería de PVC

La tubería de PVC (cloruro de polivinilo) funciona bien para líneas de gas natural y abastecimiento de agua. Este tipo de tuberías no se deben instalar expuestas directamente al sol, cuando son expuestas al directamente a la luz solar o a agua de altas temperaturas el PVC puede dañarse, si se usan para gas natural lo ideal es que se encuentren en un lugar sombreado y fresco. (*Woolf plumbing and gas, 2022*)

#### Tubería de acero negro

Una opción durable para transportar gas natural es el tubo de acero negro, estos tubos están hechos generalmente de acero y hierro. Son maleables, lo que los hace adecuados para hogares, el gas natural y el gas propano pueden ambos ser transportados por tuberías de acero negro, se usan para transportar el gas natural hacia el hogar desde el exterior. (*Woolf plumbing and gas, 2022*)

#### Tubería corrugada de acero inoxidable

El tubo corrugado de acero inoxidable es una buena opción cuando se planea aparatos de consumo, como es corrugado puede ser fácilmente doblado por lo que no requiere uniones y conexiones, además de ser más ligero. (*Woolf plumbing and gas, 2022*)

#### Tubería de cobre

Esta tubería se ha usado por años para transportar agua fría y caliente ya que en ella fluye fácilmente el agua. Los tubos delgados funcionan bien para transportar gas natural dentro del hogar y los más gruesos son esenciales para las líneas de servicio de gas, ya que el cobre es una opción muy durable. *(Woolf plumbing and gas, 2022)*

#### Tubería de polietileno

Los tubos de polietileno son una opción ideal para transportar gas natural a través de líneas subterráneas, debido a su durabilidad y también pueden transportar agua. Estas tuberías proveen resistencia a largo plazo lo que las hace más amigables con el ambiente. Sin embargo se usan para transportar gas natural de forma subterránea por lo que no es posible desenterrarlas para su revisión de manera frecuente. *(Woolf plumbing and gas, 2022)*

### **B. Recipientes**

Los sistemas de gas natural abastecen directamente a las regiones de consumo, no requieren un medio de almacenamiento y simplemente registran la cantidad de gas consumido a través de un medidor. Algunas residencias unifamiliares, así como edificios de apartamentos donde se utiliza un medidor por cada apartamento, emplean este método de suministro. *(Harper, 2004, p. 40)*

### **C. Conexiones**

Al igual que las instalaciones hidráulicas, las instalaciones de gas siempre utilizan tuberías, llaves y accesorios. Las conexiones se deben realizar, como se mencionó anteriormente, dependiendo del material utilizado para la tubería, el material necesario para la conexión y cómo realizar la conexión. Sin embargo, existen algunas reglas generales para instalación de equipos y aparatos de consumo. *(Harper, 2004, p. 48)*

### **D. Reguladores de presión**

En los equipos o aparatos de consumo una llama amarilla significa combustión incompleta, que generalmente es provocada por falta de aire primario en equipos o aparatos que queman gas; antes de encender el gas, se debe combinar el gas con el 50% del aire de la combustión para asegurar una combustión limpia o libre de carbón, lo que resulta en una flama azul.

El orificio del quemador es un mecanismo de control utilizado en estufas, hornos y calentadores que funciona con los mismos principios que los equipos refrigerantes. *(Harper, 2004, p. 65)*

El flujo de gas está determinado por la presión de alimentación y el diámetro del orificio; una abertura pequeña produce una llama insignificante y poco calor. Con la excepción de situaciones en las que se utiliza gas natural en equipos destinados a gas embotellado, rara vez es necesario reemplazar un orificio. *(Harper, 2004, p. 65)*

## 2.4 Aspectos constructivos

Se solicita a la empresa de la zona realizar las obras requeridas para contar con suministro de gas natural en una vivienda para poder instalar gas natural.

1. Instalar la acometida: un tubo de polietileno: de 20 milímetros como primera conexión a la red de suministro de gas natural. La acometida debe cumplir con los requisitos establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ASEA-2016.
2. Instalar el gas stop: como medida de seguridad es necesario instalarlo dentro de la acometida. Su finalidad es impedir la entrada del combustible proveniente de la red de suministro de gas hasta la vivienda.
3. Instalar válvula de paso: para así detener el flujo de gas natural en caso de que se requiera mantenimiento en la instalación o se deba resolver algún problema con la acometida.
4. Instalar regulador: su función es mantener la presión del gas natural a un nivel óptimo y regularla la cantidad de combustible que requieran los aparatos de consumo.
5. Pruebas de hermeticidad: para comprobar que no hay fugas de gas y que la instalación de gas natural se puede realizar sin incidencias.
6. Instalar medidor: este medidor cuenta la cantidad de gas natural que circula por él y calcula la cantidad de gas consumido en la vivienda, para esta medida se utilizan metros cúbicos
7. Calibración de dispositivos de consumo: para realizar los ajustes necesarios y garantizar el correcto funcionamiento de los aparatos de gas natural del hogar.

*(Tarifaz de luz, 2021)*

### Tipos de instalación de gas natural

El tipo de inmueble al que se vinculará el suministro determinará el tipo de instalación de gas natural que se utilice.

De este modo, se puede distinguir entre instalación receptora individual (IRI) y la instalación receptora común (IRC), en ambos casos se requiere una acometida para el gas natural. *(PrecioGas, 2022)*

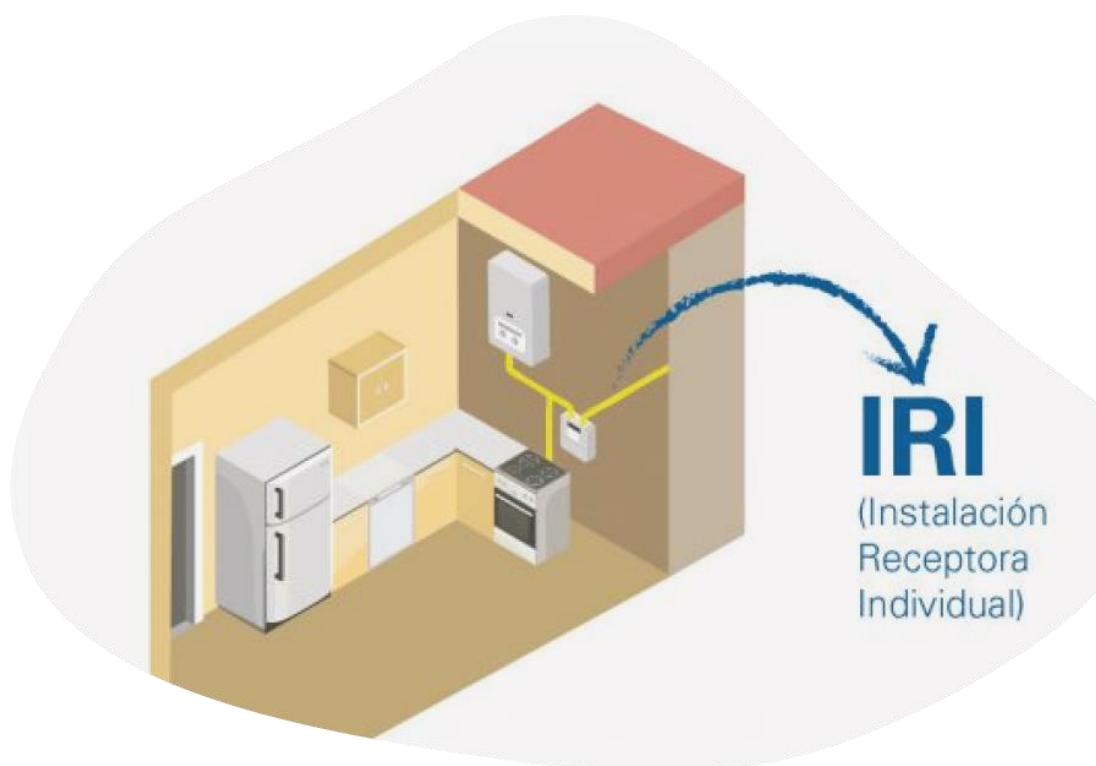
### Instalación receptora individual

La instalación necesaria para conectar la vivienda al suministro de gas requerido, ya sea gas natural, butano o propano, se conoce como instalación de recepción individual (IRI).

La instalación receptora individual (figura 11) se realiza en el interior de la vivienda y se detalla la instalación del circuito de tuberías necesario para cubrir las necesidades energéticas de la vivienda. (PrecioGas, 2022)

Esto implica colocar cada punto de servicio necesario para conectar los aparatos de consumo, así como instalar la infraestructura.

Cuando se trata de una instalación de gas natural en un edificio, ya sea una vivienda o un local comercial, hablamos de una instalación receptora individual. Se denominan IRI tanto a la instalación receptora en viviendas unifamiliares que se conecta a la red de distribución de gas mediante una acometida como a la instalación en un piso que se conecta a la instalación receptora común de un edificio. (PrecioGas, 2022)



**Figura 11** Instalacion receptora individual.

Nedgia Grupo Naturgy. *Inspeccion de la instalacion receptora individual*. Recuperado el 21 de 03 de 2023, de Nedgia Grupo Naturgy: [http:// www.nedgia.es/clientes/revision-gas-natural-inspeccion-periodica/tipos-de-inspeccion-periodica/inspeccion-de-la-instalacion-receptora-individual/](http://www.nedgia.es/clientes/revision-gas-natural-inspeccion-periodica/tipos-de-inspeccion-periodica/inspeccion-de-la-instalacion-receptora-individual/)

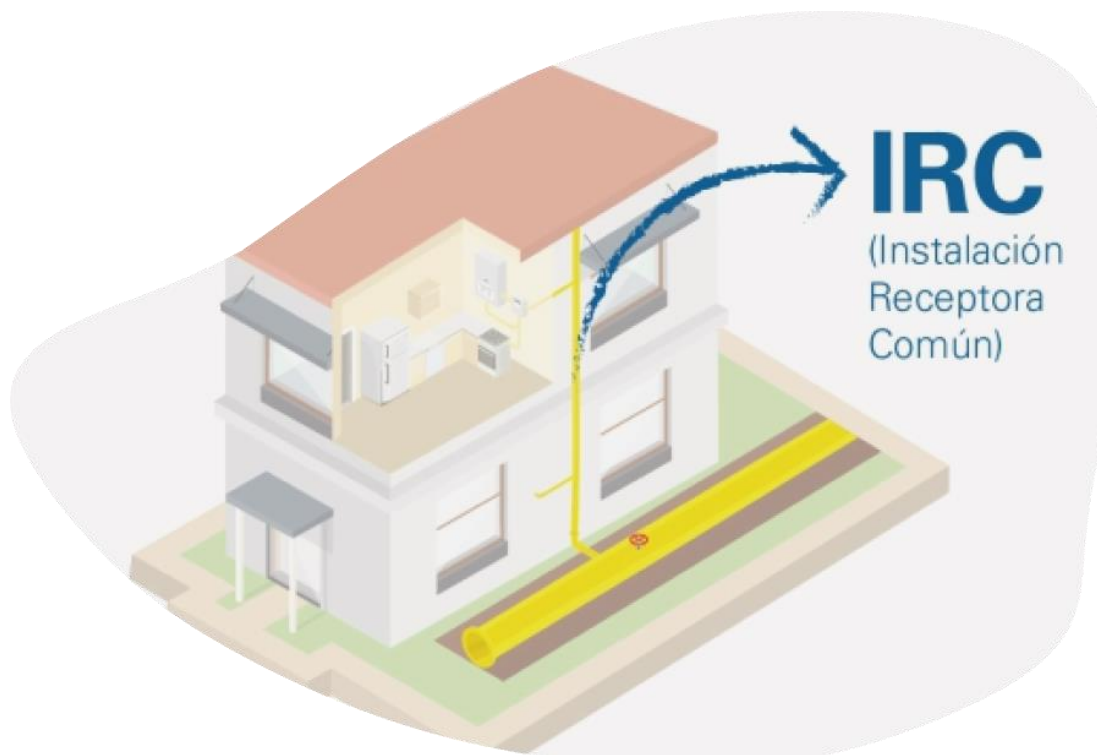
### Instalación receptora común

El tipo de instalación que se requiere en conjuntos de edificios y en comunidades de usuarios se conoce como instalación de recepción común (IRC).

Esta instalación, que distribuye el gas natural desde la válvula de la acometida hasta las distintas instalaciones receptoras, está formada por un conjunto de tuberías, equipos y accesorios. (PrecioGas, 2022)

En estas situaciones, la conexión de gas se utiliza para conectar la instalación receptora común (figura 12) a la red de distribución. Luego, cada vivienda o local debe crear su propia instalación individual y conectarla a la común.

Debido a que permite conectar a cada usuario a la red primaria de distribución de gas entregando este combustible a toda la comunidad en partes iguales, este tipo de instalación es necesaria para disponer de gas natural en un edificio. (PrecioGas, 2022)



**Figura 12** Instalacion receptora común.

Nedgia Grupo Naturgy. *Inspeccion de la instalacion receptora común*. Recuperado el 21 de 03 de 2023, de Nedgia Grupo Naturgy: [http:// www.nedgia.es/clientes/revision-gas-natural-inspeccion-periodica/tipos-de-inspeccion-periodica/inspeccion-de-la-instalacion-receptora-comun/](http://www.nedgia.es/clientes/revision-gas-natural-inspeccion-periodica/tipos-de-inspeccion-periodica/inspeccion-de-la-instalacion-receptora-comun/)

Para el distribuidor de gas natural será preferible realizar la instalación a través de una sala de medidores central porque simplifica la contabilidad de la cantidad de gas que utilizan los distintos usuarios de cada instalación individual.

Otro método consiste en contadores individuales que se sitúan en las distintas residencias de los consumidores de la comunidad; Sin embargo, esta alternativa podría dificultar la lectura del medidor. *(PrecioGas, 2022)*

#### Instalación individual de gas natural en edificios

Es necesario confirmar que existe un IRC en la comunidad antes de proceder a la instalación individual de gas natural en un piso ya que la instalación individual debe estar conectada al IRC para que llegue el suministro.

Si tal es el caso entonces solo queda por realizar la instalación interna del piso y conectarlo a la central del edificio. En este tipo de instalación de gas natural el contador se encuentra en el interior de la vivienda. *(PrecioGas, 2022)*

#### Instalación individual de gas natural en viviendas unifamiliares

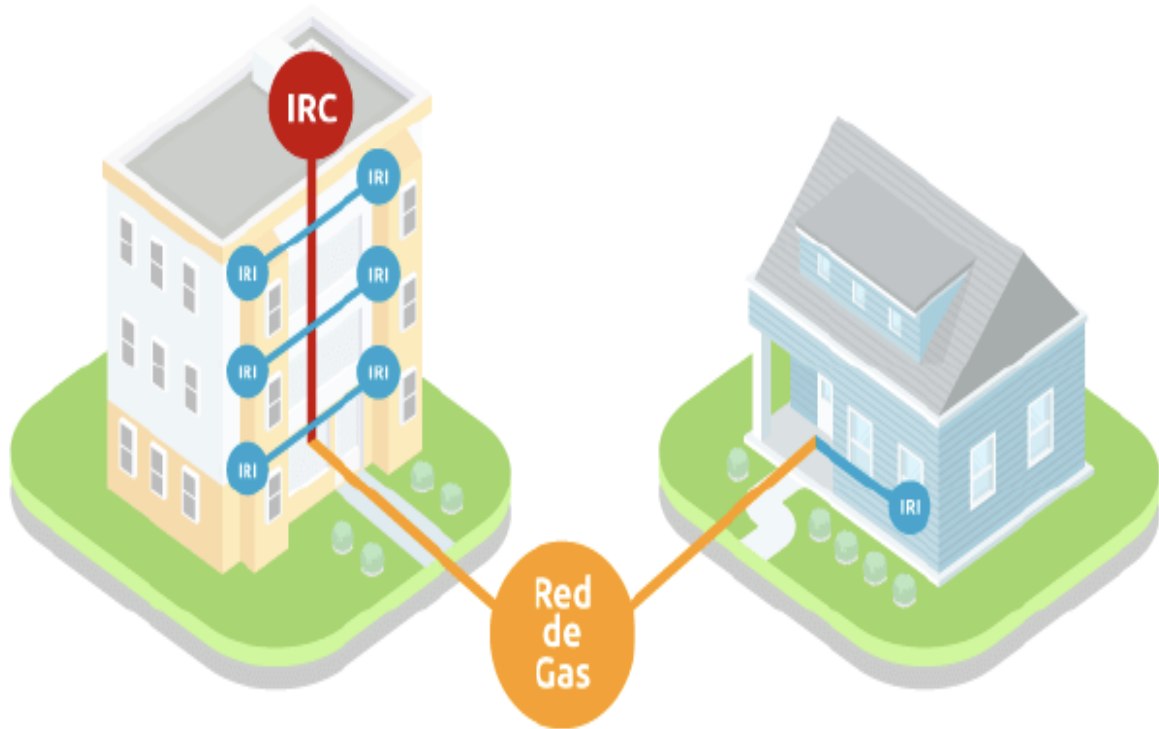
No se requiere una instalación común para una vivienda unifamiliar ya que la instalación receptora individual (figura 13) se conecta directamente a la red de distribución mediante una acometida.

Para reducir la presión con la que entra el gas a la vivienda es necesario colocar un regulador de gas entre la acometida y la IRI, justo después del medidor de gas.

Los edificios de nueva construcción pueden venir con dicha instalación o no dependiendo del diseño del proyecto realizado, si tal es el caso ya tienen la acometida instalada, en el caso de usuarios de las viviendas unifamiliares necesitan solicitar a la distribuidora de la zona que realice la acometida desde su red de distribución hasta la IRI, por lo que aumenta el costo de la instalación. *(PrecioGas, 2022)*

Los usuarios de viviendas unifamiliares deberán solicitar al distribuidor local la instalación de la acometida desde la red de suministro hasta la IRI; como resultado, el coste de la instalación de gas natural aumenta. Esto contrasta con las estructuras de nueva construcción, en las que pueden ya incluir la instalación de la acometida.

La distribuidora abre un desvío de la red de distribución para realizar la acometida, la tubería de la red sale hacia el exterior de la vivienda hasta un armario de regulación que alberga el medidor y el regulador de gas que dirige el gas al circuito interno de la vivienda. *(PrecioGas, 2022)*



**Figura 13** Instalación receptora común e individual.

PrecioGas. *IRC o instalación receptora común de gas natural*. Recuperado el 21 de 03 de 2023, de PrecioGas: <http://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/instalacion-receptora-comun>

### Características del gas distribuido

Las propiedades del gas a distribuir deben conocerse previamente para el diseño de una estación receptora de gas y siempre deben ser proporcionadas por la empresa proveedora.

A la hora de diseñar la instalación receptora hay que tener en cuenta si la ubicación se encuentra en una zona sin gas natural en la actualidad, pero donde la empresa suministradora haya establecido que está previsto un futuro cambio respecto a dicha zona.

Conocer la presión de garantía en la llave de la acometida es crucial ya que determina si es necesario para prever el escalamiento de presión (MPB, MPA o BP).

*(gasNatural, n.d., pp. 4.1-1)*

### Grado de gasificación

La previsión de potencia máxima individual simultánea que se prevé dotar viene determinada como grado de gasificación, en viviendas y en instalaciones para edificios destinados a uso comunitario o comercial donde se instalan un número importante de aparatos de gas de alta potencia.

Según las proyecciones de uso, el grado de gasificación de las viviendas será decidido por el responsable de la dirección de obra y en su caso, por petición expresa del usuario. (*gasNatural, n.d., pp. 4.1-1*)

En cada situación única, se establecerá la potencia máxima simultánea prevista junto con una justificación del cálculo. Los siguientes grados de gasificación se establecen en la Tabla 11.

**Tabla 11** Grado de gasificación.

Grado de gasificación.	
Grado 1	Se prevé una potencia simultánea máxima individual de 30 kW
Grado 2	Se prevé una potencia simultánea máxima individual que está comprendida entre 30 y 70 kW
Grado 3	Se prevé una potencia simultánea máxima individual superior a 70 kW

(*gasNatural, n.d., pp. 4.1-1*)

## 2.5 Normativa.

Para garantizar el abastecimiento oportuno de estos productos a precios competitivos en el territorio nacional, le corresponde a la Dirección de Gas Natural y Petroquímicos regular las actividades relacionadas con el procesamiento de gas natural y el comercio exterior, así como elaborar anteproyectos de políticas públicas en materia de gas natural y de petroquímicos, la tabla 12 se señalan las normas pertinentes a dichos usos del gas natural.

**Tabla 12** Normas Oficiales Mexicanas para gas natural

Normas Oficiales Mexicanas (Gas Natural y Gas Licuado)	
NOM	Descripción
NOM-001-SECRE-2010	Especificaciones del gas natural.
NOM-002-SECRE-2010	Instalaciones de aprovechamiento del gas natural (cancela y sustituye a la NOM.002-SECRE-2003, Instalaciones de aprovechamiento de gas)
NOM-003-SECRE-2011	Distribución de gas natural y licuado de petróleo por ductos (cancela y sustituye a la NOM.003-SECRE-2002, Distribución de gas natural y licuado de petróleo por ductos).
NOM-003-ASEA-2016	Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos.
NOM-007-SECRE-2010	Transporte de gas natural (cancela y sustituye a la NOM.007-SECRE-1999, Transporte de gas natural).
NOM-010-SECRE-2002	Gas natural comprimido para uso automotor. Requisitos mínimos de seguridad para estaciones de servicio.
NOM-010-ASEA-2016	Gas natural comprimido (GNC). Requisitos mínimos de seguridad para terminales de carga y terminales de descarga de módulos de almacenamiento transportables y estaciones de suministro de vehículos automotores.
NOM-011-SECRE-2000	Gas natural comprimido para uso automotor. Requisitos mínimos de seguridad en estaciones vehiculares.
NOM-013-SECRE-2004	Requisitos de seguridad para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de terminales de almacenamiento de gas natural licuado que incluyen sistemas, equipos e instalaciones de recepción, conducción, vaporización y entrega de gas natural (cancela y sustituye a la NOM-EM-001-SECRE-2002, Requisitos de seguridad para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de terminales de almacenamiento de gas natural licuado que incluyen sistemas, equipos e instalaciones de recepción, conducción, regasificación y entrega de dicho combustible).

## UNIDAD 3

### METODOLOGIA DE CÁLCULO

#### 3.1 – Proceso de cálculo.

- Recolectar las características del gas a utilizar.
- Diseñar la instalación de recepción de acuerdo con las características de la edificación, calculando la longitud equivalente de cada parte y eligiendo la tubería principal para el cálculo inicial.
- Elegir el material con que se utilizara la instalación receptora.
- Determinar los caudales nominales de cada aparato de consumo a partir de su capacidad térmica.
- Determinar el caudal máximo de simultaneidad de cada vivienda del edificio.
- Determinar el caudal máximo de simultaneidad de la acometida interior, si existe y de la instalación receptora común. En este punto se consideran todas las viviendas a conectarse por instalación múltiple estén conectadas o no.
- Determinar el caudal equivalente de cada tramo de instalación.
- Determinar la distribución de la pérdida de carga en cada uno de los tramos de la instalación.
- Elegir el diámetro comercial y recalculer las pérdidas de carga en función del diámetro comercial luego de calcular el diámetro mínimo estimado en cada segmento de la instalación receptora común desde la tubería principal.
- Calcular el diámetro mínimo en cada tramo de la instalación de aprovechamiento. Para el cálculo inicial lo primero es la tubería principal como punto de partida. Se elige el diámetro comercial y luego se calculan las caídas de presión en función del diámetro.
- Una vez establecidos los diámetros comerciales de todas las secciones de la instalación se elaborará un cuadro resumen del diseño de la instalación receptora por secciones, que incluirá al menos lo siguiente:
  - a) Longitud y diámetro real del tramo.
  - b) Material de la tubería.
  - c) Pérdida de carga por tramo.
  - d) Caudal máximo del tramo.
  - e) Presión inicial y final del tramo.

*(Lopez, 2009, p. 35)*

### 3.2 – Caudales.

#### El caudal total máximo horario

El caudal horario total es la suma de dos términos: el doméstico y el industrial-gran comercial, el caudal domestico se calcula mediante la expresión:

$$Q_{dom} = (Fs)(Fp)(N_{clientes})(Q_u) \quad (5)$$

La suma del consumo doméstico y del industrial- gran comercial proporcionará el caudal total demandad:

$$Q_{total} = Q_{dom} + Q_{ind} \quad (6)$$

En la tabla 13 se describen las variables para las ecuaciones (5) y (6).

**Tabla 13** Variables para ecuaciones de caudal.

Dónde:	
Qu	Se denomina caudal domestico (m <sup>3</sup> /h) unitario, es aquel que por término medio consumirán los clientes de un área geográfica concreta durante la hora máximo consumo anual. Dicho caudal será el que deba utilizarse para estimar la demanda doméstica durante el proceso de dimensionado de nuevas redes. Será función de dos factores: zona climática del área a abastecer y nivel socio-económico de la misma.
Qind	El caudal industrial (m <sup>3</sup> /h) es el demandado por cada una de las industrias o establecimientos considerados grandes comercios (hospitales, escuelas, complejos deportivos, superficies comerciales, etc.) se deberá determinar por suma directa de los consumos de los distintos aparatos, salvo que existan consumos excluyentes (por ejemplo calefacción y climatización a gas).
Qdom	El caudal doméstico total (m <sup>3</sup> /h) se obtendrá como producto del número de clientes domésticos por el caudal domestico unitario que variara según la zona climática y de densidad de población y multiplicado por el factor de simultaneidad correspondiente.
Qtotal	El caudal total máximo horario demandado (m <sup>3</sup> /h) que debe ser tenido en cuenta para el dimensionado de la red de distribución en un área geográfica concreta será el que resulte de sumar el caudal domestico total y el caudal industrial y gran comercial.
Nclientes	Número de clientes potenciales.
Fs	Factor de simultaneidad.
Fp	Factor de penetración.

(Alberto, 2004)

El factor de simultaneidad para el caudal domestico total se calcula con base al número de clientes potenciales según la tabla 14.

**Tabla 14** Factores de simultaneidad.

Factor de simultaneidad					
Número de clientes potenciales totales					F <sub>s</sub>
		NCL	<	50	1.00
50	<	NCL	<	100	0.88
100	<	NCL	<	250	0.82
250	<	NCL	<	500	0.75
500	<	NCL	<	750	0.63
750	<	NCL	<	1000	0.56
1000	<	NCL	<	2000	0.50
2000	<	NCL	<	3000	0.47
		NCL	>	3000	0.43

(Alberto, 2004)

### Caudal nominal de un aparato de consumo

El gasto calorífico por aparato de consumo y el poder calorífico superior del gas distribuido es lo que determina el caudal nominal de un aparato, el gasto calorífico de un aparato a gas puede venir expresado en base al poder calorífico superior del gas (PCS) o en base al poder calorífico inferior del gas (PCI). La potencia que consume un aparato es el gasto calorífico y no se debe confundir con la potencia útil o nominal que es lo que produce el aparato. (Caceres, n.d., p. 2)

Normalmente el gasto calorífico que se indica en la placa de características de un aparato a gas viene referido al PCS, por lo que el caudal nominal de un aparato a gas se calculará según la siguiente expresión:

$$Q_n = \frac{GC}{PCS} \quad (7)$$

En la tabla 15 se describen las variables para la ecuación (7).

**Tabla 15** Variables de caudal nominal.

Variables de caudal nominal	
Q <sub>n</sub>	Caudal nominal del aparato de gas (m <sup>3</sup> /h)
GC	Gasto calorífico del aparato de gas referido al PCS expresado (kW)
PCS	Poder calorífico superior del gas expresado (kWh/m <sup>3</sup> )

### Caudal máximo de simultaneidad para instalaciones individuales

El caudal utilizado para dimensionar los diferentes componentes que forman la instalación. Para determinar su valor, se deben sumar los caudales instantáneos de todos los aparatos de consumo para obtener el caudal total instalado, a partir del cual se calcula el caudal simultáneo mediante un coeficiente de simultaneidad.

Si la instalación individual tiene un caudal máximo de simultaneidad menor al que corresponde para Grado 1 de gasificación, es decir, si la potencia máxima simultánea individual es inferior a 30 kW (25.800 kCal/h), este caudal, expresado en m<sup>3</sup>/h, se utilizará como valor del caudal máximo de simultaneidad de la instalación individual. (Caceres, n.d., p. 4)

$$Q_{si} = A + B + \frac{(C+D+\dots+N)}{2} \quad (8)$$

En la tabla 16 se describen las variables para la ecuación (8)

**Tabla 16** Variables de caudal de simultaneidad individual.

Dónde:	
A y B	Caudales de los 2 aparatos de mayor consumo (m <sup>3</sup> /h)
C,D,...,N	Caudales del resto de los aparatos de consumo (m <sup>3</sup> /h)
Q <sub>si</sub>	Caudal máximo de simultaneidad individual (m <sup>3</sup> /h)

(Caceres, n.d., p. 4)

### **Caudal máximo de simultaneidad para instalación común**

El proceso se lleva a cabo combinando los máximos caudales simultáneos de cada vivienda del edificio que puedan ser abastecidos por una misma acometida interior o instalación común.

Las viviendas que no cuentan con instalaciones individuales y no están previstas para conectarse a la instalación común reciben al menos el caudal de simultaneidad equivalente a la gasificación de Grado 1. (Caceres, n.d., p. 4)

$$Q_{sc} = \sum Q_{si}(S_n) \quad (9)$$

En la tabla 17 se describen las variables para la ecuación (9).

**Tabla 17** Variables de caudal de simultaneidad común.

Dónde:	
Qsc	Caudal máximo de simultaneidad común (m <sup>3</sup> /h)
Qsi	Caudal máximo de simultaneidad individual (m <sup>3</sup> /h)
Sn	Factor de simultaneidad en función del número de viviendas que alimenta la instalación común.

(Caceres, n.d., p. 4)

De la tabla 18 se elige el factor de simultaneidad  $S_1$  cuando no existan calderas de calefacción instaladas, y el factor  $S_2$  cuando sí que existan. (Caceres, n.d., p. 5)

**Tabla 18** Factores de simultaneidad para caudal de simultaneidad.

Número de viviendas	$S_1$ (sin calderas de calefacción)	$S_2$ (con calderas de calefacción)
1	1	1
2	0.50	0.70
3	0.40	0.60
4	0.40	0.55
5	0.40	0.50
6	0.30	0.50
7	0.30	0.50
8	0.30	0.45
9	0.25	0.45
10	0.25	0.45
15	0.20	0.40
25	0.20	0.40
40	0.15	0.40
50	0.15	0.35

Se recomienda usar el factor  $S_2$  para zonas de bajas temperaturas a menos que la caldera sea de uso comunitario.

### Potencia nominal de utilización simultánea

Representa la cantidad total de electricidad requerida por todos los dispositivos conectados a la instalación, la determinación de la potencia nominal de utilización simultánea se realiza multiplicando el caudal máximo de simultaneidad de la acometida interior, de la instalación común o de la instalación individual, según el caso, en ( $m^3/h$ ), por el poder calorífico superior del gas. (Caceres, n.d., p. 5)

Por ejemplo, la potencia nominal de utilización simultánea de una acometida interior o de una instalación común sería:

$$P_{nsc} = Q_{sc}(PCS) \quad (10)$$

En la tabla 19 se describen las variables para la ecuación (10)

**Tabla 19** Variables de potencia nominal de utilización simultanea común.

Dónde:	
Q <sub>sc</sub>	Caudal máximo de simultaneidad de la acometida interior o de la instalación común, según el caso ( $m^3/h$ )
PCS	Poder calorífico superior del gas distribuido ( $kWh/m^3$ )
P <sub>nsc</sub>	Potencia nominal de utilización simultánea de la acometida interior o de la instalación común ( $kW$ )

(Caceres, n.d., p. 5)

La potencia nominal de utilización simultánea de una instalación individual será:

$$P_{nsi} = Q_{si}(PCS) \quad (11)$$

En la tabla 20 se describen las variables para la ecuación (11)

**Tabla 20** Variables de potencia nominal de utilización simultanea individual.

Dónde:	
Q <sub>si</sub>	Caudal máximo de simultaneidad de la instalación individual ( $m^3/h$ )
PCS	Poder calorífico superior del gas distribuido ( $kWh/m^3$ )
P <sub>nsc</sub>	Potencia nominal de utilización simultánea de la acometida interior o de la instalación común ( $kW$ )

(Caceres, n.d., p. 5)

### Caudal de un único aparato de consumo

El cociente entre el consumo calorífico del aparato (también conocido como potencia nominal) y el poder calorífico del gas se utilizan para calcular el caudal de un único aparato de gas.

Si el consumo calorífico del aparato está referido al poder calorífico inferior (Hi), como es habitual, aparecerá en la fórmula el coeficiente 1.1 para transformar el Hi en poder calorífico superior (Hs). *(Ingenieros industriales, 2022)*

$$Q_n = \frac{1.1(P_{AHi})}{H_s} \quad (12)$$

En la tabla 21 se describen las variables para la ecuación (12)

**Tabla 21** Variables de caudal unico de aparato de gas.

Dónde:	
P <sub>AHi</sub>	Es el consumo calorífico o potencia nominal, referido al Hi, del aparato a gas (kW)
H <sub>s</sub>	Es el poder calorífico superior del gas (kWh/m <sup>3</sup> )
Q <sub>n</sub>	Es el consumo volumétrico o caudal nominal del aparato a gas (m <sup>3</sup> /h)
1.1 es un coeficiente corrector medio, función del H <sub>s</sub> y del Hi del gas suministrado (adimensional)	
El poderes caloríficos superior del gas natural es de 10.44 kcal/m <sup>3</sup>	

*(Ingenieros industriales, 2022)*

### Caudal de tramos de una instalación individual que alimenta a varios aparatos

Para determinar el caudal en tramos de instalaciones pertenecientes a una instalación individual que alimentan a varios aparatos, se emplea la siguiente formula: *(Ingenieros industriales, 2022)*

$$Q_{si} = \frac{P_i}{H_s} \quad (13)$$

En la tabla 23 se describen las variables para la ecuación (13).

**Tabla 23** Variables de caudal de tramos de una instalación individual que alimentan a varios aparatos.

Dónde:	
P <sub>AHi</sub>	Potencia de diseño del tramo de instalación individual (kW)
H <sub>s</sub>	Es el poder calorífico superior del gas (kWh/m <sup>3</sup> )
Q <sub>si</sub>	Caudal simultáneo del tramo de instalación individual (m <sup>3</sup> /h)

*(Ingenieros industriales, 2022)*

Antes de determinar el caudal hay que conocer la potencia de diseño de cada instalación, dicha potencia es diferente cuando se trata de viviendas o locales para otros fines. *(Ingenieros industriales, 2022)*

Para viviendas:

$$P_{iv} = (1.1)\left(A + B + \frac{C+D+\dots}{2}\right) \quad (14)$$

Para locales distintos de vivienda:

$$P_{il} = (1.1)(A + B + C + D + \dots) \quad (15)$$

A una vivienda completa no se le puede asignar una potencia de diseño inferior a 30 kW, la cual corresponde grado 1 de gasificación, en la tabla 24 se describen las variables para la ecuación (14) y (15). *(Ingenieros industriales, 2022)*

**Tabla 24** Variables de potencia de diseño de la instalación.

Dónde:	
Pi	La potencia de diseño del tramo de instalación individual (kW)
A+B+C...	Los consumos caloríficos de los aparatos a gas, referidos al Hi, ordenados de mayor (A) a menor (Z)
1.1 es un coeficiente corrector medio, función del Hs y del Hi del gas suministrado (adimensional)	

*(Ingenieros industriales, 2022)*

### Caudal de tramos de la instalación común

El caudal común simultáneo de cada tramo se calcula de la siguiente manera cuando hay tramos que abastecen a varias instalaciones:

$$Q_{sc} = \frac{P_c}{H_s} \quad (16)$$

En la tabla 25 se describen las variables para la ecuación (16).

**Tabla 25** Variables de caudal de tramos de instalación común.

Dónde:	
P <sub>c</sub>	Potencia de diseño del tramo de instalación común (kW)
H <sub>s</sub>	Es el poder calorífico superior del gas (kWh/m <sup>3</sup> )
Q <sub>sc</sub>	Caudal simultáneo del tramo de instalación común (m <sup>3</sup> /h)

*(Ingenieros industriales, 2022)*

---



---

El cálculo de la potencia de diseño de la instalación común se hace con la siguiente expresión:

$$P_c = (\sum P_{iv})(s_n) + \sum P_{il} \quad (17)$$

En la tabla 26 se describen las variables para la ecuación (17).

**Tabla 26** Variables de potencia de tramos de la instalación común.

Dónde:	
Sn	Factor de simultaneidad
Pc	Potencia de diseño del tramo de instalación común (kW)
Piv	Potencia de diseño de las instalaciones individuales de las viviendas (kW)
Pil	Potencia de diseño de las instalaciones individuales de los locales distintos de las viviendas (kW)

(Ingenieros industriales, 2022)

#### Factor de simultaneidad.

S<sub>1</sub> para viviendas sin calderas individuales de gas y S<sub>2</sub> para viviendas con calderas individuales de gas En la tabla 27 se describen las variables para la ecuación (18) y (19). (Ingenieros industriales, 2022)

$$S_1 = \frac{19+N}{(10)(N+1)} \quad (18)$$

$$S_2 = \frac{19+N}{(4)(N+4)} \quad (19)$$

**Tabla 27** Variables de factor de simultaneidad para potencia y caudal de tramos de instalación común.

Variables de factor de simultaneidad para potencia y caudal de tramos de instalación común	
N	Número de viviendas
S1	0.15 para más de 30 viviendas
S2	0.35 para más de 30 viviendas

(Ingenieros industriales, 2022)

### 3.3 – Perdidas de carga.

Para calcular pérdidas de carga en tramos de la instalación se usara la ya mencionada fórmula de Renouard, para calcular el diámetro de los tramos de la instalación se usará la forma lineal (3) de la siguiente manera:

$$D = \left[ \frac{(23200)(d)(Le)(Q^{1.82})}{\Delta P} \right]^{\frac{1}{4.82}} \quad (20)$$

Para calcular el diámetro de los tramos de la instalación se usará la forma cuadrática (4) de la siguiente manera:

$$D = \left[ \frac{(48.6)(d)(Le)(Q^{1.82})}{P_i^2 - P_f^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} \quad (21)$$

Para efectos de cálculo de esta norma, para gas natural la densidad relativa de 0.6 será de 1.2 *mbar* que equivale a 2*mbar* con aire. Aunque para cálculos definitivos se tomara la del fabricante que en algunos casos suele ser de 0.72 *mbar* para gas natural.

#### Longitud equivalente.

Para compensar la pérdida de carga debida al roce del gas con las paredes de la tubería y los diversos accesorios de la misma, se toma como longitud real (LR) incrementada en un 20 %, denominándose esta longitud equivalente (Le). (*gasNatural*, n.d., pp. 4.1-4)

$$Le = 1.2 (LR) \quad (22)$$

La pérdida de carga real se obtendrá restándole a la presión de salida del regulador la presión que le llega al aparato de consumo, en la tabla 28 se dan a conocer las densidades relativas a emplear para las fórmulas de Renouard.

**Tabla 28** Densidades relativas.

Densidad relativa	
Gas natural	0,60
Propano comercial	1,16
Butano comercial	1,44

### 3.4 – Velocidad del gas dentro de tuberías.

Para instalaciones individuales, debe limitarse la velocidad del caudal de gas en tuberías a 20 m/s. Por lo tanto, hay que verificar que la velocidad esté dentro de límites aceptables en los cálculos para proyectos de gas, además de justificar el diámetro y la pérdida de presión. (*Ingenieros industriales, 2020*)

$$V = 353.67 \frac{Q}{PD^2} \quad (23)$$

Para cálculo de la velocidad máxima dentro de la tubería.

$$V = \frac{(354)(Q)}{(P)(D^2)} \quad (24)$$

Lo más recomendable es determinar la velocidad hacia el final del tramo para obtener la mayor pérdida de presión y por tanto la más desfavorable, ya que la velocidad se ve afectada por las caídas de presión. (*Ingenieros industriales, 2020*)

#### Diámetro calculado

Cuando el diámetro calculado (Dc) con cualquiera de las formulas anteriores nos da una velocidad mayor a 20 m/s el diámetro de los tramos de la instalación se calcularan nuevamente usando la siguiente formula:

$$Dc = \sqrt{\frac{(354)(Q)}{(P)(V)}} \quad (25)$$

En la tabla 29 se describen las variables para la ecuaciones (23), (24) y (25).

**Tabla 29** Variables para velocidad de gas en tuberías.

Dónde:	
V	Velocidad del gas (m/s)
Q	Caudal de gas en condiciones normales (m <sup>3</sup> /h)
P	Presión absoluta ( <i>bar</i> )
D	Diámetro interior de tubería ( <i>mm</i> )

(*Ingenieros industriales, 2020*)

No es necesario emplear el factor de compresibilidad ( $Z = 1$ ) en los rangos de presión utilizados en proyectos de gas combustible.

En cuanto a la presión aplicada (ya sea inicial o final), lo mejor es determinar la velocidad hacia el final del tramo para obtener mayor valor y por tanto la velocidad más desfavorable ya que la caída de presión a lo largo del tramo afecta a la velocidad. *(Ingenieros industriales, 2020)*

### Condiciones del gas

Las condiciones estándar (también conocidas como condiciones de referencia) y condiciones normales se pueden utilizar para resolver cálculos para instalaciones receptoras de combustible gaseoso. Estas circunstancias se comparan la tabla 30. *(Ingenieros industriales, 2020)*

**Tabla 30** Condiciones de presión.

Condiciones	Presión absoluta	Temperatura
Estándar	1.01325 bar	15°C (288.15 K)
Normales	1.01325 bar	0°C (273.15 K)

*(Ingenieros industriales, 2020)*

Las ecuaciones presentadas anteriormente se aplican a circunstancias normales, se pueden encontrar versiones con las constantes para condiciones normales. En tal caso se emplea la ecuación de gases ideales, que nos permite cambiar rápidamente las condiciones del gas, como demuestra la siguiente expresión:

*(Ingenieros industriales, 2020)*

$$Q_n = Q_{st} \left( \frac{273.15}{288.15} \right) \quad (26)$$

En la tabla 31 se describen las variables para la ecuación (26).

**Tabla 31** Variables ecuación de gases ideales.

Dónde:	
$Q_n$	Caudal en condiciones normales ( $m^3/s$ )
$Q_{st}$	Caudal en condiciones estándar ( $m^3/s$ )

*(Ingenieros industriales, 2020)*

## UNIDAD 4

### CASO DE ESTUDIO

#### 4.1 – Planteamiento del problema

Con la intención de dar claridad y mostrar la secuencia de cálculo explicada en las unidades antecedentes, para demostrar su aplicación, se propone un caso hipotético de una red de distribución en una zona urbana demostrada por la figura 14.



Figura 14 Zona Urbana de muestra.

## 4.2 – Consideraciones del modelo de red

Para dimensionar la red de gas natural un estudio de mercado proporciona los datos pertinentes, en la elección del tipo de presión se plantea la implementación de un nuevo sistema, lo cual involucra diversos parámetros.

Para el planteamiento de este caso se supone una zona que tiene un consumo industrial (por contar con dos industrias) y doméstico, con un número total de clientes potenciales de 2200.

En el plano de la población a gasificar la red se distribuye en manzanas y para la captación de usuarios se indica un factor de penetración  $f_p = 0.7 m$ .

Se tiene conocimiento de las condiciones climáticas para la zona y el nivel económico de la población, lo que permite ubicar el caudal unitario en una zona fría de  $2.25 m^3/h$  para la población, para el consumo industrial-comercial y habitacional se manejarán  $315 m^3/h$ .

La red de distribución se diseñará y calculará como media presión B (MPB) para la cual la presión de dimensionamiento es de  $2.5 bar$  y la presión de garantía de  $1 bar$ .

Por lo que respecta a la zona industrial, sus consumos están concentrados en los extremos de la red, el extremo derecho tiene dos salidas con el 50% cada una de la necesidad de la industria que es de  $215 m^3/h$ .

El fluido a manejar es el gas natural el cual tiene una densidad relativa de 0.6 el cual será transportado por la red.

## 4.3 – Memoria de cálculo.

Para proceder se trazan sobre el plano las ramificaciones de la red de forma que la zona a gasificar quede barrida demostrado en la figura 15.



Figura 15 Trazado de red.

Una vez hecho esto se numeran o designan todos los nudos donde hay derivación y de esta manera se identifican los tramos de la red, así como sus longitudes, demostrados en la figura 16.

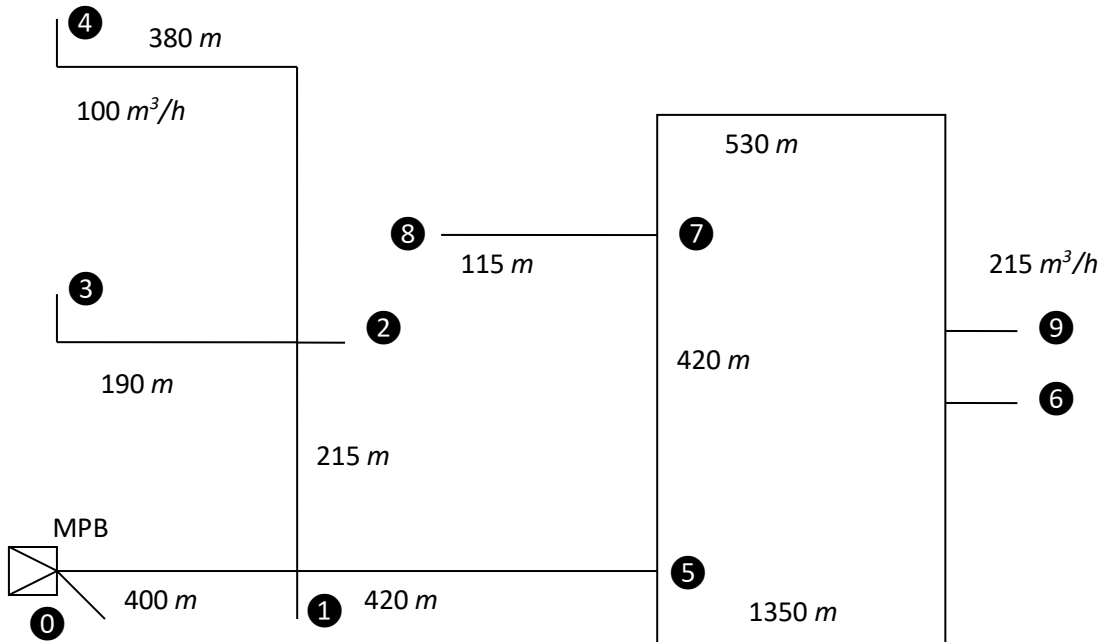


Figura 16 Nudos y tramos de la red.

Para proceder adecuadamente hay que determinar el número de clientes por tramo así como clientes acumulados, este caso plantea una zona con un número total de clientes potenciales de 2200, de esta forma se puede suponer una distribución por tramo de la siguiente manera en la tabla 31.

Tabla 31 Distribucion de clientes por tramo.

Clientes por tramo	
Tramo	Clientes
0 - 1	100
1 - 2	0
2 - 3	150
2 - 4	150
1 - 5	50
5 - 6	950
5 - 7	350
7 - 8	150
7 - 9	300
$\Sigma$	2200

Con todos los clientes por tramo designados procedemos a determinar el número de clientes acumulados por las derivaciones de los nudos en la tabla 32.

**Tabla 32** Número de clientes acumulados por derivación de los nudos.

Clientes caumulados 0 - 6		Clientes caumulados 1 - 6		Clientes caumulados 1 - 4		Clientes caumulados 5 - 9	
Tramo	Clientes	Tramo	Clientes	Tramo	Clientes	Tramo	Clientes
0 - 1	100	1 - 5	50	1 - 2	0	5 - 7	350
1 - 4	300	5 - 6	950	2 - 3	150	7 - 8	150
1 - 5	50	5 - 7	350	2 - 4	150	7 - 9	300
5 - 6	950	7 - 8	150	-	-	-	-
5 - 7	350	7 - 9	300	-	-	-	-
7 - 8	150	-	-	-	-	-	-
7 - 9	300	-	-	-	-	-	-
Σ	2200	Σ	1800	Σ	300	Σ	800

Con los datos adquiridos se forma la tabla 33 de la siguiente forma.

**Tabla 33** Clientes acumulados.

Clientes acumulados	
Tramo	Número de clientes
0 - 6	2200
1 - 4	300
2 - 3	150
2 - 4	150
1 - 6	1,800
5 - 6	950
5 - 9	800
7 - 8	150
7 - 9	300

Con estos datos se puede proceder al calculo del gasto domestico en la tabla 34, para esto se aplica la fórmula (5) la cual los requiere los factores de simultaneidad ya establecidos en la tabla 12 que correspondan a la respectiva cantidad de numero de clientes acumulados.

$$Q_{dom} = (Fs)(Fp)(N_{clientes})(Q_u) \quad (5)$$

**Tabla 34** Gasto doméstico.

Tramo	Clientes acumulados	x	Factor de simultaneidad	x	Factor de penetración	x	Q unitario (m <sup>3</sup> /h)	=	Q doméstico (m <sup>3</sup> /h)
0 - 6	2,200	x	0.47	x	0.70	x	2.25	=	1628.55
1 - 4	300	x	0.75	x	0.70	x	2.25	=	354.375
2 - 3	150	x	0.82	x	0.70	x	2.25	=	193.725
2 - 4	150	x	0.82	x	0.70	x	2.25	=	193.725
1 - 6	1,800	x	0.5	x	0.70	x	2.25	=	1417.5
5 - 6	950	x	0.56	x	0.70	x	2.25	=	837.9
5 - 9	800	x	0.56	x	0.70	x	2.25	=	308.7
7 - 8	150	x	0.82	x	0.70	x	2.25	=	193.725
7 - 9	300	x	0.75	x	0.70	x	2.25	=	354.375

Con los datos de la tabla 34 se calculara el gasto total aplicando la formula (6) para formar la tabla 35.

$$Q_{total} = Q_{dom} + Q_{ind} \quad (6)$$

**Tabla 35** Gasto total.

Tramo	Q doméstico (m <sup>3</sup> /h)	+	Q industrial (m <sup>3</sup> /h)	=	Q total (m <sup>3</sup> /h)
0 - 6	1,629	+	315	=	1,944
1 - 4	354	+	100	=	454
2 - 3	194	+	0	=	194
2 - 4	194	+	100	=	294
1 - 6	1418	+	215	=	1633
5 - 6	838	+	107.50	=	945.50
5 - 9	309	+	107.50	=	416.50
7 - 8	194	+	0	=	194
7 - 9	354	+	107.50	=	461.50

Será necesario también determinar las longitudes, en la tabla 36 se obtiene la longitud de cada tramo.

**Tabla 36** Longitud de tramo.

Tramo	Longitud (m)	Longitud total arteria (m)
0 - 6	400+420+1,350	2,170
1 - 4	215+380	595
2 - 3	190	190
2 - 4	380	380
1 - 6	420+1,350	1,770
5 - 6	1,350	1,350
5 - 9	420+530	950
7 - 8	115	115
7 - 9	530	530

Tomando en cuenta la pérdida de carga de la tubería y se recurre a la longitud equivalente para compensar esas pérdidas aplicando la ecuación (22), en la tabla 37 se demuestran dichas longitudes.

$$Le = 1.2 (LR) \tag{22}$$

**Tabla 37** Longitud equivalente.

Tramo	Longitud total arteria (m)	x	1.2	=	Longitud equivalente (m)
0 - 6	2,170	x	1.2	=	2604
1 - 4	595	x	1.2	=	714
2 - 3	190	x	1.2	=	228
2 - 4	380	x	1.2	=	456
1 - 6	1,770	x	1.2	=	2124
5 - 6	1,350	x	1.2	=	1620
5 - 9	950	x	1.2	=	1140
7 - 8	115	x	1.2	=	138
7 - 9	530	x	1.2	=	636

Una vez obtenida la longitud equivalente y el caudal total hay que hallar las presiones para determinar los diámetros en cada tramo.

Para calcular las caídas de presión se utilizara la presión inicial de 2.5 *bar* y ya que se plantea una presión de garantía de 1 *bar* se utilizaran estos datos para determinar la caída de presión durante el recorrido de diferentes tramos.

Tramo ①-⑥

La presión inicial es de 2.5 *bar* y la presión de garantía de 1 *bar*, la diferencia entre estas presiones es de 1.5 *bar*, esa será la perdida de presión para una longitud de 2170 metros.

Tramo ①-①

La distancia es de 400 metros, para obtener la diferencia de presión se aplica una regla de 3:

$$\Delta P = \frac{(400m)(1.5bar)}{2170m} = .28bar$$

$$2.5bar - .28bar = 2.2bar$$

Esto indica que la presión en el nudo ① es de 2.2 *bar*

Tramo ①-④

La presión inicial es de 2.2 *bar* y la presión de garantía de 1 *bar*, la diferencia entre estas presiones es de 1.2 *bar*, esa será la perdida de presión para una longitud de 595 metros.

Tramo ①-②

La distancia es de 215 metros, para obtener la diferencia de presión se aplica una regla de 3:

$$\Delta P = \frac{(215m)(1.2bar)}{595m} = .43bar$$

$$2.2bar - .43bar = 1.77bar$$

Esto indica que la presión en el nudo ② es de 1.77 *bar*

Tramo ②-③

La presión inicial es de 1.77 *bar* y la presión de garantía de 1 *bar*, la diferencia entre estas presiones es de .77 *bar*, esa será la perdida de presión para una longitud de 190 metros.

Tramo ②-④

La presión inicial es de 1.77 *bar* y la presión de garantía de 1 *bar*, la diferencia entre estas presiones es de .77 *bar*, esa será la pérdida de presión para una longitud de 380 metros.

Tramo ①-⑥

La presión inicial es de 2.2 *bar* y la presión de garantía de 1 *bar*, la diferencia entre estas presiones es de 1.2 *bar*, esa será la pérdida de presión para una longitud de 1770 metros.

Tramo ⑤-⑥

La distancia es de 420 metros, para obtener la diferencia de presión se aplica una regla de 3:

$$\Delta P = \frac{(420m)(1.2bar)}{1770m} = .28bar$$

$$2.2bar - .28bar = 1.92bar$$

Esto indica que la presión en el nudo ⑤ es de 1.92 *bar*

Tramo ⑤-⑧

La presión inicial es de 1.92 *bar* y la presión de garantía de 1 *bar*, la diferencia entre estas presiones es de .92 *bar*, esa será la pérdida de presión para una longitud de 535 metros.

Tramo ⑤-⑦

La distancia es de 420 metros, para obtener la diferencia de presión se aplica una regla de 3:

$$\Delta P = \frac{(420m)(.92bar)}{535m} = .72bar$$

$$1.92bar - .72bar = 1.2bar$$

Esto indica que la presión en el nudo ⑦ es de 1.2 *bar*

Una vez determinadas las pérdidas de carga se procede a calcular el diámetro para cada tramo utilizando la ecuación (21).

$$D = \left[ \frac{(48.6)(d)(Le)(Q^{1.82})}{P_i^2 - P_f^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} \quad (21)$$

Tramo 0-6

$$Le = 2604m \quad Q = 1944 \text{ m}^3/h \quad P_i = 2.5 \text{ bar} \quad P_f = 1 \text{ bar}$$


---

$$D = \left[ \frac{(48.6)(0.6)(2604)(1944^{1.82})}{2.5^2 - 1^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} = 127.33mm$$

Tramo 1-4

$$Le = 714m \quad Q = 454 \text{ m}^3/h \quad P_i = 2.2 \text{ bar} \quad P_f = 1 \text{ bar}$$


---

$$D = \left[ \frac{(48.6)(0.6)(714)(454^{1.82})}{2.2^2 - 1^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} = 59.98mm$$

Tramo 2-3

$$Le = 228m \quad Q = 194 \text{ m}^3/h \quad P_i = 1.77 \text{ bar} \quad P_f = 1 \text{ bar}$$


---

$$D = \left[ \frac{(48.6)(0.6)(228)(194^{1.82})}{1.77^2 - 1^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} = 38.79mm$$

Tramo 2-4

$$Le = 456m \quad Q = 294 \text{ m}^3/h \quad P_i = 1.77 \text{ bar} \quad P_f = 1 \text{ bar}$$


---

$$D = \left[ \frac{(48.6)(0.6)(456)(294^{1.82})}{1.77^2 - 1^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} = 52.4mm$$

Tramo 1-6

$$Le = 2124m \quad Q = 1633 \text{ m}^3/h \quad P_i = 2.2 \text{ bar} \quad P_f = 1 \text{ bar}$$


---

$$D = \left[ \frac{(48.6)(0.6)(2124)(1633^{1.82})}{2.2^2 - 1^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} = 121.94mm$$

Tramo 5-6

$$Le = 1620m \quad Q = 945.5 \text{ m}^3/h \quad Pi = 1.92 \text{ bar} \quad Pf = 1 \text{ bar}$$

$$D = \left[ \frac{(48.6)(0.6)(1620)(945.5^{1.82})}{1.92^2 - 1^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} = 101mm$$

Tramo 5-9

$$Le = 1140m \quad Q = 416.5 \text{ m}^3/h \quad Pi = 1.92 \text{ bar} \quad Pf = 1 \text{ bar}$$

$$D = \left[ \frac{(48.6)(0.6)(1140)(416.5^{1.82})}{1.92^2 - 1^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} = 68.9mm$$

Tramo 7-8

$$Le = 138m \quad Q = 194 \text{ m}^3/h \quad Pi = 1.2 \text{ bar} \quad Pf = 1 \text{ bar}$$

$$D = \left[ \frac{(48.6)(0.6)(138)(194^{1.82})}{1.2^2 - 1^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} = 48.49mm$$

Tramo 7-9

$$Le = 636m \quad Q = 461.5 \text{ m}^3/h \quad Pi = 1.2 \text{ bar} \quad Pf = 1 \text{ bar}$$

$$D = \left[ \frac{(48.6)(0.6)(636)(461.5^{1.82})}{1.2^2 - 1^2} \right]^{\frac{1}{4.82}} = 92.36mm$$

En la tabla 38 se resumen los resultados hallados incluyendo los diámetros.

**Tabla 38** Resumen de resultados.

Tramo	Longitud equivalente (m)	Q total (m <sup>3</sup> /h)	Pi (bar)	Pf (bar)	ΔP (bar)	Φ interior calculado (mm)
0-6	2604	1,944	2.5	1	1.5	127.33
1-4	714	454	2.2	1	1.2	59.98
2-3	228	194	1.77	1	0.77	38.79
2-4	456	294	1.77	1	0.77	52.4
1-6	2124	1633	2.2	1	1.2	121.94
5-6	1620	945.50	1.92	1	0.92	101
5-9	1140	416.50	1.92	1	0.92	68.9
7-8	138	194	1.2	1	0.2	48.49
7-9	636	461.50	1.2	1	0.2	92.36

## C O N C L U S I O N E S

Las fórmulas de Renouard antes mencionadas se utilizan para calcular la pérdida de presión en tuberías de butano, propano o gas natural con el fin de establecer el diámetro y justificar la pérdida de presión.

En este caso hipotético se determinaron los diámetros calculados a través de los caudales y las diferencias de presión, los cuales se utilizan para compararlos con diámetros comerciales para así ser ajustados y determinar los apropiados para el diseño de la red.

Actualmente, el gas natural se considera una fuente relevante de energía para uso doméstico, industrial y comercial porque es una alternativa más segura y asequible que el carbón y los productos derivados del petróleo, es seguro y es un tipo de energía más limpia para el medio ambiente.

A pesar de esto, México no cuenta con infraestructura de almacenamiento suficiente por lo que importa este recurso en su mayoría de Estados Unidos para cubrir la demanda y se posicionan prácticamente como único proveedor, además de tener más reservas de petróleo que de gas natural.

Aun así el país cuenta con reservas suficientes de gas natural para corregir dicha situación; pero la baja producción es resultado sobre todo de la falta de inversión en actividades de exploración y extracción principalmente en aguas profundas y en yacimientos no convencionales, ya que las inversiones (principalmente Pemex) se concentran en la extracción de petróleo.

Es por esta razón que no se ejerce el uso del gas natural tanto como en otros países y por lo mismo no se halla mucha información en cuanto al manejo de este recurso, por consiguiente la impartición de este tema no tiene mucha presencia (o presencia alguna) en instituciones educativas.

## R E F E R E N C I A S

- Alberto, S. (2004). *Redes domiciliarias de gas natural*. Facultad de Estudios Superiores Aragon: Curso intersemestral 04-1.
- Altrimar Ingenieros. (2022). *Altrimar Ingenieros*. Obtenido de <https://altrimar.com/instalaciones-de-gas-natural>
- BBC News. (2022). *BBC News*. Obtenido de Nord Stream 1: How Russia is cutting gas supplies to Europe: <https://www.bbc.com/news/world-europe-60131520>
- British Petroleum. (2020). *British Petroleum*. Obtenido de Statistical Review of World Energy 2020 69th edition: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- Caceres, N. (n.d.). *SCRIBD*. Obtenido de DISEÑO Y CÁLCULO EN PROYECTOS DE INSTALACIONES DE GAS NATURAL EN EDIFICACIONES: <https://es.scribd.com/document/340169028/Diseno-y-Calculo-en-Proyectos-de-Instalaciones-de-Gas-Natural-en-Edificaciones>
- CRYOSPAIN. (2021). *CRYOSPAIN*. Obtenido de Gas natural licuado (GNL): qué es y cómo almacenarlo: <https://cryospain.com/es/gas-natural-licuado-gnl-que-es-y-como-almacenarlo>
- ENGIE Mexico. (2022). *ENGIE Mexico*. Obtenido de EL GAS NATURAL, UN COMBUSTIBLE SEGURO Y CÓMODO PARA TU HOGAR: <https://www.engiemexico.com/hogar>
- Excelsior. (2021). *Excelsior*. Obtenido de México depende en 70% del gas natural importado: <https://www.excelsior.com.mx/nacional/mexico-depende-en-70-del-gas-natural-importado/1433194>
- Expansion. (2021). *Expansion*. Obtenido de Diferencia entre gas natural y gas LP para uso doméstico, ¿cuál me conviene más?: <https://expansion.mx/economia/2021/08/05/diferencia-entre-gas-natural-gas-lp>
- Gas Naturalix. (2021). *Gas Naturalix*. Obtenido de Guía sobre el gas natural en México: <https://gasnaturalix.com/mexico/#:~:text=El%20gas%20natural%20es%20m%C3%A1s,que%20te%20ahorrar%C3%ADas%2089%20pesos.>
- gasNatural. (2002). *Fundacion de la energia*. Obtenido de Gas natural el recorrido de la energia: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-gas-natural.pdf>
- gasNatural. (s.f.). *gasNatural*. Obtenido de Manual de Instalaciones Receptoras: <http://nol.infocentre.es/ictnol/pdf/manual%20de%20instalaciones%20receptoras%20gas%20natural.pdf>

- Gobierno de Mexico. (s.f.). *Gobierno de Mexico*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/190837/Gas\\_Natural\\_Compri\\_mido.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/190837/Gas_Natural_Compri_mido.pdf)
- Harper, G. E. (2004). *EL ABC de las instalaciones de gas, hidraulicas y sanitarias*. Limusa.
- Hernandez Gonzales , A., & Navarro Santiago, J. (2003). *Repositorio DSpace Tesis IPN*. Obtenido de CONSTRUCCION Y DISTRIBUCION DE GAS NATURAL EN EL DISTRITO FEDERAL DELEGACION BENITO JUAREZ: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/8594/506.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ingenieros industriales. (2020). *Ingenieros industriales*. Obtenido de Cómo calcular tuberías de gas: <https://www.ingenierosindustriales.com/como-calculatuberias-de-gas/>
- Ingenieros industriales. (2022). *Ingenieros Industriales*. Obtenido de Cómo calcular caudales de diseño en instalaciones de gas: <https://www.ingenierosindustriales.com/como-calcular-caudales-de-diseno-en-instalaciones-de-gas/#:~:text=El%20caudal%20de%20un%20%C3%BAnico,el%20poder%20calor%20del%20gas.>
- Jaime, S., & Julia, S. (2019). *Educacion en ingenieria quimica*. Obtenido de Procesamiento de gas natural: <https://www.ssecoconsulting.com/procesamiento-de-gas-natural.html>
- Lopez, M. A. (2009). *Tesis UNAM*. Obtenido de Instalaciones I.: <http://132.248.9.195/ptd2009/marzo/0641201/Index.html>
- MABE. (s.f.). *Servivio MABE*. Obtenido de MANUAL DE SERVICIO DE ESTUFAZ A GAS MODERNIZACION KILYA: [https://visualizador.serviplus.com.mx/datos\\_pt/cocc/manuales/Manual\\_de\\_servicio\\_modernizacion\\_Kilya.pdf](https://visualizador.serviplus.com.mx/datos_pt/cocc/manuales/Manual_de_servicio_modernizacion_Kilya.pdf)
- nedgia Grupo Naturgy. (2009). *nedgia Grupo Naturgy*. Obtenido de Características del gas natural: <https://www.nedgia.es/conocenos/caracteristicas-del-gas-natural/>
- PrecioGas. (2022). *PrecioGas*. Obtenido de ¿Qué es el gas natural? Fórmula y composición: <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/composicion>
- PrecioGas. (2022). *PrecioGas*. Obtenido de Ventajas del gas natural y comparación con otros combustibles: <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/ventajas>
- PrecioGas. (2022). *PrecioGas*. Obtenido de Solicitar acometida de gas natural: precios y derechos: <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/acometida>
- PrecioGas. (2022). *PrecioGas*. Obtenido de Instalar gas natural: <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural>

PrecioGas. (2022). *PrecioGas*. Obtenido de Instalación Receptora Individual de Gas IRI: <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/iri>

PrecioGas. (2022). *PrecioGas*. Obtenido de IRC o Instalación Receptora Común de gas natural: <https://preciogas.com/instalaciones/gas-natural/instalacion-receptora-comun>

Pulso Energetico. (2018). *Pulso Energetico*. Obtenido de ¿Dónde se puede guardar el gas natural?: <https://pulsoenergetico.org/donde-se-puede-guardar-el-gas-natural/>

Tarifaz de luz. (2021). *Tarifaz de luz*. Obtenido de Instalar gas natural en México: <https://tarifasdeluz.mx/gas-natural/instalacion>

Trejo, A. G. (2010). *Tesis UNAM*. Obtenido de INSTALACIONES EN LOS EDIFICIOS: <http://132.248.9.195/ptb2010/mayo/0657626/Index.html>

Woolf plumbing and gas. (2022). *Woolf plumbing and gas*. Obtenido de WHAT KIND OF PIPE SHOULD I USE FOR NATURAL GAS?: <https://woolfplumbing.com.au/blog/what-kind-of-pipe-should-i-use-for-natural-gas>