

TOMO 2

MANUAL DE PROYECTOS

1. INTRODUCCIÓN

En el presente **apunte/síntesis**, se establecen los criterios de diseño y cálculo necesarios para elaborar los proyectos de ingeniería que **una compañía de gas**. deben ejecutar para efectivizar la construcción de las obras que resultan necesarias para la prestación del Servicio de Distribución de Gas.

Estos criterios son aplicables a las obras que se realicen con carácter de ampliación del sistema existente, sus modificaciones y las que resulten de las necesidades impuestas por trabajos especiales que deban realizarse para la atención de siniestros, tareas de mantenimiento ordinario y extraordinario y con carácter general todas aquellas que deban ser realizadas para la correcta operación del sistema.

En este **apunte/síntesis** se hace permanente referencia a Procedimientos, Planos Tipo, Especificaciones Técnicas, y otros documentos que deben ser utilizados en las distintas etapas que deben ser llevadas a cabo en la preparación de los proyectos de referencia, indicando en cada caso su lugar de ubicación dentro de este documento, proceder que se repite respecto a otras cuestiones relacionadas con temas tratados específicamente en otros tomos del mismo.

2. INSTALACIONES

Por razones metodológicas, tanto en este apunte de Proyectos, como en los correspondientes a Operación y de Mantenimiento, los temas tratados han sido clasificados tomando en consideración que la infraestructura operativa, es decir la instalaciones a considerar, en lo esencial está comprendida por las siguientes partes:

- ❖ Plantas compresoras de gasoductos
- ❖ Gasoductos y Ramales
- ❖ Redes de Distribución
- ❖ Instalaciones de Superficie
- ❖ Protección Anticorrosiva

En el rubro Instalaciones de Superficie están incluidas a su vez las correspondientes a estaciones de separación y medición y estaciones de regulación de distrito.

2.1. Plantas Compresoras

2.1.1. Consideraciones generales

Lo que sigue se refiere exclusivamente al diseño de Plantas Compresoras de capacidad acorde a la infraestructura de los gasoductos operados. Es en virtud de lo expuesto que las cuestiones relativas a su construcción y operación y mantenimiento, deben ser identificadas en los manuales respectivos.

Sin dejar de tomar en consideración lo acá expuesto, en el desarrollo de los proyectos de plantas compresoras a ser instaladas, se tendrá en cuenta lo establecido al respecto en las Normas NAG 100 y GE 126.

Es en este sentido que si bien las condiciones de diseño y las medidas mínimas de seguridad están perfectamente establecidas en las normas citadas, se ha considerado oportuno realizar algunos comentarios relativos a las cuestiones que se estima conveniente deben ser tenidas prioritariamente en cuenta al elaborar proyectos de este tipo.

2.1.2. Criterios de diseño

2.1.2.1. Localización

Al seleccionar la localización de la planta compresora a instalar se tendrá en cuenta la necesidad de que las mismas sean emplazadas en zonas no urbanizadas y en predios ubicados en áreas donde se disponga de accesos confiables cualquiera sea la condición meteorológica. Es además necesario comprobar que al menos a mediano plazo no existen planes de orden nacional, provincial o municipal que tiendan a modificar la clasificación urbanística de la zona.

En lo que respecta a la selección del terreno se verificará que no son inundables, que no existan arboledas en sus proximidades, que es posible mantener toda la zona aledaña a su periferia libre de árboles, arbustos o maleza de cualquier tipo y que no está prevista la realización de tendidos de líneas de transmisión eléctrica en su proximidades.

Alrededor de los límites perimetrales de la planta compresora y hasta el cerco externo, se conformará una franja de seguridad libre de todo tipo de construcción, arboleda, plantas de cualquier tipo o maleza, con el objeto de evitar la propagación hacia el exterior de eventuales incendios que pudieran provenir de estas instalaciones y al mismo tiempo evitar que incendios vecinales pudiera provocar daños internos.

En cuanto al tamaño del terreno, éste deberá tener las dimensiones necesarias como para asegurar la existencia de una distancia de 150 metros entre la zona de compresores y el límite de la propiedad y que dicha zona estará a su vez distanciada al menos 100 metros del gasoducto del que habrá de derivarse el gas a comprimir.

2.1.2.2. Construcciones civiles

En las construcciones civiles que se realicen en lo que será el ámbito operativo de la planta compresora, se emplearán exclusivamente materiales resistentes al fuego.

En el diseño se prestará particular atención a todos los aspectos relacionados con la ventilación de los lugares cerrados donde se comprima regule o utilice gas (zona de compresores, usina de generación eléctrica, etc.), con el diseño de las instalaciones eléctricas y tableros que deberán ser antiexplosión y con los sistemas de seguridad contra incendio. Estos tres aspectos deberán ser desarrollado por especialistas en cada uno de los temas.

2.1.2.3. Sala de control

La planta compresora debe contar con una Sala de Control, que pudiendo formar parte de la oficina y/o de la vivienda del operador, debe en lo que respecta a su visibilidad de las instalaciones a controlar y posibilidad de desplazamiento del personal operativo en cuanto a ingreso y egreso de este local, disponer un diseño especial en lo que se refiere a visibilidad exterior, posibilidad de egreso desde lugares ubicados en paredes opuestas y ubicación del tablero de control previendo posibles ampliaciones.

2.1.2.4. Cobertura de los equipos de compresión

Los compresores y sus motores de accionamiento, deben ser aislados del medio ambiente, mediante una cobertura adecuada que atenúe el nivel sonoro, proteja a los equipos del efecto de lluvias, nieve, etc., y disminuya la transmisión térmica ambiental desde el exterior.

Las casetas serán construidas enteramente con material incombustible y serán recubiertas interiormente con elementos absorbentes del ruido. En cuanto a las paredes se analizará según los casos particulares que se presenten la conveniencia de que sean parcial o totalmente desmontables para facilitar eventuales reparaciones de la unidad motriz y compresora.

Estas coberturas deberán contar con ventilación interior compuesta por aberturas ubicadas a nivel superior por debajo de techo y a nivel del piso,

adecuadamente distribuidas y de áreas no menores de 60 cm² por m³ de volumen ambiente.

2.1.2.5. Cerco perimetral y caminos interiores

Todo el perímetro exterior de la planta debe ser protegido con un cerco de mampostería de 1,80 metros de altura o en su defecto de alambre tejido romboidal tipo industrial. Dispondrá además del portón de ingreso y egreso regular, de otras salidas emergencia localizadas en correspondencia con las vías de escape correspondientes. Respecto a los caminos interiores, éstos deberán tener un ancho mínimo de seis metros y ser aptos para el tránsito de vehículos pesados en cualquier condición del tiempo.

Cuando estos caminos deban ser atravesados por cañerías de gas a alta presión, las mismas se instalarán a una profundidad no inferior a dos metros.

2.1.2.6. Agua potable

Al realizar el diseño de la planta se tendrá en cuenta que la misma debe ser abastecida con agua potable. A estos efectos se adoptará la solución que en cada caso resulte más aconsejable, incluida la previsión cuando resulte necesario según normas, de un reservorio adecuado.

2.1.2.7. Instalaciones eléctricas

Todo el sistema eléctrico será realizado clasificando las áreas involucradas según indican las normas de aplicación. Las instalaciones eléctricas ubicadas dentro de las áreas clasificadas como de División 1 y 2 se regirán por las Especificaciones de la NFPA N° 70, artículos 500 y 501.

En cuanto al tendido de los conductores de energía eléctrica, control y comando entre las distintas áreas de la planta, se debe tener en cuenta que éstos se deben instalar en trincheras.

2.1.3. Seguridad

2.1.3.1. Protección contra incendios

Todas las instalaciones metálicas de la planta deberán estar eficientemente conectados a tierra a efectos de eliminar corrientes estáticas, descargas atmosféricas, etc.

Respecto a los sistemas de seguridad y prevención de incendios, se tendrá en cuenta lo establecido en la Ley 19587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Se tendrá asimismo en cuenta las recomendaciones de la compañía aseguradora correspondiente.

Se contará en todos los casos con un sistema de extinción automático que podrá ser accionado por detectores de llama, humo, alta temperatura, etc. y la posibilidad de accionarlo manualmente mediante pulsadores ubicados en lugares estratégicos a definir en el proyecto.

Respecto a la red de agua contra incendio, la misma se diseñará dando cumplimiento a lo establecido en la legislación vigente y contará como mínimo con dos equipos de bombeo alimentados con fuentes de energía independientes. Respecto a los reservorios de agua se diseñarán de modo de poder contar con reserva suficiente mientras se realice su mantenimiento.

2.1.3.2. Alarmas

Se instalará un sistema de alarma acústica de aviso de incendio o siniestro, constituida por una sirena audible y pulsadores estratégicamente ubicados, en todos los lugares de trabajo.

La energía para alimentar el sistema deberá ser obtenida de fuentes independientes.

2.1.3.3. Parada de emergencia

Se contará con un sistema de parada de emergencia diseñado de acuerdo a la características de la planta. En condiciones extremas el

sistema provocará en forma automática, además del paro de máquinas, el cierre de las válvulas de entrada y salida de planta y el venteo parcial o total de la misma.

Respecto a la chimenea de venteo, ésta se ubicará teniendo en cuenta muy especialmente los vientos predominantes con respecto a la planta, tendrá como mínimo una altura de seis metros respecto al nivel del piso y en su parte inferior una conexión que posibilite la inyección de un gas inerte.

2.1.4. Comunicaciones

Se contará con un eficiente sistema de comunicaciones que permita una segura comunicación de todos los sectores internos de la planta entre sí y con el exterior.

Las antenas destinadas a comunicaciones externas, se instalarán asegurando que una eventual caída no afecte a las instalaciones aéreas ni a los edificios. Se procurará asimismo una localización adecuada para asegurar que la misma no resulte afectada por algún siniestro de consideración que pudiera dañar a la planta compresora.

En el diseño del sistema de comunicaciones se contemplará la instalación de un sistema auxiliar que posibilite entablar un vínculo de emergencia en caso de quedar fuera de servicio el equipo principal.

2.1.5. Iluminación

Se dispondrá de una adecuada y eficiente iluminación, sobre todo del tipo localizada, en los lugares donde el personal deba realizar maniobras o lecturas de instrumentos. Los caminos de circulación estarán perfectamente iluminados de modo que no existan problemas de desplazamiento nocturno en caso que resulte necesario efectuar tareas de mantenimiento extraordinario.

La planta contará además con un sistema de iluminación de emergencia alimentada con una fuente de alimentación distinta a la general.

2.1.6. Dimensionamiento del compresor

2.1.6.1. Fórmula de cálculo

Resulta de aplicación la siguiente expresión:

$$W = C_o * P_1 * Q * (r^{0.219} - 1)$$

Donde:

W	:	Potencia absorbida por el compresor	(HP)
C _o	:	Coeficiente que incluye la adopción de parámetros preestablecidos para las variables involucradas (t, k, G, etc).	
r	:	Relación de compresión (r = P ₂ / P ₁)	
P ₁	:	Presión mínima de succión	(bar abs.)
P ₂	:	Presión máxima de descarga	(bar abs.)
Q	:	Caudal a comprimir	(m ³ /hora)
k	:	Coeficiente de la politrópica del gas natural	

Se adopta:

- ❖ Densidad relativa del gas respecto al aire, G = 0.6
- ❖ Coeficiente de la politrópica, k = 1.28
- ❖ Eficiencia de la compresión, η = 0.85
- ❖ Temperatura en la succión del gas, T_s = 288 ° K
- ❖ Temperatura en la descarga del gas, T_d = T_s * (r^{((k-1)/k)})

Tomando en consideración los parámetros adoptados, se tiene:

$$W = 0.0072 * P_1 * Q * (r^{0.219} - 1)$$

2.1.6.2. Ejemplo ilustrativo

Se trata de calcular la potencia necesaria para comprimir gas natural. Los parámetros a considerar son los siguientes:

P_1	=	31	bar a
P_2	=	61	bar a
Q	=	42,000	m ³ /hora
r	=	1.97	

Luego:

$$W = 0.0072 * P_1 * Q * (r^{0.219} - 1)$$

$$W = 0.0072 * 31 * 42,000 * 1.9677$$

$$W = 1,498 \text{ HP}$$

Respecto a la temperatura de salida del gas será:

$$T_d = T_s * (r^{((k-1)/k)})$$

$$T_d = T_1 * (1.9677^{((1.28-1)/1.28)})$$

$$T_d = 334 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_d = 61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2.2. Gasoductos

2.2.1. Diseño

Todo lo establecido en este apartado se refiere al Diseño de Gasoductos y Ramales. Están en consecuencia incluidos en el mismo, los Gasoductos y los Ramales Principales y Secundarios que deriven de aquéllos o de otros sistemas. Estos conductos tienen por objeto transportar gas desde los puntos de conexión que en cada caso deben quedar establecidos en los proyectos respectivos y alimentar con este fluido a las Redes de Distribución.

Se incluyen también los Ramales de Alimentación a las Plantas de Regulación que alimentan a las Redes de Distribución cuya presión de operación no supere los 4 bar, es decir a las cañerías destinadas a transportar gas a presiones superiores a 4 bar por zonas urbanas con el objeto de atender su abastecimiento y las destinadas a consumos industriales no conectados directamente a las redes de distribución de gas para uso residencial.

Por razones metodológicas se han tratado separadamente los aspectos de diseño (y cálculo) correspondientes a las cañerías de conducción, de los relativos a su construcción, pero atendiendo a que los estudios correspondientes deben ser realizados en un marco de unidad conceptual, en todo el desarrollo del trabajo se han hecho permanentes referencias a lo establecido en este sentido en los demás Manuales, por lo que se aconseja tener en cuenta dichas anotaciones.

También por razones metodológicas se tratan en apartados distintos todos los aspectos relacionados con los materiales a utilizar, efectuando no obstante también en este caso, permanentes referencias a los mismos en razón de que gran parte de las características y especificaciones de esos materiales deben ser obligadamente tomadas en consideración al realizar las operaciones de cálculo que involucran los respectivos diseños.

Si bien desde el punto de vista del cálculo, no existe prácticamente diferencia en el estudio de los gasoductos respecto a los ramales de alimentación a plantas de regulación de redes de distribución, usinas e industrias, sí la hay cuando se toman en consideración criterios de diseño relacionados con la localización de estos últimos en razón de que a

diferencia de los anteriores van siempre ubicados en lugares poblados, que por tal condición debe considerarse que están en permanente evolución.

La confección de los proyectos correspondientes a la construcción de gasoductos y ramales, está en todos los casos a cargo del un sector generalmente contenido en la Gerencia Técnica, quien procede a confeccionar toda la documentación técnica de la obra, dando estricto cumplimiento a las normas que son de aplicación.

Los proyectos relacionados con la construcción de gasoductos y ramales obligan a la consideración de diversas alternativas de trazado con el objeto de su evaluación y selección de la más conveniente. Los criterios a seguir para realizar esta tarea obligan a tomar en consideración la incidencia de las diversas localizaciones posibles en las variables que deben ser contempladas al realizar el dimensionamiento definitivo.

A título ilustrativo se aconseja observar que no siempre la alternativa que permita el trazado más corto al diseñar un gasoducto, debe tomarse como la más conveniente ya que en algunas circunstancias eludir accidentes geográficos o construcciones de cualquier tipo puede permitir ventajas económicas y de viabilización de la obra, por lo que solo después de evaluar cuidadosamente todas las variables que este aspecto pueden ser consideradas podrá asegurarse que se ha tomado la decisión correcta.

En todos los casos, formará parte de los estudios a realizar la necesidad de minimizar el impacto ambiental. A más de esto se deben atender todos los aspectos que hacen a la seguridad pública, contemplar la posibilidad de expansiones futuras y procurar que la cañería y todas sus instalaciones complementarias no deberá ser reinstalada por razones urbanísticas a breve plazo y que tampoco será necesario realizarle modificaciones de importancia en el corto plazo

Cuando la presión de diseño los ramales de alimentación a plantas reguladoras, usinas o industrias, sea superior a 20 bar, es conveniente que sus trazados quedan localizados en la mayor parte posible fuera del área urbana. Se buscará además alejarlos todo lo posible de la línea de edificación a cuyo efecto se deberá proceder a establecerla mediante la consulta que corresponda en las oficinas de catastro correspondiente.

En los casos en que se trate ramales que por su destino deben necesariamente operar en áreas urbanizadas, en todos los casos se procurará seleccionar los trazados correspondientes de modo que la

cañería quede finalmente ubicada en la posición más distante posible de la línea de edificación, respetando en este sentido estrictamente lo ordenado por la Norma NAG 100 y recordando que esas exigencias son mínimas y que deber ser en lo posibles elevadas.

2.2.1.1. Análisis preliminar

La realización del proyecto de gasoductos y ramales involucra la consideración de una cantidad de variables íntimamente vinculadas entre sí que deben ser consideradas de manera casi simultánea.

Éste es el caso de la determinación del diámetro de la cañería de conducción que debe ser resuelto por cálculo, tomando en consideración las diversas variables involucradas, entre las que se encuentran entre otras, el caudal de diseño, su longitud, la presión máxima de operación (MAPO), la pérdida de carga admisible, el tipo de material de la cañería, etc.

Resulta pues necesario como primera condición definir el caudal de diseño en función de consideraciones intrínsecas del proyecto, proponer un trazado tentativo a efectos de cuantificar la longitud aproximada que deberá ser considerada, asignar valores a las demás variables involucradas como quedará explicado y proceder al cálculo del diámetro teórico que deberá tener la cañería en proyecto.

Como en definitiva lo que se requiere es definir el diámetro comercialmente obtenible, en la práctica se procede a establecer estimativamente el diámetro de la cañería a utilizar y en disposición de este dato se pasa a determinar el caudal que puede ser transportado. Este caudal en ningún caso podrá ser inferior al definido como Caudal de Diseño.

Si el diámetro tentativo propuesto no permitiera disponer del caudal necesario, se debe proceder a emplear en el cálculo el valor comercialmente obtenible inmediatamente superior, y así siguiendo hasta lograr el objetivo perseguido.

2.2.1.2. Variables involucradas

Analizaremos detalladamente las diferentes variables involucradas en el cálculo de los gasoductos, antes de entrar específicamente en la consideración del procedimiento de cálculo.

2.2.1.2.1. Presión de diseño

La presión de diseño o presión máxima admisible de operación (MAPO), se establece en cada caso tomando en consideración las características del sistema al que será interconectado.

2.2.1.2.2. Presión inicial

La Presión Inicial (P_i), de cabecera o de inyección del gas al gasoducto a proyectar se establece en cada articular, teniendo en cuenta las presiones operativas del conducto del que derivará.

En el caso particular de gasoductos que deriven de las instalaciones operadas por Transportadora de Gas del Norte (TGN) o Transportadora de Gas del Sur (TGS), este valor de presión debe ser requerido oficialmente a esa compañías, debiéndose tomar en consideración que el valor informado solo tendrá validez si la respuesta ha sido recibida por escrito y tiene validez por un plazo importante contado desde la fecha de comunicación.

Una vez establecido el valor correspondiente, el mismo es incorporado como un dato en la fórmula de Cálculo del Caudal. En ningún caso esta presión puede superar a la MAPO.

Para definir la Presión Inicial se deben analizar los siguientes aspectos:

- ❖ Valor de la presión disponible en el punto de interconexión del gasoducto a proyectar, con la fuente de alimentación de gas (Gasoducto Troncal de Transmisión operado por TGN o TGS u otros gasoductos operados por las Distribuidoras)
- ❖ Características de urbanización de la zona en que se realizará el tendido del conducto.

- ❖ Perspectivas de crecimiento urbanístico de la zona en que se realizará el tendido del gasoducto.
- ❖ Necesidad de transportar gas a una presión determinada por razones operativas, tal el caso de la alimentación a usinas de generación termoeléctrica.

2.2.1.2.3. Presión final

La Presión Final (Pf) del gasoducto a construir, definida así a efectos del cálculo, corresponde a la del último punto del mismo y más precisamente al del sitio de interconexión de éste con el consumo más lejano a abastecer.

Este valor una vez definido, ingresa como dato en la fórmula de cálculo citada.

Cuando el gasoducto a efectos del cálculo, requiere ser parcializado en tramos, la Presión Final deberá ser determinada como resultado de los cálculos parciales a ser realizados en correspondencia con cada tramo. Son puntos característicos para la definición de tramos los que resulten de la localización de consumos en ruta, de los cambios de diámetro, de la ubicación de interconexiones, etc.

Completado el cálculo en realización y definidos todos los parámetros constructivos se debe verificar si la presión final efectiva se encuentra dentro de los valores esperados.

En este sentido se tendrá en cuenta:

- ❖ Cuando existan consumos en ruta, se calculará la presión final, (según la definición más arriba establecida), como resultado de las operaciones intermedias que corresponda realizar para considerar los tramos parciales que resulten definidos por la localización de dichos consumos.
- ❖ Cuando la interconexión se realice conectando el conducto a construir con otro en operación, directamente es decir sin interponer una cámara reguladora, la presión final deberá ser al

menos un 20% superior a la mínima operativa de este último, con la condición que la Presión de Diseño sea la misma.

- ❖ Cuando la interconexión se realice conectando el conducto a construir con otro en operación interponiendo una cámara reguladora, la Presión Final del gasoducto a construir, deberá ser al menos un 50% mayor que la Presión de Diseño del sistema a interconectar.

2.2.1.2.4. Factor de fricción

Existen numerosas fórmulas que resuelven el problema del cálculo del transporte de gas por cañerías permitiendo la determinación del caudal transportado por las mismas, lo que se realiza relacionando adecuadamente entre sí las diversas variables que intervienen en el problema y que, como sabemos, involucran a magnitudes físicas propias del sistema operativo y características intrínsecas del tipo de gas.

Intervienen así en la determinación del caudal que puede ser transportado por una cañería de un diámetro interior dado, parámetros como las presiones operativas y de referencia, ídem respecto a las temperaturas, la densidad del gas relativa al aire, el factor de compresibilidad, la longitud del conducto o la del tramo en estudio (o más correctamente la longitud equivalente) y el Factor de Fricción (f).

Podemos observar que las variables señaladas, son características propias del tipo de gas a transportar, dependen de decisiones que son tomadas al encarar el proyecto (caso de las presiones inicial y final) o resultan de las características topográficas y físicas del lugar de emplazamiento (longitud, desniveles, etc.).

Con relación al coeficiente o factor de fricción ocurre una cuestión particular pues depende de una serie de factores que involucran desde el tipo, dimensiones y estado de la cañería de conducción a ser utilizada (diámetro interior, espesor, rugosidad absoluta y relativa, estado de conservación y mantenimiento, etc.), hasta las características del régimen que tendrá el fluido en su circulación.

Las fórmulas utilizadas como alternativa de la citada son, en general, simplificaciones de la fórmula citada, la que a su vez resulta de un proceso matemático, realizado aplicando criterios de mecánica de fluidos.

Por tratarse de simplificaciones cada una de ellas tiene un determinado campo de aplicación (según rangos de presión y caudales).

La principal diferencia que presentan entre sí estas fórmulas está dada por el hecho de que los diversos autores que las han propuesto le asignan al factor de fricción " f " valores empíricos que permiten ciertas simplificaciones en los cálculos sin afectar significativamente los resultados.

La experiencia ha demostrado que el factor de fricción " f " depende del Número de Reynolds, tal como se detalla a continuación. En efecto, ha podido comprobarse que en la circulación de fluidos es aceptable considerar como simplificación, la participación de solamente fuerzas de inercia y de viscosidad, ya que la no consideración de las fuerzas gravitatorias no produce modificaciones de interés práctico.

Esto queda explicado por ser muy reducido el peso específico del gas. Al estudiar el problema de la circulación de fluidos, los investigadores comprendieron la necesidad de establecer criterios de semejanza que involucraran a todas las variables en juego.

Esto se logró al determinar el Número de Reynolds que mide precisamente la relación entre las fuerzas de inercia y las de viscosidad. Se estableció así que dos casos de circulación de fluidos que tuvieran igual Número de Reynolds serían dinámicamente semejantes. Lo expuesto llevó a que se confeccionaran diagramas y procedimientos de cálculo destinados a calcular el valor del factor de fricción en función del Número de Reynolds.

El tema es pues establecer un método de cálculo de relativa sencillez que posibilite la determinación del factor de fricción " f ".

En el presente Manual se aconseja adoptar para el cálculo de gasoductos la solución propuesta por Colebrook .

La expresión matemática a utilizar a estos fines es la siguiente:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = -4 \log \left(\frac{e/D}{3,7} + \frac{1,255}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Donde:

- ❖ f = Factor de fricción.
- ❖ e = Rugosidad (acero nuevo, $e = 0,0017$ cm).
- ❖ D = Diámetro interno de la cañería en cm.
- ❖ Re = Número de Reynolds.

2.2.1.2.5. Factor de compresibilidad

Al estudiar el dimensionamiento de cañerías resulta necesario considerar la influencia de la compresibilidad del gas, en razón de que el comportamiento del gas natural que en definitiva es una mezcla en proporciones variadas de los vapores de los diferentes hidrocarburos que lo componen (metano, propano, butano, etc.) difieren de las leyes que rigen a los gases perfectos.

En el caso del estudio de la conducción de gas en gasoductos que se realiza siempre a presiones relativamente elevadas, no tener en cuenta en los cálculos al factor de compresibilidad (z), lleva a cometer errores de importancia, de mayor significación cuanto más elevada sea la presión de diseño del conducto.

El Factor de Compresibilidad (z) depende de la presión y temperatura del gas a transportar, por lo que en cada caso su determinación debe ser

experimental. Sin embargo para fines prácticos es aceptable utilizar fórmulas empíricas entre las cuales se propicia como referencia la siguiente:

$$\sqrt{\frac{1}{Z}} = \sqrt{1 + 2,73322 \cdot 10^{-3} \cdot P_m}$$

Siendo P_m , la presión media, que puede a su vez ser calculada con la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{2}{3} * \left(\frac{P_i^3 - P_f^3}{P_i^2 - P_f^2} \right)$$

2.2.1.2.6. Densidad relativa del gas respecto al aire

La densidad relativa del gas respecto al aire está dada por el cociente entre la correspondiente a ese gas y la del aire, medidas ambas a la misma presión y temperatura de referencia.

La Densidad Relativa (G) del gas es adimensional ya que es el cociente de dos magnitudes expresadas con las mismas unidades.

En general este valor está dado como dato pues queda directamente establecido al efectuar la cromatografía del gas.

Si no se dispone como dato el valor de la densidad relativa del gas, pero sí se tiene su composición molar, la densidad relativa buscada puede obtenerse dividiendo el peso molecular de la mezcla de hidrocarburos gaseosos que componen el gas natural por el peso molecular del aire.

Para ello será necesario conocer el peso molecular de los componentes y la composición molar del gas en estudio. Es decir que dada la

composición molar de un gas dado, se podrá calcular su densidad relativa aplicando la siguiente fórmula:

$$G = \frac{\sum X_i * Pm_i}{Pm_{aire}}$$

Siendo:

- ❖ G = Densidad relativa del gas respecto al aire
- ❖ X_i = Composición molar de cada componente
- ❖ Pm_i = Peso molecular de cada componente
- ❖ Pm_{aire} = Peso molecular del aire

Tabla de pesos moleculares de los componentes del gas natural

Componente	Fórmula	Peso molecular
Metano	CH ₄	16,043
Etano	C ₂ H ₆	30,070
Propano	C ₃ H ₈	44,097
Butano	C ₄ H ₁₀	58,124
Pentano	C ₅ H ₁₂	72,151
Hexano	C ₆ H ₁₄	86,178
Heptano	C ₇ H ₁₆	100,205
Dióxido de Carbono	CO ₂	44,011
Nitrógeno	N ₂	28,016
Oxígeno	O ₂	32,00
Agua	H ₂ O	18,016
Aire		28,967

2.2.1.2.7. Temperatura del gas

Existen dos valores a ser considerados:

- ❖ T_o : Temperatura del gas en condiciones normales de referencia que se establece en 15 °C ó sea 288 °K
- ❖ T : Temperatura Real (T), para los casos de circulación normal.

2.2.1.2.8. Presión de referencia

La Presión de Referencia (P_o), se refiere a la presión del gas en condiciones normales.

A estos efectos se adopta:

$$P_o = 1.033 \text{ Kg/cm}^2.$$

2.2.1.2.9. Longitud del tramo

Se trata efectivamente de la longitud de cálculo (L), aplicable a cada uno de los tramos, según resulte del trazado real.

Los valores correctos deben ser obtenidos del análisis detallado de la Planialtimetría de la obra.

Con el objeto de no dejar de considerar la normal ondulación de la cañería consecuencia de las técnicas constructivas aplicadas a su montaje y de la longitud equivalente que se debe computar para tener en cuenta la presencia de válvulas, accesorios, etc. en los cálculos de primera aproximación, se aconseja incrementar la longitud medida en un 2%.

2.2.1.2.10. Caudal de diseño

El Caudal de Diseño constituye un dato básico del cálculo del diámetro de la cañería y debe ser establecido en cada caso particular por el calculista apoyado en consideraciones que deberán surgir de estudios previos.

Se debe tener en cuenta que el valor en definitiva asignado debe ser el adecuado para satisfacer los requerimientos del sistema a alimentar a lo largo de la vida útil del proyecto o durante el período que se establezca.

Con carácter general puede decirse que el Caudal de Diseño depende de las siguientes variables:

- ❖ Disponibilidad de gas.
- ❖ Capacidad de transporte de la línea a la que se interconectará su cabecera y desde donde se realizará la alimentación del fluido a transportar.
- ❖ Requerimiento de consumos en ruta y finales, del mercado potencial a abastecer.
- ❖ Clasificación de los consumos por tipo de usuarios (residenciales, comerciales, industriales y para generación eléctrica).
- ❖ Clasificación de los consumos potenciales en función de su estacionalidad.
- ❖ Clasificación de los consumos según su posible carácter de fijos e interrumpibles.
- ❖ Hipótesis de crecimiento de la demanda para el período de vida útil del proyecto.
- ❖ Hipótesis de crecimiento de la oferta por aumento de la capacidad de transporte del gasoducto proyectado y etapas de sus ampliaciones.
- ❖ Influencia de la eficiencia del conducto en el caudal transportado.

El Caudal de Diseño debe ser preestablecido y entrarlo como dato en el cálculo de determinación del diámetro definitivo. Adoptado el caudal de diseño y asignando valores a todos los parámetros que intervienen en el

cálculo, se procede a verificar si el caudal que pueden transportarse con el ducto en diseño, iguala al necesario.

Cuando el caudal calculado sea inferior o superior al esperable, se debe proceder a ajustar el cálculo aumentando o disminuyendo el valor del Diámetro propuesto, hasta lograr el resultado requerido, teniendo en cuenta que el valor de caudal transportado obtenido por el cálculo (Caudal de Cálculo), debe ser en todos los casos superior al Caudal de Diseño propuesto como dato.

El Caudal de Diseño se establece en función del valor horario que el mismo debe asumir. Como el Caudal de Diseño estará formado por la suma de los caudales totales a atender (residenciales, industriales, de generación eléctrica, etc.), debe tomarse atención en la correcta definición de los valores pico horarios que deben ser considerados.

En general son conocidos los valores pico horarios de los consumos industriales, los que deben ser obtenidos mediante censos o planillas de consumos presentadas por los propios usuarios en las que deberá constar el régimen de utilización, es decir, continuo, jornada normal de 8 horas, doble turno, etc. y los consumos domésticos.

Los siguientes son aspectos que deben ser tomados en consideración:

- ❖ Características propias de la región en estudio.
- ❖ Valores históricos registrados y tendencias.
- ❖ Influencia de la calefacción y refrigeración a gas.
- ❖ Estacionalidad.

2.2.1.3. Trazados tentativos

2.2.1.3.1. Trazados alternativos

Uno de los aspectos que deben ser considerados al definir el diámetro de la cañería, tal como se ha indicado, es su longitud por ser esta una de las variables esenciales que deben ser consideradas.

Es bastante frecuente que al estudiar el tendido de un gasoducto se observe la necesidad de analizar trazados alternativos. La elección de la traza que en definitiva se considere más conveniente posibilitará aportar al proceso de cálculo la información buscada para la determinación del diámetro de la cañería y también su espesor.

En efecto, si bien es probable que el diámetro de la cañería necesario para transportar el caudal requerido no variará sensiblemente por las modificaciones de espesor que puede llegar a imponer un cuidadoso estudio de la clase de trazado, es necesario que este aspecto deba de todos modos ser tenido en cuenta en la fase final de los estudios para poder establecer con mayor precisión la capacidad de transporte del conducto.

Lo expuesto es particularmente válido, cuando se estudian gasoductos diseñados para el transporte de grandes volúmenes a presiones elevadas, factores que determinan la selección de diámetros, circunstancia ésta que aumenta la influencia de un mayor espesor ya que disminuye la sección de paso.

2.2.1.3.2. Factores a considerar

Las razones que pueden llevar a seleccionar un trazado entre varias alternativas son variadas, pudiéndose sin embargo decir que los principales aspectos a tener en cuenta son los siguientes:

- ❖ Minimizar la longitud total, ya que de este modo se podrá reducir el costo de instalación y aumentar la capacidad de transporte (por disminución de la pérdida de carga).

- ❖ Evitar la necesidad de realizar obras de arte de compleja realización (procurando disminuir costos y posibles atrasos en la realización de los trabajos).
- ❖ Contemplar la posibilidad de alejar la cañería lo más posible de zonas urbanas y de sitios suburbanos y rurales con tendencia a modificar su característica poblacional.
- ❖ Evitar la localización de la cañería en zonas donde existan o se prevea la construcción de electroductos.
- ❖ Para el caso que la cañería deba ser colocada en la proximidad de vías de comunicación vehicular de cualquier tipo, asegurarse que no será afectada por tareas de mantenimiento de banquetas, construcción de desagües o alcantarillas o ampliación de calzadas.
- ❖ Eludir en la medida de lo posible zonas anegadizas, por lo mayores costos que implicaría la instalación de los sobrepesos necesarios para evitar su flotabilidad.
- ❖ Considerar la incidencia del suelo como agente corrosivo.

2.2.1.3.3. Influencia del conexionado

Además de lo expuesto y ante la necesidad de evaluar aspectos constructivos de fundamental importancia que hacen al diseño y al cálculo por las pérdidas de carga que involucran, resulta necesario analizar asimismo los puntos de partida y llegada del gasoducto y los correspondientes a derivaciones e ingresos de gas.

- ❖ Características del punto de conexión donde se inyectará el gas a ser transportado, observando las construcciones que deberán ser realizadas a tal efecto y las pérdidas de carga que puede introducir tal conexionado.
- ❖ Ídem respecto al punto de entrega y a puntos intermedios de ingreso o salida del gas.

2.2.1.3.4. Otros aspectos

- ❖ Las características topográficas de la región a atravesar, con el objeto de evaluar la influencia de la altura que deba ser salvada, cuando este aspecto resulte importante.
- ❖ El tipo de obras de arte o trabajos especiales a realizar, en el caso que las mismas introduzcan restricciones al paso de gas que se considere necesario contemplar.
- ❖ Los cambios de diámetro que pudiera tener la cañería en algún tramo.
- ❖ La consideración de los “loops” asociados a la cañería.
- ❖ Las pérdidas de carga que debieran tenerse en cuenta en razón de válvulas seccionales instaladas, accesorios, etc.

2.2.1.4. Selección de la traza

2.2.1.4.1. Demarcación preliminar

Por lo expuesto, previo a establecer la traza definitiva y según las características de cada proyecto particular, deben concretarse las siguientes acciones:

- ❖ Demarcar el trazado tentativo propuesto como primera aproximación, utilizando a estos fines una carta geográfica o plano general del lugar en que se realizará el tendido.
- ❖ Señalización de accidentes geográficos (ríos, arroyos, lagunas, terrenos pantanosos, montañas, sierras o elevaciones de cualquier tipo, etc.).
- ❖ Idem respecto a construcciones existentes, estructuras de cualquier tipo, autopistas, rutas, vías ferroviarias, canales, acueductos, líneas de alta tensión, cables subterráneos para comunicaciones, calles, etc.

- ❖ Idem respecto a construcciones proyectadas relativas a estructuras de cualquier tipo (autopistas, rutas, vías ferroviarias, canales, acueductos, líneas de alta tensión, cables subterráneos para comunicaciones, calles, etc.).

2.2.1.4.2. Análisis de interferencias

Atendiendo a que todo tipo de interferencias con el trazado llevan a la necesidad de realizar trabajos especiales y construir obras de arte, las mismas deben ser cuidadosamente analizadas antes de decidir respecto al trazado definitivo para asegurar que:

- ❖ Las estructuras o instalaciones existentes no sufrirán afectaciones a causa del gasoducto en construcción.
- ❖ La cañería a instalar no resultará a su vez afectada por su localización en los sitios previstos por la realización de obras futuras de terceros.
- ❖ No se producirán afectaciones al medio ambiente ni se infringirán normativas vigente respecto a la realización de obras en la vía pública

2.2.1.4.3. Resumen de las consideraciones realizadas

Resumiendo la selección de la traza se realizará:

- ❖ Teniendo en cuenta que deberá evitarse todo tipo de afectación a:
 - Zonas arboladas.
 - Plantaciones especiales (vides, etc.).
 - Edificios existentes.
 - Acequias y canalizaciones de drenaje de agua.
 - Etc.

- ❖ Analizando principalmente las siguientes características del terreno:
 - Presencia y extensión de terrenos rocosos o duros, donde resultará necesario utilizar para el zanjeo: explosivos, escariadores, etc.
 - Resistividad eléctrica a fin de establecer las especificaciones de la protección anticorrosiva.
- ❖ Disponibilidad de la siguiente información:
 - Longitud parcial y total del conducto.
 - Espesores de la cañería por tramos, cuando la clase de trazado se modifique o la que corresponda considerar en el caso que fuera siempre la misma.
 - Profundidad promedio considerando interferencias o lugares de diferente dureza, zonas anegadizas, etc.
 - Existencia de proyectos relativos a obras planificadas con anterioridad al gasoducto que pudieran provocar futuras interferencias o proyectos de urbanización.

2.2.1.5. Clase de trazado

La Clase de Trazado afecta a la determinación del espesor de la cañería ya que en base a la misma se determina el Factor de Diseño F, que es variable para cada Clase y que se establece según un criterio de mayor exigencia de espesor para los trazados localizados en zonas más edificadas o con mayor presencia humana.

La Clase de Trazado se establece por Unidades de Clase de Trazado (ver Norma N.A.G. 100, Parte A, Sección 5), que van siendo definidas a lo largo de la traza desde su cabecera o lugar de inyección del fluido hasta su extremo final donde se realiza la transferencia del gas transportado al área de consumo.

Cada unidad de clase de trazado se determina definiendo una superficie que se extiende 200 metros a cada lado del eje longitudinal de un tramo

continuo del gasoducto o ramal en estudio y en una longitud de 1600 metros.

Luego de establecer esta superficie sobre el mapa de análisis se procede a establecer en campo o sobre fotografías aéreas disponibles, la cantidad de edificios existentes dentro de la misma y sus características y categorías, ya sean: unidades de vivienda, ocupación humana en actividades deportivas, de recreación o de reunión, destinadas ala realización de trabajos o actividades comerciales, etc.

Según lo establece la norma citada, cada unidad de vivienda en un edificio de múltiples viviendas debe ser contado como edificio separado destinado a ocupación humana.

En función de lo expuesto se definen cuatro clases de trazado, aplicando el siguiente procedimiento:

2.2.1.5.1. Clase de trazado 1

Corresponde a la **unidad de clase de trazado** (1600 metros x 400 metros) que contiene 10 ó menos unidades de vivienda destinadas a ocupación humana.

2.2.1.5.2. Clase de trazado 2

Corresponde a la unidad de clase de trazado que contiene más de 10 pero menos de 46 unidades de vivienda destinadas a ocupación humana.

2.2.1.5.3. Clase de trazado 3

Corresponde a la unidad de clase de trazado en la que se cumplen las siguientes condiciones:

- ❖ La unidad de clase de trazado estudiada contiene 46 ó más unidades de vivienda destinadas a ocupación humana.

- ❖ La unidad de clase de trazado estudiada contiene menos de 46 unidades de vivienda destinadas a ocupación humana, pero la cañería está colocada a 100 metros o menos de un edificio que es ocupado por 20 ó más personas durante el uso normal.
- ❖ La unidad de clase de trazado estudiada contiene menos de 46 unidades de vivienda destinadas a ocupación humana, pero la cañería está colocada a 100 metros o menos de una pequeña área abierta, bien definida, que es ocupada por 20 ó más personas durante el uso normal, pudiendo tal área ser destinada a campo de deportes o juegos, zona de recreación, teatros al aire libre u otro lugar de reunión pública.

2.2.1.5.4. Clase de trazado 4

Corresponde a la unidad de clase de trazado donde predominen edificios de cuatro o más pisos sobre el nivel del terreno.

Definida el área correspondiente a la unidad de clase de trazado, como quedó expresado, sus límites en el sentido longitudinal deben ser extendidos:

- ❖ Hasta 200 metros del edificio más próximo de cuatro o más pisos sobre el nivel del terreno. Esta medida tiene como objetivo asegurar que hasta esa distancia la cañería estará localizada en Clase 4. En consecuencia, una Clase 4 de trazado finaliza a 200 metros del edificio más próximo de cuatro o más pisos sobre el nivel del terreno.
- ❖ Hasta 200 metros de los edificios más próximos del grupo cuando la unidad de clase de trazado corresponda a Clase 3, es decir, que una Clase 3 de trazado finalizará a los 200 metros de los edificios más próximos correspondientes a esta clase.
- ❖ Hasta 200 metros de los edificios más próximos del grupo cuando la unidad de clase de trazado corresponda a Clase 2, es decir, que una Clase 2 de trazado finalizará a 200 metros de los edificios más próximos correspondientes a esta clase.

2.2.1.6. Factor de diseño

2.2.1.6.1. Factor de diseño según clase de trazado

El Factor de Diseño (F) influye según la clase de trazado en la determinación del espesor de la cañería.

Según lo dispuesto en la Parte C, Sección 111 de la N.A.G. 100, con las excepciones que más abajo se detallan, corresponde considerar para cada una de las Clases de Trazado los siguientes valores de F:

Coeficientes a tener en cuenta en la determinación del espesor de la cañería, según cada clase de trazado

Clase de Trazado	Factor de Diseño (F)
1	0.72
2	0.60
3	0.50
4	0.40

2.2.1.6.2. Variaciones en la clase de trazado

Al analizar un tramo de cañería, puede corresponder aplicar más de un factor de diseño, por lo que el espesor podrá ser en consecuencia distinto a lo largo de la traza por influencia de variaciones en la clase de trazado y por imposición de la norma que establece exigencias superiores a la de la clase en relación cuando se dan las circunstancias que se indican en el cuadro siguiente:

- ❖ En trazados de Clase 1 y para cruces de caños de acero sin camisa en la zona de servidumbre de un camino público sin mejores, se adoptará $F = 0,60$ (en lugar de $F = 0,72$ que se aplica para el resto de la Clase, excepto particularidades de esta característica).

- ❖ En trazados de Clase 1 y para cruces de caños de acero sin camisa o instalaciones de cañerías que corran paralelas a la servidumbre de cualquier camino o superficie dura, ruta, calle pública o ferrocarril, se adoptará $F = 0,60$.
- ❖ En trazados de Clase 1 y cuando el caño de acero esté instalado suspendido de un puente para vehículos, peatonal o ferroviario o para cañerías, se adoptará $F = 0,60$.
- ❖ En trazados de Clase 1 y cuando la cañería sea usada en la fabricación de conjuntos (incluyéndose separadores, conjuntos para válvulas de líneas principales, conexiones en cruces y colectores de cruce de ríos) o usado dentro de los cinco diámetros de cañería, en cualquier dirección desde el último accesorio de un conjunto que no sea una pieza de transición o un codo usado en lugar de una curva que no esté asociado con un conjunto fabricado, se adoptará $F = -0,60$.
- ❖ En trazados de Clase 2 y para cruces de caño de acero sin camisa en la zona de servidumbre de un camino de superficie compactada dura, un ruta, una calle pública o un ferrocarril, se adoptará $F = 0,50$ (en lugar de $F = 0,60$ que corresponde aplicar para el resto de la Clase, excepto particularidades de esta característica).
- ❖ En trazados de Clase 1 y 2 para el dimensionamiento del espesor de la cañería correspondiente a trampas de scraper, válvulas seccionales de bloqueo, derivación y venteo, plantas de regulación y puentes de medición, se adoptará $F = 0,50$ ó menor cuando se den las siguientes circunstancias:
 - Estas trampas de scraper, puentes de venteo, plantas de regulación y puentes de medición que estén ubicados a una distancia de hasta 200 metros medidos desde el punto más cercano del gasoducto y hasta el cerco perimetral olímpico de esas instalaciones.
 - El caño de conducción se cruce con electroductos de 500 kv o más. En estos casos la aplicación del coeficiente $F = 0,50$ se realizará para el tramo comprendido por una distancia de 50 metros medidos antes y después del cruce.

2.2.1.6.3. Criterios de aplicación en gasoductos

- ❖ En la construcción de gasoductos, corresponde aplicar el Coeficiente $F = 0,72$ en trazados de Clase 1, a lo largo de toda la traza en servidumbres privadas, en:
 - Invasiones parciales de caminos privados.
 - Invasiones parciales de caminos no mejorados.
 - Cruces sin camisa de caminos privados.
 - Cruces encamisados de caminos públicos no mejorados.
 - Cruces encamisados de caminos de superficie dura.
 - Cruces encamisados de rutas.
 - Cruces encamisados de autopistas.
 - Cruces encamisados de calles públicas.
 - Cruces encamisados de ferrocarriles.

- ❖ No corresponde aplicar el Coeficiente $F = 0,72$ si no el que más abajo se detalla, en trazados de Clase 1, cuando se den las siguientes condiciones:
 - Cruce sin camisa de la servidumbre de un camino público sin mejoras.
 - Cruce sin camisa o corra paralelo a la servidumbre de cualquier camino de superficie dura (pavimentado o mejorado).
 - Cruce sin camisa o corra paralelo a la servidumbre de una ruta nacional o provincial.
 - Cruce sin camisa o corra paralelo a la servidumbre de una calle pública.
 - Cruce sin camisa o corra paralelo a la servidumbre de un ferrocarril.
 - El caño esté soportado por un puente diseñado para cruce de vehículos.

- El caño esté soportado por un puente peatonal.
 - El caño esté soportado por un puente ferroviario.
 - El caño esté soportado por un puente diseñado para la sustentación de cañerías.
 - El tramo de cañería comprendido 50 metros antes y después del cruce con electroductos de 500 kv. o más.
- ❖ Corresponde aplicar el Coeficiente $F = 0,60$ en trazados de Clase 2, a lo largo de toda la traza en servidumbres privadas, cuando:
- Se realicen invasiones paralelas sobre caminos privados.
 - Se realizan invasiones paralelas sobre caminos públicos no mejorados.
 - Se realizan invasiones paralelas sobre caminos de superficie dura.
 - Se realizan invasiones paralelas de autopistas.
 - Se realizan invasiones paralelas de calles públicas.
 - Se realizan invasiones paralelas de ferrocarriles.
 - Se realizan cruces sin camisa de caminos privados.
 - Se realizan cruces sin camisa de caminos públicos no mejorados.
 - Se realizan cruces encamisados de caminos de superficie dura (pavimentados o mejorados).
 - Se realizan cruces encamisados de autopistas.
 - Se realizan cruces encamisados de calles públicas.
 - Se realizan cruces encamisados de ferrocarriles.
 - El caño esté soportado por un puente diseñado para cruce de vehículos.
 - El caño esté soportado por un puente peatonal.
 - El caño esté soportado por un puente ferroviario.
 - El caño esté soportado por un puente diseñado para la sustentación de cañerías.

- ❖ No corresponde aplicar el Coeficiente $F = 0,60$ si no el que más abajo se detalla, en trazados de Clase 2, cuando se den las siguientes condiciones:
 - Cruce sin camisa de la servidumbre de un camino de superficie compactada (dura).
 - Cruce sin camisa de la servidumbre de una ruta nacional o provincial.
 - Cruce sin camisa de la servidumbre de una calle pública.
 - El tramo de cañería comprendido 50 metros antes y después del cruce con electroductos de 500 kv. o más.

- ❖ Corresponde aplicar el Coeficiente $F = 0,60$ en trazados de Clase 1, a lo largo de toda la traza en servidumbres privadas, cuando:
 - Cruce sin camisa de la servidumbre de un camino público sin mejoras.
 - Cruce sin camisa o corra paralelo a la servidumbre de cualquier camino de superficie dura (pavimentado o mejorado).
 - Cruce sin camisa o corra paralelo a la servidumbre de una ruta nacional o provincial.
 - Cruce sin camisa o corra paralelo a la servidumbre de una calle pública.
 - Cruce sin camisa o corra paralelo a la servidumbre de un ferrocarril.
 - El caño esté soportado por un puente diseñado para cruce de vehículos.
 - El caño esté soportado por un puente peatonal.
 - El caño esté soportado por un puente ferroviario.
 - El caño esté soportado por un puente diseñado para la sustentación de cañerías.

-
- El tramo de cañería comprendido 50 metros antes y después del cruce con electroductos de 500 Kv. o más.

 - ❖ Corresponde aplicar el Coeficiente $F = 0,50$ en trazados de Clase 3, a lo largo de toda la traza en servidumbres privadas, en los siguientes casos:
 - Invasiones paralelas sobre caminos privados.
 - Invasiones paralelas sobre caminos públicos no mejorados.
 - Invasiones paralelas sobre caminos de superficie dura.
 - Invasiones paralelas sobre autopistas.
 - Invasiones paralelas sobre calles públicas.
 - Invasiones paralelas sobre ferrocarriles.
 - Cuando se realizan cruces sin camisa de caminos privados.
 - Cuando se realizan cruces sin camisa de caminos públicos no mejorados.
 - Cuando se realizan cruces sin camisa de caminos de superficie dura (pavimentados o mejorados).
 - Cuando se realizan cruces sin camisa de rutas.
 - Cuando se realizan cruces sin camisa de autopistas.
 - Cuando se realizan cruces sin camisa de calles públicas.
 - Cuando se realizan cruces sin camisa de ferrocarriles.

 - ❖ Corresponde aplicar el Coeficiente $F = 0,50$ en trazados de Clase 2, a lo largo de toda la traza en servidumbres privadas, en los siguientes casos:
 - Cruce sin camisa de la servidumbre de un camino de superficie compactada (dura).
 - Cruce sin camisa de la servidumbre de una ruta nacional o provincial.
 - Cruce sin camisa de la servidumbre de una calle pública.
 - Cruce sin camisa de la servidumbre de una autopista.
 - Cruce sin camisa de la servidumbre de un ferrocarril.

- El tramo de cañería comprendido 50 metros antes y después del cruce con electroductos de 500 kv. o más.
- ❖ Corresponde aplicar el Coeficiente $F = 0,40$ en trazados de Clase 4, a lo largo de toda la traza en servidumbres privadas, en los siguientes casos, sin excepción:

2.2.1.6.4. Criterios de aplicación en conjuntos

Los criterios de aplicación del coeficiente “F” en el cálculo del espesor de caños de acero correspondientes a la fabricación de conjuntos son los siguientes:

- ❖ Corresponde la utilización del coeficiente $F = 0,60$ para el cálculo del espesor de cañerías utilizadas en las siguientes construcciones, ubicadas en Trazados de Clase 1 y 2:
 - Separadores.
 - Conjuntos para válvulas de líneas principales.
 - Conexiones en cruces y colectores de cruces de ríos.
 - Construcciones ubicadas dentro de los cinco diámetros de la línea principal en cualquier dirección desde el último accesorio de un conjunto fabricado, que no sea una pieza de transición o un codo usado en lugar de una curva, que no esté asociado con un conjunto fabricado.
- ❖ Para el cálculo del espesor de cañerías utilizadas en las siguientes construcciones, ubicadas en Trazados de Clase 1, 2 y 3 corresponde utilizar el coeficiente $F = 0,50$ y para las mismas construcciones ubicadas en Trazados de Clase 4 corresponde utilizar el coeficiente $F = 0,40$.
 - Caños utilizados en la construcción de trampas de scraper ubicadas a una distancia de hasta 200 metros del

gasoducto medidos desde el mismo y hasta su cerco perimetral olímpico.

- Caños utilizados en la construcción de puentes de venteo ubicados a una distancia de hasta 200 metros del gasoducto medidos desde el mismo y hasta su cerco perimetral olímpico.
- Caños utilizados en la construcción de plantas de regulación ubicadas a una distancia de hasta 200 metros del gasoducto medidos desde el mismo y hasta su cerco perimetral olímpico.
- Caños utilizados en la construcción de puentes de medición ubicados a una distancia de hasta 200 metros del gasoducto medidos desde el mismo y hasta su cerco perimetral olímpico.

2.2.1.7. Tablas resumen

Para facilitar la aplicación de estos coeficientes se han agregado las siguiente tablas resumen, correspondientes a:

- ❖ Construcciones en invasión paralela de gasoductos a zonas ocupadas por otras obras de infraestructura.
- ❖ Idem por cruces sin caño camisa.
- ❖ Idem con caño camisa.

**Valores asignados a "F"
en invasión paralela de Gasoductos
Resumen**

Localización (*)	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Caminos privados	0,72	0,60	0,50	0,40
Caminos públicos no mejorados	0,72	0,60	0,50	0,40
De superficie dura	0,60	0,60	0,50	0,40
Autopistas	0,60	0,60	0,50	0,40
Ferrocarriles	0,60	0,60	0,50	0,40

(*) Invasión paralela de gasoductos.

**Valores asignados a "F"
por cruce de Gasoductos sin caño camisa
Resumen**

Localización (*)	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Caminos privados	0,72	0,60	0,50	0,40
Caminos públicos no mejorados	0,60	0,60	0,50	0,40
De superficie dura	0,60	0,50	0,50	0,40
Autopistas	0,60	0,50	0,50	0,40
Ferrocarriles	0,60	0,50	0,50	0,40

(*) Invasión sin caño camisa de gasoductos.

**Valores asignados a "F"
por invasión de Gasoductos con caño camisa
Resumen**

Localización (*)	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Todos los casos	0,72	0,60	0,50	0,40

(*) Invasión de gasoductos, con caño camisa.

2.2.2. Cálculo

2.2.2.1. Fórmula de cálculo

El Caudal de Cálculo (Q) puede ser obtenido mediante la aplicación de diversas fórmulas aconsejadas por la bibliografía técnica de la especialidad.

Dadas las actuales circunstancias en que es posible recurrir al uso de ordenadores, ya no resulta aconsejable la aplicación de fórmulas de cálculo simplificadas que introducen errores que en el pasado eran considerados aceptables, en atención a la complejidad que presentaba la realización de los correspondientes cálculos.

Se recurre pues en la actualidad en general a la llamada "Fórmula General", que resulta de desarrollos teóricos por aplicación de conceptos de la mecánica de fluidos, recurriendo además al uso de coeficientes prácticos derivados de valores obtenidos experimentalmente.

2.2.2.1.1. Fórmula de cálculo para terrenos sin desnivel

Para terrenos donde no resulta de gran incidencia el desnivel del terreno a lo largo del trazado, la fórmula señalada toma el siguiente valor:

$$Q = 0,007545 \cdot \frac{T_0}{P_0} \cdot E \cdot \sqrt{\frac{(P_i^2 - P_r^2) \cdot D^5}{f \cdot Z \cdot G \cdot T \cdot L}}$$

Siendo:

- ❖ Q = Caudal de Cálculo (m³/hora).
- ❖ 0,007545 = Coeficiente de homogeneización de unidades.
- ❖ T₀ = Temperatura base en (° K).

- ❖ P_o = Presión base (se adopta $P_o = 1,033 \text{ Kg/cm}^2$).
- ❖ P_i = Presión inicial (Kg/cm^2 absoluta).
- ❖ P_f = Presión final (Kg/cm^2 absoluta).
- ❖ f = Coeficiente de fricción.
- ❖ Z = Factor de compresibilidad.
- ❖ G = Densidad relativa del gas respecto del aire.
- ❖ T = Temperatura del gas (se adopta $288 \text{ }^\circ\text{K}$).
- ❖ L = Longitud del tramo en estudio (Km).
- ❖ D = Diámetro interior (cm).
- ❖ E = Eficiencia según estado de la cañería.

2.2.2.1.2. *Fórmula de cálculo para terrenos con desnivel*

Cuando el desnivel es importante la Fórmula de Aplicación para la determinación del Caudal de Cálculo es la siguiente:

$$Q = 0,0776 \cdot E \cdot \frac{T_o}{P_o} \cdot \sqrt{\frac{(P_i^2 - P_f^2) - \frac{0,0683 \cdot G \cdot (H_2 - H_1) \cdot P_m^2}{Z \cdot T}}{f \cdot Z \cdot G \cdot T \cdot L}} \cdot D^5$$

Donde:

- * E, To, Po, Pi, Pf, D, f, Z, G, T y L se corresponden con lo anteriormente expuesto.
- * H_2 = Elevación final en metros.
- * H_1 = Elevación inicial en metros
- * P_m = Presión promedio en Kg/cm².

2.2.2.2. Variables involucradas

Para la determinación del Diámetro Interior de la Cañería, se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- ❖ Especificación de la cañería a utilizar
 - Norma
 - Diámetro Nominal (Dn)
 - Diámetro Exterior (De)
 - Espesor (t)
 - Tensión de fluencia del material (S)
 - Factor de junta (E)
- ❖ Temperatura del Gas
 - Factor de Temperatura (T)
- ❖ Aspectos del Trazado
 - Factor de Diseño (F)
 - Longitud del Tramo en Estudio

❖ Aspectos de la transmisión de gas

- Caudal de Cálculo.
- Presión Inicial.
- Presión Final.
- Presiones Intermedias.
- Temperatura del Gas.
- Factor de Fricción.
- Factor de Compresibilidad.
- Gravedad específica del gas.
- Diferencia de nivel.
- Rugosidad de la cañería.

2.2.2.2.1. Especificación de la Cañería

Para la construcción de Gasoductos y Ramales se utilizarán cañerías de acero, de acuerdo con lo indicado en la Sección 55 de la Norma N.A.G. 100.

2.2.2.2.2. Tensión de Fluencia

Se refiere a la Tensión de Fluencia Mínima Especificada (S) por el fabricante de la cañería seleccionada. A estos efectos resulta de aplicación lo indicado en la Parte C, Sección 107 y la Tabla G-2 del Apéndice G-2 de la N.A.G. 100.

Sin embargo para las aplicaciones en lo que respecta a la construcción de gasoductos, ramales y tramos de redes de distribución en acero, cuando no resulte por razones operativas conveniente utilizar cañerías de polietileno, se utilizarán exclusivamente las siguientes:

Cañerías de acero de utilización permitida en la construcción de gasoductos y ramales

Especificación	Grado	Tipo	TFME (psi)	TFME (bar)
API 5L	A	EW,GMAW,S,SAW	30.000	2,068.43
API 5L	B	EW,GMAW,S,SAW	35.000	2,413.17
API 5L	X 42	EW,GMAW,S,SAW	42.000	2,895.80
API 5L	X 46	EW,GMAW,S,SAW	46.000	3,171.59
Especificación	Grado	Tipo	TFME (psi)	TFME (bar)
API 5L	X 52	EW,GMAW,S,SAW	52.000	3,585.28
API 5L	X 56	EW,GMAW,S,SAW	56.000	3,861.07
API 5L	X 60	EW,GMAW,S,SAW	60.000	4,136.86
API 5L	X 65	EW,GMAW,S,SAW	65.000	4,481.59
API 5L	X 70	EW,GMAW,S,SAW	70.000	4,826.33

Cañerías de acero de utilización permitida en la construcción de redes de distribución

Especificación	Grado	Tipo	TFME (psi)	TFME (bar)
ASTM A 53	A	ERW, S	30.000	2,068.43
ASTM A 53	B	ERW, S	35.000	2,413.17

Referencias:

TFME : Tensión de fluencia mínima especificada por el fabricante
 EW : Soldado eléctricamente
 GMAW : Soldado por arco metal – gas inerte
 S : Sin costura
 SAW : Soldado por arco sumergido

2.2.2.2.3. Factor de junta

Para la construcción de gasoductos a realizarse utilizando los caños de acero autorizados, según lo indicado en 2.2.2.2.2., corresponde adoptar como factor de eficiencia operativa $E = 1$.

2.2.2.2.4. Factor de Temperatura

Para la construcción de gasoductos a realizarse utilizando los caños de acero autorizados, según lo indicado en 2.2.2.2.2., corresponde adoptar como factor de eficiencia operativa $E = 1$.

2.2.2.2.5. Espesores mínimos

En ningún caso se utilizarán espesores inferiores a los que resulten del cálculo.

2.2.2.3. Cálculo del espesor

Para la determinación del espesor de la cañería se debe tener en cuenta la calidad del material utilizado, la presión de diseño y el diámetro de la cañería.

2.2.2.3.1. Fórmula de cálculo

El cálculo del espesor de la cañería correspondiente a gasoductos y

$$t = \frac{P * D}{2 * S * F * E * T}$$

ramales debe ser realizado por aplicación de la siguiente fórmula en la que se respetará la homogeneidad de las unidades utilizadas.

Donde:

- ❖ P = Presión de diseño.
- ❖ S = Tensión de fluencia mínima especificada de la cañería.
- ❖ D = Diámetro nominal exterior de la cañería.

- ❖ F = Factor de Diseño.
- ❖ E = Factor de Junta Longitudinal.
- ❖ T = Factor de Temperatura.

2.2.2.3.2. Espesor de diseño

El espesor de diseño o espesor adoptado para la construcción debe definirse en función del espesor comercial obtenible en plaza, superior más próximo, según la norma de fabricación de la cañería.

El espesor adoptado debe cumplir las siguientes condiciones:

- ❖ No podrá ser inferior al espesor de cálculo.
- ❖ Podrá ser superior si razones de disponibilidad de stock disponible lo justifican.
- ❖ Podrá ser superior si razones comerciales o de disponibilidad de la plaza lo justifica.

2.2.2.4. Cálculo del diámetro interior de la cañería

Resumiendo lo anteriormente expuesto, la determinación del diámetro interior de la cañería a ser empleada en gasoductos y ramales, se determina siguiendo el siguiente procedimiento:

- ❖ Se establece el Caudal de Diseño.
- ❖ Se propone un Diámetro Interno tentativo.
- ❖ Se define el trazado
- ❖ Se establece la longitud de cálculo
- ❖ Se asignan valores a todas las variables intervinientes.
- ❖ Se determina el Caudal de Cálculo.

- ❖ Se verifica que el Caudal de Cálculo iguale o supere al Caudal de Diseño.
- ❖ Se define el espesor correcto teniendo en cuenta la oferta comercial o disponibilidad de cañería de stock.
- ❖ Se ajusta el cálculo haciendo intervenir todas las variables definitivas involucradas incluido el espesor seleccionado.
- ❖ Se establece el diámetro interior definitivo.
- ❖ Se recalcula el caudal de cálculo.

2.2.2.5. Utilización de programas de cálculo

Todo lo expuesto en cuanto a asignación de valores a las diferentes variables que intervienen en los cálculos resulta de aplicación también para el caso que se utilicen programas de cálculo.

Cuando así se proceda se harán las adaptaciones que el mismo programa solicite.

2.2.3. Criterios de diseño

2.2.3.1. Reconocimiento de la traza

Completados los estudios preliminares deben ser realizados estudios sobre el terreno, es así que definido el trazado en sus aspectos generales, se llevan a cabo las siguientes tareas:

- ❖ Recopilación de cartografía disponible que cubra todos los aspectos relacionados con la topografía del terreno en que se realizará el tendido del gasoducto.
- ❖ Confección de un plano de trazado general en el que se señalará el tendido tentativo de la línea, definiendo los aspectos más característicos del proyecto, tales como:

-
- Puntos de iniciación, llegada y otros que estén aproximadamente preestablecidos, como centros de consumo, de interconexión con otros sistemas, etc.
 - Localización aproximada de válvulas de bloqueo, teniendo en cuenta lo establecido al respecto en la Norma N.A.G. 100, Parte D, Sección 179.
 - Localización de plantas de lanzamiento y recepción de scrapers y de plantas intermedias, si correspondiera. Se tendrá en cuenta a estos efectos que entre las plantas de lanzamiento y recepción no debe existir una distancia superior a los 100 Km.
 - Localización de plantas de regulación prevista para la interconexión del gasoducto con las instalaciones a abastecer, ya sean consumo industriales o usos residenciales en centros poblados.
 - Presión de operación y diámetro tentativo, con el objeto de tomar en consideración su influencia en aspectos relacionados con el trazado (posible ubicación en préstamos de rutas, caminos secundarios, resolver interferencias con vías de comunicación, canales u otros cursos de agua, etc.).
 - ❖ Realización de un reconocimiento de la traza tentativa, realizado en forma aérea y terrestre, con el objeto de:
 - Definir modificaciones y ajustes al trazado tentativo previsto.
 - Establecer la titularidad de los terrenos que serán afectados por la traza, con el objeto de obtener las autorizaciones de paso correspondientes.
 - Definir con precisión la localización de las válvulas de bloqueo seccionales de línea con el objeto de asegurar que contarán con caminos de acceso para su operación o definirla necesidad de su construcción.
 - Definir con precisión la localización de las instalaciones de superficie previstas (trampas de scrapers, cámaras de válvulas, plantas de regulación, etc.), con el objeto de establecer la titularidad de los terrenos donde serán

emplazadas, a fin de gestionar la adquisición de las fracciones que resultaren necesarias.

- Establecer posibles interferencias con otras obras de infraestructura en construcción o proyectadas, urbanizaciones existentes no consideradas y planes futuros en este sentido.
- Tomar contacto personal con autoridades provinciales o municipales con la finalidad de informarlo de la realización del proyecto y conocer posibles observaciones al respecto.
- Idem con compañías concesionarias de vías de comunicación responsables de obras de infraestructura en operación que interfieran con la traza proyectada.
- Idem con propietarios de campos donde se ha previsto instalar la cañería y que residan en el lugar en que se realizarán los trabajos o en sus inmediaciones.
- Proponer alternativas a la traza tentativa propuesta.

2.2.3.2. Estudio de suelos

A lo largo de todo el recorrido se tomarán muestras del suelo donde se prevé instalar la cañería con el objeto de:

- ❖ Tener un acabado conocimiento de sus características y dureza, con el objeto de considerar esta variable al:
 - Determinar el costo de la obra.
 - Definir los plazos previstos para la realización del zanjeo.
 - Contemplar la necesidad de uso de explosivos.
- ❖ Definir las características específicas de suelo con el objeto de:
- ❖ Establecer el tipo de protección anticorrosiva a emplear.

- ❖ Idem respecto a la protección catódica.

2.2.3.3. Autorizaciones de paso

Sobre la base de la información recogida en la zona, y en relación con las autorizaciones de paso y las características habitacionales, se procede a:

- ❖ Confeccionar un plano con la señalización del trazado en toda su extensión y que cubra un área de 1.000 metros de ancho, con eje en la traza del gasoducto donde se señalará:
 - Ubicación de todos los terrenos privados que habrán de resultar afectados por la traza.
 - Indicación de la progresiva del gasoducto proyectado o la clave de identificación en listados.
- ❖ Ubicación de todos los cruces que deban realizarse con obras de infraestructura existentes (autopistas, rutas, caminos, vías férreas, canales, acequias, electroductos, etc.). Idem cuando se prevea instalar la cañería en forma paralela a dichas obras de infraestructura y dentro de su área de servidumbre, señalizando:
 - Clave de identificación en listados.
 - Progresiva del gasoducto proyectado.
- ❖ Ubicación de la zona establecida para definir la clase de trazado (200 metros a cada lado del eje longitudinal de un tramo continuo del gasoducto), según lo indicado en 2.1.6.10., con el objeto de señalar en correspondencia con cada una de las unidades de trazado, las siguientes informaciones:
 - Número de unidades de vivienda.
 - Número de edificios ocupados por 20 ó más personas durante su uso normal y su ubicación respecto al gasoducto.

-
- Pequeña área abierta ocupada por 20 ó más personas durante su uso normal (campo de deportes, etc.).
 - Predominio de edificios de cuatro o más pisos sobre el nivel del terreno.
 - ❖ Preparar listados de todas las propiedades afectadas con motivo de la obra, clasificados por diversas entradas (progresiva del gasoducto a construir, provincia, municipalidad, nombre del propietario, domicilio del propietario, etc.), indicando los siguientes datos:
 - Clave de identificación.
 - Progresiva del gasoducto proyectado.
 - Situación de la propiedad (sucesión, quiebra, etc.).
 - Nombre y domicilio del propietario.
 - Datos catastrales de la propiedad.
 - Zona afectada por la traza.
 - ❖ Preparar listados de ubicación de todos los cruces que deban realizarse con obras de infraestructura existentes (autopistas, rutas, caminos, vías férreas, canales, acequias, electroductos, etc.), clasificados por diversas entradas (Progresiva del gasoducto a construir, provincia, tipo de infraestructura a atravesar, nombre y domicilio del responsable de la concesión, etc.), indicando los siguientes datos:
 - Clave de identificación.
 - Obra de infraestructura a afectar.
 - Progresiva de la obra de infraestructura existente.
 - Progresiva del gasoducto proyectado.
 - Nombre y domicilio del responsable.
 - Localización de la parte a afectar por la obra.

- Características de la obra de arte a realizar.
- ❖ Preparar listados de ubicación de todas las zonas en que se prevea instalar la cañería en forma paralela a obras de infraestructura (autopistas, rutas, caminos, vías férreas, canales, acequias, electroductos, etc.), o dentro de su área de servidumbre, indicando los siguientes datos:
 - Clave de identificación.
 - Obra de infraestructura a afectar.
 - Progresivas de la obra de infraestructura a afectar.
 - Progresiva del gasoducto proyectado.
 - Nombre y domicilio del responsable.
- ❖ Realización de gestiones conducentes a la obtención de las autorizaciones necesarias para instalar la cañería según la traza prevista.
- ❖ Realización de las tramitaciones conducentes a la adquisición de los terrenos necesarios para el montaje de las instalaciones de superficie proyectadas.

2.2.3.4. Trazado definitivo

Realizadas todas las tareas relativas a esta actividad y tenidas en cuenta las consideraciones señaladas, se procede, en base a las informaciones recogidas en el terreno, a definir la traza definitiva, luego de evaluar el resultado de las observaciones realizadas por el personal a cargo del relevamiento sobre el terreno y tomar en cuenta las gestiones que se deriven de las decisiones adoptadas en el cálculo.

Tomando en consideración lo establecido se procede a establecer el trazado definitivo que tendrá el gasoducto, lo que habrá de realizarse cuando se tenga ya la certeza respecto a que:

- ❖ El trazado seleccionado cumple las pautas básicas previstas en la formulación del proyecto relacionadas con la atención de consumos finales y en ruta.

- ❖ Se tiene la certeza de que no existirán observaciones que pongan en peligro la viabilidad de la obra con origen en propietarios de los terrenos a atravesar u organismos responsables de obras de infraestructura que deben ser atravesadas con la línea.
- ❖ Se ha comprobado que la alternativa de trazado seleccionada es la más adecuada tomando en consideración aspectos relacionados con la dureza del terreno y sus características desde el punto de vista de la agresividad del suelo respecto a la corrosión.
- ❖ Se ha verificado que la decisión adoptada respecto al trazado ha de minimizar los costos correspondientes a la instalación de la cañería tomando en este sentido en cuenta todas las variables intervinientes.
- ❖ Se ha analizado la conveniencia de adoptar esta variante de trazado visto desde la perspectiva de minimizar el plazo final.

2.2.3.5. Planos de trazado

Se realizará un plano de trazado general (en tantas secciones como su extensión lo justifique), en escala 1:10.000, donde quede perfectamente establecido:

- ❖ Trazado definitivo del conducto.
- ❖ Características topográficas y urbanísticas de una zona de 1.000 metros de ancho ubicada con eje sobre el conducto.
- ❖ Definición de las progresivas del gasoducto con señalización de los puntos singulares (límites de campos, accidentes topográficos, intersecciones con otras obras de infraestructura, etc.).
- ❖ Ubicación de válvulas seccionales de línea, trampas de scraper, plantas de regulación, etc.
- ❖ Clase de trazado entre progresivas.

- ❖ Espesores de la cañería.
- ❖ Tipo de protección anticorrosiva.
- ❖ Ubicación de elementos y unidades relacionadas con la protección catódica.
- ❖ Señalización de áreas cubiertas por Planos de detalles de trazado.
- ❖ Señalización de puntos de la traza descriptos en detalle en planos constructivos.

2.2.3.6. Planos de detalle

Estos planos se realizarán en escalas adecuadas según el tipo de instalación sobre la que ilustrarán. Se referirán a los siguientes aspectos de la obra:

- ❖ Planos seccionales de trazado.
- ❖ Planos de detalles constructivos relacionados con la instalación de la cañería (conexionados con ubicación de la cañería en lugares singulares, etc.).
- ❖ Planos constructivos de:
 - Válvulas seccionales de línea y venteos.
 - Válvulas de derivación.
 - Trampas de scraper.
 - Cruces.
 - Obras especiales.
 - Características de la pista.
 - Zanjeo y tapada.
 - Conexiones.
 - Piezas especiales.
 - Prefabricados.

2.2.3.7. Planos tipo

Comprenden:

- ❖ Cruces de la línea con obras de infraestructura:
 - Vías férreas.
 - Autopistas.
 - Rutas.
 - Cursos de agua.
- ❖ Señalizaciones:
 - Para trabajos en la vía pública.
 - De seguridad.

2.2.3.8. Listado de materiales

Todos los planos serán complementados con listados de materiales en los que se señalarán las siguientes características:

- ❖ Item.
- ❖ Descripción (caño, accesorio, válvula, etc.).
- ❖ Características (diámetro, espesor, serie, etc.).
- ❖ Cantidad.
- ❖ Norma de fabricación.
- ❖ Observaciones.

2.2.3.9. Especificaciones técnicas

Según cada caso se debe indicar:

- ❖ Cañerías para gasoductos:

- Norma (API 5LX - ASTM A 53).
- Grado.
- Procedimiento de fabricación.
- Tipo de revestimiento (opcional).
- Diámetro exterior.
- Espesor de pared.
- Longitud.
- Opción de inspección en fábrica.
- Composición del material.
- Acabado de extremidades.
- Presión normal de prueba en fábrica.
- Instrucciones para el despacho.

❖ Accesorios para gasoductos y ramales:

- Tipo de accesorio.
- Norma (N.A.G. 100 - Apéndice G1).
- Cédula.
- Diámetro exterior.
- Espesor de pared.
- Acabado de extremidades.

2.2.3.10. Procedimientos

Se tendrán en cuenta los siguientes:

2.2.3.10.1. De soldadura

Se debe realizar cumplimentando lo establecido al respecto en la Norma A.P.I. 1104, Apartado 2.3 - Especificación del Procedimiento de Soldadura, según el siguiente detalle:

- ❖ Proceso (manual, automática, etc.).
- ❖ Material de los caños y accesorios.
- ❖ Identificación de Diámetros.
- ❖ Identificación de Espesores.
- ❖ Diseño de la unión (esquema).
- ❖ Electrodo utilizados.
- ❖ Número de pasadas.
- ❖ Intensidad de corriente.
- ❖ Polaridad.
- ❖ Voltaje.
- ❖ Posición.
- ❖ Dirección de la soldadura.
- ❖ Lapso entre pasadas.
- ❖ Tipo de presentador.
- ❖ Retiro del presentador.
- ❖ Limpieza.
- ❖ Precalentamiento.
- ❖ Velocidad de avance.

2.2.3.10.2. Procedimientos de prueba hidráulica

Se realizará teniendo en cuenta lo establecido en la Norma N.A.G. 100, Parte J. Se deberá indicar:

- ❖ Nombre de la Obra.
- ❖ Lugar.
- ❖ Diámetro de la cañería.

- ❖ Espesor de la cañería.
- ❖ Norma de fabricación de la cañería.
- ❖ Tramo bajo prueba.
- ❖ Progresivas.
- ❖ Presión de prueba máxima.
- ❖ Altimetría del terreno en el tramo bajo prueba.
- ❖ Definición de secciones de prueba (progresivas).
- ❖ Análisis del agua utilizada.
- ❖ Origen del agua.
- ❖ Instalaciones previstas para el llenado de la cañería.
- ❖ Lugar de descarga del agua.
- ❖ Tramitaciones.
- ❖ Especificación de la bomba a emplear.
- ❖ Descripción de cabezales de lanzamiento.
- ❖ Descripción de instalaciones de recepción.
- ❖ Especificación de los scrapers a utilizar.
- ❖ Especificación de instrumentos a utilizar.
- ❖ Definición de la cantidad de agua necesaria.
- ❖ Volumen de agua necesario.
- ❖ Tiempo de llenado previsto.
- ❖ Cálculo de la tensión circunferencial de la cañería.
- ❖ Comparación con la tensión admisible.
- ❖ Procedimiento para el barrido del agua.
- ❖ Procedimiento para el secado de la cañería.
- ❖ Indicación para la confección del Acta de Prueba.
- ❖ Designación de responsables.
- ❖ Modelo de Planillas del Resultado de la Prueba, conteniendo:
 - Fecha de la prueba.
 - Identificación del tramo bajo prueba.

- Características de la cañería en ese tramo.
- Altimetría.
- Presión máxima alcanzada.
- Presión mínima alcanzada.
- Horario de la prueba.
- Equipo e instrumental utilizado.
- Responsable de realización de los trabajos.
- Anomalías verificadas.
- Soluciones adoptadas.
- Lectura horaria de instrumentos.
- Registro horario de temperaturas.
- Constancia de confección del Acta de Prueba.
- Variaciones respecto al Procedimiento a seguir.

2.2.3.10.3. Limpieza interna de cañerías

La limpieza de las cañerías es una operación que se realiza después de terminada la soldadura y constituye una acción previa a la realización de la prueba de fuga (la que a su vez es anterior a la prueba hidráulica) y tiene por objetivo lograr una mayor eficiencia en la circulación del flujo (por menor rozamiento del gas con las paredes de la cañería), minimizar la abrasión de accesorios y válvulas (al eliminar la mayor cantidad posible del polvo ingresado durante la obra) y facilitar la operación de secado de la cañería.

La limpieza interna puede realizarse por varios métodos, siendo los más utilizados el pasaje de un scraper con cepillos impulsado con aire a una presión de 7 bar en general complementado por la evacuación rápida del aire mediante un venteo instalado al efecto.

La experiencia demuestra que a pesar de los esfuerzos no siempre resulta posible remover con sencillez la cantidad esperada de las sustancias adheridas a la cañería y normalmente una cantidad significativa de pequeños desechos permanecerán fijos durante la primera pasada y solo lograrán retirarse después de varios intentos o al menos distribuirlos en una mayor superficie y de forma más pareja, disminuyendo las consecuencias del rozamiento periférico buscado.

En el procedimiento se debe establecer entre otras cuestiones:

- ❖ Características del scraper a utilizar
- ❖ Velocidad de desplazamiento del scraper durante el barrido
- ❖ Número aproximado de pasadas
- ❖ Presión del aire para el empuje del scraper
- ❖ Criterio de aceptación de la tarea
- ❖ Características de los elementos de cierre del conducto
- ❖ Especificaciones para el diseño del venteo
- ❖ Minimización de afectaciones por impacto ambiental

2.2.3.10.4. Vaciado del agua y secado de la cañería

Una vez realizada la prueba hidráulica, el tramo probado debe vaciarse y secarse.

Es muy importante que el secado del gasoducto se realice correctamente ya que de este modo se previene la formación de hidratos dentro del conducto al que se le realizó la prueba (cuando éste inicie su operación), si es que pasara a operar a una presión superior a los 40 bar, y obstrucciones a raíz de la misma causa en estaciones de carga de gas natural comprimido de automotores, alimentadas desde ramales derivados del mismo, cualquiera sea la presión del gasoducto.

Por otra parte la Distribuidora está obligada en cumplimiento de los estándares de calidad, a asegurar que en todo el sistema las cantidades de agua contenidas en el gas distribuido no superarán los valores establecidos según lo dispuesto en la Resolución 622 de Enargas, es decir 65 mg/m³ en ningún punto de del sistema.

En lo que respecta al vaciado del agua utilizada para la prueba hidráulica, debe tenerse en cuenta que además de los aspectos técnicos que involucran esta operación, la misma no puede ser arrojada a espacios o instalaciones públicas o privadas sin contar con la debida autorización de la autoridad competente en cada caso.

Si bien existen otros métodos aplicables según ciertas circunstancias (utilización de aire seco o vacío), la Distribuidora utiliza el secado con metanol, el que se basa en el efecto higroscópico que esta sustancia posee.

Antes de comenzar la operación de secado debe asegurarse que la cañería ha sido limpiada correctamente y que las escamas de óxido han sido correctamente removidas de las paredes de la cañería, ya que la humedad atrapada en estas escamas suele exudar durante un largo período y modificar las condiciones de calidad del gas ingresado en cuanto a presencia de agua durante un largo tiempo, con las lógicas consecuencias de carácter operativo y regulatorio que esto implica.

El método consiste en desplazar por la cañería una cantidad previamente determinada de metanol (calculada en función de las dimensiones y características de la cañería a secar) encerrada entre dos scrapers empujados por aire a presión, con el objeto de que la humedad remanente sea absorbida por esta sustancia, aprovechando las características que presenta en este sentido.

Se debe tener en cuenta es que a medida que el metanol se desplaza la cantidad de agua absorbida va en aumento lo que deriva en que la capacidad de absorción del metanol va progresivamente disminuyendo, lo que hace que el procedimiento pierda eficiencia en el último tramo de la cañería en proceso de secado y puede existir el riesgo de formación de hidratos en ese último tramo si la presión de operación del gasoducto fuera superior a los 40 bar.

Para asegurar que el proceso de secado ha sido correcto, dando cumplimiento a lo establecido en la GN1- 124, se debe extraer muestras del metanol recuperado al finalizar el proceso de secado de la cañería y verificar que el mismo se encuentra contaminado con agua en un porcentaje no superior a lo indicado en el Apéndice III, de esa norma.

Terminada la operación se debe realizar la evacuación de la mezcla aire – metanol en forma cuidadosa de modo de asegurar que no se producirán daños al medio ambiente teniendo en cuenta que los productos de deshecho de esta operación, son altamente venenosos y corrosivos.

Cuando sea posible resulta conveniente que el proceso de puesta en marcha del gasoducto al que se le ha realizado la tarea de secado se realice en forma paulatina, con presiones operativas lo más bajas posibles y bajo permanente vigilancia de las posibles consecuencias de la presencia de agua.

2.2.3.10.5. De protección anticorrosiva

Se tendrá en cuenta lo indicado en el capítulo 3 de este manual.

Además:

- ❖ Estudios y Proyectos establecerá el criterio a seguir en cuanto a la realización de estos trabajos, señalando:]
 - Si se encomendarán conjuntamente con la adquisición de la cañería.
 - Si se contratarán separadamente a la adquisición de la cañería.
 - Si se realizarán por administración.

2.2.3.10.6. Constructivos de cruces caminos, etc.

Respecto a la construcción de construcción de cruces de obras de infraestructura, existentes (vías férreas, autopistas, rutas, canales, etc.), con el trazado previsto para la cañería, se tendrá en cuenta lo establecido al respecto por los organismos correspondientes y observaciones que realicen los permisionarios cuando se trate de concesiones de servicio y además:

- ❖ Recomendaciones complementarias de lo establecido en los Planos Constructivos, indicando:
 - Estado del trámite respecto a la autorización respectiva.
 - Período acordado para la realización de los trabajos.
 - Fecha estimada de terminación.
- ❖ Indicaciones respecto a tramitaciones a efectuar durante la instrucción de la obra para avisar a los responsables

de las obras de infraestructura que se cruzarán con el gasoducto, respecto a fechas de iniciación de trabajos, coordinar las inspecciones que pudieran corresponder, realizar tramitaciones complementarias, informar final de obra, etc.

2.2.3.10.7. Constructivos de cursos de agua

Se tendrá en cuenta a estos efectos lo establecido al respecto por los organismos competentes correspondientes, recomendaciones similares a las anteriormente expuestas y además:

- ❖ Especificaciones para el apesentamiento de la cañería, adjuntando:
 - Cálculo de la flotabilidad negativa de la cañería.
 - Características del apesentamiento (bloques, gunitado, anclajes, etc.)
 - Dosaje del material utilizado.

2.3. Redes de Distribución

2.3.1. Cálculo y Diseño

2.3.1.1. Configuración típica

Las redes de distribución para la atención de consumos residenciales ya sea que estén construidas con cañerías de acero o de polietileno, configuran mallas que envuelven por así decirlo las bocas de consumo correspondientes a los usuarios conectados y son alimentadas en general por los nodos de vinculación de estas mallas con las adyacentes.

Si bien no existe una configuración universal, sin embargo y dado que las urbanizaciones en nuestro país tienen una configuración reticular bastante similar entre si, la disposición de las cañerías mantienen un esquema en general formado por líneas alimentadores de diámetro variable según las características del consumo y alimentadores de manzana, tendidas todas ellas siempre por vereda y por ambos frentes.

Puede pues decirse con bastante aproximación que la disposición típica de un sistema de distribución está conformado por las siguientes partes:

- ❖ Planta de separación y medición de primera etapa
- ❖ Ramal de aproximación.
- ❖ Estación de regulación de presión de segunda etapa.
- ❖ Ramal interior de red
- ❖ Estación de regulación de presión de distrito.
- ❖ Cañerías de alimentación
- ❖ Alimentadores de mallado.
- ❖ Servicios

Para mayor claridad se agrega en Apéndice croquis ilustrativo de una configuración típica.

Como puede verse las cañerías que conforman las mallas respectivas y en su conjunto la red de distribución correspondiente, son alimentadas por una o más estaciones de regulación que adecuan la presión de los ramales urbanos a la de distribución de la red que es de 1,5 bar en el caso de las redes más antiguas y de 4,0 bar en las redes de construcción actual.

2.3.1.2. Rangos de presión

Si bien no existen parámetros fijos, dado que en la mayoría de los casos se operan redes de gran antigüedad y los trabajos se desarrollan como ampliaciones de las redes existentes, puede decirse que los rangos de presión habituales son los siguientes:

- ❖ Ramales de aproximación hasta la zona de consumo, para alimentar a las estaciones de regulación de presión “city gate”.
 - En general operan a la presión del gasoducto troncal del que derivan.
 - Cuando atraviesan zonas despobladas con posibilidad de futuras localizaciones urbanas y el consumo previsto es importante, operan a 25 ó 40 bar.
- ❖ Ramales internos de alimentación a las cámaras de distrito.
 - Vinculan las estaciones de regulación de presión “city gate” con las de “distrito”.
 - Operan a una presión comprendida entre 10 y 15 bar.
- ❖ Estaciones de regulación de presión de primera etapa
 - Comprenden etapas de separación, filtrado, regulación y medición.
 - Reducen la presión desde los valores a que opera el gasoducto troncal, hasta la del ramal interno (25 o 40 bar a 10 o 15 bar)

- ❖ Estaciones de regulación de presión de segunda etapa (city gate).
 - Poseen, regulación y odorización.
 - Reducen la presión desde la del ramal de aproximación a la de los ramales internos de alimentación a las cámaras de distrito (25 o 40 bar a 10 o 15 bar y a 1,5 o 4 bar)
- ❖ Estaciones de regulación de presión de distrito
 - Poseen solo regulación.
 - Reducen la presión desde la del ramal interno a la de la Red de distribución (10 o 15 bar a 1,5 o 4 bar).
- ❖ Servicios
 - Conectan la red de distribución con la toma de conexión del usuario (Gabinete conteniendo regulador y medidor residencial)

2.3.1.3. Criterios generales del cálculo

Dada la peculiar configuración que poseen las redes de distribución, donde cada uno de los tramos (desde los cuales se realizan múltiples extracciones), están alimentados en general desde ambos extremos, su cálculo y dimensionamiento se realiza siguiendo un procedimiento más complejo que el que se aplica para los gasoductos.

Es así que si bien las fórmulas de cálculo utilizadas para el cálculo de redes presentan respecto a las aplicadas para gasoductos algunas diferencias derivadas de ciertas simplificaciones que resultan justificables por las diferencias prestaciones esperables de ambos sistemas, la aplicación de las mismas es más laboriosa dada la configuración mallada descripta.

Esto hace que hace deba recurrirse necesariamente a la aplicación de software de cálculo especializados para estos temas. CGS S.A. utiliza el provisto por la firma STONER ASOCIATTES.

La utilización de materiales diferentes, tal el caso de cañerías de acero o plástico, lleva a la necesidad de introducir ligeras variantes en el cálculo,

originadas fundamentalmente en los valores del factor de fricción que naturalmente difieren según se trate de uno u otro material.

2.3.1.4. Trazado tentativo

El establecimiento de la configuración que tendrá el tendido de las cañerías, constituye un aspecto básico respecto a los que deben ser considerados como parámetros de cálculo aplicables al dimensionamiento de las cañerías. Es por esto que previo al cálculo es necesario establecer un trazado tentativo que permita disponer de una configuración preliminar del sistema y fijar valores orientativos de diámetros y longitudes fijados tentativamente a priori.

Para dar cumplimiento a este objetivo, sobre una base cartográfica confeccionada en escala 1:2.500 se procede a realizar un diseño tentativo siguiendo los lineamientos de la configuración tipo ya descrita, proponiendo un cierto tendido y asignando a las cañerías valores de diámetro preliminares, los que después serán sometidos a un proceso de verificación y reasignación de valores según resulte de los cálculos correspondientes.

El criterio de diseño a aplicar para definir la configuración que tendrá en definitiva la red, varía según cada caso de análisis, ya que serán diversas obviamente las características de urbanización de cada ciudad o localidad a abastecer, su densidad poblacional, ingreso per cápita de los futuros clientes, clima, temperaturas medias anuales, etc.

En general, se seguirá el criterio de instalar cada dos manzanas y en cada uno de los frentes involucrados correspondientes (ver esquema), sendas cañerías alimentadoras, procediendo luego al “abrazado” de cada manzana mediante cañerías de diámetro en general uniforme (denominadas comúnmente “rulos”), no inferior a $1\frac{1}{2}$ ” de Dn. en redes de media presión construidas con cañerías de acero ó de 50 mm de diámetro nominal para cañerías de polietileno.

Resumiendo los factores a ser tenidos en cuenta para la realización de cálculos relacionados con el diseño de redes de distribución, son los siguientes:

- ❖ Localización del proyecto en sus aspectos generales sobre cartografía adecuada.

- ❖ Ubicación de Estación Reguladora de Presión “City Gate”.
- ❖ Delimitación del área urbana a la que se prestará el servicio de distribución de gas por redes, definiendo las sucesivas etapas que tendrá el proyecto durante su construcción.
- ❖ Señalización de un trazado tentativo, como primera alternativa, con el objeto de establecer la ubicación de:
 - Accidentes geográficos existentes.
 - Avenidas principales.
 - Autopistas.
 - Líneas ferroviarias.
 - Rutas.
 - Ríos y arroyos.
 - Plazas y parques.
 - Edificios públicos que ocupen áreas significativas.
 - Idem privados (iglesias, clubes, teatros, etc.).
 - Establecimientos industriales.
 - Establecimientos comerciales significativos.
 - Consumos más relevantes.
 - Usuarios residenciales identificados por censo.

2.3.1.5. Señalización del trazado tentativo

La señalización del trazado tentativo seleccionado tiene por objeto:

- ❖ La realización de estudios de mayor profundidad con la finalidad de identificar posibles interferencias de las cañerías a instalar con:
 - Obras de infraestructura existentes.
 - Otros servicios.

Identificadas tales interferencias se deben evaluar las obras de arte necesarias para salvarlas, establecer sus implicancias en el diseño y

cálculo y contemplar alternativas de trazado, si esta situación fuera posible.

Los estudios deben realizarse para todo el ámbito de desarrollo del proyecto, analizado para toda la zona que quedará comprendida por las diversas etapas previstas, debiéndose también tener en cuenta la existencia de planes de: expansión edilicia, infraestructura de servicios, obras públicas en general, áreas de resguardo ambiental, etc.

Cuando el tendido se realice en zonas arboladas o se deba imprescindiblemente atravesar las mismas, se tendrá en cuenta a l definir los trazados que las cañerías no podrán ser afectadas por sus raíces, por lo que las localizaciones respectivas, tendrán en cuenta este aspecto requerimiento que podrá llevar a modificar las distancias de ubicación habitual de las cañerías de red respecto de la línea de edificación.

2.3.1.6. Señalización del trazado definitivo

La señalización definitiva se realiza en planos preliminares en los que, una vez establecido un primer diseño tentativo se van realizando todos los ajustes necesarios, tanto en lo que hace a localización de las cañerías como a su diámetro, tarea que exige un procedimiento de interacción que deberá todo lo que resulta necesario hasta poder llegar a una propuesta satisfactoria.

Completada esta etapa se confeccionan los planos definitivos, documentos que llevados a obra posibilitan el señalamiento de la cañería sobre el terreno con toda precisión ya que la tarea siguiente será ya el zanjeo, el que deberá realizarse evitando en todo lo posible la afectación de otros servicio con los que pudiera existir interferencias.

2.3.1.7. Dimensionamiento de la red

Conocido el trazado que deben tener las cañerías en el terreno, se debe procede a elaborar un anteproyecto, asignando un diámetro tentativo a cada una de las cañerías que habrán de configurar el sistema que

compondrá la red, teniendo en cuenta la ubicación de los reguladores de distrito y sus respectivos ramales de alimentación.

El procedimiento consiste pues en realizar un cálculo de verificación, teniendo en cuenta:

- ❖ Definición del consumo específico a ser asignado a los usuarios domésticos.
- ❖ Localización y valor asignado por censo a cada uno de los consumos más significativos.
- ❖ Definición de puntos de interconexión con redes existentes, si las hubiera y determinación de caudales a ser transferidos en cada conexión.
- ❖ Caracterización de cada uno de las ramas del mallado definidas para el cálculo.
- ❖ Determinación de presiones mínimas registradas que no podrán ser inferiores a 0.8 bar.
- ❖ Consideración respecto a la corrección del resultado.

2.3.1.8. Cálculo de redes de polietileno.

Para el cálculo de cañerías de polietileno puede utilizarse la fórmula aconsejada para el cálculo de gasoductos, adoptando como factor de fricción el valor $e = 0,0012$ cm.

Resulta de interés también conocer la propuesta por la Asociación Americana de Gas, que responde a la siguiente expresión:

$$Q = (0,6643 \frac{T_b}{P_b}) \times \left[\frac{P_1^2 - P_2^2}{T_a \cdot L} \right]^{5/9} \times \frac{D^{8/3}}{G^{4/9} \times \mu^{1/9}}$$

Donde:

- ❖ Q = Flujo de gas en miles de pies cúbicos por hora.
- ❖ T_b = Temperatura base, en $^{\circ}R = 520^{\circ}R$ (Rankine).
- ❖ P_b = Presión base = 14,73 lbs/pulg² A.
- ❖ P_1 = Presión aguas arriba (absoluta), en lbs/pulg².
- ❖ P_2 = Presión aguas abajo (absoluta), en lbs/pulg².
- ❖ T_a = Temperatura promedio del fluido, en $^{\circ}R$.
- ❖ L = Longitud de la cañería, en pies.
- ❖ D = Diámetro interior del caño, en pulgadas.
- ❖ G = Gravedad específica del gas = 0,64.
- ❖ μ = Viscosidad del gas = $7,10 \times 10^{-6}$ libras/pie x seg.

2.3.1.9. Ingreso de datos y resultados

El cálculo se realiza ingresando al programa de cálculo las siguientes variables:

- ❖ Configuración geométrica del sistema previsto.
- ❖ Longitud de cada tramo de cálculo.
- ❖ Datos relativos al factor de fricción asignado.
- ❖ Consumos previstos en cada derivación.

Como resultado del cálculo realizado se obtienen los siguientes valores en cada una de las operaciones de verificación que se realizan:

- ❖ Valores de presión disponibles en extremos de red.
- ❖ Valores de presiones disponibles en puntos intermedios.

2.3.1.10. Dimensionamiento definitivo de la red

Estará constituido por un gráfico ilustrativo de la configuración del sistema.

De manera esquemática repetirá la forma de la red y contendrá la siguiente información:

- ❖ Fuentes de alimentación.
- ❖ Localización y configuración de la cañería mayor.
- ❖ Idem de las cañerías alimentadoras.
- ❖ Idem de las cañerías distribuidoras de manzana (rulos).
- ❖ Idem de los nodos.
- ❖ Señalización de diámetros.
- ❖ Valores de presión en fuente y puntos extremos.
- ❖ Localización de todo punto singular.
- ❖ Idem de obras de arte.
- ❖ Idem de interconexiones con otros sistemas.

2.3.1.11. Modelización

Cuando el estudio se realice mediante programas de cálculo se guardará conjuntamente con la documentación de la obra, la modelización de la red realizada con la finalidad de:

- ❖ Permitir la verificación del cálculo realizado.
- ❖ Analizar expansiones futuras.
- ❖ Contemplar situaciones de emergencia operativa.
- ❖ Analizar influencias de picos de consumo.

Los modelos correspondientes a redes de significación, se irán actualizando permanentemente durante toda la vida útil de la obra, introduciéndole en cada circunstancia todas las modificaciones que la afecten en su extensión y capacidad.

2.3.1.12. Espesor de las cañerías

Los espesores de las cañerías a emplear serán los siguientes

Espesor adoptado para cañerías de polietileno a instalar formando parte de redes de distribución

Dn. (mm)	SDR
25	11
32	11
40	11
50	11
63	11
90	11
125	11
180	11

Espesor adoptado para cañerías de acero a instalar formando parte de redes de distribución

Dn. (")	Espesor (mm)	Espesor (mm)
¾ (*)	2,90	2,90
1 (*)	3,40	3,40
1 ½ (*)	2,90	2,90
2 (*)	3,20	3,20
3 (*)	3,60	3,60
4 (*)	4,00	4,00
6 (*)	4,80	4,00
8 (*)	5,56	4,80

(*) Norma ASTM A 53 Grado A o superior

2.3.2. Delimitación de zonas de red - Censos

Fijadas las condiciones liminares del proyecto, se procede a realizar en el área urbana en que se llevarán a cabo los trabajos, un estudio de las perspectivas que la misma presenta en relación con usuarios potenciales cuando se trata de zonas todavía no abastecidas con gas natural.

Se realiza, en consecuencia, en el lugar una visualización de la zona estableciendo las áreas con características de mayor interés en relación con la potencialidad del consumo. Se definen así las zonas a las que se les dará prioridad y las que se estiman como ampliaciones futuras.

Cumplida esta etapa se procede a realizar un censo de los usuarios potenciales existentes, identificando a cada uno de ellos en un plano catastral, detallando los consumos industriales, grandes consumos, espacios abiertos a los que no corresponde realizar el tendido de la red y perspectivas de expansión futura, tal el caso de existir proyectos de localización de conglomerados de viviendas por planes especiales.

Sobre estas bases se delimita la zona de red que comprenderá la primera etapa del proyecto y las de ampliación futura. Se debe tener en cuenta que la primera etapa de construcción debe ser apta para permitir las sucesivas ampliaciones, por lo que resulta necesario un acabado conocimiento de la potencialidad de toda el área.

En función de lo expuesto, el censo y la delimitación del área deben realizarse siguiendo los siguientes pasos:

- ❖ Realización de un censo de usuarios potenciales, clasificándolos por:
 - Residenciales unifamiliares.
 - Comerciales.
 - Industriales.
 - Complejos habitacionales.
- ❖ En el caso de los grandes consumos (comerciales, industriales, complejos habitacionales, etc.), en el censo se dejará constancia de:
 - Tipo de actividad.
 - Combustible utilizado.
 - Consumo histórico pico/hora.
 - Consumos históricos diario y mensual.
 - Estacionalidad.
 - Turnos de Trabajo.
 - Paradas anuales.
- ❖ Para la estimación del consumo residencial, unifamiliar se tomará en consideración:

- Consumo promedio diario de otros combustibles.
- Perspectivas de mantenimiento de los valores históricos o variaciones y su sentido.

2.3.3. Estudio de suelos

En la zona donde se prevé instalar las cañerías correspondientes a la red, se tomará una muestra del suelo en cada una de las esquinas del contorno de la zona delimitada y en su centro, cuando el área no exceda de 100 manzanas. Para áreas mayores se seguirá idéntico procedimiento por múltiplos.

Estas muestras tienen como objetivo:

- ❖ Tener un acabado conocimiento de las características del suelo a fin de determinar su dureza con el fin de establecer los procedimientos de zanjeo a realizar y fijar el alto de la tapada.
- ❖ Conocer la resistividad del suelo a fin de tomar en consideración las medidas que deben ser adoptadas cuando se realice la instalación de cañerías de acero en la red, o en los alimentadores cuando la red sea de polietileno.
- ❖ Establecer el tipo de protección anticorrosiva a utilizar para las cañerías de acero.

2.3.4. Autorizaciones – Adquisición de terrenos

Definida la zona de red, se procede a realizar las tramitaciones que resulten procedentes ante la municipalidad correspondiente en relación con el tendido a realizarse en zona urbana.

A estos efectos se procederá a:

- ❖ Remitir al municipio un plano de la zona de red con indicación de sus características generales y tipo de construcción.
- ❖ Confección de un plano con la zona de red en el que se deberá señalar la intersección de las cañerías que componen la misma con otras obras de infraestructura, a fin de gestionar las autorizaciones correspondientes, según lo ya expuesto anteriormente.
- ❖ Ubicación de todos los terrenos privados que habrán de resultar afectados por la traza, indicando:
 - Identificación catastral.
 - Nombre y domicilio del propietario.

2.3.5. Planos de trazado de red

El trazado de la red se realizará en escala 1:2.500. En razón de esto se realizarán tantos planos seccionales como resulten necesarios, tomando en consideración a estos efectos las siguientes indicaciones:

- ❖ Se confeccionará un plano general de la zona de red sin detalles de posicionamiento de la cañería. Sobre el mismo se señalarán los planos seccionales de trazado con indicación del número de los mismos y clave de identificación.
- ❖ En los planos seccionales de trazado se indicará:
 - Configuración de la planta urbana.
 - Ubicación de las cañerías en relación con la línea municipal.
 - Diámetro de las cañerías.
 - Ubicación de válvulas.
 - Delimitación de zonas de bloqueo de red.
 - Ubicación de la Planta de Regulación y de Reguladores de Distrito.

- Ubicación de ramal de alimentación a Reguladores de Distrito.
- Características de la protección anticorrosiva.
- Ubicación de cajas de medición de potencial.
- Ubicación de otras instalaciones de protección catódica.

2.3.6. Listado de materiales

Todos los planos serán complementados con listados de materiales en los que se señalarán las siguientes características:

- ❖ Item.
- ❖ Válvulas (diámetro, material, tipo, etc.)
- ❖ Cañerías (diámetro, espesor, material, etc.)
- ❖ Bridas ciegas (diámetro, serie, etc.)
- ❖ Otros materiales.
- ❖ Cantidad.

2.3.7. Especificaciones técnicas

Según cada caso se debe indicar:

2.3.7.1. Cañerías de acero

Resulta de aplicación lo establecido en la especificación técnica correspondiente

2.3.7.2. Cañerías de polietileno

Resulta de aplicación lo establecido en la norma GE-N1-129.

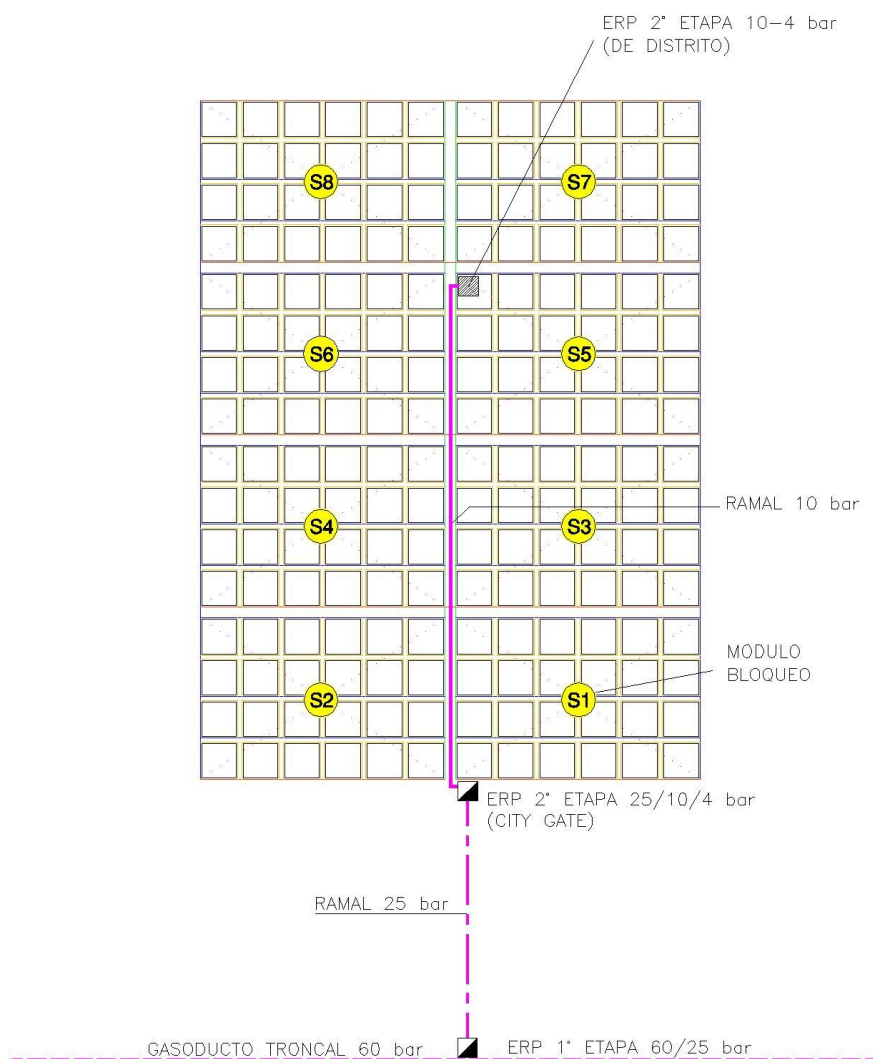
2.3.7.3. *Revestimiento de cañerías de acero*

Resulta de aplicación lo establecido en la especificación técnica correspondiente

2.3.7.4. *Procedimientos*

Resulta de aplicación lo establecido en los procedimientos específicos vigentes.

2.3.7.5. Esquema Típico de Red Sectorizada



2.4. Instalaciones de superficie

2.4.1. Introducción

Se incluyen en este apartado tal lo señalado anteriormente, las instalaciones correspondientes a:

- ❖ Estaciones de separación y medición
- ❖ Válvulas de seccionamiento y derivación
- ❖ Trampas de scrapers
- ❖ Estaciones de separación, regulación, calentamiento, medición y odorización

Los gasoductos y ramales derivan según los casos de cañerías operadas por las Transportadoras, de otras de líneas operadas por una distribuidora o por otras que operan en zonas aledañas.

2.4.2. Tipos de estaciones

2.4.2.1. Estaciones de separación y medición

Respecto a la construcción típica de una derivación de los gasoductos operados por las transportadoras, cabe señalar que las mismas se realizan mediante un instalación compuesta por un planta de separación y medición integrada también con un sistema de telemedición, conjunto este que es operado por la transportadora respectiva.

En anexo se agrega un esquema tipo de este tipo de instalaciones.

2.4.2.2. Estaciones de regulación primarias

En general, los centros de consumo están muy dispersos y requieren la instalación de plantas de regulación primarias, cuya instalación se realiza en forma aledaña a la estación de separación y medición citada y tiene por objeto adecuar la presión como ya se dijo a la de la que operará el gasoducto de aproximación correspondiente.

Se agregan en Anexo croquis ilustrativos de instalaciones de este tipo.

En líneas generales debe decirse que el diseño, dimensionamiento y cálculo de las plantas de separación, regulación, medición y odorización del gas y de los reguladores de distrito constituyen un capítulo particular del diseño de instalaciones destinadas a la distribución de gas y obliga a una cuidadosa consideración.

En el diseño de estas plantas deben aplicarse criterios técnicos del área de la Ingeniería Civil, Mecánica, Electricista, Electrónica, de Comunicaciones, Química, etc.

En la realización de cálculos relativos al diseño de estas plantas se deben considerar aspectos vinculados con la estabilidad estructural de las instalaciones en todo su conjunto, cuestiones relativas a su emplazamiento y aspectos relacionados con las operaciones que deben ser cumplidas.

Los cálculos a realizar deben tomar en consideración los siguientes aspectos:

- ❖ Resistencia de las cañerías y componentes al efecto de la presión interior.
- ❖ Idem a la acción del peso propio de las instalaciones.
- ❖ Idem respecto a los soportes.
- ❖ Velocidad de circulación del gas en cada parte.
- ❖ Nivel sonoro.
- ❖ Importancia de las vibraciones.
- ❖ Características resistentes de los suelos.
- ❖ Agresividad del suelo en las partes en que se instalen cañerías o estructuras metálicas subterráneas.

- ❖ Necesidad de aislación eléctrica.
- ❖ Aspectos estructurales de las obras civiles para el alojamiento de las instalaciones aéreas o subterráneas.
- ❖ Condición antiexplosiva del sistema eléctrico para iluminación y otras prestaciones.
- ❖ Adecuada localización de las instalaciones.
- ❖ Aspectos estructurales de los equipos prefabricados y conjuntos por efecto de la presión interna y cargas externas.
- ❖ Capacidad de separación y filtrado en separadores y filtros.
- ❖ Eliminación de residuos producidos en separadores y filtros en el marco de medidas de seguridad y protección del medio ambiente.
- ❖ Capacidad de calentamiento en calentadores de gas.
- ❖ Capacidad y flexibilidad en la regulación.
- ❖ Idem en válvulas de seguridad.
- ❖ Idem respecto a la medición.
- ❖ Rango operativo del instrumental (manómetros, termómetros, etc.)
- ❖ Determinación del poder calorífico.
- ❖ Cumplimiento de estándares de odorización.

Al realizar el diseño se deben tomar en consideración los aspectos que a continuación se señalan:

- ❖ Caudal de diseño.
- ❖ Presión de entrada máxima.
- ❖ Presión de entrada mínima.

- ❖ Presión de salida máxima.
- ❖ Presión de salida mínima.
- ❖ Flujo máximo durante el funcionamiento normal.
- ❖ Flujo a regulador abierto con máxima presión de entrada.
- ❖ Tendrán dos ramas como mínimo.
- ❖ No existirá by-pass en la etapa de regulación.
- ❖ Las cañerías, válvulas, accesorios y otros componentes de las cámaras se diseñarán para soportar las condiciones de presión de entrada hasta la válvula reguladora de salida de la cámara.
- ❖ Las cañerías de entrada y salida se deben diseñar teniendo en cuenta que la velocidad del gas no superará los 20 m/seg para gas sin filtrar y 40m/seg para gas filtrado, realizando los cálculos a las más bajas presiones de entrada y salida.
- ❖ Se deben instalar manómetros para medir la presión de entrada y salida de rango adecuado a las correspondientes presiones.
- ❖ Cada etapa correspondiente a los diferentes procesos de separación de polvo y líquido, calentamiento, regulación, medición y odorización estarán aislados entre sí por válvulas.
- ❖ Las plantas tendrán a la entrada y a la salida una válvula de corte. Estas válvulas podrán ser accionadas desde el exterior cuando se trate de cámaras subterráneas o alojadas en construcciones civiles.
- ❖ En el caso de las plantas aéreas también se instalarán este tipo de válvulas a la entrada y salida de las corrientes de flujo.
- ❖ Tendrán dos ramas de regulación que funcionarán de forma independiente, es decir que mientras una esté en operación, la otra estará en "stand by". Cada rama podrá suministrar la totalidad del caudal máximo especificado. La presión de la rama secundaria será regulada a un valor 10% inferior del de la rama principal.
- ❖ Tanto en la rama principal como en la secundaria se utilizará el esquema: válvula de bloqueo manual, filtro, regulador monitor

con válvula de seguridad por bloqueo, reguladora principal y válvula de bloqueo manual.

- ❖ Los equipos tendrán las siguientes características:
 - Los diseños se realizarán de modo de asegurar que en ningún caso pueda suceder que, por razones operativas, queden usuarios conectados a la red sin gas. A estos fines se construirán dos ramas de regulación en paralelo, instaladas para funcionar en cascada, evitando la utilización de válvulas de alivio.
 - Las válvulas de bloqueo manual serán esféricas de paso total, con extremos bridados, según ANSI B.16.5.
 - Los caños serán de cédula 40. En cuanto a la especificación se dará cumplimiento a lo establecido en 2.1.6.2.
 - La válvula reguladora principal estará calibrada a 1,5 ó 4 bar, según sea la presión de diseño de la red de distribución que alimentarán. La de la rama secundaria se calibrará a 1,35 bar ó 3,6 bar, según corresponda.
 - La válvula monitora - reguladora con válvula de seguridad por bloque incorporada será del mismo tipo que la reguladora principal. Esta válvula se instalará aguas abajo del filtro y antes de la reguladora principal. Estas válvulas llevarán un indicador visual de grado de apertura.
 - La válvula de seguridad por bloqueo será de reposición manual. Su toma de presión se conectará aguas abajo de la reguladora principal. La válvula de seguridad bloqueará cuando la presión de salida supere en un 20% a la presión regulada.
 - Se instalarán manómetros que permitan medir la presión de entrada y la regulada.
 - Salvo disposición en contrario de Estudios y Proyectos, estas plantas serán diseñadas para los siguientes parámetros:

2.4.2.3. Estaciones de regulación de distrito

Si bien existen ciertas similitudes funcionales entre los criterios de diseño aplicables a las estaciones de regulación primarias, las estaciones de regulación de distrito son mucho más simples y solo comprenden la etapa correspondiente a la regulación.

2.4.2.4. Estaciones de regulación modulares

Tienen las siguientes características:

- ❖ Se las diseña para ser montadas sobre patines y poseer dispositivos para su izaje y transporte.
- ❖ Presentan dimensiones mínimas con el objeto de poder ser transportadas con facilidad sin necesidad de recurrir a vehículos especiales.
- ❖ Las cañerías de entrada y salida tienen sus extremos bridados y ubicados a una distancia no inferior a 0,50 metros del nivel del piso.
- ❖ Toda la planta será recubierta por una cabina protectora apta para trabajar a la intemperie y dispondrá de aberturas de ventilación adecuadas.
- ❖ El nivel de ruido fuera de la cabina será de 75 decibeles, medidos a un metro de distancia de la misma.
- ❖ Estas plantas no tendrán sistema de medición.

2.4.3. Localización de las plantas de regulación

2.4.3.1. Cámaras primarias

- ❖ Con la única excepción de los reguladores de distrito, todas las cámaras de regulación, posean o no instalaciones de separación, medición y odorización, se instalarán sobre la superficie del terreno y a cielo abierto, salvo la parte destinada a proteger instrumental de medición y control.
- ❖ Los terrenos donde se realizará el montaje de estas plantas deberán cumplimentar los siguientes requisitos:
 - Estarán próximas al lugar de interconexión con los gasoductos de los que deriva.
 - Poseerán dimensiones adecuadas de modo que entre el cerco perimetral y el olímpico y toda calle pública exista una distancia mínima a ser establecida en cada caso particular por el proyectista.
 - Estarán destinadas a la finalidad específica y exclusiva de emplazamiento de la construcción que se realizará en él, según lo dispuesto en los planos de proyecto.
 - Su titularidad estará perfectamente definida a estos fines, no pudiendo existir al respecto inhibiciones de ningún tipo.

2.4.3.2. Estaciones reguladoras de distrito

Deben dar cumplimiento a las siguientes condiciones:

- ❖ Deben ser instaladas en:
 - En cámaras subterráneas.
 - En construcciones civiles aéreas.
- ❖ En lo posible estar ubicados en el seno mismo de la planta urbana a ser atendida por la red de distribución de la que forman parte.

- ❖ Los lugares seleccionados para la instalación de estos reguladores deberán cumplimentar similares requisitos a los establecidos en 2.3.2.3.
- ❖ Las construcciones civiles para alojar a éstos deben dar cumplimiento a los siguientes requisitos:
- ❖ Ser antisísmicas.
 - Dar cumplimiento a lo dispuesto en la Norma N.A.G. 100.
 - Idem al Código de la Edificación con jurisdicción en la zona de los trabajos.
 - Todas las cámaras aéreas llevarán cercos perimetrales y veredas de circulación.
 - Cuando se realicen construcciones de hormigón armado, planos constructivos de cada una de sus partes, con doblado de hierros y planillas de cálculo.
 - Planos constructivos relacionados con trabajos de mampostería, solados, techos, ubicación de aberturas, etc., indicando materiales a utilizar y dosajes de la mezclas empleadas.
 - Plano de la instalación eléctrica, sistema contra explosión, ubicación de interruptores y disyuntores, etc.
- ❖ En todos los casos en los respectivos proyectos se contemplarán los siguientes aspectos generales de diseño:
 - Las puertas o portones de ingreso deberán ser diseñados con la robustez adecuada para evitar el acceso de intrusos y proteger la cámara de acciones que pudieran poner en peligro la seguridad pública. A estos efectos estas vías de ingreso y egreso dispondrán de cerraduras adecuadas.
 - Idem respecto a las tapas de las cámaras subterráneas que, además de disponer de cierres adecuados, deben asegurar la hermeticidad interior ante riesgos de ingreso de agua por inundaciones o cualquier otro agente meteorológico.

- Todas las instalaciones destinadas a la regulación de gas contarán con un diagrama de flujo con indicación del sentido de las corrientes, señalando la rama normalmente operativa y la stand-by. Esta indicación también se señalará en las cañerías propiamente dichas.
- La documentación técnica de la obra correspondiente a estas instalaciones contendrá: planos correspondientes a las construcciones mecánicas, detalle de conjuntos y prefabricados, planillas de cálculo de las estructuras resistentes si las hubiese, planos de las instalaciones eléctricas, de ventilación, de comunicaciones y de montaje de los equipos adquiridos comercialmente.
- Una vez finalizados los trabajos se adjuntará a la documentación técnica de la obra planos conforme a obra con todos los detalles de lo realizado.
- Idem respecto al conexionado de todo el instrumental y dispositivos de control, sus cañerías y accesorios.
- Idem respecto a folletos con detalles constructivos e instrucciones para su operación y mantenimiento.

2.4.4. Características constructivas

2.4.4.1. Obra civil

- ❖ Las construcciones civiles en que pudieran quedar alojados la totalidad de los equipos o alguna de sus partes deben dar cumplimiento a los siguientes requisitos:
- ❖ Dar cumplimiento a lo dispuesto en la Norma N.A.G. 100.
- ❖ Idem al Código de la Edificación con jurisdicción en la zona de los trabajos. Se tendrá en cuenta lo que en los mismos se establezca respecto a construcciones antisísmicas.

- ❖ Todas las cámaras aéreas llevarán cercos perimetrales y dispondrán de circuitos de circulación.
- ❖ Confeccionar un plano de ubicación general de las instalaciones en el predio, con dimensiones del mismo, las generales de la planta, las distancias de seguridad, la localización de las vías y caminos de acceso y la ubicación de construcciones más próximas con indicación de su destino.
- ❖ Cuando se realicen construcciones de hormigón armado, planos constructivos de cada una de sus partes, con doblado de hierros y planillas de cálculo.
- ❖ Planos constructivos relacionados con trabajos de mampostería, solados, techos, ubicación de aberturas, etc., indicando materiales a utilizar y dosajes de las mezclas empleadas.
- ❖ Plano de la instalación eléctrica para iluminación y otros usos, con la ubicación de las columnas de iluminación, localización de las diferentes bocas y tomas, potencia de las lámparas utilizadas, cableado, sistema contra explosión, ubicación de interruptores y disyuntores, etc.
- ❖ Plano del cableado para telefonía y ubicación de los equipos correspondientes de este sistema y el de los equipos de radio, si existiera.
- ❖ En todos los casos en los respectivos proyectos se contemplarán los siguientes aspectos generales de diseño:
 - La necesidad de construir caminos exteriores a la planta que posibiliten su acceso en cualquier condición meteorológica, con vehículos adecuados.
 - Las puertas o portones de ingreso a los predios en que estas estaciones están montadas deberán ser diseñados con la robustez adecuada para evitar el acceso de intrusos y proteger la cámara de acciones que pudieran poner en peligro la seguridad pública. A estos efectos estas vías de ingreso y egreso dispondrán de cerraduras adecuadas.
 - Todas las instalaciones destinadas a la regulación de gas contarán con un diagrama de flujo con indicación del sentido

de las corrientes, señalando la rama normalmente operativa y la stand - by. Esta indicación también se señalará en las cañerías propiamente dichas.

- La documentación técnica de la obra correspondiente a estas instalaciones contendrá: planos correspondientes a las construcciones mecánicas, detalles de conjuntos y prefabricados, planillas de cálculo de las estructuras resistentes si las hubiera, planos de las instalaciones eléctricas, de ventilación, de comunicaciones y de montaje de los equipos adquiridos comercialmente.
- Una vez finalizados los trabajos se adjuntará a la documentación técnica de la obra planos conforme a obra con todos los detalles de lo realizado, incluyendo plano general del sistema de cañerías con sus colectores, válvulas, accesorios, conexión de separador de líquido y polvo, calentador de gas, sistema de regulación, sistema de medición, sistema de odorización, instrumental, soportes, etc.
- Idem respecto al conexión de todo el instrumental y dispositivos de control, sus cañerías y accesorios.
- Idem respecto a folletos de los separadores de líquido y polvo, calentadores, válvulas, válvulas reguladoras, válvulas de seguridad, equipos de medición y de odorización, etc., con detalles constructivos e instrucciones para su operación y mantenimiento.

2.4.4.2. Obra mecánica

- ❖ En relación con la presión interna, se realiza según la clase de trazado (N.A.G. 100 - Parte C - Sección 111).
- ❖ En relación con las cargas externas, aplicando procedimientos recomendados por las disciplinas Estabilidad y Resistencia de Materiales. Se debe tomar en cuenta además la acción de la presión interna.
- ❖ En relación con la velocidad del fluido, no debe exceder lo establecido en el Apartado 2.3.2., es decir, 20 m/seg para gas sin filtrar y 40 m/seg para gas filtrado.

- ❖ La cañería responderá a las especificaciones establecidas según lo dispuesto en 2.1.6.2.
- ❖ Los accesorios para soldar serán según Norma ANSI B 16.9, material ASTM A 234 y los para roscar según Norma ANSI B 16.11, material ASTM A 105.
- ❖ Las soldaduras estarán distanciadas entre sí una distancia no inferior a 1,5 veces el diámetro de la cañería en que se realicen, excepto conexas de instrumentos.
- ❖ Las bridas y accesorios bridados responderán a la Norma ANSI B 16.5, material ASTM A 105.
- ❖ No se instalarán juntas flexibles.
- ❖ Se realizarán pruebas de hermeticidad y resistencia según lo establecido en la Norma N.A.G. 100 - Parte J y según Procedimientos de Prueba preparados por Estudios y Proyectos.
- ❖ Se instalarán bridas con junta aislante y cajas de medición de potencial en las cañerías de entrada y salida de las cámaras, o plantas y reguladores de distrito.
- ❖ Idem en todo otro lugar de estas instalaciones en que la cañería se instala ingresando o saliendo del nivel del terreno.
- ❖ Si existieran cañerías enterradas entre las bridas de entrada y salida, las mismas tendrán protección catódica compuesta por dos ánodos de magnesio de 4 Kg cada uno.
- ❖ Los sistemas auxiliares deben incluir válvulas aislantes y filtros.
- ❖ Se proveerán puntos de toma para permitir la medición de pérdidas de presión a través de componentes y seteo de reguladores.
- ❖ Cada sistema auxiliar debe tener su propio suministro.
- ❖ Se colocarán filtros en cada una de las ramas de regulación con un tamiz no mayor de 200 μm .

- ❖ Los filtros para suministro de gas a pilotos y auxiliares deberán tener un tamiz no mayor de 50 μm .

3. PROTECCIÓN ANTICORROSIVA

3.1. Introducción

Tal como quedara expresado en 2. INSTALACIONES, por razones metodológicas se estableció la conveniencia de tratar la temática relacionada con la Protección Anticorrosiva en un apartado especial. Por tal razón se ha procedido a tratar en forma específica en esta parte del Manual de Proyectos, todo lo relacionado con esta especialidad.

Bajo estas consideraciones y por haber considerado que tal proceder resultaba muy conveniente para el uso de este manual, es que han quedado involucrados agrupadamente todos los aspectos relacionados con el proyecto de la protección catódica de las cañerías de acero que forman parte de su sistema operativo, y de las instalaciones asociadas a la mismas.

Asimismo y dado lo específico del tema, se ha considerado oportuno efectuar algunas consideraciones preliminares sobre la corrosión, en el entendimiento que podrá ser de utilidad para quienes sin estar especializados en esta disciplina, podrían comenzar a desarrollar tareas en esta área o brindar algún tipo de apoyo a quienes lo realizan,

3.2. Consideraciones sobre la corrosión

3.2.1. Efectos de la corrosión

Los gasoductos, redes e instalaciones complementarias destinadas a la distribución de gas por cañerías están expuestas si no se toman adecuadas previsiones a su corrosión, fenómeno que al disminuir su resistencia mecánica, expone a las instalaciones a riesgos de fallas que pueden producir pérdidas de gas, con los consiguientes peligros que este fenómeno entraña para la seguridad pública y aún explosiones, cuyas consecuencias pueden resultar de suma gravedad.

Al analizar los fenómenos de corrosión que podrían involucrar a cañerías destinadas al transporte y distribución de gas, no puede dejar de tenerse

en cuenta el hecho de que si la zona afectada por corrosión, está además expuesta a la acción de fuerzas externas que la someten a un trabajo mecánico, los efectos corrosivos pueden llegar a potenciarse de tal modo que la integridad de la pieza en cuestión puede llegar a verse seriamente comprometida.

Es bastante frecuente que las cañerías conductoras de gas se vean afectadas, no solo por los esfuerzos derivados de la presión del gas que circula por su interior, sino también por otros efectos derivados de acciones externas, provocados por sobrecargas en los casos de cruces carreteros o ferroviarios, no debidamente realizados, fenómenos de dilatación por ingreso de gas a temperatura superior a la de diseño, ídem y también contracción por la acción de variaciones de la temperatura externa en instalaciones aéreas, etc.

Es también habitual y por esa razón debe ser considerada la producción de efectos de flexión en zonas donde las cañerías por efectos erosivos del terreno puedan quedar expuestas e incorrectamente soportadas por el terreno, la aparición de cargas de torsión por razones similares y efectos combinados, donde varios fenómenos converjan produciendo la acumulación de tensiones que se sumarán a la circunferencial propia de la presión interna, pudiendo producir el colapso de la pieza en cuestión.

Es así que si la parte afectada está sujeta a corrosión y simultáneamente a trabajo mecánico, su resistencia se verá disminuida notablemente, debiéndose aclarar que esa disminución será muy superior a la aparentemente previsible, ya que las innumerables erosiones superficiales originadas en el efecto corrosivo producen el efecto de múltiples entallas finas que dan origen a un fenómeno de concentración de tensiones, muy comprometedor para la resistencia esperada del material.

Es de interés tomar en consideración que el fenómeno descripto se va acentuando paulatinamente porque los esfuerzos de tracción (provocados por la presión interna), hacen que esa entallas se ensanchen, aumenten su superficie y la expuesta a la corrosión, lo que en definitiva determina que destrucción progrese mucho más de prisa que lo previsto. En las partes sometidas a compresión este fenómeno es menor ya que ese estado tiende a cerrar las entallas y disminuir la superficie peligrosa.

Cuando las cañerías están expuestas a esfuerzos alternativos por efectos de relativamente grandes variaciones de la presión interna, tal el caso de gasoductos en los que su presión varía sensiblemente a causa de las

variaciones del consumo, los efectos de se potencian y los riesgos de fallas consecuentemente aumentan.

Todo lo expuesto debe llevar a reflexionar que los criterios aplicados para el diseño de gasoductos, solo tienen en cuenta los efectos de la presión interna a que estarán sometidos, razón por lo cual, no resulta admisible la presencia de efectos corrosivos en cañerías que operan a presiones elevadas y mucho menos la simultaneidad de ese efecto con la acción de sobrecargas u otros estados de carga que potencien los estados de tensión de las mismas.

Es pues recomendable mantener una permanente vigilancia del estado de conservación de las cañerías y de los posibles efectos de cargas exteriores no previstas durante el diseño o no controladas luego de haber sido detectadas cuando las mismas sean el resultado de situaciones posteriores a su construcción, verificando en tal caso que las tensiones admisibles del material no serán superadas o que las reparaciones necesarias podrán ser realizadas oportunamente.

Cuando las acciones correctivas por su gravedad no puedan ser tomadas velozmente, deberán instrumentarse de inmediato acciones correctivas limitativas de las sobrecargas externas u otros efectos que derivarían en aumentos de tensiones que podrían llegar a superar las de diseño y proceder simultáneamente con la mayor rapidez posible a la reducción de la presión interna.

3.2.2. Mecanismo de la corrosión

En términos generales, la corrosión puede ser considerada como un fenómeno en que los metales sufren una rápida alteración cuyo origen debe ser explicado por el efecto de acciones químicas, electroquímicas, físicas o microbiológicas.

3.2.3. Oxidación

La experiencia demuestra que en contacto con el aire húmedo, agua o materiales húmedos en general, muchos metales se oxidan en superficie llegando en algunas circunstancias a propagarse tal oxidación hasta producir profundas corrosiones.

3.2.4. Corrosión electroquímica

Se ha podido asimismo comprobar que en contacto con medios electroquímicamente activos también se da este fenómeno, derivando en este caso las acciones corrosivas de corrientes eléctricas que recorren circuitos, algunas veces brevísimos que comprenden en algunos casos parte del material y parte del medio en que éste está inmerso. En estos casos la corrosión afecta al metal comprometido en los lugares donde la corriente lo abandona para entrar en el medio. (regiones anódicas del metal).

Es muy frecuente que las cañerías de acero conductoras de gas instaladas en forma enterrada, puedan encontrarse circunstancialmente recorridas por corrientes eléctricas (que pueden provenir de variados orígenes, ejemplo: ferrocarriles electrificados), las que transitando a través del terreno circundante, luego de ingresar a la cañería a través de un recorrido variable según cada caso, la abandonan imprevistamente para ingresar y regresar al terreno, provocando en algunos casos graves efectos corrosivos en esa zona.

Complementa lo anterior la comprobación de que existen también corrientes de origen telúrico, generadas por fuerzas electromotrices desarrolladas por el contacto entre terrenos de diferente constitución química y por fenómenos físicos, las que también pueden producir afectaciones al material constitutivo de la cañería.

3.2.5. Aireación diferencial

Una de las causas más comunes de las corrosiones de los metales en contacto con medios electroquímicamente conductores deriva de la llamada aireación diferencial, fenómeno que tiene lugar cuando algunas moléculas de oxígeno de la atmósfera, eventualmente liberadas por los líquidos en que estaban disueltas, llegan a las proximidades de la superficie del metal, llegando a tomar contacto con el mismo en los sitios en que el metal se encuentre incorrectamente recubierto por sustancias aislantes.

El fenómeno descripto queda explicado por el hecho de que las moléculas de oxígeno gaseoso descritas tienden a absorber electrones (es decir, a

ionizarse) que son cedidas por el metal de la cañería, proceso que provoca que en esa zona y respecto de las zonas recubiertas, se produzca una polarización localizada que llega a generar corrientes eléctricas que causantes de corrosión y cuyos circuitos de circulación están parcialmente comprendidos entre el metal y el medio circundante.

3.2.6. Otros mecanismos

También suelen generarse fuerzas electromotrices capaces de actuar entre regiones próximas de un mismo metal cuando el mismo está en contacto con electrólitos, si se da la situación de existir diferencias locales en la constitución química o en la estructura física de su superficie.

Esta situación puede observarse en presencia de partículas de óxido, sulfuros, etc., incluidas en el metal, ídem en relación con gases ocluidos, heterogeneidad en las aleaciones, tensiones mecánicas localizadas en un cierto punto, etc.

Ante estas diferencias estructurales localizadas, tienen a su vez lugar diferencias del comportamiento electromotor del metal (diferentes tensiones electroquímicas de solución) respecto al electrólito, y en consecuencia, formaciones de pilas locales capaces de dar origen a corrientes eléctricas que recorren circuitos que comprenden parte del metal y del medio circundante, lo que da lugar a la aparición de corrosiones más o menos profundas en los sitios donde el metal tiene polaridad positiva respecto al electrólito.

3.3. Causas de la corrosión

Resumidamente podemos clasificar a la corrosión según los diferentes tipos: i) Atmosférica, ii) Por tensiones, iii) Por corrientes errantes y iv) Biológica.

3.3.1. Corrosión atmosférica

Está comprobado que las posibilidades de corrosión por acción atmosférica, son prácticamente nulas, en zonas donde las condiciones

atmosféricas son sumamente secas (humedad relativa ambiente inferior al 30%) y donde es muy baja la presencia de impurezas en el aire.

Es sabido que estas condiciones no tienen lugar en las regiones normalmente habitadas por el hombre donde la humedad relativa ambiente supera a menudo el 50% y la atmósfera está más o menos contaminada, circunstancias que favorecen los procesos corrosivos que se presentan en el ambiente real en que desarrollamos normalmente nuestras actividades.

El mecanismo de la corrosión suele ser el ataque electroquímico que se manifiesta sobre la superficie del metal cuando sobre ella se extiende una capa de líquido conductor constituido básicamente por agua enriquecida por sales, cuyo espesor puede llegar a aumentar considerablemente cuando las mismas son muy higroscópicas, tal el caso, tal el caso del cloruro de cinc y el de magnesio.

La permanencia de la humedad sobre la superficie de los metales tiende a aumentar los fenómenos de corrosión, fenómenos estos que aumentan en gravedad si la atmósfera está contaminada sulfuro de hidrógeno, ácido sulfuroso, cloro, ozono u otros productos amoniacales, produciendo efectos cuya gravedad guarda relación directa con una presencia más activa de estos elementos y con la intensidad de los vientos actuantes en la zona en estudio.

3.3.2. Corrosión por tensiones

Existen procesos corrosivos que tienen su origen en tensiones mecánicas internas o externas y consisten básicamente en ataques localizados en las inmediaciones y en el contorno de los cristales que componen la estructura del metal, provocando disminuciones de consideración en su resistencia.

Este tipo de corrosión puede descubrirse mediante la observación del material afectado con un microscopio metalográfico.

3.3.3. Corrosión por corrientes errantes

Es muy variable, siendo su curso siempre el que presenta la menor resistencia de circulación. Las corrosiones que provocan (denominadas anódicas), están siempre ubicadas en los sitios donde la corriente abandona el metal y son tanto más peligrosas cuanto más localizada estén.

3.3.4. Corrosión biológica

Las corrosiones de los metales pueden ser notablemente influidas por los microorganismos comprendidos en el medio.

Se distinguen los siguientes casos:

- ❖ Los microorganismos generan corrosiones químicas debido a sustancias agresivas producidas por su metabolismo.
- ❖ Las velocidades de las acciones corrosivas, que derivan de las propiedades especiales y de las condiciones del medio y del metal, son aumentadas por un efecto de la despolarización consecuente con fenómenos que acompañan al metabolismo de los microorganismos.
- ❖ Las películas que generalmente revisten la superficie metálica, comunicando al metal estados pasivos, son alteradas y algunas veces destruidas;
- ❖ La presencia de microorganismos, en el medio adherente al metal, favorecen fenómenos de aireación diferencial por efecto de los depósitos locales de materiales procedentes de su metabolismo.

3.3.5. Consideraciones termodinámicas sobre la corrosión

Los metales llamados nobles (es decir aquellos que tienen un potencial de disolución cero o casi cero), se encuentran en la naturaleza en estado

nativo, tal el caso del platino, el oro, la plata y algunos otros como el tantalio, el niobio, el itrio, el titanio y el circonio.

El hierro en cambio, metal que sometido a aleaciones es transformado en el acero con el que se construyen las cañerías, se encuentra en la naturaleza en estado natural, formando parte de óxidos. Este hecho pone en evidencia que en su asociación con el oxígeno, el hierro presenta un estado más estable que vinculado a cualquier otro elemento.

Cuando el acero está sujeto a corrosión, el hierro que lo compone tiende a volver al estado natural descripto. Esta tendencia es tanto más elevada cuanto más energía resulte necesaria para reducir el óxido a metal, ya que un metal puede estar sujeto a corrosión solamente en el caso de ser inestable respecto al producto de su corrosión.

La termodinámica permite calcular la energía libre del sistema en el caso de un metal puro situado en un medio de condiciones definidas, situación que permite prever su comportamiento.

Los casos posibles son:

- ❖ La energía libre es positiva y el metal es activo; hay corrosión; es el caso más corriente.
- ❖ La energía libre es positiva y el metal es pasivo; a causa de la discrepancia química que se opone al desarrollo de las reacciones, no hay corrosión; es un caso muy raro e inestable.
- ❖ La energía libre es nula o negativa; el metal es indiferente a la agresividad del medio y en consecuencia, la corrosión no es posible (ejemplo: metales nobles).

3.3.6. Medios de protección contra la corrosión

Muchos son los estudios llevados a cabo para definir las causas específicas y la cinética de la corrosión, así como los esfuerzos realizados para buscar los medios de inhibirla u obstaculizarla. Algunos de los procedimientos seguidos en este sentido, son los siguientes:

- ❖ La corrosión se puede inhibir aislando el material (a proteger) del medio ambiente externo, utilizando revestimientos de materiales no metálicos (Ej.: materiales cerámicos, materias plásticas, cauchos sintéticos, vidrios, esmaltes, pinturas, etc.), o metálicos constituidos por materiales más nobles que el que se protege (Cr, Ni, Cd, etc.).
- ❖ La corrosión se puede obstaculizar empleando para las aleaciones ferrosas, inhibidores como los fosfatos y los cromatos alcalinos (Ej.: el cromato de sodio, que crea sobre el hierro una capa compacta y protectora).
- ❖ La corrosión de un material puede obstaculizarse a expensas de la corrosión de otro (Ej.: En las planchas galvanizadas, el cinc protege al hierro, puesto que la corrosión ataca preferentemente al cinc).
- ❖ La corrosión puede inhibirse aplicando a las cañerías u otras partes metálicas una corriente continua, conectando el material al cátodo de la fuente de energía eléctrica, proceso denominado “Protección Catódica” de gran aplicación en la industria del gas.
- ❖ Finalmente teniendo en cuenta que entre las diversas causas que dan origen a la corrosión se debe considerar a las tensiones internas que puede estar sufriendo el material que conforma las cañerías, resulta necesario que los procedimientos aplicados para su mantenimiento procuren la eliminación de estas causas, tal el caso de pequeñas entalladuras, soldadura de paredes de distinto espesor, etc.

3.3.7. Material de consulta

Se aconseja la lectura del siguiente material agregado en el **Tomo 6 – Apartado 5 - Material de Consulta** y que responde al siguiente listado.

- ❖ Manual NACE
- ❖ “La protección catódica en cañerías de acero”, Gas del Estado, 1973 (Traducción de un folleto explicativo emitido por la Sociedad Técnica y Comercial de Canalizaciones Subterráneas en Tubos de Acero – S.T.E.C.T.A. –103, Rue de la Boetle, Paris, Francia.

3.4. Criterios de Diseño, Operación y Mantenimiento

En Preparación

3.5. Investigación y Desarrollo

En Preparación

3.6. Listado de documentos aplicables

3.6.1. Especificaciones Técnicas

Número	Descripción
	Ánodo de Magnesio
	Ánodo de Fe/Si
	Coque de petróleo calcinado
	Ánodos tubulares de titanio
	Ánodos de grafito
	Ánodos de cinc
	Equipo rectificador automático 50 V 25 A
	Gabinete para rectificador automático (vereda)
	Equipo rectificador automático 30 V 15 A
	Gabinete para rectificador automático (columna)
	Equipo rectificador automático 20 V 10 A
	Equipo rectificador automático 50 V 50 A
	Equipo rectificador automático 80 V 25 A
	Generador eólico y controlador
	Equipo rectificador automático 30 V 30 A
	Caja de medición permanente (conector externo)

	Caja de medición permanente especial
(Continuación)	
Número	Descripción
	Puesta a tierra en ERP
	Puesta a tierra en instrumentos de medición
	Preparación de superficies y pintado
	Protección anticorrosiva
	Protección anticorrosiva de instalaciones aéreas
	Placa de identificación
	Protección catódica de cañerías enterradas
	Protección catódica – Simbología

3.6.2. Planos Tipo

Número	Descripción
	Soporte para caño de PVC (160 mm)
	Cámara de Boca de Pozo para dispersor profundo
	Dispersor profundo con ánodos de Titanio
	Encamisado en PVC 160 mm para dispersor profundo
	Ánodo de Fe-Si (1525 x 51 mm)
	Ánodo de Magnesio (4-8 Kg)
	Instalación de ánodos de Mg (vertical)
	Instalación de ánodos de Mg (horizontal)
	Instalación de baterías de 3 ánodos de Mg (vertical)
	Instalación de baterías de 3 ánodos de Mg (horizontal)
	Dispersor superficial continuo con ánodos de Fe-Si
	Dispersor superficial discontinuo con ánodos de Fe-Si
	Ánodo de Acero

Número	Descripción
	Ánodos tubulares de Titanio
	Instalación de 1 ánodo de Mg (vertical)
	Equipo rectificador automatico 50V 25A/50A
	Gabinete equipo rectificador automático (vereda)
	Equipo rectificador automatico 30 V 15 A
	Gabinete para equipo rectificador (columna)
	Equipo rectificador automatico 20V 10 A
	Columna sostén de equipo rectificador
	Base de Hormigón para gabinete TR de vereda
	Equipo rectificador automatico 80 V 25 A
	Equipo rectificador automatico 30V 30 A
	Caja de medición permanente (conector externo)
	Caja de medición permanente especial
	Celda descargadora
	Puesta a tierra en ERP
	Puesta a tierra para instrumento de medición
	Columna de paneles fotovoltaicos hasta 60 W
	Columna de paneles solares con controlador y batería
	Columna de paneles fotovoltaicos hasta 30 W
	Esquema de instalación d epanles
	Gabinete para controlador y baterías
	Esquema de instalación de panales con Mg
	Placa de Identificación
	Mojón Kilometrico
	Mojón Indicador aéreo
	Señalización adhesiva para tableros de protección catódica

3.6.3. Procedimientos

Número	Descripción
	Refuerzo del sistema de protección catódica
	Cálculo de ánodos de magnesio
	Cálculo de resistencia de un dispersor superficial continuo
	Cálculo de resistencia de un dispersor superficial discontinuo
	Cálculo de resistencia de un dispersor profundo
	Instalación de dispersores superficiales horizontales
	Instalación de dispersores superficiales verticales
	Instalación de dispersores profundos
	Equipos rectificadores para protección catódica
	Instalación de generador eólico
	Medición de resistencia de Puesta a Tierra
	Toma de resistividades in situ con el método de Wenner
	Resistencia de Cobertura
	Guía para la inspección de revestimientos
	Prueba de aislación eléctrica de revestimientos
	Revestimiento de válvulas en cámaras
	Instalación de paneles fotovoltaicos
	Instalación de generadores fotovoltaicos
	Instalación de generadores termoeléctricos
	Instalación de mojon con CMP en gasoductos y redes de distribución
	Instalación de CMP sobre línea municipal en gasoductos y redes de distribución
	Instalación de CMP tipo baldosa en gasoductos y redes de distribución

(Continuación)

Número	Descripción
	Instalación de celdas IR Free
	Relevamiento de celdas IR Free
	Instalación de probetas para medir velocidad de corrosión
	Relevamiento probetas para medir velocidad de corrosión
	Relevamiento de potenciales con la corriente de protección aplicada
	Distribución de puntos de muestreo
	Relevamiento de potenciales con la corriente de protección interrumpida
	Control de juntas aislantes
	Aplicación de soldadura cuproaluminotérmica y parcheo de revestimiento
	Archivo de Información sobre Protección Catódica
	Evaluación de datos de Protección Catódica

3.6.4. Normas de aplicación

Nombre	Descripción
GE-N1-108/92	Revestimiento anticorrosivo de tuberías en condiciones de operación normales
SIS-05-59-00-1967	Preparación de Superficies
IRAM 1012	Preparación y Limpieza de Superficies
CAN/CSA-Z245.21-M92	Norma de revestimientos Canadiense

4. PREPARACIÓN DEL PROYECTO

4.1. Formulación del proyecto

4.1.1. Introducción

Todas las obras sujetas a procesos de licitación conforman proyectos que como tales deben cumplir con todas las formalidades correspondientes, es decir, formar parte del Budget anual, tener aprobado un extrabudget justificado por razones operativas o resultar de realización inmediata e imprescindible por tratarse de una emergencia.

En consecuencia se debe confeccionar por cada proyecto una carpeta específica e individual que formará parte de la documentación de la obra cuando a esta se le de inicio y posteriormente del Archivo Técnico conjuntamente con la que surja de la obra.

Estos cuatro aspectos constituirán en todos los casos la documentación básica de todas las obras que se realicen, cualquiera sea su tamaño y características, es decir, que serán de aplicación para obras nuevas (realizadas por Administración, por Contrato o por Terceros), modificaciones de obras existentes, reparaciones o trabajos originados en programas de operación y mantenimiento.

4.1.2. Documentación de la obra

La documentación de la obra estará conformada por los siguientes aspectos:

4.1.2.1. Síntesis

Constituirá la presentación del proyecto propiamente dicha y contendrá una descripción esquemática del mismo, realizada de modo tal que en una apretada síntesis puedan captarse los aspectos esenciales del

proyecto en lo que hace a sus objetivos, características constructivas, valorización, plazo de ejecución, fecha probable de habilitación, etc.

4.1.2.2. Memoria descriptiva

Contendrá:

- ❖ Nombre de la obra.
- ❖ Lugar.
- ❖ Objeto.
- ❖ Descripción.
- ❖ Relación con otras partes del sistema en operación.
- ❖ Forma de realización.
 - Por Administración.
 - Por Contrato.
 - Por Terceros.
- ❖ Fecha probable de iniciación.
- ❖ Plazo de ejecución previsto.
- ❖ Equipos y materiales.

4.1.2.3. Memoria de cálculo

Incluirá cálculos relativos a las siguientes partes:

- ❖ Gasoductos y ramales.
- ❖ Redes de Distribución.

- ❖ Plantas de Regulación.
- ❖ Obras Civiles.
- ❖ Obras Especiales.

4.1.2.4. Planos

Seguirán los lineamientos del plano tipo, última revisión.

4.1.2.5. Equipos y materiales

Se discriminarán por:

- ❖ A adquirir
- ❖ A proveer por el Contratista.
- ❖ A proveer de stock.
- ❖ A proveer por Terceros.

4.1.2.6. Especificaciones técnicas

Se tendrán en cuenta las especificaciones listadas en el Apendice de este Tomo.

4.1.2.7. Procedimientos

Se tendrán en cuenta los procedimientos listados en el Apendice de este Tomo.

4.1.2.8. Presupuesto

- ❖ Para los trabajos a realizarse por Administración, el presupuesto de obra se realizará discriminando los siguientes rubros:
 - Ingeniería y dirección de obra.
 - Mano de obra de la distribuidora
 - Mano de obra a contratar
 - Materiales a adquirir
 - Materiales a proveer de stock
 - Amortización de equipos
 - Alquiler de equipos
 - Viáticos
 - Combustibles y lubricantes.
 - Insumos varios.
 - Gastos asociados:
- ❖ Para los trabajos a realizarse por Contrato el presupuesto de obra se realizará discriminando los siguientes rubros:
 - Ingeniería e Inspección de Obra.
 - Materiales a proveer por la distribuidora
 - Mano de Obra propia
 - Trabajos a contratar incluida la provisión de materiales y equipos a suministrar por el Contratista.
- ❖ Para los trabajos a realizarse por Terceros el presupuesto de obra se realizará discriminando los siguientes rubros:
 - Ingeniería e Inspección de Obra.
 - Gastos Generales.

4.1.2.9. Cronograma

Se tendrá en cuenta lo establecido en las pautas del Presupuesto Anual.

4.1.2.10. Carpeta de obra

Al momento de la elaboración del proyecto se confeccionará una carpeta de obra en la que se irá agregando toda la documentación relativa a la misma.

Terminada la construcción de la obra, esta carpeta será remitida al Archivo Técnico, quien la mantendrá actualizada y en disposición para toda consulta.

4.1.2.11. Antecedentes

Incluirá:

- ❖ Censos.
- ❖ Estudio de suelos.
- ❖ Datos relativos a obras de infraestructura que guarden relación con el proyecto en realización.
- ❖ Mapas y planos catastrales.
- ❖ Autorizaciones de adquisición de terrenos, permisos de paso, cruces, ocupación de terrenos, etc.
- ❖ Correspondencia con proveedores de materiales y equipos.
- ❖ Antecedentes de cotización de trabajos y materiales.
- ❖ Catálogos y folletos
- ❖ Otros antecedentes.

4.2. Logística de la obra

4.2.1. Introducción

Forma parte de la ingeniería de proyecto de la obra. Tiene en cuenta aspectos vinculados con su dirección, representación técnica y con todo lo que guarde relación con su organización.

Para obras que superen el millón de pesos se preverán recomendaciones para la calificación del personal, inspección de obra, movilización de materiales, instalación de, almacenes, parque de máquinas, talleres móviles, oficina técnica de la obra, etc.

También para obras de este tipo se realizarán previsiones relativas a la secuencia que deben tener las tareas para que la obra se desarrolle manteniendo el ritmo previsto asegurando que los materiales a proveer por la distribuidora sean entregados oportunamente.

4.2.2. Representante técnico

Cuando las obras sean realizadas por contrato, será obligatorio que el contratista en forma previa a la realización de los trabajos nomine a su representante técnico, quien deberá ser aceptado por el comitente y permanecer permanentemente en obra. Cuando por cualquier razón éste debiera ausentarse, su lugar será cubierto por un reemplazante también debidamente autorizado.

En todos los casos, el representante técnico tendrá especialización profesional sobre los temas de que trate la obra cuya representación asumirá. Cuando así corresponda estará matriculado en el consejo profesional correspondiente.

4.2.3. Misión y función del representante técnico

Constituyen Misión y Función del Representante Técnico las siguientes:

❖ Misión:

- Asumir la responsabilidad profesional de la conducción de la obra en el marco de lo que establecen las reglamentaciones vigentes.

❖ Función:

- Firmar la documentación técnica que deba ser presentada ante organismos nacionales, provinciales, municipales, etc.
- Entender en todo lo relacionado con la realización de gestiones y trámites de carácter técnico vinculados con la obra, incluida la gestión de permisos de cruce.
- Supervisar el desarrollo de la obra y verificar el cumplimiento de las normas de aplicación, su seguridad y a la del personal que en ella se desempeña.
- Firmar toda la documentación técnica que deba ser elevada ante organismos que exijan este requisito. Cuando corresponda, su firma será acompañada por otros profesionales, tal el caso de calculista de estructuras, etc.

4.2.4. Organización de la obra

4.2.4.1. Fases

❖ Ingeniería Básica

- Estudios de gabinete y sobre el terreno.
- Cálculos y diseños.
- Planos, listados de materiales, especificaciones técnicas, procedimientos, etc.

❖ Logística

- Obtención de permisos de paso.
- Requerimiento de los terrenos necesarios.

4.2.4.2. Inspección

- ❖ Obras por contrato
 - Definición del perfil del inspector a designar
 - Control de la documentación a ser presentada.

4.3. Archivo técnico

Reglamenta los procedimientos a ser aplicados para el resguardo y consulta de documentación relativa a:

- ❖ Obra original
 - Planos conforme a obra
 - Especificaciones técnicas
 - Procedimientos empleados
 - Certificados de calidad de los materiales incorporados.
 - Catálogos y folletos
- ❖ Modificaciones y ampliaciones
 - Trabajos realizados
 - Materiales incorporados
- ❖ Control
 - Cumplimiento de planes de mantenimiento
 - Relevamiento de Potenciales.
 - Detección de Fugas

5. APÉNDICE

5.1. Fórmulas para el cálculo de gasoductos

5.1.1. Fórmula general racional (FGR)

Si bien existen numerosas fórmulas que intentan dar solución al problema según el campo de aplicación en que son utilizadas en lo que se refiere a rango de caudales, presiones y diámetros, todas ellas son en definitiva simplificaciones de la denominada Fórmula General Racional, realizadas básicamente en relación con valores empíricos asignados a la fricción que experimenta el gas al circular por las cañerías.

Por razones metodológicas, procederemos a deducir en primer lugar la expresión de la denominada Fórmula General Racional simplificada, es decir que permite el cálculo del caudal transportado, pero no tienen en cuenta el desnivel del terreno, situación bastante común si el gasoducto en estudio es de escasa longitud o si se atraviesan zonas de llanura.

5.1.2. FGR sin considerar el desnivel del terreno

Sabemos que la circulación del gas entre dos secciones de una cañería, solo es posible si existe una diferencia de presión en orden decreciente entre las mismas capaz de provocar fuerzas de inercia que actuando sobre la masa del fluido produzcan su movilización al vencer a las fuerzas de frotamiento y de viscosidad que se oponen a ese movimiento.

Surge de lo expuesto que debe plantearse en principio la condición de equilibrio entre ambas fuerzas y tener en cuenta que para que el gas circule, la fuerza de impulsión debe ser mayor que la de fricción.

Al analizar cada una de estas fuerzas observamos en primer lugar que la fuerza de impulsión depende básicamente de la diferencia de presión y de la sección circular sobre la que actúa.

Es decir

$$\text{Fuerza de Impulsión} = \frac{\Delta P * \pi * \varnothing^2}{4}$$

Por otra parte sabemos que las fuerzas de fricción dependen de la superficie mojada ($\pi * D * L$), de un factor de fricción (f) que está relacionado con ciertas condiciones que se analizarán en detalle más adelante, de la densidad del fluido (γ), de la velocidad de circulación al cuadrado (v^2) y de la aceleración de la gravedad.

De lo expuesto resulta que:

$$Fuerza\ de\ Fricción = \frac{f * \gamma * Vel^2 * \pi * \varnothing * \Delta L}{2 * g}$$

Luego igualando las expresión citadas referidas a las fuerzas de impulsión y de fricción, se tiene:

Luego igualando las expresión citadas referidas a las fuerzas de impulsión y de fricción, se tiene:

$$\frac{\Delta P * \pi * \varnothing^2}{4} = \frac{f * \gamma * Vel^2 * \pi * \varnothing * \Delta L}{2 * g}$$

y agrupando

$$\Delta P = \frac{4 * f * \gamma * Vel^2 * \Delta L}{2 * g * \varnothing}$$

Por otra parte, partiendo de la expresión que vincula la velocidad de circulación de un fluido con el caudal, se tiene:

$$Vel = \frac{Q}{S}$$

S= Área interior del caño

Luego reemplazando "Vel" por su valor, se puede expresar:

$$\Delta P = \frac{4 * f * \gamma * Q^2 * \Delta L}{2 * g * \emptyset * S^2}$$

Por ser el gas un fluido compresible, “Q” y “ γ ” varían al variar la presión, por lo que esas dos magnitudes deben expresarse en función de esa variable y tener en cuenta que la evolución que se produce en la cañería es isotérmica, es decir que:

$$P * Vol = P_o * Vol_o = cte$$

Por otra parte es necesario expresar el caudal Q en función del caudal a presión atmosférica Q_o, o sea:

$$Q = Q_o * \frac{Vol}{Vol_n}$$

Siendo:

Vol_o , el volumen específico a la presión atmosférica (P_o)

Reemplazando en la anterior se tiene:

$$\Delta P = \frac{(4 * f * \gamma * Q_o^2 * \Delta L * Vol^2)}{(2 * g * \emptyset * S^2 * Vol_o^2)}$$

Recordando que:

$$\gamma = \frac{1}{Vol_n}$$

$$S = \frac{\pi * \emptyset^2}{4}$$

queda:

$$\Delta P = \frac{32 * f * Q_o^2 * \Delta L * Vol_o}{g * \pi^2 * \emptyset^5 * Vol_o^2}$$

Por otra parte sabiendo que se trata de gases reales, se tiene:

$$P * Vol = Z * P_o * Vol_o$$

y luego

$$Vol = \frac{Z * P_o * Vol_o}{P}$$

Tomando diferenciales y simplificando se tiene:

$$P dp = \frac{32 * f * Q_o^2 * Z * P_o * dL}{g * \pi^2 * \emptyset^5 * Vol_o}$$

Integrando:

$$\int_{P_1}^{P_2} P dP = \frac{32 * f * Q_o^2 * Z * P_o}{g * \pi^2 * \emptyset^5 * Vol_o} \int_0^L dL$$

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{2} = \frac{32 * f * Q_o^2 * Z * P_o}{g * \pi^2 * \emptyset^5 * Vol_o} * L$$

Despejando Q_o :

$$Q = \sqrt{\frac{\pi^2 * g * Vol_o * (P_1^2 - P_2^2) * \emptyset^5}{64 * P_o * f * Z * L}}$$

Teniendo en cuenta que :

$$Vol_0 = \frac{P_1 * Vol_1}{P_0 * z}$$

y además:

$$Q = Q_0 * \frac{T_0}{T}$$

Resulta :

$$Q = \sqrt{\frac{\pi^2 * g * T_0^2 * P_1 * Vol_1 * (P_1^2 - P_2^2) * \phi^5}{64 * P_0^2 * T^2 * f * z^2 * L}}$$

Por otra parte, puede expresarse la relación entre la densidad relativa al gas y al aire (G) como a la relación entre los volúmenes específicos:

$$G = \frac{\gamma_{GAS}}{\gamma_{AIRE}} = \frac{Vol_{AIRE}}{Vol_{GAS}}$$

y además que:

$$P v = P_1 v_1 = n z R T \text{ siendo } n = W/M$$

luego :

$$Q = \left(\frac{\pi^2 g}{64} \frac{T_0^2}{P_0^2} \frac{P_1 Vol_{AIRE}}{T^2 G} \frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{f z^2 L} \right)^{0.5}$$

$$Q = \left(\frac{\pi^2 g}{64} \frac{T_0^2}{P_0^2} \cdot \frac{W z R T}{M_{AIRE} T^2 G} \frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{f z^2 L} \right)^{0.5}$$

Para $v_1 = 1$, $M = 1$

$$Q = \left(\frac{\pi^2 g}{64} \frac{T_0^2}{P_0^2} \frac{z R}{M_{AIRE}} \frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{f z^2 L} \right)^{0.5}$$

$$64 \quad P_0^2 \quad M_{\text{AIRE}} \quad T \quad G \quad f \quad z^2 \quad L$$

Luego:

$$Q = \left(\frac{\pi^2 g R}{64 M_{\text{AIRE}}} \right)^{0.5} \frac{T_0}{P_0} \left(\frac{(P_1^2 - P_2^2) D^5}{f z L G T} \right)^{0.5}$$

Dando unidades y reemplazando valores se tiene:

Q = Caudal en m³/hora

D = Diámetro interior en cm.

P₀ = 1.033 Kg./cm²

g = 9.81 m/seg²

R = 847.8

M_{AIRE} = Peso molecular del aire = 28.97

T₀ = Temperatura base en ° K (° C + 273)

T = Temperatura del gas en ° K

P₁, P₂ = Kg./cm²

L = Km.

G = Densidad del gas relativa al aire (adimensional)

z = Factor de compresibilidad (adimensional)

$$Q = 3,600 \left(\frac{(3.14159)^2 * 9.81 * 847.8}{64 * 28.967} \right)^{0.5} \frac{T_0}{P_0} \left(\frac{(P_1^2 - P_2^2) * D^5}{f * z * L * G * T * 100^5 * 1,000} \right)^{0.5}$$

$$Q = 3,600 \left(\frac{(3.14159)^2 * 9.81 * 847.8}{64 * 28.967 * 100^5 * 1,000} \right)^{0.5} \frac{T_0}{P_0} \left(\frac{(P_1^2 - P_2^2) * D^5}{f * z * L * G * T} \right)^{0.5}$$

Finalmente simplificando y agrupando, se tiene:

$$Q = 0.007575 \frac{T_0}{P_0} \left(\frac{(P_1^2 - P_2^2) * D^5}{f * L * G * T} \right)^{0.5} \quad (\text{m}^3/\text{hora}) \quad (I)$$

5.1.3. FGR considerando el desnivel del terreno

En la deducción de la fórmula anterior no se ha tenido en cuenta la situación más general de cálculo del caudal a transportar por gasoductos en los casos en que el terreno en que se instalará la cañería presente desniveles de importancia. En estos casos lo correcto es tenerlos en cuenta.

Cuando se da esta situación, la ecuación de equilibrio planteada entre las fuerzas de impulsión y de fricción (llamando ΔH a la diferencia de desnivel), pasarán a tener la siguiente forma:

$$\text{Fuerza de Impulsión} = \frac{\Delta P * \pi * \emptyset^2}{4}$$

$$\text{Fuerza de Fricción} = \frac{f * \gamma * \text{Vel}^2 * \pi * \emptyset * \Delta L}{2 * g} + \frac{\gamma * \Delta H * \pi * \emptyset^2}{4}$$

Luego igualando y agrupando se tiene:

$$\Delta P = \frac{2 * f * \gamma * \text{Vel}^2 * \emptyset * \Delta L}{g * \emptyset} + \Delta H * \gamma$$

Llamando H_1 y H_2 a los valores de elevación inicial y final del terreno y siguiendo un procedimiento similar al ya realizado, se tiene:

$$Q = 0.007575 * \frac{T_o}{P_o} * \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) * \phi^5 * \frac{0.0683 * G * (H_2 - H_1) * P_m^2}{Z * T}}{f * Z * L * G * T}}$$

5.1.4. FGR considerando la eficiencia operativa

Para la determinación del caudal efectivamente transportado por un gasoducto, resulta conveniente tener en cuenta la eficiencia operativa del mismo, ya que la capacidad real en general difiere de la teórica por varias razones entre las cuales la más importante es el estado de limpieza interior de la cañería.

A estos efectos es conveniente afectar al cálculo teórico por un coeficiente denominado "Ef" al que en general se le da el valor de 0.95.

Teniendo en cuenta el aspecto señalado, la Fórmula Racional quedara definida por la siguiente expresión:

$$Q = 0.007575 * Ef * \frac{T_o}{P_o} * \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) * \phi^5 * \frac{0.0683 * G * (H_2 - H_1) * P_m^2}{Z * T}}{f * Z * L * G * T}}$$

Como puede verse si hacemos:

$$H_1 = H_2$$

se tiene una expresión idéntica a la (I).

5.1.5. Fórmulas simplificadas (FS)

5.1.5.1. Simplificación por fijación de parámetros

Para los cálculos habituales se acostumbra a fijar algunos parámetros con el objeto de reducir el número de variables y simplificar el número de operaciones a realizar.

En este sentido cuando esto es posible se supone que no existe desnivel y se da a E_f , P_0 , T_0 y T los siguientes valores:

E_f	: 0.95
P_0	: 1.033 Kg/cm ²
T_0	: 288 ° K
T	: 288 ° K
G	: 0.62

Reemplazando valores se tiene que el caudal horario puede ser determinado aceptadas las simplificaciones indicadas, por la siguiente expresión:

$$Q \text{ (m}^3\text{/hora)} = 0.150 * \left(\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{f * Z * L} * D^5 \right)^{0.5}$$

Si lo que se desea con los mismos condicionamientos el caudal diario, suponiendo que el mismo será constante durante todo el día, se tendrá:

$$Q \text{ (m}^3\text{/día)} = 3.602 * \left(\frac{(P_1^2 - P_2^2)}{f * Z * L} * D^5 \right)^{0.5}$$

Se debe tener en cuenta que lo normal será que el caudal varíe durante el día, por lo que salvo que se trate de una simplificación expresamente admitida, el cálculo se deberá realizar teniendo en cuenta el pico horario.

5.1.5.2. Fórmula de Weymouth

Weymouth introdujo una interesante simplificación en la aplicación de la fórmula general, proponiendo adoptar como factor de fricción un valor que fuera en todos los casos dependiente exclusivamente del diámetro.

Si bien esta suposición deja de tener en cuenta factores que efectivamente influyen en la determinación del factor de fricción, la relación propuesta permite obtener valores muy ajustados a la realidad cuando se trata del transporte en alta presión.

Para las unidades utilizadas en la Fórmula General anteriormente indicada, el valor del factor de fricción según lo propuesto por Weymouth, vale:

$$f = 0.0109 * (D_i)^{-1/3}$$

Reemplazando el valor calculado anteriormente, se tiene:

$$Q \text{ (m}^3\text{/hora)} = 0.150 * \frac{((P_1^2 - P_2^2) * D^5)^{0.5}}{0.0109 * D^{-1/3} * z * L}$$

$$Q \text{ (m}^3\text{/hora)} = 1.4367 * \frac{((P_1^2 - P_2^2) * D^5)^{0.5}}{z * L}$$

y también:

$$Q \text{ (m}^3\text{/día)} = 34.481 * \frac{((P_1^2 - P_2^2) * D^5)}{z * L}^{0.5}$$

Al estar el factor de fricción “f”, en la fórmula de Weymouth, directamente relacionado con el diámetro, es posible definir “constantes de cálculo” para cada diámetro, para lo cual debemos establecer para cada caso un espesor correspondiente.

Procediendo de este modo tendremos una serie de Constantes de Weymouth a las que denominaremos $C_{wD,e}$, las que al ser introducidas en la fórmula anterior nos permite disponer de una expresión más simplificada aún para el cálculo del caudal.

Definidas las constantes de Weymouth para diferentes diámetros y espesores y llamando Q_h y Q_d a los caudales horarios y diarios a ser calculados, se tiene:

$$Q_h = C_{hwD,t} \left\{ \frac{(P_1^2 - P_2^2)^{0.5}}{z \times L} \right\}$$

$$Q_d = C_{dwD,t} \left\{ \frac{(P_1^2 - P_2^2)^{0.5}}{z \times L} \right\}$$

5.1.5.3. Factor de compresibilidad

Para la determinación del factor de compresibilidad introducido en la fórmula general racional, se puede utilizar con bastante aproximación la siguiente expresión:

$$\sqrt{1/z} = \sqrt{1 + 2.73322 * 10^{-3} * P_m}$$

En lo que respecta al valor que corresponde asignar a P_m , el mismo puede ser calculado mediante la siguiente expresión:

$$P_m = 2/3 \left((P_1 + P_2) - \frac{P_1 * P_2}{P_1 + P_2} \right)$$

Sustituyendo el valor de P_m , se tiene:

$$\sqrt{1/z} = \sqrt{1 + 2.73322 * 10^{-3} * \frac{2}{3} \left((P_1 + P_2) - \frac{P_1 * P_2}{P_1 + P_2} \right)}$$

5.1.5.4. Cálculo del número de Reynolds

Como vimos para la determinación del factor de fricción resulta necesario calcular el número de Reynolds, el que puede hallarse mediante la aplicación de la siguiente expresión simplificada:

$$Re = 43.35 \frac{Q \text{ (m}^3\text{/hora)} * G}{D_i \text{ (cm)} * \mu \text{ (centipoises)}}$$

5.1.5.5. Otras expresiones del número de Reynolds

Form	EXPRESION DE Re	UNIDADES	OBSERVACIONES
1	$\frac{D \cdot V \cdot Q}{\mu}$	$\frac{\text{cm} \times \text{cm}/\text{seg} \cdot \text{gr}(\text{m})/\text{cm}^3}{\text{centipoise}}$	Expresiones Generales Homogéneas
2	$\frac{D \cdot V \cdot \gamma \cdot g_e}{\mu \cdot g}$	$\frac{\text{cm} \times \text{cm}/\text{seg} \cdot \text{gr}/\text{cm}^2 \times \text{gr}(\text{m}) \times \text{cm}}{\text{gr} \times \text{seg}^2 \cdot \text{seg}^2}$	
3	$\frac{D \cdot V \cdot \gamma}{\mu}$	$\frac{\text{cm} \times \text{cm}/\text{seg} \times \text{gr}/\text{cm}^3}{\text{centipoise}}$	
4	$\frac{35,36 \cdot Q \cdot \gamma}{D \cdot \mu}$	$\frac{\text{m}^3/\text{hora} \times \text{Kg}/\text{m}^3}{\text{cm} \times \text{centipoise}}$	Q: En todas las expresio- nes de da referido a presión atmosférica. γ: Peso Específico a presión atmosférica μ: 0,011 centipoise
5	$\frac{43,31 \cdot Q \cdot G}{D \cdot \mu}$	$\frac{\text{m}^3/\text{hora} \times \text{G (aire = 1)}}{\text{cm} \times \text{centipoise}}$	
6	$\frac{3,940 \cdot Q \cdot G}{D}$	$\frac{\text{m}^3/\text{hora} \times \text{G (aire = 1)}}{\text{cm}}$	
7	$\frac{2,364 \cdot Q}{D}$	$\frac{\text{m}^3/\text{hora}}{\text{cm}}$	G = 0,6 μ = 0,011 centipoise
8	$\frac{1,806 \cdot Q \cdot G}{D \cdot \mu}$	$\frac{\text{m}^3/\text{día} \times \text{G (aire = 1)}}{\text{cm} \times \text{centipoise}}$	μ = 0,011 centipoise
9	$\frac{164,2 \cdot Q \cdot G}{D}$	$\frac{\text{m}^3/\text{día} \times \text{G (aire = 1)}}{\text{cm}}$	
10	$\frac{98,52 \cdot Q}{D}$	$\frac{\text{m}^3/\text{día}}{\text{cm}}$	
11	$\frac{D \cdot V \cdot \gamma}{\mu}$	$\frac{\text{pulg} \times \text{pie}/\text{seg} \times \text{lib}/\text{pie}^3}{\text{lib}/\text{seg} \times \text{pie}}$	μ = 0,00000735 lib/seg * pie
12	$\frac{1,831 \cdot Q \cdot G}{D}$	$\frac{\text{pie}^3 \times \text{día} \times \text{G (aire = 1)}}{\text{pulg}}$	
13	$\frac{38,8 \cdot Q}{D}$	$\frac{\text{m}^3/\text{día}}{\text{cm}}$	

		pulg	
14	$931 \frac{Q}{D}$	$\frac{m^3}{hora}$ pulg	G = 0,6

5.2. Dimensionamiento de cañerías

5.2.1. Cálculos aproximados

Dado que el gas natural es de composición variable (si bien dentro de ciertos parámetros), y que a los fines del dimensionamiento de instalaciones de gas no es necesario en general trabajar con una precisión absoluta, se conviene en trabajar cuando sea posible, utilizando parámetros orientativos.

5.2.2. Parámetros orientativos

Para la realización de cálculos aproximados relativos a la realización de proyectos de cañerías a llevar a cabo en el ámbito de la distribuidora, se acepta utilizar respecto a características físicas del gas natural, con los valores orientativos que se indican en el cuadro siguiente:

Parámetros asignables al gas natural para la realización de cálculos aproximados

Parámetro	Signo	Valor	Unidad
Masa volumétrica del gas a 15 ° C y 1.01325 bar	ρ^s	0.70	Kg/m ³
Masa molecular del gas	M_m	16.57	G/mol
Volumen molecular del gas a 15 ° C y 1.01325 bar	V_m	23.64	Dm ³ /mol
Exponente isoentrópico	δ	1.31	
Masa volumétrica del aire a 15 ° C y 1.01325 bar A	$\rho^s A$	1.22551	Kg/m ³
Viscosidad dinámica media del gas		10.8	μP_{aS}

Presión barométrica media	P_b	1.00	Bar
Presión relativa	P		bar
Presión absoluta	P_a	$P + 1 \text{ bar}$	
Coeficiente de apartamiento de las leyes de los gases perfectos respecto de las condiciones reales	k	$1 - 0.002 P$	

5.2.3. Velocidad del gas en cañerías

Se puede describir el movimiento del gas en una cañería para un tiempo dado t_1 , realizando el estudio en un punto definido por sus coordenadas (por ejemplo el punto "R" (x, y, z) y especificando la densidad y velocidad de una de sus partículas.

Como puede observarse cualquier cantidad usada para describir el estado del fluido, por ejemplo su presión P_i , tendrá un valor definido en cada punto del espacio y en cada instante del tiempo esto nos permite generalizar que resulta posible realizar el seguimiento de la partícula en análisis y también de las demás que quieran ser estudiadas, en intervalos cortos de tiempos (dt).

En el estudio del movimiento de las partículas del gas en las cañerías influyen varios aspectos entre los que puede citarse que su desplazamiento no es estrictamente estacionario (ya que su velocidad varía con el tiempo), su compresibilidad, el efecto de la viscosidad, etc.

Dado que no estamos refiriendo a tramos cortos de cañerías, puede aceptarse como simplificación que el gas se mueve en forma estacionaria, razón por la cual es posible aplicar el principio de conservación de la masa, es decir que todo lo que entra al tramo de cañería en estudio es igual a lo que sale de el, y que el efecto de la viscosidad y rozamiento con sus paredes puede despreciarse por ser las mismas suficientemente lisas y la sección transversal uniforme.

En estas condiciones se tiene despreciando por un momento la compresibilidad del gas:

$$Q = \frac{V * A * P_{op} * T_{op}}{}$$

$$Q = \frac{V * \frac{\pi * D_i^2}{4} * P_{op} * T_{op}}{P_a * T_r}$$

Siendo:

V	=	Velocidad media del gas	m/seg.
A	=	Sección de pasaje	
P _a	=	Presión atmosférica	bar
T _r	=	Temperatura de referencia	15 °C
T _{op}	=	Temperatura de operación	5 °C
P _{op}	=	Presión de operación (absoluta)	bar
Q	=	Caudal en condiciones estándar (15°C-1 at)	m ³ /h
D _i	=	Díámetro interior de la cañería	mm
z/z _s	=	Coeficiente de ajuste de las leyes de los gases perfectos respecto a los gases reales (P*v /z*T = P _s *v _s /z _s T _s).	

Reemplazando valores, homogeneizando unidades y despejando V, se tiene:

$$V = \frac{4}{\pi} * \frac{Q}{3600} * \frac{10^6}{D_i^2} * \frac{1.013}{P_{op}} * \frac{278}{288} * \frac{z}{z_s}$$

Luego:

Tomando $z = 1$ y aceptando como simplificación que el factor de compresibilidad puede para presiones medias quedar expresado como se indica más adelante por la expresión:

$$z \simeq (1 - 0.002 P_{op})$$

y que la presión barométrica puede ser aceptado como igual a 1, se tiene:

$$V \text{ (m/seg.)} = 345.92 * \frac{Q}{D_i^2} * \frac{(1 - 0.002 * P_{op})}{(1 + P_{op})}$$

5.2.4. Criterios para el cálculo de z

Existen diversos procedimientos simplificados para el cálculo del factor de compresibilidad z . Ya hemos visto el uso de las expresiones:

$$\sqrt{1/z} = \sqrt{1 + 2.73322 * 10^{-3} * P_m} \quad \text{Fórmula "A"}$$

y

$$z \simeq (1 - 0.002 P_{op}) \quad \text{Fórmula "B"}$$

Resulta de interés observar los apartamientos de los resultados que se obtienen aplicando esta fórmula respecto al obtenido por aplicación del método de cálculo propuesto por el AGA - Transmission Measurement Committee Report N° 8, y cálculos realizados mediante el software "Gas Flow Toolbox".

Si a título de ejemplo tomamos las cromatografías de dos gases, uno denominado "seco", con bajo contenido de pesados y otro con mayor proporción de estos (húmedo), calculamos el factor de supercompresibilidad mediante cromatografía completa y comparamos los resultados para distintas presiones de trabajo con las fórmulas aproximadas, observamos que ambas fórmulas tienen para cálculos aproximados un aceptable grado de aceptación.

Composición molar

Componente	Gas Seco	Gas húmedo
Metano	90.038300	94.673000
Nitrógeno	1.849940	1.498930
Dióxido de Carbono	0.324990	0.859957
Etano	4.565860	2.459880
Propano	1.934940	0.364982
i - Butano	0.481986	0.052997
n - Butano	0.490985	0.083996
i - Pentano	0.140996	0.021999
n - Pentano	0.087997	0.018999
n - Exano	0.047999	0.011999
n - Eptano	0.023999	0.006000
n - Octano	0.012000	0.003000
Total	100.000000	100.000000

Valores de z

Presión (bar)	Fórmula A	Fórmula B	AGA "Seco" G= 0.588	AGA "Húmedo" G= 0.628
1	0.997	0.998	0.997	0.997
5	0.987	0.990	0.989	0.988
10	0.973	0.980	0.979	0.975
15	0.961	0.970	0.968	0.963
20	0.948	0.960	0.958	0.951
25	0.936	0.950	0.947	0.939
30	0.924	0.940	0.937	0.926
35	0.913	0.930	0.927	0.914
40	0.901	0.920	0.917	0.902
45	0.890	0.910	0.907	0.890
50	0.880	0.900	0.897	0.878
55	0.869	0.890	0.888	0.867
60	0.859	0.880	0.878	0.855

5.2.5. Cálculo del diámetro interno de las cañerías

Sabiendo que la velocidad en las cañerías que componen un conjunto operativo dado, tal el caso de una estación de regulación de presión, no deben superar ciertos valores establecidos los mismos, se puede proceder al cálculo de los diámetros interiores de las mismas mediante la aplicación de la siguiente fórmula (que surge del análisis realizado en el punto anterior).

$$V = 345.92 * \frac{Q}{D_i^2} * \frac{(1 - (0.002 * P))}{(1 + P)}$$

Siendo:

V = Velocidad de circulación del gas (m/seg.).

345.92 = Constante numérica.

Q = Caudal en condiciones estándar (m³/hora).

D_i = Diámetro interior de la cañería (mm).

P = Presión de operación de la rama (bar M).

Pr = Presión regulada (bar M).

5.2.6. Cálculo de la caída de presión en cañerías

Para calcular la pérdida de carga en cañerías que funcionan a media y alta presión, se usa comúnmente la fórmula de Renouard simplificada cuando se cumple además la condición de que $Q \text{ (m}^3\text{/h)} \div D \text{ (mm)} < 150$.

La expresión de esta fórmula es la siguiente:

$$dP = 1000 * ((P - (P^2 - 25.24 * L * C^{1.82} * D_i^{-4.82}))^{0.5})$$

Donde:

dP	=	Pérdida de carga en milibar (mbar)
1000	=	Constante numérica
P	=	Presión absoluta en bar al inicio del tramo
25.24	=	Constante numérica
L	=	Largo del tramo en metros
Q	=	Caudal en condiciones estándar
D _i	=	Diámetro interior de la cañería en mm.

5.3. Ejemplos de cálculo

5.3.1. Cálculo de la densidad relativa del gas respecto al aire

El valor de la gravedad específica de un gas dado, en general es un dato que acompaña a la cromatografía realizada al mismo con el objeto de conocer su composición. Por razones regulatorias, ningún gas desconocido puede ser ingresado a una cañería que lo transporte o distribuya hacia bocas de consumo de cualquier tipo (residencial, comercial, industrial, para generación eléctrica, etc.).

El reglamento de servicio de la licencia de distribución establece (ver....), que el poder calórico mínimo del gas a ser entregado por la Distribuidora será de 8.850 Kcal/m³ y que el máximo será de 10.000 Kcal/m³, estos valores guardan una íntima relación con la composición del gas distribuido, a la que está asimismo ligada su gravedad específica.

Podemos observar a título ilustrativo que si tomamos una composición de un gas de características muy similares a las distribuidas habitualmente, y calculamos su gravedad relativa al aire aplicando el criterio señalado en 2.2.1.2.6, se tiene:

Componente	% (1) (1)	Peso molecular de c/componente (2)
Metano	92.72	16,043
Etano	2.91	30,070
Propano	1.16	44,097
Isobutano	0.19	58,124
N butano	0.36	72,151
Iso pentano	0.09	86,178
N pentano	0.09	100,205
Exano +	0.11	44,011
Nitrógeno	0.93	28,020
D. de carbono	1.45	28,016
Total	100.00	17,514

Sabiendo que

$$G = \frac{\text{Peso molecular del gas}}{\text{Peso molecular del aire}}$$

$$G = \frac{17,514}{28,967} = 0,605$$

5.3.2. Ejercicio de aplicación de la fórmula general

Sea calcular aplicando la fórmula general el diámetro que deberá tener un gasoducto para transportar un caudal de 126.000 m³/hora, a una presión de 81 bar absoluto, sabiendo que la presión de llegada debería ser de 39 bar y que la cañería deberá descender desde una altura de 2.225 metros hasta llegar a una planicie ubicada a 600 metros sobre el nivel del mar, para lo que deberá recorrer una distancia 302 km.

Desarrollando el cálculo aplicando las fórmulas indicadas anteriormente y recordando que se trata de proponer un diámetro nominal tentativo y verificar que satisface la exigencia de transportar el caudal propuesto, se tiene:

5.3.2.1. Datos

Caudal	Q	m ³ /hora	126.000
Presión inicial	P1	bar M	80
Presión final	P2	bar	39
Temperatura gas	t	° C	15
Densidad relativa	G	-	0.62
Factor de eficiencia	E	-	0.95
Rugosidad	e	cm	0,0017
Desnivel	Δ H	m	1.625
Dn. tentativo	Dn.	pulg.	16

Norma caño (1)			API 5L X 60
Clase de Trazado (2)			1

$$\begin{array}{lll} (1) & \text{TFME} & = 60.000 \text{ psi} \\ (2) & F & = 0,72 \end{array}$$

5.3.2.2. Cálculo del espesor de la cañería

$$t = \frac{P * D}{2 * S * F * E * T} = \frac{80 * 1,0197 * 14,22 * 16 * 2,54}{2 * 60.000 * 0,72 * 1 * 1} = 0,55 \text{ cm}$$

Se adopta por disponibilidad comercial

$$t = 0,635 \text{ cm}$$

5.3.2.3. Cálculo del diámetro interior

$$D_i = D_e - (2 * t) = (16 * 2,54) - (2 * 0,635)$$

$$D_i = 39,37 \text{ cm}$$

5.3.2.4. Cálculo del Número de Reynolds

$$Re = 2.280 * \left\{ Q \text{ (m}^3\text{/hora)} / D \text{ (cm)} \right\}$$

$$Re = 2.280 * 126.000 * 39,37$$

$$Re = 7.303.606$$

5.3.2.5. Cálculo del factor de fricción (Colebrook)

$$(1/f)^{0.5} = -4 \log((e/D_i)/3.7 D_i) + (1.255 / (Re * (1/f)^{0.5}))$$

$$(1/f)^{0.5} = 19.31$$

$$f = 0,0027$$

5.3.2.6. Cálculo de la presión media

$$P_m = \frac{2}{3} * \left(\frac{P_i^3 - P_f^3}{P_i^2 - P_f^2} \right)$$

$$P_m = \frac{2}{3} * \left(\frac{81^3 - 39^3}{81^2 - 39^2} \right)$$

$$P_m = 62.45 \text{ bar}$$

5.3.2.7. Cálculo del factor de compresibilidad

$$\sqrt{\frac{1}{Z}} = \sqrt{1 + 2,73322 * 10^{-3} * P_m}$$

$$\sqrt{\frac{1}{Z}} = \sqrt{1 + 2,73322 * 10^{-3} * 62,45}$$

Luego

$$z = 0.85$$

5.3.2.8. Cálculo de la pérdida por desnivel

$$k = (0.0683 \cdot G \cdot (H_2 - H_1) \cdot P_m^2) / (z \cdot T)$$

$$k = 1,055.70$$

5.3.2.9. Cálculo del caudal

$$Q = \{0.007545 (T_o/P_o) \} \cdot E \cdot \{(P_1^2 - P_2^2) - k\} \cdot \{(D^5) / (f \cdot z \cdot G \cdot T \cdot L) \}^{0.5}$$

$$Q = 126,115 \text{ m}^3 / \text{hora}$$

Es decir que el valor calculado verifica el requerido, conclusión que determina que el diámetro propuesto de 16 “, es correcto.

5.4. EJERCICIO DE DIMENSIONAMIENTO DE UNA ERP

5.4.1. Datos

Se trata de realizar el dimensionamiento y cálculo de una ERP cuyos parámetros de diseño son los siguientes:

Parámetros		Presión (bar M)	Caudal (m ³ /hora)*
Presión	De entrada máxima	25	-
	De entrada mínima	14	-
	Regulada	10	-
Caudal	Mínimo	-	2,500
	Máximo	-	8,000
Nivel Ruido máximo	85 decibeles (**)	-	-
G (aire) = 1		0.60	

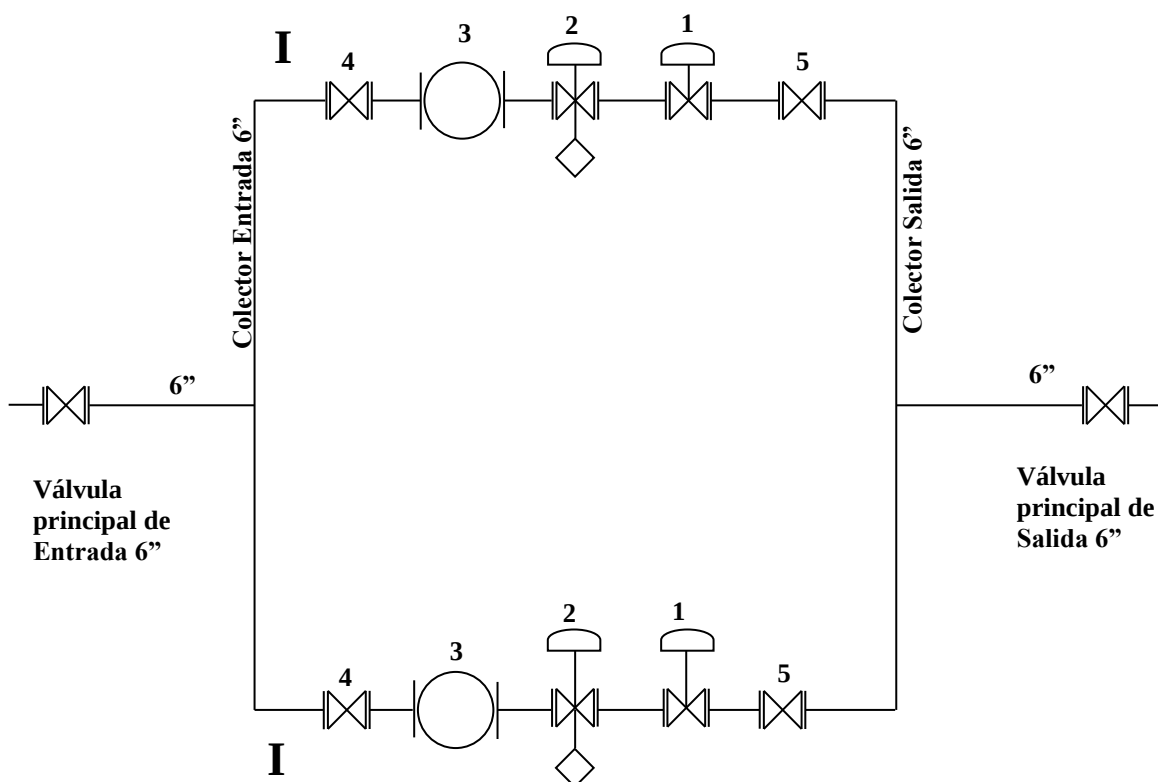
* En condiciones estándar (1 bar, 15 ° C).

** Medidos a un metro de la reguladora activa.

5.4.2. Esquema unifilar

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

A los efectos de este ejercicio se analizará exclusivamente la parte correspondiente a la regulación propiamente dicha. En la parte final del ejercicio, se repite el esquema indicando para cada parte los diámetros y características de las válvulas propuestas.



I.- Rama principal

II.- Rama de reserva

Distribución de elementos

Posición	Denominación
1	Válvula de bloqueo de entrada a la ERP
2	Colector de entrada
3	Cañería de entrada al regulador
4	Válvula de bloqueo de la rama (entrada)

5	Filtro FM
6	Válvula monitora con bloqueo
7	Válvula reguladora activa
8	Cañería de salida del regulador
9	Válvula de bloqueo de la rama (salida)
10	Colector de salida
11	Válvula de bloqueo de salida de la ERP

5.4.3. Dimensionamiento de las cañerías

La velocidad en cañerías que conforman las ramas de regulación debe calcularse aplicando la expresión:

$$V = 345.92 * \frac{Q}{D_i^2} * \frac{(1 - (0.002 * P))}{(1 + P)}$$

Siendo:

V = Velocidad de circulación del gas (m/seg.).

345.92 = Constante numérica.

Q = Caudal en condiciones estándar (m³/hora).

D_i = Diámetro interior de la cañería (mm).

P = Presión de operación de la rama (bar M).

Pr = Presión regulada (bar M).

5.4.4. Valores adoptados

- ❖ Para el tramo de cañería que funciona con presión no regulada, es conveniente adoptar como parámetro de diseño un valor no superior a lo 25 m/seg.
- ❖ Para el tramo de cañería que funciona con presión regulada, es conveniente adoptar como parámetro de diseño un valor no superior a lo 20 m/seg.
- ❖ Respecto a la presión de entrada, en la Distribuidora se ha convenido en adoptar el valor de la mínima histórica de operación registrada o el 50% de la de operación de la cañería de la que deriva, la que sea menor.
- ❖ Como caudal de diseño se adopta el caudal previsto, más un 25%.
- ❖ Por simplicidad se le asigna a la presión atmosférica el valor de 1 bar.

5.4.5. Diámetro interior de las cañerías

El diámetro de las cañerías de entrada y salida debe calcularse, teniendo en cuenta los valores de velocidad aconsejados para cada parte, mediante la aplicación de las siguientes expresiones:

$$D_{i \text{ entrada}} = \left(345.92 * \frac{Q}{25} * \frac{(1 - (0.002 * P))}{(1 + P)} \right)^{0.5}$$

$$D_{i \text{ salida}} = \left(345.92 * \frac{Q}{20} * \frac{(1 - (0.002 * Pr))}{(1 + Pr)} \right)^{0.5}$$

5.4.6. Norma de fabricación de las cañerías

Debe tenerse en cuenta que el valor del diámetro interior calculado, tendrá el carácter de un dato teórico y que el real deberá ser establecido en función de la disponibilidad comercial, una vez definida la calidad de la cañería y el espesor correspondiente.

Para la construcción de las ERP, muchas Distribuidoras ha establecido que corresponde utilizar cañerías sin costura Schedule 40, construidas según norma ASTM A 53 ó A 106 G° B.

Para diámetros nominales comprendidos entre 2" y 12", los espesores y diámetros interiores correspondientes a cañerías según esa especificación son los indicados en el cuadro siguiente:

Diámetro nominal (pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
2	60.3	3.91	52.48
2 1/2	73.0	5.16	62.71
3	88.9	5.49	77.92
4	114.3	6.02	102.26
6	168.3	7.11	154.08
8	219.1	8.18	202.74
10	273.1	9.27	254.56
12	323.9	10.31	303.28

5.4.7. Cálculo de los D_i teóricos

Realizando los cálculos indicados y reemplazando en la fórmulas anteriores los valores de caudal y presión correspondiente, se obtienen los diámetros teóricos buscados según se indica a continuación.

Parte de la rama	Caudal (m ³ /hora)	Velocidad (m/seg.)	P (bar)	Pr (bar)	Di teórico (mm)
Alta	10,000 (*)	25	12.5	--	99.96
Regulada		20	--	10	124.13

(*) 8,000 m³/hora * 1.25

5.4.8. Cálculo de los D_i reales

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

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

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

Rama	Di teórico (mm)	Di real (mm)	Di real (pulgadas)	Espesor (mm)	Norma de fabricación	Schedule
Entrada	99.96	102.26	4	6.02	ASTM A 53 ó A 106 G° B	40
Salida	124.13	154.08	6	7.11		

5.4.9. Recálculo de las velocidades

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

Debemos utilizar ahora nuevamente la expresión:

$$V = 345.92 * \frac{Q}{D_i^2} * \frac{(1 - (0.002 * P))}{(1 + P)}$$

Dimensionando D_i con los valores recientemente calculados, se tiene:

Rama	Di real (mm)	Velocidad m/seg.	Velocidad de referencia
Entrada	102.26	23.89	< 25 m/seg.
Salida	154.08	12.98	< 20 m/seg.

Se observa que las velocidades de circulación, cumplen con lo requerido.

5.4.10. Dimensionamiento del regulador

Con el objeto de minimizar el stock de repuestos, las Distribuidoras ha definido que por el momento se utilizarán solamente válvulas reguladoras marca: EPTA (nacional), SATESA (nacional), FISHER (importada) y FIORENTINI (importada).

Para cada marca corresponde utilizar los siguientes modelos:

Tipo de Válvula	Activa	Monitor
EPTA	Modelo VD 277	Modelo VD 277-S (*)
FISHER	Modelo 399 A	Modelo 399 A (*)
FIORENTINI	Modelo APERFLUX 851	Modelo APERFLUX 851 (*)
SATESA	Modelo 699	Modelo 699 (*)

(*) Con bloqueo incorporado y rearme manual

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

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

Tomando a título ilustrativo el criterio de cálculo propuesto por el fabricante de las EPTA, se observa que dicho coeficiente se obtiene de la expresión:

$$C_g = 30 * 0.044 * Q * \left(\frac{G}{\Delta P * P_2} \right)^{1/2}$$

Donde:

Q = Caudal en Nm³/hora

G = Gravedad específica del gas (aire = 1)

P₁ = Presión de entrada en ATA (atmósferas absolutas)

P₂ = Presión regulada en ATA (atmósferas absolutas)

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

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

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

Para simplificar la metodología de cálculo y contemplar problemas de ruido, resulta aconsejable incrementar en un 66 % el Cg calculado e ingresar directamente a la tabla del catálogo, seleccionandolá de modo que el dato obtenido en el cálculo no supere los coeficientes de capacidad máximos.

Siguiendo este criterio se tiene:

$$C_g = 1.66 * 30 * 0.044 * Q * \left(\frac{G}{\Delta P * P_2} \right)^{1/2}$$

Donde:

Reemplazando valores y recordando que:

$$G = 0.60$$

$$Q = 1.25 * 8,000 = 10,000 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$P_1 = 13.5 \text{ bar A}$$

$$P_2 = 11 \text{ bar A}$$

$$\Delta P = 2.5 \text{ bar}$$

Se tiene:

$$C_g = 1.66 * 30 * 0.044 * 1.25 * 8,000 * \left(\frac{0.60}{2.5 * 11} \right)^{1/2}$$

Es decir:

$$C_g = 3,236$$

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

Valor del coeficiente de C_g

según catálogo de EPTA

Dn de la válvula (pulgadas)	1	1 ½	2	3	4	6	8
C_{gx}	686	1,301	2,379	4,805	7,528	13,580	21,070

Sabiendo que el C_g calculado es 3,236 concluimos que corresponde seleccionar una válvula de 3" de diámetro, cuyo C_g según catálogo es 4,805.

Esta válvula verifica también el nivel de ruido.

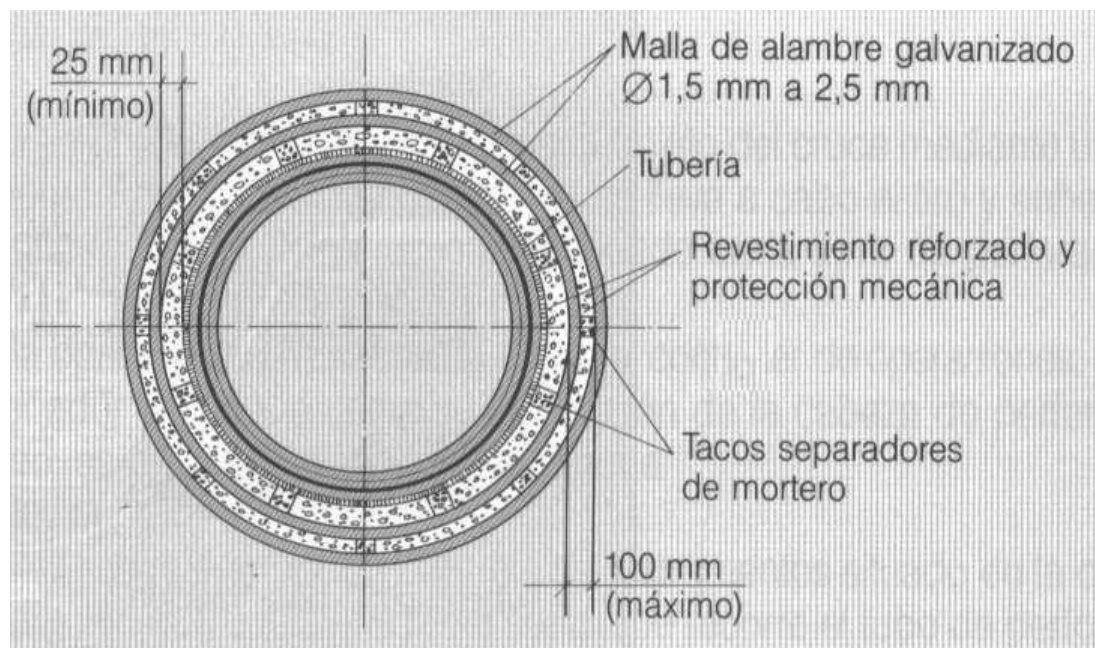
Siguiendo los procedimientos de cálculo aconsejados por los demás fabricantes, se concluye que en todos los casos corresponde instalar válvulas de 3" de diámetro nominal.

5.5. Contrapesado de Cañerías

En general se pueden definir tres tipos de contrapesado

5.5.1. Contrapesado Cóncentrico

Es el más usual. Puede aplicarse bien mediante encofrado o mediante proyección. Suele realizarse en fábrica, transportándose los tubos a la zona de cruce ya revestidos, suele ir armado con redondos de acero o con malla de alambre galvanizado (fig.1)



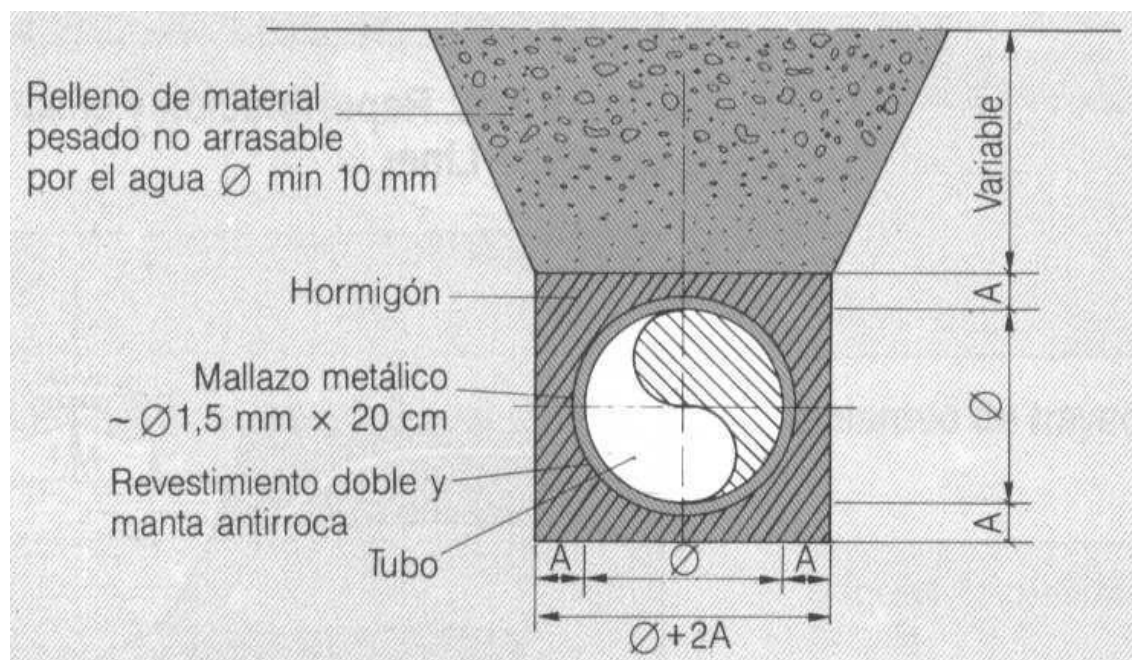
Notas:

1. El coeficiente de seguridad estará comprendido entre 1,2 y 1,5 según los casos (1,2 para cruces de rieras, arroyos, etc. y 1,5 para cruces de ríos).
2. Se pondrán distanciadores de mortero con separación máxima de 1 m.
3. Para espesores de revestimiento $\leq 70\text{mm}$ se pondrá una capa de mallazo. Para mayores espesores, se dispondrán, al menos, dos capas con una separación máxima entre capas de 100 mm.
4. Coincidiendo con las juntas, y al menos cada 15 m, se interrumpirá el mallazo en un espacio de 10 cm.
5. Los recubrimientos han sido calculados sin tener en cuenta el posible peso de las tierras.

6. Características del mortero:
 - Relación cemento/arena 1/3
 - Densidad $\geq 2.000 \text{ kg/m}^3$
7. Características del hormigón:
 - $\epsilon_{ck} \geq 175 \text{ kg/cm}^2$

Figura 1: Contrapesado concéntrico**5.5.2. Contrapesado Sencillo**

Generalmente este tipo de contrapesado se ejecuta in situ y no suele armarse con redondos o malla metálica. Suele utilizarse en los cruces de ríos cuando éstos se realizan en seco (fig. 2).

**Notas:**

1. La tubería deberá estar doblemente revestida y protegida con manta antirroca.
2. La armadura se dispondrá centrada en el espesor "A".
3. Materiales:
 - Hormigón $\sigma_{bk} = 120 \text{ kg/cm}^2$
 - Acero $\sigma_{ak} = 1.200 \text{ kg/cm}^2$
4. Montaje distanciadores de madera de 30x30 mm y L=300 mm o de hormigón fabricados in situ
5. La distancia máxima entre distanciadores será de 1,5 m.

- | | | |
|----|--------------------|--------------------|
| 6. | <i>TUBERIA</i> | <i>ESPESOR" A"</i> |
| | <i>DN 2" a 12"</i> | <i>10cm</i> |
| | <i>DN > 12"</i> | <i>15cm</i> |
7. Cuando el contrapesado se efectúe in situ, no irá provisto de armadura.

Figura 2: Contrapesado sencillo

5.5.3. Contrapesado con Caballetes de Hormigón

Se utiliza, en general, cuando la canalización atraviesa zonas pantanosas, marismas y en general zonas inundables.

Son piezas de hormigón que evitan y aseguran la flotabilidad negativa de la conducción.

Todos los caballetes van armados con redondos de acero. El número y separación entre ellos será el que se determine en el cálculo de estabilidad.

En la figura 3 se muestra la forma típica de este tipo de contrapesado.

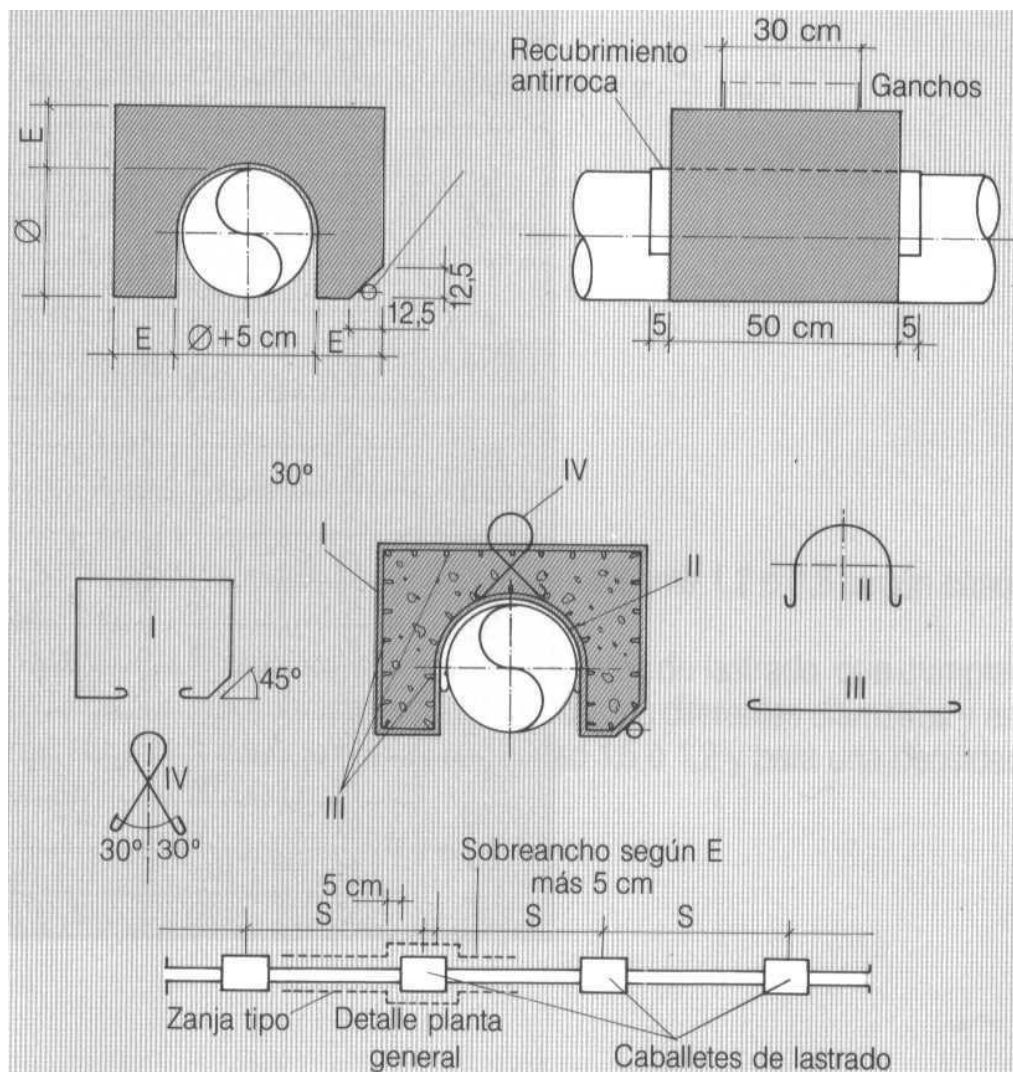


Figura 3: Contrapesado de la conducción con caballetes

La tabla 1 refleja las dimensiones principales, tipo de armadura y cantidad para diferentes diámetros de tubería.

Tabla 1

Ø (Espesor habitual mm)	E (cm)	Peso Caballote (kg)	Separación "S" (in)	Armaduras			
				I	II	III	IV
6 5/8" (4,37)	20	203	15	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
8 5/8" (4,78)	20	240	8	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
10 3/4" (6,35)	20	280	4	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	25	380	6	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
12 3/4" (6,35)	20	320	4	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	30	546	7	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
14" (6,35)	20	345	3	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	30	382	5	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
16" (6,35)	20	383	2	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	30	638	4	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	40	939	6	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
18" (6,35)	20	423	1,5	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	30	698	3	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	45	1192	5	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
20" (6,35)	20	466	1,5	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	35	918	3	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
	50	1474	5	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
22" (7,92)	20	508	1,5	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	35	987	3	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
	55	1786	5	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
24" (7,92)	25	707	1,5	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	40	1245	3	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
	60	2327	5	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
26" (7,92)	25	757	1,5	4Ø10	4Ø10	Ø10 a 20	2Ø10
	45	1535	3	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
28" (7,92)	30	996	1,5	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
	50	1761	3	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
30" (9,52)	30	1058	1,5	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12
	30	1951	3	4Ø12	4Ø12	Ø12 a 20	2Ø12

5.5.4. Cálculo de Contrapesado

El cálculo del contrapesado se realizará teniendo en cuenta que el objetivo es conseguir que el peso de contrapesado más el de la tubería sea superior al del empuje que pueda sufrir la canalización sumergida en el agua, incrementado con un coeficiente de seguridad.

Tenemos que:

$$P_L \geq P_{VD} \cdot K - P_t$$

Donde:

$$P_L = \text{Peso contrapesado} = \left[\frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} \right] \cdot \delta_1 \cdot L$$

d_2 = diámetro exterior contrapesado

d_1 = diámetro interior contrapesado

δ_1 = densidad hormigón

L = longitud del tramo

$$P_{VD} = \text{Peso volumen agua desalojada} = \pi \frac{d_2^2}{4} \cdot \delta_2 \cdot L$$

L = longitud del tramo

d_2 = diámetro exterior canalización incluido contrapesado

$$\delta_2 = \text{densidad agua} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

P_t = peso de la tubería

K = coeficiente de seguridad, generalmente 1,2 ó 1,5 según casos

En la tabla 2 figuran los diferentes espesores de contrapesado, que cumplen con las fórmulas indicadas anteriormente, para los diferentes diámetros y espesores,

según los coeficientes de seguridad 1,5 ó 1,2 y para una densidad de hormigón de 2000 kg/m³.

Tabla 2: Espesores de contrapesado

Ø Pulgadas	Espesor tubo mm	Peso tubo kg/m	Coeficiente de Seguridad 1,5			Coeficiente de Seguridad 1,2		
			Espesor revestimiento mm	Peso Lastre kg/m	Volumen desplazado cm ³ /m	Espesor revestimiento mm	Peso Lastre kg/m	Volumen desplazado cm ³ /m
≥ 6 5/8	4,37	17,65	50	69	57	50	69	57
	4,76	19,24	50	69	57	50	69	57
	5,16	20,78	50	69	57	50	69	57
	6,35	25,35	50	69	57	50	69	57
8 5/8	4,78	25,23	70	127	101	50	85	80
	6,35	33,31	55	95	85	50	85	80
	7,04	36,79	50	85	80	50	85	80
	8,74	45,31	50	85	80	50	85	80
10 3/4	4,78	31,59	100	234	176	50	101	109
	5,56	38,59	90	204	161	50	101	109
	6,35	41,77	85	191	154	50	101	109
	9,27	69,29	55	113	115	50	101	109
12 3/4	6,35	49,72	110	300	232	55	131	148
	7,14	55,74	105	283	224	50	117	141
	9,52	73,82	80	203	184	50	117	141
	11,13	85,78	65	159	162	50	117	141
14	6,35	54,68	125	377	288	65	172	185
	7,14	61,32	120	359	279	60	157	178
	9,52	81,28	100	286	242	50	127	163
	11,13	94,49	80	219	209	50	127	163
16	6,35	62,63	150	524	392	80	244	252
	7,92	77,66	140	401	370	70	210	234
	9,52	93,21	125	417	338	55	159	209
	11,13	108,44	110	357	308	50	143	201
18	6,35	70,59	180	721	525	95	330	329
	7,92	87,79	165	645	487	85	290	309
	9,52	105,14	150	572	450	70	232	280
	11,13	122,66	135	502	415	50	195	262
20	6,35	78,54	205	918	662	110	427	416
	7,92	97,71	190	833	619	100	382	394
	9,52	117,07	175	751	578	85	317	361
	11,13	136,30	160	672	538	75	275	340
22	7,14	97,09	225	1108	799	120	512	501
	7,92	107,65	215	1045	768	115	487	489
	9,52	129,01	205	984	737	100	414	452
	11,13	150,23	190	894	692	90	367	429
24	7,92	117,57	245	1316	950	130	604	594
	8,74	129,45	235	1247	915	125	577	580
	9,52	140,94	230	1213	899	115	524	554
	11,13	164,17	215	1114	849	105	471	528
26	7,92	127,50	270	1578	1132	145	734	709
	9,52	152,87	255	1467	1076	135	675	680
	11,13	178,10	240	1358	1021	120	588	637
	14,27	227,42	210	1148	917	100	478	581

28	7,92	137,42	295	1865	1330	160	876	835
	9,52	164,80	280	1744	1269	145	780	787
	11,13	192,04	265	1625	1210	135	718	756
	14,27	245,31	240	1434	1114	115	597	696
30	9,52	176,73	305	2045	1478	160	927	919
	11,13	205,93	290	1917	1414	150	860	886
	14,27	263,18	265	1710	1311	130	729	820
	17,48	320,81	235	1472	1192	105	572	742
32	9,52	188,66	330	2370	1704	175	1086	1062
	11,13	219,91	320	2278	165	165	1014	1026
	14,27	281,07	290	2009	1524	145	873	955
	17,48	342,70	260	1753	1395	110	703	871

5.5.5. Ejemplo de Cálculo de Contrapesado Concéntrico

Ejemplo: contrapesado concéntrico para ø 8" espesor 6,35 mm.

Según la tabla mencionada, para un coeficiente de seguridad 1,5 correspondería un espesor de hormigón de 55 mm.

Aplicando las fórmulas anteriores tenemos que (despreciando el espesor de revestimiento o manta antirroca):

$$P_L \text{ (m lineal)} = \left[\frac{\pi 0,329^2 m^2}{4} - \frac{\pi 0,219^2 m^2}{4} \right] * 200 \frac{kg}{m^3} = 95 kg/m$$

$$P_{VD} \text{ (m lineal)} = \frac{\pi 0,329^2 m^2}{4} * 1000 \frac{kg}{m^3} = 85 kg/m$$

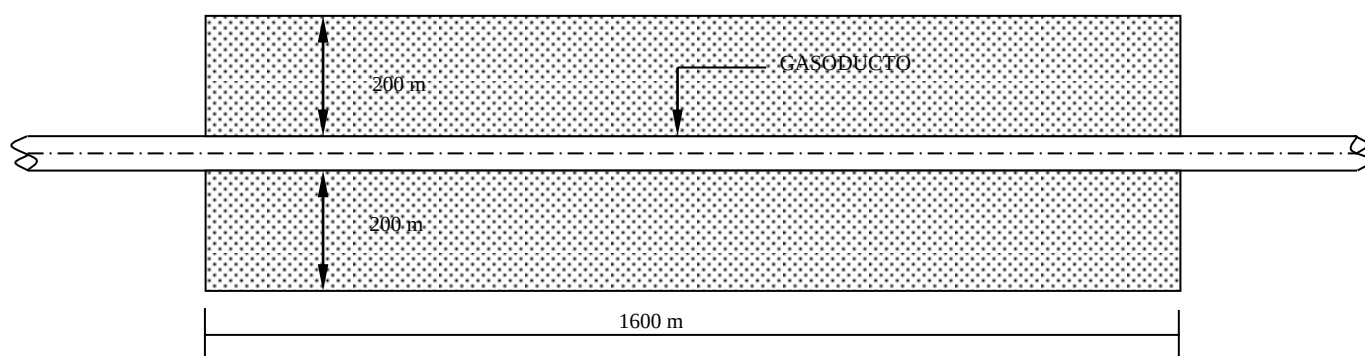
Teniendo en cuenta que la tubería pesa 33,31 kg/m se cumple que:

$$95 kg/m > 85 kg/m * 1,5 - 33,3 = 94,2 kg/m$$

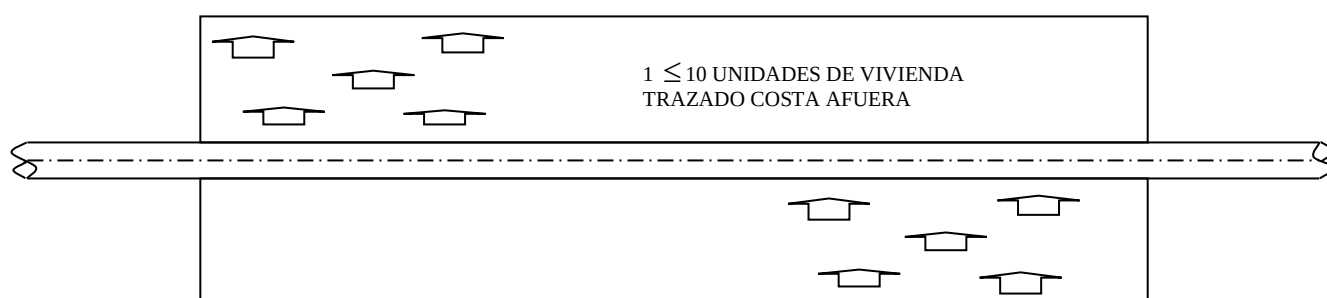
Por regla general los hormigones para contrapesado suelen tener una densidad de 2,0 ó 2,2 T/m³. Ahora bien, en caso necesario, mayor peso o necesidad de reducir espesor de contrapesado por ser éste demasiado grande, suele usarse hormigón de alta densidad, 3,2 ó 3,5 T/m³. Para ello el árido utilizado será barita. Hay que tener en cuenta que estos hormigones de alta densidad, aumentan el costo de la instalación.

5.6. Clases de Trazado – Ejemplos Esquemáticos

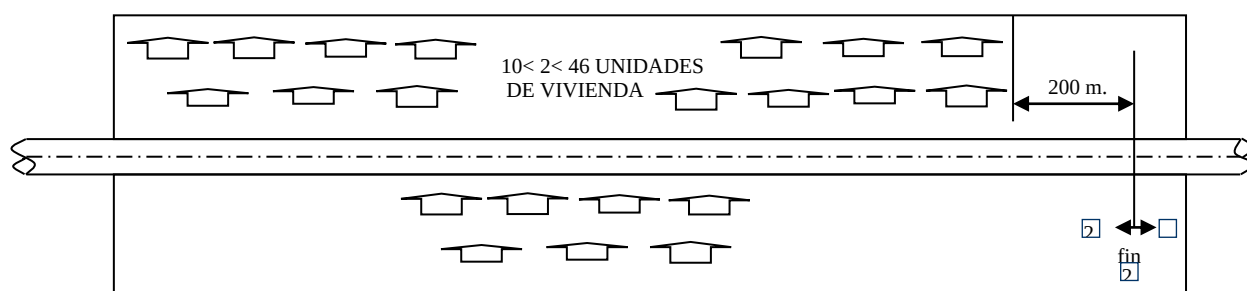
5.6.1. Unidad de Clase de Trazado



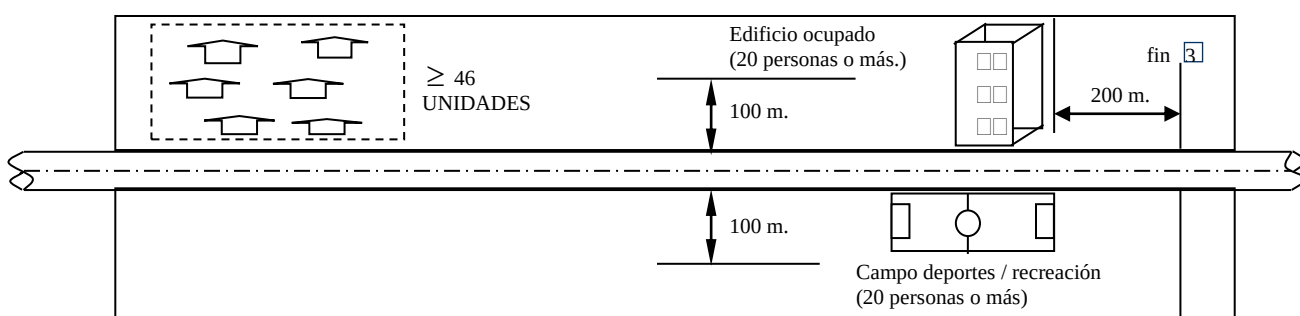
5.6.2. Trazado Clase 1



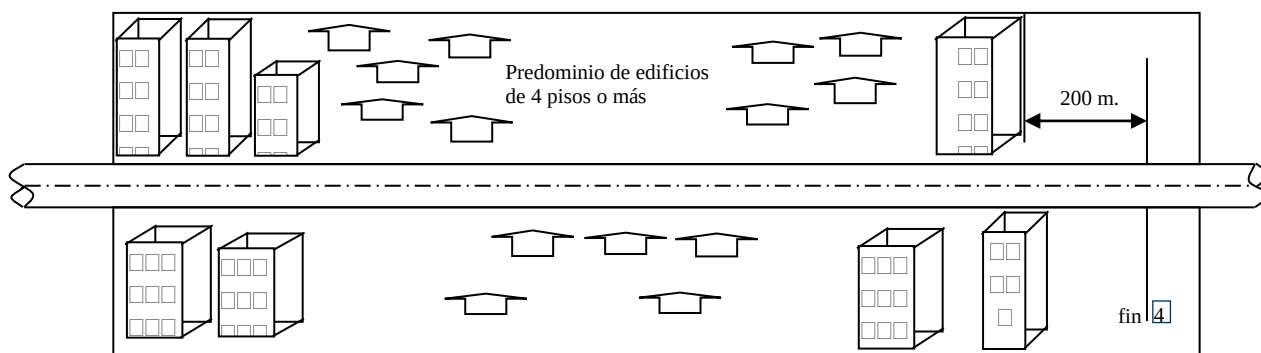
5.6.3. Trazado Clase 2



5.6.4. Trazado Clase 3



5.6.5. Trazado Clase 4



5.7. Tablas de la norma NAG 100 para diseño de redes y gasoductos

5.7.1. Distancias de seguridad (Tabla 325 i de la NAG 100)

Distancias mínimas (m)

DESDE	HASTA	$\varnothing \leq 152\text{mm}$ (6")	$203\text{ mm} \leq \varnothing \leq 305\text{ mm}$ (entre 8" y 12")	$\varnothing \geq 355\text{ mm}$ (14")
1) Ramales de alimentación y líneas principales de red de distribución de gas natural Zonas Urbanas (trazado clase 3 y 4) *				
entre 3 y 6 kg/cm ² (2.94 a 5.88 bar)	Línea de Edificación	3	3	7.5
entre 6 y 15 kg/cm ² (5.88 a 14.71 bar)	Línea de Edificación	6	7.5	10
entre 15 y 25 kg/cm ² (14.71 a 24.57 bar)	Línea de Edificación	7.5	10	15
Zonas suburbanas (trazado clase 2 y 3) *				
entre 3 y 6 kg/cm ² (2.94 a 5.88 bar)	Línea de Edificación	3	3	7.5
entre 6 y 15 kg/cm ² (5.88 a 14.71 bar)	Línea de Edificación	6	7.5	10
entre 15 y 25 kg/cm ² (14.71 a 24.57 bar)	Línea de Edificación	7.5	10	15
entre 25 y 40 kg/cm ² (24.57 a 39.22 bar)	Línea de Edificación	10	15	20 **
2) Gasoductos de transporte Presiones > a 40 kg/cm ² (39.22 bar)				
Trazado clase 1 y 2 *	Línea de edificación y límite zona de restricción (sin construcciones)	10 7.5 #	15 10 #	30 20 # 15 ##
Trazado clase 3 *	Línea de edificación y límite zona de restricción (sin construcciones)	10	15 10 ##	25 15 ##
Trazado clase 1, 2 y 3	Límite zona sin árboles	7.5	10	12.5
	Cañerías paralelas de gasoductos, propanoductos, oleoductos, poliductos, etc.) ***	10	10	10
	Cañerías paralelas de gasoductos, propanoductos, oleoductos, poliductos, etc.en cruces de ríos	15	20	30
	Planta compresora		100	100
Válvula de bloqueo, entrada y salida de planta compresora	Planta compresora		150	150
3) Ramales , líneas principales de red de distribución y gasoductos de transporte (cualquier clase de trazado)	Líneas AT aérea	5	10	10
	Líneas AT subterráneas (excluidos serviductos)	0.5	1	1
	Puesta a tierra de líneas AT	0.5 c/10 kV (mín. 10)	1 c/10 kV (mín. 10)	1 c/10 kV (mín. 10)

* En casos especiales estas distancias podrán reducirse utilizando una tensión circunferencial máxima del 30% del límite de fluencia previa autorización de seguridad industrial.

** Seguridad industrial tomará intervención en estos proyectos.

*** Las distancias podrán reducirse en casos especiales debiendo tomar intervención seguridad industrial.

El espesor de la cañería se calculará con un factor de diseño $F= 0.50$ en una longitud de 200 m aguas arriba y aguas abajo de los edificios extremos del grupo que determina la clase de trazado.

El espesor de la cañería se calculará con un factor de diseño $F= 0.40$ en una longitud de 200 m aguas arriba y aguas abajo de los edificios extremos del grupo que determina la clase de trazado.

5.7.2. Tapada (Tabla 327 i de la NAG 100)

UBICACIÓN	SUELOS NORMALES	ROCA CONSOLIDADA
Trazado clase 1	0.80 m	0.45 m
Trazado clase 2	1 m	0.60 m
Zanjas de drenajes de cruces de caminos públicos y ferrocarriles	1 m	1 m

5.7.3. Ejemplos de situaciones donde se usa el factor de diseño (F) para caño de acero (Sección 111 de la NAG 100)

CONDICION DE INSTALACION	CLASE DE TRAZADO			
	1	2	3	4
Servidumbres privadas.	0,72	0,60	0,50	0,40
Cruces sin camisas de:				
Caminos privados.	0,72	0,60	0,50	0,40
Caminos públicos no mejorados.	0,60	0,60	0,50	0,40
Caminos de superficie duras, autopistas o calles públicas y ferrocarriles.	0,60	0,50	0,50	0,40
Cruces encamisados de:				
Caminos privados.	0,72	0,60	0,50	0,40
Caminos públicos no mejorados .	0,72	0,60	0,50	0,40
Caminos de superficie duras, autopistas o calles públicas y ferrocarriles.	0,72	0,60	0,50	0,40
Invasiones paralelas sobre:				
Caminos privados.	0,72	0,60	0,50	0,40
Caminos públicos no mejorados.	0,72	0,60	0,50	0,40
Caminos de superficie duras, autopistas o calles públicas y ferrocarriles.	0,60	0,60	0,50	0,40
Cañerías sobre puentes.	0,60	0,60	0,50	0,40
Conjuntos soldados.	0,60	0,60	0,50	0,40
Cañerías de plantas compresoras, reguladoras y de medición.	0,50	0,50	0,50	0,40
En plataformas costa afuera, incluyendo acometidas.	0,50	N/A	N/A	N/A
En plataformas en aguas navegables interiores, incluyendo acometidas.	0,50	0,50	0,50	0,40

**5.7.4. Espesores mínimos recomendados de pared (en mm)
(Tabla 103 de la NAG 100 expresada en mm)**

Diámetro Nominal (pulgadas)	Diámetro Exterior (mm)	Caño extremo plano (1)				Plantas Compresoras
		Trazado clase 1	Conj. fabric. clase 1	Trazado clase 2	Trazado clases 3 y 4	
1/8	10,29	0,89	1,65	1,65	1,65	2,41
1/4	13,72	0,94	1,65	1,65	1,65	3,02
3/8	17,18	1,04	1,65	1,65	1,65	3,20
1/2	21,34	1,17	1,65	1,65	1,65	3,74
3/4	26,68	1,22	1,65	1,65	1,65	3,91
1	33,41	1,35	1,65	1,65	1,65	4,55
1 1/4	42,18	1,55	1,65	1,65	1,65	4,85
1 1/2	48,28	1,65	1,65	1,65	1,65	5,08
2	60,35	1,91	1,91	19,06	19,06	5,54
2 1/2	73,05	2,11	2,16	2,16	2,16	5,16
3	88,94	2,11	2,49	2,49	2,49	5,49
3 1/2	101,64	2,11	2,74	2,74	2,74	5,74
4	114,35	2,11	2,95	2,95	2,95	6,02
5	141,36	2,11	3,18	3,18	3,18	6,35
6	168,34	2,11	3,40	3,40	3,96	6,35
8	219,16	2,64	3,40	3,40	4,37	6,35
10	273,16	2,64	4,17	4,17	4,78	6,35
12	323,98	2,64	4,17	4,17	5,16	6,35
14	355,74	3,40	4,17	4,17	5,34	6,35
16	406,56	3,40	4,17	4,17	5,56	6,35
18	457,38	3,40	4,78	4,78	6,35	6,35
20	508,20	3,40	4,78	4,78	6,35	6,35
22	559,02	4,17	4,78	4,78	6,35	6,35
24	609,84	4,17	4,78	4,78	6,35	6,35
26	660,66	4,17	4,78	4,78	6,35	6,35
28	711,48	4,17	6,35	6,35	7,14	7,14
30	762,30	4,17	6,35	6,35	7,14	7,14
32	813,12	5,54	6,35	6,35	7,93	7,93
34	863,94	5,54	6,35	6,35	7,93	7,93
36	914,76	5,54	6,35	6,35	7,93	7,93
38	965,58	6,35	7,93	7,93	9,53	9,53
40	1016,40	6,35	7,93	7,93	9,53	9,53
42	1067,22	6,35	7,93	7,93	9,53	9,53

Extremo plano o roscado
 Extremo plano solamente

(1) Para tubería cuyo espesor de pared supera 0.9 mm (0.035 pulg.) este valor puede calcularse por interpolación en base a los diámetros exteriores indicados en la tabla. Las cañerías de instrumental, control y muestreo no están limitados por esta tabla pero deben ajustarse a lo establecido en la Sección 203 de la NAG-100.

Nota: El menor espesor de los caños y tubos de acero de extremo plano menores de 2" de Ø usados en línea de servicio, no está limitado por la tabla, pero no será menor de 0,9 mm (0.035 pulg.) en cualquier clase de trazado. Tales líneas de servicio serán externamente revestidas y protegidas catódicamente, y no deberán

operar a una presión que exceda el 60% de la prueba de fábrica ó 10,54 kg/cm² M (150 psi), de ellas la menor.

5.7.5. Factor de junta longitudinal E para caño de acero (Sección 113 de la NAG 100)

ESPECIFICACION	CLASE DE CAÑO	FACTOR DE JUNTA LONGITUDINAL (E)
IRAM-IAS U500-2613 (*)	Sin costura	1,00
	Soldado por resistencia eléctrica	1,00
	Soldado a tope en horno	0,60
ASTM A 106	Sin costura	1,00
ASTM A 333	Sin costura	1,00
	Soldado eléctricamente	1,00
ASTM A 381	Soldado por doble arco sumergido	1,00
ASTM A 671	Soldado por fusión eléctrica	1,00
ASTM A 672	Soldado por fusión eléctrica	1,00
ASTM A 691	Soldado por fusión eléctrica	1,00
API 5L	Sin costura	1,00
	Soldado por resistencia eléctrica	1,00
	Soldado por destello eléctrico	1,00
	Soldado a tope en horno	0,60
OTROS	Caño mayor de 101 mm	0,80
OTROS	Caño de 101 mm o menor	0,60

(*) Corresponde a la ASTM A 53

Si el tipo de junta longitudinal no puede ser determinado, el factor de junta a ser usado no debe exceder los indicados en “Otros”.

5.7.6. Factor de variación por temperatura (T) para caños de acero (Sección 115 de la NAG 100)

TEMPERATURA DEL GAS EN		FACTOR DE REDUCCION POR TEMPERATURA (T)
° C	° F	
121 o menos	250 o menos	1,000
149	300	0,967
177	350	0,933
204	400	0,900
232	450	0,867

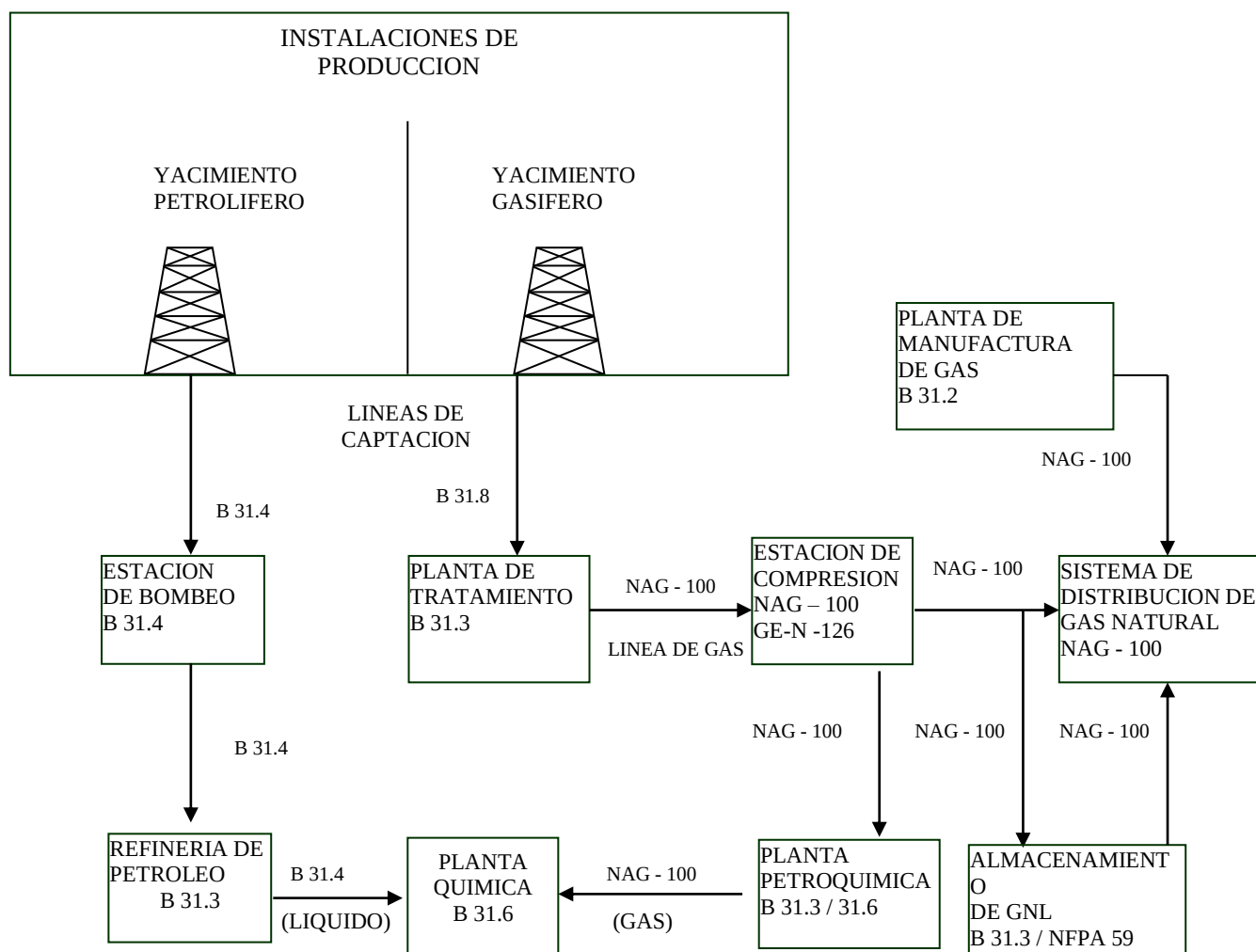
Para temperaturas intermedias del gas, el factor se determina por interpolación.

5.7.7. Tensiones de fluencia mínima especificada (Apendice G2 del material de guía de la NAG 100)

ESPECIFICACION	GRADO	TIPO	TFME (psi)	TFME (kg/cm2)
API 5L	A25	BW, EW, S	25,000	1758
API 5L	A	EW, GMAW, S, SAW	30,000	2109
API 5L	B	EW, GMAW, S, SAW	35,000	2461
API 5L	X42	EW, GMAW, S, SAW	42,000	2953
API 5L	X46	EW, GMAW, S, SAW	46,000	3234
API 5L	X52	EW, GMAW, S, SAW	52,000	3656
API 5L	X56	EW, GMAW, S, SAW	56,000	3937
API 5L	X60	EW, GMAW, S, SAW	60,000	4218
API 5L	X65	EW, GMAW, S, SAW	65,000	4570
API 5L	X70	EW, GMAW, S, SAW	70,000	4921
API 5L	X80	EW, GMAW, S, SAW	80,000	5625
ASTM A53	Hornos Siemens Martin, eléctrico, básico con oxíg.	BW	25,000	1758
ASTM A53	Convertidor Bessemer	BW	30,000	2109
ASTM A53	A	ERW, S	30,000	2109
ASTM A53	B	ERW, S	35,000	2461
ASTM A106	A	S	30,000	2109
ASTM A106	B	S	35,000	2461
ASTM A106	C	S	40,000	2812
ASTM A135	A	ERW	30,000	2109
ASTM A135	B	ERW	35,000	2461
ASTM A139	A	EFW	30,000	2109
ASTM A139	B	EFW	35,000	2461
ASTM A381	Clase Y35	DSA	35,000	2461
ASTM A381	Clase Y42	DSA	42,000	2953
ASTM A381	Clase Y46	DSA	46,000	3234
ASTM A381	Clase Y48	DSA	48,000	3375
ASTM A381	Clase Y50	DSA	50,000	3515
ASTM A381	Clase Y52	DSA	52,000	3656
ASTM A381	Clase Y56	DSA	56,000	3937
ASTM A381	Clase Y60	DSA	60,000	4218
ASTM A381	Clase Y65	DSA	65,000	4570
ASTM A134	-	EFW	(1)	
ASTM A155	-	EFW	(1)	
ASTM A333	1	S, ERW	30,000	2109
ASTM A333	3	S, ERW	35,000	2461
ASTM A333	4	S	35,000	2461
ASTM A333	6	S, ERW	35,000	2461
ASTM A333	7	S, ERW	35,000	2461
ASTM A333	8	S, ERW	75,000	5273
ASTM A333	9	S, ERW	46,000	3234
ASTM A333	-	ERW	35,000	2461

1) Ver la chapa pertinente de la chapa para obtener la tensión de fluencia mínima especificada

5.8. Jurisdicción de Códigos o Normas de Aplicación en Instalaciones con Cañerías a Presión



NORMAS USA

B 31.1
B 31.2
B 31.3
B 31.4
B 31.6
B 31.7
B 31.8
PIPING

POWER PIPING
INDUSTRIAL GAS AND AIR PIPING
PETROLEUM REFINERY PIPING
OIL TRANSPORTATION PIPING
CHEMICAL PLANT PIPING
NUCLEAR POWER PIPING
GAS TRANSMISSION AND DISTRIBUTION

NFPA59 A	STANDARD FOR THE PRODUCTION, STORAGE, AND HANDLING OF LIQUEFIED NATURAL GAS (LNG)
<u>NORMAS ARGENTINAS</u>	
NAG – 100	NORMAS ARGENTINAS MINIMAS DE SEGURIDAD PARA EL TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE OTROS GASES POR CAÑERIAS
GE – NI – 126 GAS	SEGURIDAD EN PLANTAS COMPRESORAS DE NATURAL

5.9. Datos técnicos

5.9.1. Coeficiente de dilatación de algunos materiales

❖ Acero:	0,012	mm/m. °C
❖ Aluminio:	0,024	“ “
❖ Zinc:	0,026	“ “
❖ Cobre:	0,0165	“ “
❖ Estaño:	0,024	“ “
❖ Latón:	0,020	“ “

5.9.2. Calores másicos

5.9.2.1. Sólidos

❖ Cobre:	0,094	kcal/°C . Kg
❖ Hierro:	0,12	“ “
❖ Aluminio:	0,22	“ “

❖ Estaño:	0,05	“	“
❖ Plomo:	0,03	“	“
❖ Bronce:	0,09	“	“
❖ Fundición:	0,13	“	“
❖ Vidrio:	0,18	“	“
❖ Hielo:	0,46	“	“

5.9.2.2. Líquidos

❖ Agua:	1	kcal/°C . Kg	
❖ Metano:	0,59	“	“
❖ Propano:	0,48	“	“
❖ Butano:	0,46	“	“
❖ Mercurio:	0,03	“	“

5.9.2.3. Gases

❖ Agua:	0,43	kcal/°C . Kg	
❖ Aire:	0,31	“	“
❖ Hidrógeno:	0,31	“	“
❖ Metano:	0,42	“	“

❖ Propano:	0,97	“	“
❖ Butano:	1,19	“	“

5.9.3. Tabla de potenciales

❖ Sodio	- 2,71
❖ Magnesio	- 1,80
❖ Aluminio	- 1,34
❖ Zinc	- 0,80
❖ Hierro	- 0,44
❖ Cobalto	- 0,23
❖ Níquel	- 0,20
❖ Plomo	- 0,13
❖ Hidrógeno	0,00
❖ Grafito	+ 0,30
❖ Cobre	+ 0,35
❖ Plata	+ 0,80
❖ Platino .	+ 1,20
❖ Oro	+ 1,42

5.9.4. Volúmenes de combustión

PARA LA COMBUSTIÓN DE 1 m³ DEL GAS:	SE PRECISA UN VOLUMEN DE AIRE DE (m³):	Y SE FORMAN LOS SIGUIENTES PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN (m³)		
		Anhídrido Carbónico	Vapor de Agua	Nitrógeno
Metano	9,62	1	2	7,62
Propano	24,05	3	4	19,05
Butano	31,26	4	5	24,76
Monóxido de Carbono	2,40	1	0	1,90

5.9.5. Peso de cañerías por metros en kg.

Diámetro		Espesor (mm)						
Nom. (pulg.)	Exter. (mm)	3,58	3,91	4,37	4,78	5,16	5,54	6,02
2"	60,3	5,00	5,44	6,03	6,54	7,01	7,48	8,06
3"	88,9	7,54	8,19	9,10	9,91	10,65	11,38	12,30
4"	114,3	9,77	10,64	11,84	12,90	13,88	14,91	16,07
5"	141,3	12,15	13,24	14,75	16,09	17,32	18,54	20,08
6"	168,3	14,54	15,85	17,65	19,24	20,73	22,31	24,09
8"	219,1	19,02	20,74	23,14	25,23	27,20	29,17	31,63
10"	273,0	23,78	25,94	28,94	31,59	34,06	36,55	39,63
12"	323,8	28,26	30,84	34,42	37,57	40,51	43,66	47,17
14"	355,6	31,07	33,91	37,85	41,18	44,59	47,82	51,89
16"	406,4	35,56	38,80	43,32	47,29	51,02	54,72	59,41
18"	457,2	40,04	43,70	48,79	53,26	57,52	61,70	66,97
20"	508,0	44,53	48,60	54,27	59,31	63,98	68,64	74,52
22"	558,8	49,01	53,50	59,74	65,30	70,44	75,58	82,06
24"	609,6	53,50	58,40	65,22	71,29	76,91	82,52	89,60

Diámetro		Espesor (mm)						
Nom. (pulg.)	Exter. (mm)	6,35	7,11	7,92	8,56	9,52	11,11	12,70
2"	60,3	8,45	9,32	10,23	10,92	11,92	13,47	14,90
3"	88,9	12,93	14,34	15,81	16,95	18,63	21,31	23,86
4"	114,3	16,91	18,86	20,79	22,31	24,59	28,27	31,81
5"	141,3	21,13	23,52	26,05	28,02	30,93	35,66	40,27
6"	168,3	25,35	28,26	31,34	33,71	37,28	43,06	48,72
8"	219,1	33,31	37,16	41,26	44,44	49,21	56,98	64,63
10"	273,0	41,77	46,62	51,77	55,82	61,85	71,75	81,54
12"	323,8	49,72	55,52	61,74	66,54	73,82	85,67	97,44
14"	355,6	54,68	61,10	67,94	73,25	81,28	94,38	107,38
16"	406,4	62,63	70,00	77,86	83,98	93,21	108,30	123,29
18"	457,2	70,59	78,91	87,79	94,70	105,14	122,21	139,19
20"	508,0	78,54	87,82	97,71	105,42	117,07	136,13	155,11
22"	558,8	86,50	97,73	107,65	116,15	129,01	150,05	171,01
24"	609,6	94,45	105,63	117,57	126,87	140,94	163,97	186,92
26"	660,4			127,37		152,67		202,67
28"	711,2			137,28		164,57		218,44
30"	762,0			147,21		176,48		234,36
32"	812,0			157,13		186,53		250,28
34"	863,6			184,07		200,43		266,20
36"	914,4			176,92		212,34		282,13