GUIA PARA DISEÑO INTEGRAL DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA EDIFICACIONES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES

Jorge Eleazar Blanco Clavijo

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Especialización en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente

Bogotá, Colombia

2017

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO

ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE

"GUIA PARA DISEÑO INTEGRAL DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA EDIFICACIONES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES"

JORGE ELEAZAR BLANCO CLAVIJO

DIRECTOR:
HECTOR MATAMOROS RODRIGUEZ

BOGOTA D.C., 2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado “GUIA PARA DISEÑO INTEGRAL DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA EDIFICACIONES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES”, presentado por Jorge Eleazar Blanco Clavijo en cumplimiento con el requisito parcial para optar al título de Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, fue aprobado por el director Héctor Matamoros Rodríguez.

Firma del director: _____

Nota: _____

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 12
1.1 OBJETIVOS 12
1.1.1 OBJETIVO GENERAL 12
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12
1.2 METODOLOGÍA EMPLEADA 13
2 DEFINICIONES 14
3 CONCEPTOS BÁSICOS 18
3.1 El gas natural en Colombia 18
3.2 Clasificación de los gases 21
3.3 Clasificación de presiones en las redes de gas 24
3.4 Tipo de aparatos que funcionan con gas 25
3.5 Quemadores de los artefactos que funcionan con gas 26
3.6 Fenómenos indeseables en la combustión 27
3.7 Accesibilidad y operación 28
3.8 Componentes de una instalación 28
4 PUNTOS RELEVANTES DE LA NORMATIVA COLOMBIANA QUE SE DEBE TENER EN CUENTA PARA LA REALIZACIÓN DE DISEÑOS DE RED DE GAS NATURAL EN EDIFICACIONES 29
4.1 Instalación de tuberías en edificaciones residenciales y comerciales 29
4.1.1 Tuberías por cielorrasos 33
4.1.2 Tubería por sótanos 34
4.1.3 Soportes 35
4.1.4 Pases en muro placa 36
4.1.5 Métodos de acoplamiento 36
4.1.6 Válvulas para gas 37
4.1.7 Centros de medición 38
4.1.8 Reguladores 39
4.2 Instalación de tuberías en áreas industriales 41
4.3 Ventilación de recintos donde se instalan artefactos a gas para uso doméstico, comercial e industrial 43
4.3.1 Aire proveniente del interior 45
4.3.2 Aire proveniente del exterior 46
4.3.3 Combinación del aire interno y externo 50
4.3.4 Suministro mecánico de aire 50
4.3.5 Ventilación en recintos mono-espaciales 50
4.3.6 Vacíos internos para ventilación 51
4.3.7 Alternativas de ventilación en recintos interiores ubicados a menos de 260 metros de altura respecto al nivel del mar 56

4.4 Dimensionamiento de los sistemas para la evacuación de los productos de la combustión de los artefactos que funcionan a gas 56
4.4.1 Sistemas de evacuación de productos de la combustión por medio de chimeneas hasta la cubierta 63
4.4.2 Sistemas de evacuación de productos de la combustión a través de la fachada 67
5 CRITERIOS Y ASPECTOS TÉCNICOS QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA DISEÑAR REDES DE GAS NATURAL EN EDIFICACIONES 70
5.1 Fórmulas para el diseño de una red de gas a baja presión 70
5.1.1 Ecuación de Pole 70
5.1.2 Ecuación de Polyflo 71
5.1.3 Ecuaciones de Spitzglass 71
5.1.4 Ecuación de Renouard 72
5.2 Fórmulas para el diseño de una red de gas a media presión 72
5.2.1 Ecuación de Müeller 72
5.3 Diseño de gasoductos a alta presión 73
5.4 Velocidad del gas dentro de las tuberías 75
5.5 Caudal nominal de los gasodomésticos 76
5.6 Caída de presión permitida 78
5.7 Ecuaciones más comunes para dimensionar las tuberías 79
5.8 Longitud equivalente de los accesorios 79
6 CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DE MEDIDORES Y REGULADORES CONFORME AL USO DE LA EDIFICACIÓN 81
6.1 Reguladores 81
6.1.1 Preliminares 81
6.1.2 Tipos de reguladores 81
6.1.3 Selección de los reguladores 88
6.2 Medidores 91
6.2.1 Clasificación de los medidores 91
6.2.2 Tipos de medidores 91
6.3 Estaciones de regulación y medición 96
7 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ACUERDO CON LOS CRÍTERIOS Y APECTOS MENCIONADOS PREVIAMENTE Y ALGUNAS RECOMENDACIONES DE EMPRESAS DE SERVICIOS PÚBLICOS 101
8 EJEMPLOS PRÁCTICOS DE DISEÑO INTEGRAL DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL EN EDIFICACIONES 104
8.1 Ejemplo de diseño en edificaciones residenciales 104
8.2 Ejemplo de diseño en edificaciones comerciales 123
8.3 Ejemplo de diseño en edificaciones industriales 132
9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 140
10 BIBLIOGRAFÍA 141
11 ANEXOS 143
11.1 Tablas de dimensionamiento de chimeneas y conectores, según NTC 3833 143

11.1.1 Chimeneas, accesorios y conectores metálicos de pared sencilla acoplados a un solo artefacto a gas del tipo B.1 (por tiro natural) o del tipo B.2, que operen por tiro mecánico inducido 143
11.1.2 Chimeneas de mampostería con conectores metálicos de pared sencilla acopladas a un solo artefacto a gas del tipo B.1 (por tiro natural) o del tipo B.2, que operen por tiro mecánico inducido 145
11.1.3 Chimeneas y conectores de cemento asbesto acoplados a un solo artefacto a gas del tipo B.1 (no aplicable a los del tipo B.2) 146
11.1.4 Máxima longitud lateral de un conector en función de su diámetro potencial 147
11.1.5 Chimeneas y conectores metálicos de pared sencilla acoplados a dos o más artefactos a gas de los tipos B.1 o B.2, que operen por tiro mecánico inducido (conectores) 148
11.1.6 Chimeneas y conectores metálicos de pared sencilla acoplados a dos o más artefactos a gas de los tipos B.1 o B.2, que operen por tiro mecánico inducido (chimeneas colectivas) 148
11.1.7 Chimeneas de mampostería con conectores metálicos de pared sencilla acoplados a dos o más artefactos a gas de los tipos B.1 o B.2, que operen por tiro mecánico inducido (conectores).....149
11.1.8 Chimeneas de mampostería con conectores metálicos de pared sencilla acoplados a dos o más artefactos a gas de los tipos B.1 o B.2, que operen por tiro mecánico inducido (chimeneas colectivas) 150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Campos de gas natural en Colombia (tomada de yacimientosmineralescasanare.com.co).* 18
Figura 2. *City gate (tomado de la página web de Hefei General Machinery Research).* 19
Figura 3. *Proceso de distribución del gas natural (tomado de Gas Natural Fenosa).* 20
Figura 4. *Quemador atmosférico de premezcla.* 26
Figura 5. *Quemador mecánico.* 27
Figura 6. *Esquema de instalación de red de suministro de gas en una vivienda.* 28
Figura 7. *Tuberías por conductos (NTC 2505, cuarta actualización).* 30
Figura 8. *Protección mecánica de tuberías que conducen gas mediante camisas y conductos (NTC 2505, cuarta actualización).* 30
Figura 9. *Detalle de la instalación de tuberías embebidas (NTC 2505, cuarta actualización).* 31
Figura 10. *Zona de trazado de instalaciones de tuberías embebidas (NTC 2505, cuarta actualización).* 31
Figura 11. *Distancias mínimas entre tuberías que conducen gas instaladas a la vista o embebidas y tuberías de otros servicios (NTC 2505, cuarta actualización).* 32
Figura 12. *Distancias mínimas entre tuberías que conducen gas y de otros servicios cuando se instalan enterradas.* 33
Figura 13. *Soportes y abrazaderas utilizadas en los sistemas de gas (tomados de internet).* 36
Figura 14. *Ejemplo de pasamuros.* 36
Figura 15. *Ubicación de las válvulas de corte en instalaciones multifamiliares.* 38
Figura 16. *Esquema de un sistema de red de gas con regulación en única etapa.* 39
Figura 17. *Esquema de un sistema de red de gas con regulación en dos etapas.* 40
Figura 18. *Esquema de un sistema de red de gas con regulación en tres etapas.* 41
Figura 19. *Instalación de artefactos a gas en sótanos.* 45
Figura 20. *Ventilación de espacios confinados entre espacios internos.* 46
Figura 21. *Ventilación de espacios confinados directamente desde el exterior.* 47
Figura 22. *Ventilación al exterior de espacios confinados mediante ductos verticales.* 47
Figura 23. *Ventilación de espacios confinados hacia el exterior mediante ductos horizontales.* 48
Figura 24. *Ventilación de espacios confinados ubicados en diferentes pisos mediante ductos colectivos.* 49
Figura 25. *Condiciones mínimas de ventilación de los vacíos internos. Desarrollo bajo plataforma.* 53
Figura 26. *Condiciones mínimas de ventilación de los vacíos internos. Desarrollo por conducto horizontal.* 53
Figura 27. *Condiciones mínimas de ventilación de los vacíos internos. Desarrollo por primer piso.* 54
Figura 28. *Distancias mínimas entre conductos de evacuación y muros o ventanas, en planta y corte.* 55
Figura 29. *Componentes de un sistema de evacuación que descarga a chimenea.* 57

Figura 30. *Componentes de un sistema de evacuación que descarga a un ducto de evacuación.*....58
Figura 31. *Sombrerete metálico tipo A.* 60
Figura 32. *Sombrerete metálico tipo B.* 61
Figura 33. *Sombrerete metálico tipo C.* 62
Figura 34. *Sombrerete metálico tipo D.* 62
Figura 35. *Artefactos a gas tipos B1 o B2 instalados en varias plantas entregando a chimenea metálica (tomado de la NTC 3833).*....64
Figura 36. *Artefactos a gas tipos B1 o B2 instalados en varias plantas entregando a chimenea en mampostería (tomado de la NTC 3833).*....65
Figura 37. *Extensión del extremo terminal de la chimenea colectiva por encima de un plano imaginario trazado a 45° a partir del extremo superior del muro circundante de mayor altura (tomado de la NTC 3833).*....66
Figura 38. *Localización típica de los extremos terminales de las chimeneas metálicas de pared sencilla para los artefactos de gas tipos B1 y B2 que operen por tiro mecánico inducido (tomado de la NTC 3833).*....67
Figura 39. *Comparativo de una descarga a chimenea y una descarga a través de fachada (tomado de la NTC 3833).*....68
Figura 40. *Distancias que se debe conservar entre los extremos terminales de los artefactos tipos B1 y B2, que operan por tiro mecánico inducido, y tipo C (cámara estanca) con respecto a ventanas, puertas y aberturas de ventilación (tomado de la NTC 3833).* 69
Figura 41. *Regulador de acción directa.*....82
Figura 42. *Funcionamiento de un regulador de acción directa.*....83
Figura 43. *Regulador de acción indirecta o piloteada.* 84
Figura 44. *Regulador de flujo axial. Posición cerrada.*....85
Figura 45. *Regulador de flujo axial. Posición de regulación.* 86
Figura 46. *Regulador de flujo axial. Posición completamente abierta.*....86
Figura 47. *Regulador de flujo radial.*....87
Figura 48. *Funcionamiento de un regulador de flujo radial.* 87
Figura 49. *Presión de disparo de la válvula de alivio.* 89
Figura 50. *Presión de salida contra volumen de gas que se va a manejar (GLP).*....90
Figura 51. *Medidor de diafragma o pared perforable.*....92
Figura 52. *Medidores lobulares.* 93
Figura 53. *Medidores de turbina.*....94
Figura 54. *Medidor por presión diferencial.*....95
Figura 55. *Medidor de Coriolis.*....96
Figura 56. *Estación de regulación y medición para caudales desde 6 hasta 50 m³/h.* 97
Figura 57. *Estación de regulación y medición para caudales desde 51 hasta 100 m³/h.* 98
Figura 58. *Estación de regulación y medición para caudales mayores a 100 m³/h.* 99
Figura 59. *Localización del proyecto.*....104
Figura 60. *Isométrico de la red de gas con ubicación de los medidores por piso y la red de gas que va hacia la caldera.* 105
Figura 61. *Planta con trazado para un apartamento tipo.* 106
Figura 62. *Isométrico de apartamentos para pisos tipo.* 107
Figura 63. *Detalle de ventilación en apartamentos.* 119

Figura 64. *Detalle de los nichos de medición de apartamentos.* 120
Figura 65. *Detalle del cuarto de caldera en la cubierta de la torre 1.* 122
Figura 66. *Planta con trazado para el restaurante Crepes & Waffles.* 123
Figura 67. *Isométrico del trazado para el restaurante Crepes & Waffles.*.....124
Figura 68 *Detalle del calentador de 12 litros de tiro natural.*.....131
Figura 69. *Red de gas en la planta de producción de pegantes.*.....133
Figura 70. *Isométrico de la red de gas en la planta de producción de pegantes con numeración en nodos. (1-2)* 134
Figura 71. *Isométrico de la red de gas en la planta de producción de pegantes con numeración en nodos.(2-2)* 135
Figura 72. *Detalle de los sombreretes y el diámetro de los ductos para las calderas y calderín que trabajan por tiro natural.*.....139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Máximas presiones de operación permisible (MPOP) (tomado de la NTC 3838).* 25
Tabla 2. *Distancias para dispositivos de anclaje (tomado de la NTC 2505).* 32
Tabla 3. *Distancias para dispositivos de anclaje (tomado de la NTC 2505).* 35
Tabla 4. *Distancias entre tuberías de gas, muro o placa (tomado de la NTC 2505).* 35
Tabla 5. *Velocidad permisible del gas (tomado de la NTC 4282).* 42
Tabla 6. *Síntomas causados por concentración de COHb en la sangre (tomado de "Evaluación de la contaminación por monóxido de carbono en Bogotá", de la Universidad Nacional de Colombia).* 44
Tabla 7. *Distancias mínimas entre conductos de evacuación y muros o ventanas.*.....56
Tabla 8. *Dimensiones estándar para sombreretes metálicos tipo A (tomado de la NTC 3567).* 60
Tabla 9. *Dimensiones estándar para sombreretes metálicos tipo B (tomado de la NTC 3567).* 61
Tabla 10. *Dimensiones estándar para sombreretes metálicos tipo D (tomado de la NTC 3567).* 63
Tabla 11. *Diámetro interior mínimo del conector de evacuación directa a través de la fachada para artefactos del tipo B1 calculado para condiciones a nivel del mar (tomado de la NTC 3567).*.....68
Tabla 12. *Factor "C" en función del diámetro para la fórmula de Pole en diseño de líneas a baja presión (tomado del documento "Instalaciones hidráulicas, sanitarias y de gas", de Rafael Pérez Carmona).*.....70
Tabla 13. *Factor de corrección de gravedad específica para tubería en acero "K" (tomado del Manual Gas Handbook by C. George Sepeler, Tony Cramer and K.R. Knapp).* 72
Tabla 14. *Conversión de energía, trabajo y calor.* 76
Tabla 15. *Consumo de aparatos domésticos (tomado del documento "Instalaciones hidráulicas, sanitarias y de gas en edificaciones", de Rafael Pérez Carmona.*.....76
Tabla 16. *Coeficiente de simultaneidad en viviendas multifamiliares.*.....78
Tabla 17. *Longitudes equivalentes en metro de tubería recta (tomado de "Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones", 6ª. ed., de Rafael Pérez Carmona).* 80
Tabla 18. *Clasificación por colores de los resortes de los reguladores, de acuerdo con la presión de salida.*.....88
Tabla 19. *Capacidad de un regulador tipo 1213B2, tamaño ¾".* 89
Tabla 20. *Capacidad de los medidores de acuerdo con su denominación (tomado de la NTC 2728).*.....91
Tabla 21. *Dimensiones de los nichos de regulación y medición, según su categoría en Bogotá.* 100
Tabla 22. *Categorías según consumos de gas en Bogotá.* 100
Tabla 23. *Consumo de gas por apartamento y consumo para la caldera.* 108
Tabla 24. *Longitudes reales y equivalentes por accesorios para los apartamentos de la torre 1.*.....109
Tabla 25. *Longitudes equivalentes de accesorios por diámetro.* 110
Tabla 26. *Cálculo para la red de media presión con la fórmula de Müeller.* 116
Tabla 27. *Cálculo para la red de baja presión con la fórmula de Renouard.* 117

Tabla 28 *Cálculo de las ventilaciones de la torre 1 (tipo de ventilación = 1).* 118
Tabla 29 *Cálculo de las ventilaciones de la torre 1 (tipo de ventilación = 2).* 118
Tabla 30. *Cálculo de las ventilaciones de la cocina (tipo de ventilación = 1).*.....118
Tabla 31. *Cálculo de ventilaciones en vacío interno.* 121
Tabla 32. *Dimensionamiento de ductos o chimeneas con pared metálica sencilla (tomado de la NTC 3833).*.....122
Tabla 33. *Consumos de los artefactos para el restaurante Crepes & Waffles.* 125
Tabla 34. *Longitudes reales y equivalentes por accesorios para los tramos de la tubería en el local del restaurante.*.....126
Tabla 35. *Longitudes equivalentes de accesorios por diámetro.* 126
Tabla 36. *Cálculo de la red de baja presión con la fórmula de Renouard.*.....129
Tabla 37. Cálculo de ventilaciones en el sitio de la plancha francesa, local Crepes&Waffles. 130
Tabla 38. Cálculo de ventilaciones en el sitio de la barra-cocina, local Crepes&Waffles. 130
Tabla 39. *Dimensionamiento de ductos o chimeneas con pared metálica sencilla (tomado de la NTC 3833).*.....132
Tabla 40. *Consumos de gas para la planta de producción de pegantes.*.....133
Tabla 41. *Longitudes reales más longitudes equivalentes de la red.*.....135
Tabla 42. *Cálculos de la red de media presión con la fórmula de Müeller.*.....137
Tabla 43. Cálculo de ventilaciones en el cuarto del calderín.....138
Tabla 44. Cálculo de ventilaciones en el cuarto de calderas.....138

1 INTRODUCCIÓN

La guía se basa en capítulos de conceptos básicos y definiciones de los elementos que hacen parte de un diseño de gas natural y explica los pasos para el diseño adecuado de este sistema en edificaciones residenciales, comerciales e industriales.

Es importante conocer que requerimientos son necesarios para realizar un diseño eficiente de gas natural en edificaciones, ya sean residenciales, comerciales e industriales, y tener claro en que se diferencian. Por esta razón se ve necesario la implementación de este documento para aporte a los diseñadores de este sistema.

Esta guía se basa en la normatividad colombiana a la fecha, y se debe tener presente que, para la realización de diseños posteriores a la publicación de este documento, se deberá tener en cuenta las normas que se encuentren vigentes en su momento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Presentar los lineamientos para el diseño integral de las redes de distribución de gas natural en edificaciones residenciales, comerciales e industriales.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los conceptos básicos y términos empleados en el área.
- Conocer los elementos, materiales y equipos empleados en redes de distribución de gas natural.
- Hacer recopilación de las normas nacionales a tener en cuenta para un desarrollo adecuado de diseño.
- Establecer los criterios y aspectos de diseño que se deben tener en cuenta para su desarrollo.
- Establecer los criterios técnicos para la selección de medidores y reguladores, conforme al uso de la edificación.
- Proponer una metodología de diseño de acuerdo con el uso de la edificación.
- Desarrollar ejemplos prácticos de diseño integral de la red de gas natural para edificaciones residenciales, comerciales e industriales.

1.2 METODOLOGÍA EMPLEADA

Se recopilará y analizará información relacionada con el tema en estudio, el cual conlleva a estudiar las normas aplicables, libros de guía, requerimientos de empresas públicas de gas natural y la experiencia personal adquirida a través de los años. A medida que se avanza en la investigación, se desarrollará el contenido del documento el cual contempla los temas mencionados en los objetivos específicos. Se realizará revisiones con el Ingeniero asesor para perfeccionará el documento. Al final de la investigación y recopilación de la información se propondrá una metodología de diseño seguida de un ejemplo de diseño para cada tipo de edificación

2 DEFINICIONES

Aire de combustión. Aire necesario para generar la combustión completa del gas en el quemador de un artefacto. Dicha combustión sólo es posible en presencia de un adecuado suministro de oxígeno.

Aire de dilución. Aire que entra en el regulador de tiro de un artefacto (cortatiros) y se mezcla con los productos de la combustión del gas, o también cantidad de aire requerida para diluir hasta niveles seguros la concentración de productos de combustión que no se evacúa hacia la atmósfera, o ambos aires que quedan atrapados en el recinto donde está instalado el artefacto.

Aire de renovación. Aire indispensable para renovar o reponer el aire consumido por la combustión del gas de un artefacto en un recinto interior.

Caldera. Máquina industrial que usa energía eléctrica o gas para generar vapor.

Caudal o demanda. Volumen de gas que pasa por una sección de tubería en una unidad de tiempo, generalmente se expresa en metros cúbicos hora (m^3/h).

Capacidad instalada. Máxima potencia, expresada en kW (BTU/h), que puede suministrar una instalación, la cual depende de sus especificaciones de diseño.

Centro de medición. Espacio donde se ubican los elementos de regulación y medición del suministro del servicio de gas para uno o varios usuarios.

Densidad. Cantidad de masa contenida en determinado volumen de una sustancia.

Densidad relativa o gravedad específica. Es la relación de la densidad de una sustancia con la de otra que se toma como referencia. Por ejemplo, en las sustancias gaseosas la densidad de referencia es el aire y en los líquidos es el agua.

Dióxido de carbono (CO_2). Gas inerte producto de la combustión con el oxígeno proveniente del aire. En altas concentraciones contribuye con el calentamiento de la Tierra, incrementando el efecto invernadero.

Factor de coincidencia. Relación entre la máxima demanda probable y la máxima demanda potencial de gas.

Familia de gases combustibles. Conjunto de gases con características de combustión similares, vinculadas por un rango del índice de Woobe.

Gas. Fluido compresible que carece de volumen propio y tiene forma no definida.

Gas natural. Mezcla de hidrocarburos gaseosos, en la cual predomina el metano. Con cantidades menores de etano, propano, butano, entre otros.

Gasoducto. Tubería para conducir gases combustibles.

GLP. Gas licuado del petróleo (*Liquefied Petroleum Gas*). Mezcla de hidrocarburos en la que predominan el propano y el butano. El poder calorífico del GLP en condiciones estándar (15,56 °C y 1,013 mbar) es de 93,996 KJ/m³.

Ignición. Inicio de una combustión.

Índice de Woobe. Relación entre el poder calorífico del gas por unidad de volumen y la raíz cuadrada de su densidad, en iguales condiciones de referencia. El índice de Woobe se considera superior o inferior si el poder calorífico considerado es superior o inferior. Este índice se expresa en unidades de MJ/m³.

Límite inferior de inflamabilidad (LII). Valor inferior de la concentración de gas disperso en el aire, debajo del cual no se presenta una mezcla inflamable. En el gas natural el límite inferior de inflamabilidad es el 5% en volumen de gas en aire, mientras que el del GLP es del 2%.

Límite superior de inflamabilidad (LSI). Valor superior de la concentración de gas disperso en el aire, arriba del cual no se presenta una mezcla inflamable. En el gas natural el LSI es el 15% en volumen de gas en aire, mientras que el del GLP es del 9%.

Línea de acometida. Sistema de tuberías para el suministro de gas, desde las líneas primarias o secundarias hasta la válvula de corte individual de consumo.

Línea individual. Tuberías que permiten la conducción de gas hacia los artefactos de consumo de un usuario. Aplica desde los centros de medición hasta los puntos de salida para la conexión.

Línea matriz. Sistema de tuberías que conforman la instalación para el suministro de gas a las edificaciones multiusuario, con el objeto de registrarla en los centros de medición.

Líneas primarias. Conjunto de tuberías destinadas a la distribución de gas hacia sectores puntuales de consumo. Comprenden desde la salida de la estación receptora hasta la entrada a las estaciones reguladoras dispuestas en la red de distribución. Por lo general se componen de tuberías metálicas operadas a alta presión.

Líneas secundarias. Sistema de tuberías que se derivan de las líneas primarias, desde las salidas de las estaciones reguladoras de distrito, y se extienden hacia la línea de acometida de todos los usuarios en un sector determinado de la red de distribución. Por lo general son tuberías de materiales plásticos especiales, operadas a media presión.

Material dieléctrico. Elemento que aísla eléctricamente dos metales.

Medidor de gas. Equipo que se emplea para medir el consumo de gas en edificaciones residenciales, comerciales o industriales. Comúnmente se mide en m^3/h.

Monóxido de carbono (CO). Gas generado por la combustión incompleta del carbono, debido a la falta de oxígeno o al mal mantenimiento en los equipos de combustión. Este gas es perjudicial para los seres humanos.

Odorización. Adición de sustancias químicas a los gases inodoros para facilitar su detección. Usualmente se utilizan productos odorizantes como tetrahidrotiofeno (THT), terbutil mercaptano (TBM), sulfuro de dietilo (DES) y etil mercaptano (EM).

Poder calorífico. Cantidad de calor producido por la combustión a la presión atmosférica normal (1,013.25 mbar) de una unidad de volumen o masa de gas, cuando los constituyentes de la mezcla de combustión están bajo condiciones de referencia (para el gas y el aire se requiere una temperatura de 15 °C y una presión absoluta de 1013,25 mbar), los productos de la combustión se llevan a las mismas condiciones. La unidad más usada es el kW/m^3.

Poder calorífico superior o bruto. Cantidad de energía transferida como calor en la reacción de la combustión, en la cual todos los productos de combustión se enfrían y el vapor de agua producto de la reacción se condensa. Se utiliza en los diseños de redes residenciales y comerciales. Este valor lo debe suministrar la empresa distribuidora.

Poder calorífico inferior o neto. Cantidad de energía transferida como calor en la reacción de la combustión, en la cual el agua que se forma en la combustión permanece en la fase de vapor. Se utiliza en los diseños de redes industriales. Este valor lo debe suministrar la empresa distribuidora.

Potencia nominal. Cantidad total de energía calórica por unidad de tiempo producida por un artefacto a gas y declarada por el fabricante. Se expresa en kilovatios (kW).

Presión de servicio de los gasodomésticos. Presión del gas que se mide en la conexión de entrada al gasodoméstico cuando se encuentra en funcionamiento.

Presión normal de suministro. Presión que debe entregar la empresa distribuidora del servicio de gas en el punto de entrada de la instalación.

Psia (*Pound Square Inches Absolute*). Presión absoluta (libra fuerza sobre pulgada cuadrada).

Psig (*Pound Square Inches Gauge*). Presión manométrica (libra fuerza sobre pulgada cuadrada manométrica).

Regulador de presión. Dispositivo mecánico que se utiliza para abatir y volver constante la presión de trabajo en las redes de gas.

3 CONCEPTOS BÁSICOS

3.1 El gas natural en Colombia

El gas natural es un combustible de origen fósil que se produce por descomposición de la materia orgánica a través de millones de años y se encuentra en depósitos subterráneos profundos. En Colombia, se extrae en el Huila, Casanare y Magdalena Medio. Así mismo, se obtiene del fondo del mar, como es el caso de La Guajira.

Su composición, gravedad específica, peso molecular y poder calorífico son diferentes en cada yacimiento. La variación de poder calorífico del gas natural oscila entre 900 y 1400 BTU/ft³.

Figura 1. ***Campos de gas natural en Colombia (tomada de yacimientosmineralescasanare.com.co).***

El gas natural se extrae a través de perforaciones y su hallazgo se realiza mediante exploraciones geológicas que pueden durar bastantes años. Se puede encontrar mezclado con crudo o solo en yacimientos. Actualmente el país cuenta con catorce campos principales de producción de gas natural.

Después de su extracción se transporta a través de gasoductos hacia las diferentes regiones del país. En las afueras de cada municipio se ubican unas estaciones, *City gate* o Puerta de ciudad, donde lo filtran, lo miden y le bajan la presión.

Figura 2. ***City gate (tomado de la página web de Hefei General Machinery Research).***

El *City gate* cuenta con las siguientes funciones:

- Reducir la presión de la línea de transporte a niveles permitidos.
- Medir la cantidad de gas que se entrega a cada sistema.
- Controlar las condiciones de flujo: presión, temperatura, calidad, entre otros.
- Eliminar condensados, partículas o suciedades por medio de raspadores.
- Filtrar y decantar el gas recibido.
- Calentar el gas.
- Odorizar con terbutil mercaptano (TBM) para detectar olor en caso de fugas.

A continuación, se mencionan algunas características técnicas de una *City gate*:

- Presión de entrada: 1440 - 1200 psig.
- Presión regulada de salida: 200 - 450 psig, con un posible set point de 350 psig.

- Temperatura de trabajo: -20 a 60 °C.
- Nivel sonoro: <70 dB.
- Dos líneas de suministro de gas natural, una de trabajo y otra en *Stand by*.
- No se deben soldar o conectar elementos como weldolet, thredolet, elbolet en componentes que sufran mayores desgastes mecánicos por circulación interna.

  Weldolet es la conexión de derivación más común y se suelda en la tubería de salida. Los extremos están biselados para facilitar este proceso y, por lo tanto, se considera como una soldadura a tope. Weldolet está diseñado para minimizar la concentración de tensiones y proporcionar refuerzo integral.
  Thredolet se considera un accesorio roscado con hilo tipo NPT.
  Elbolet se utiliza en codos de radio largo de 90° (se puede fabricar para codos de radio corto) para conexiones de termopozo y de instrumentación. Con soldadura a tope disponible para satisfacer requisitos de refuerzo específicos y aplicaciones de soldadura de rosca y rosca.
- Juntas aislantes dieléctricas monolíticas o pikotec, una a la entrada del *City gate* y otra a la salida.

Posteriormente se transporta hacia las redes de distribución que abastecen las ciudades donde finalmente se suministra a los usuarios residenciales, comerciales e industriales.

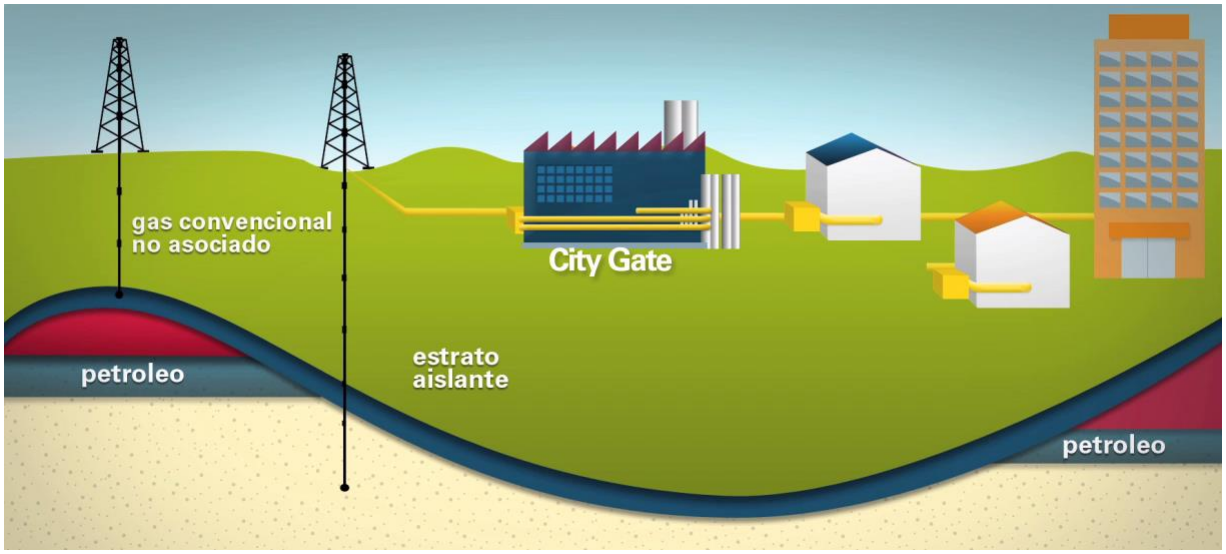


Figura 3. ***Proceso de distribución del gas natural (tomado de Gas Natural Fenosa).***

En el país existen más de quince empresas distribuidoras de gas natural, cada una de las cuales dispone de un sistema de tuberías para tomarlo de las *City gate* y entregarlo a los consumidores finales. Se destacan como mercados objetivos los sectores residencial, comercial, industrial y el gas comprimido para vehículos (GNCV).

Estas redes de distribución se clasifican en primarias y secundarias, las cuales se identifican a continuación.

Características de una red de distribución primaria:

- Red de distribución de alta presión (promedio: 250 psig – máximo: 275 psig).
- Tubería de acero (diámetro entre 4 y 20”).
- Transporta el gas a través de la ciudad hasta las estaciones de regulación de distrito.
- Incluye las facilidades de operación: válvulas de corte, monitoreo de corrosión, actuadores, entre otros.

Características de una red de distribución secundaria:

- Red de distribución de media presión (promedio: 60 psig - máximo: 90 psig).
- Tubería de polietileno (diámetro entre ½ y 6”).
- Transporta el gas a través de la ciudad hasta los centros de medición y regulación de cada usuario.
- Incluye las facilidades de operación: válvulas de corte.

3.2 Clasificación de los gases

Según el índice de Woobe, los gases combustibles se clasifican en tres familias y se expresa con la siguiente expresión:

$$w = \frac{PCS}{\sqrt{G}}$$

donde:

w: índice de Woobe.
PCS: poder calorífico superior o bruto.
G: densidad relativa o gravedad específica.

- Primera familia: corresponde a los gases manufacturados, que se agrupan en gas de ciudad, gas de coquería y gas propanado o aire butanado.

- Segunda familia: es el gas natural compuesto principalmente de metano (CH_4). El presente documento se enfoca en esta familia de gases.

- Tercera familia: corresponde a los gases licuados del petróleo (GLP), compuestos principalmente por propano (C_3H_8) y butano.

Antes de su entrega al usuario final el gas natural se somete a un proceso para separarlo del crudo y del agua, luego se comprime y deshidrata para reducir al mínimo el vapor de agua. Posteriormente pasa a una fase de "endulzamiento"[1] para eliminar los elementos ácidos como el dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico, con el fin de que el gas cumpla con las normas establecidas para su transporte, comercialización y distribución. El anhídrido carbónico (CO2) y el sulfuro de hidrógeno forman ácidos y soluciones ácidas en presencia del agua contenida en el gas. Estas sustancias son indeseables y se deben eliminar, particularmente el sulfuro de hidrógeno, que es tóxico y no se puede tolerar en gases de uso domiciliario.
Los siguientes son los contenidos tolerables:

El contenido total de sulfuro de hidrógeno (H_2S) máximo es de 6 mg/m³.
El contenido total de dióxido de carbono (CO_2) máximo en % de volumen es 2%.

Luego se separan del gas natural los hidrocarburos pesados (propano y butano) y la gasolina natural mediante el fraccionamiento en torres de destilación atmosférica y de vacío, para finalmente distribuirlo a través de los gasoductos.

Las propiedades del gas natural dependen de su sitio de origen y esta información la debe suministrar el distribuidor. A continuación, se mencionan las características del gas en algunas ciudades del país.

Barrancabermeja*

- Familia y denominación: gas natural (segunda familia).
- Poder calorífico superior: 9,31 kWh/m³(s).
- Densidad relativa del gas: 0,56.

*Datos suministrados por Gas Natural Fenosa.

Barranquilla*

- Familia y denominación: gas natural (segunda familia).
- Poder calorífico superior: 10,37 kWh/m³(s).
- Densidad relativa del gas: 0,57.

*Datos tomados del documento "Instalaciones hidrosanitarias, gas e incendio", de Rafael Pérez Carmona.

[1] El término "endulzamiento" es una traducción directa del inglés, en español la interpretación correcta sería "des-acidificación".

Bucaramanga*

- Familia y denominación: gas natural (segunda familia).
- Poder calorífico superior: 11,69 kWh/m³(s).
- Densidad relativa del gas: 0,61.

*Datos suministrados por Gas Natural Fenosa.

Cundinamarca*

- Familia y denominación: gas natural (segunda familia).
- Poder calorífico superior: 11,38 kWh/m³(s).
- Densidad relativa del gas: 0,67.

*Datos suministrados por Gas Natural Fenosa.

Medellín*

- Familia y denominación: gas natural (segunda familia).
- Poder calorífico superior: 10,35 kWh/m³(s).
- Densidad relativa del gas: 0,6.

*Datos suministrados por la EPM.

Neiva*

- Familia y denominación: gas natural (segunda familia).
- Poder calorífico superior: 10,92 kWh/m³(s).
- Densidad relativa del gas: 0,71.

*Datos tomados del documento "Instalaciones hidrosanitarias, gas e incendio", de Rafael Pérez Carmona.

El gas natural para uso doméstico o residencial se da principalmente como fuente de calor en procesos de cocción, calentamiento de agua, calefacción y secado de ropas.
Po su parte, su uso en el sector comercial está destinado a cocción de alimentos, calentamiento de agua, incineración de desechos, lavandería, entre otros.
En el sector industrial como fábricas de papel, metalurgias, vidrio e incluso petroquímicas el gas natural se emplea para sistemas de cogeneración de electricidad y calor, así como en los equipos que utilizan este recurso para su funcionamiento.

3.3 Clasificación de presiones en las redes de gas

Las presiones que se mencionan en este documento son aplicables a la operación de los sistemas que se utilicen dentro del territorio nacional para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles con destino a las instalaciones destinadas a uso residencial, comercial e industrial.

Es decir, aplica para las líneas de transporte, las redes de distribución (líneas primarias, secundarias y de acometida) y las instalaciones para suministro de gas (líneas matrices e individuales).

De acuerdo con la norma colombiana NTC 3838, existen tres clasificaciones para las presiones de los sistemas de las redes de gas combustible:

Alta presión. Comprende presiones manométricas superiores a 7 bar (P > 101,5 psig). Generalmente se emplean en las líneas de transporte y las primarias, donde estas últimas trabajan con presiones promedio de 275,6 psig. Por lo general, es la presión que utilizan los gasoductos que entregan el gas natural a las estaciones reguladoras de los gasoductos domiciliarios.

Media presión. Comprende presiones manométricas menores o iguales a 7.000 mbar y mayores a 140 mbar (2,03 psig < P ≤ 101,5 psig). Estas presiones se emplean en las líneas secundarias, las líneas matrices y de acometida. Aplica para uso residencial, comercial e industrial.

Baja presión. Comprende presiones manométricas menores o iguales a 2,03 psig (140 mbar). Estas presiones se emplean en las líneas individuales destinadas a usos residenciales y comerciales.

En la Tabla 1. *Máximas presiones de operación permisible (MPOP) (tomado de la NTC 3838*) se señalan las máximas presiones de operación permisibles y la diferencia entre líneas de alta, media y baja presión.

Clase de sistema de tubería y clase de usuario.	Gas natural		GLP	
Alta presión: P > 7 bar (P > 101,5 psig)	**bar**	**psig**	**bar**	**psig**
Líneas de transporte.	Véase el numeral 4.1	Véase el numeral 4.1	N.A	N.A
Líneas primarias.	19[1)]	275,6[1)]	N.A	N.A
Instalaciones para suministro de gas destinadas a usos industriales, derivadas de líneas de transporte o líneas primarias.	[2)]	[2)]	N.A	N.A
Media presión: 140 mbar < P ≤ 7000 mbar (2,03 psig < P ≤ 101,5 psig).	**mbar**	**psig**	**mbar**	**psig**
Líneas secundarias, líneas de acometida y líneas matrices exteriores a la edificación.	7000[3)]	101,5[3)]	1 000[4)]	14,5[4)]
Instalaciones para suministro de gas destinadas a usos industriales, derivadas de líneas secundarias.	[2), 5)]	[2), 5)]	1 000[4)]	14,5[4)]
Líneas matrices interiores en instalaciones para suministro de gas destinadas a usos residenciales y comerciales.	350[4)]	5,07[4)]	350[4)]	5,07 [4)]
Baja presión: P ≤ 140 mbar (P ≤ 2,03 psig)	**mbar**	**psig**	**mbar**	**psig**
Líneas individuales en instalaciones para suministro de gas destinadas a usos comerciales.	140	2,03	140	2,03
Líneas individuales destinadas a usos residenciales para suministro de gas a artefactos con regulador asociado.	140	2,03	140	2,03
Líneas individuales destinadas a usos residenciales para suministro de gas a artefactos sin regulador asociado.	23	0,33	35	0,5

Tabla 1. ***Máximas presiones de operación permisible (MPOP) (tomado de la NTC 3838).***

El numeral 4.1 que se menciona en la tabla anterior se refiere a los criterios que se deben tener en cuenta para la presión máxima de operación permisible de un sistema de transporte, distribución o suministro de gases combustibles de la segunda y tercera familia en estado de vapor.

El alcance de este documento comprende sistemas de red de gas natural con usos residencial, comercial e industrial, en el cual sólo se emplean redes de media y baja presión.

3.4 Tipo de aparatos que funcionan con gas

Los aparatos que trabajan con gas se pueden clasificar en artefactos de calor bajo o de calor medio. Los primeros incluyen estufas, hornos y calentadores, los cuales se usan para cocción, fusión o calefacción que no exceda los 315 °C. Los de calor medio se emplean para los usos mencionados, pero trabajan con temperaturas superiores a 315 °C, como calderas, quemadores de combustibles sólidos, que son para aplicaciones de uso comercial e industrial. De acuerdo con su funcionamiento, los aparatos que trabajan con gas pueden clasificarse en los siguientes tipos:

Artefactos tipo A. Gasodomésticos que no requieren conectarse a ductos para evacuar los productos de la combustión del gas. Un ejemplo es la estufa de uso doméstico.

Artefactos tipo B1. Gasodomésticos con disipadores de tiro revertido o corta tiros, diseñados para su acople a sistemas de evacuación que operen por tiro natural bajo presión estática no positiva. Un ejemplo es el calentador de tiro natural.

Artefactos tipo B2. Gasodomésticos diseñados para su acople a sistemas mecánicos de tubos de escape que operen por tiro mecánico inducido (bajo presión estática no positiva) o forzado (bajo presión estática positiva). Un ejemplo es el calentador de tiro forzado.

Artefactos tipo C. Gasodomésticos con circuitos de combustión sellados o de cámara estanca, diseñados para conectarse directamente con la atmósfera exterior mediante conductos de admisión y tubo de escape de flujo balanceado. Un ejemplo es la chimenea estanca.

3.5 Quemadores de los artefactos que funcionan con gas

El quemador de un artefacto tiene como función liberar el calor almacenado en el gas combustible y encausarlo eficientemente a los diferentes procesos, ya sean de cocción, fusión o calefacción.

Existen quemadores atmosféricos y mecánicos. Los primeros pueden clasificarse en quemadores de premezcla (mezcla de gas y aire antes del quemador), quemadores cerrados (mezclado de gas y aire en el quemador) y quemadores abiertos (mezclado mixto).

El quemador que más se utiliza para uso residencial, comercial y, en algunas ocasiones, industrial es el atmosférico de premezcla, el cual funciona aprovechando el aire en dos etapas: primero, donde el aire se succiona al interior de éste y, el segundo, en el sitio de combustión.

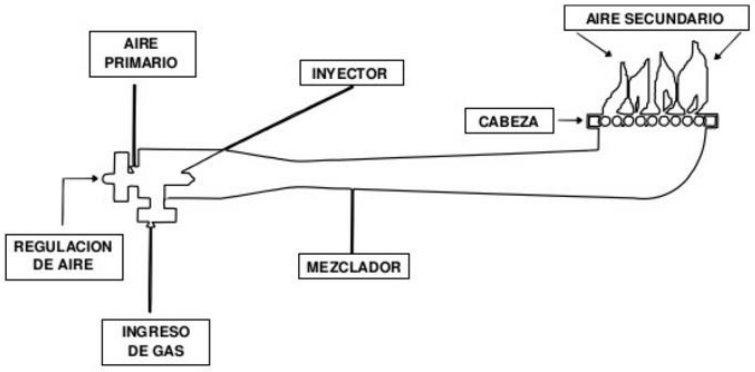


Figura 4. ***Quemador atmosférico de premezcla.***

Los quemadores mecánicos, también llamados quemadores a sobrepresión, trabajan con aire de combustión introducido mediante un ventilador.

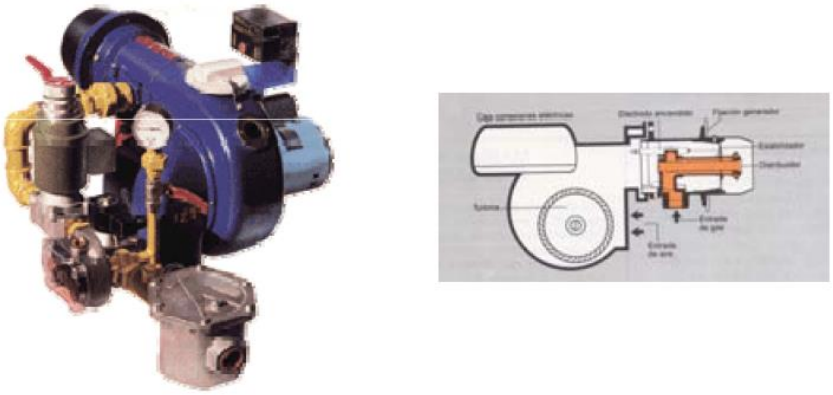


Figura 5. ***Quemador mecánico.***

3.6 Fenómenos indeseables en la combustión

A continuación se mencionan las condiciones indeseables que se pueden presentar durante la combustión del gas.

Desprendimiento de la llama. La llama tiende a separase del quemador. La velocidad de quemado es menor que la velocidad de la mezcla. En este caso, se debe corregir reduciendo la presión del regulador de acuerdo con el gas empleado. En caso de que la llama se desprenda totalmente, la mezcla de gas-aire sigue saliendo en el recinto, acumulándose de tal manera que puede crear un ambiente potencialmente explosivo.

Llama inestable con puntas amarillas. Este fenómeno se presenta cuando la mezcla tiene una mayor cantidad de gas a la determinada por la relación estequiométrica. En los quemadores de premezcla se corrige calibrando el quemador para generar una mayor entrada de aire primario.

Hollín. Al igual que la llama inestable, se presenta cuando la mezcla tiene exceso de gas. Se corrige de la misma forma que el fenómeno anterior.

Retrollama. Se presenta cuando la llama tiende a darse al interior del quemador, lo cual se debe a que la velocidad de quemado es mayor que la velocidad a la cual se da la mezcla de gas y aire. Se corrige calibrando el regulador para que la presión de operación sea la requerida y no inferior.

3.7 Accesibilidad y operación

Accesibilidad grado 1. Un dispositivo tiene este grado cuando su manipulación puede realizarse sin abrir cerraduras y no requiere de escaleras o medios mecánicos especiales para su acceso.

Accesibilidad grado 2. Un dispositivo tiene este grado cuando está protegido por un armario o puerta, provisto de cerradura con llave normalizada. Su manipulación debe poder realizarse sin disponer de escaleras o medios mecánicos especiales para su acceso.

Accesibilidad grado 3. Un dispositivo se clasifica dentro de este grado si requiere escaleras o medios mecánicos para su acceso y manipulación. Igualmente, cuando es necesario pasar por zonas privadas o que aun siendo área común sea de uso privado.

3.8 Componentes de una instalación

En la construcción para el suministro de gas se requieren los siguientes elementos:

- Tuberías, que pueden ser de acero, cobre, aluminio, polietileno o PE-AL-PE.
- Accesorios (conexiones, camisas o conductos y fijaciones).
- Sellante. En conexiones roscadas se deben emplear sellantes anaeróbicos (trabas químicas) o uno que garantice la hermeticidad de la unión.
- Válvulas, pueden ser tipo bola, cumpliendo las normas NTC3538 y NTC3740.
- Regulador, que deben cumplir las normas NTC3727 y NTC3293.
- Medidor, que puede ser básicamente de desplazamiento positivo o de inferencia.

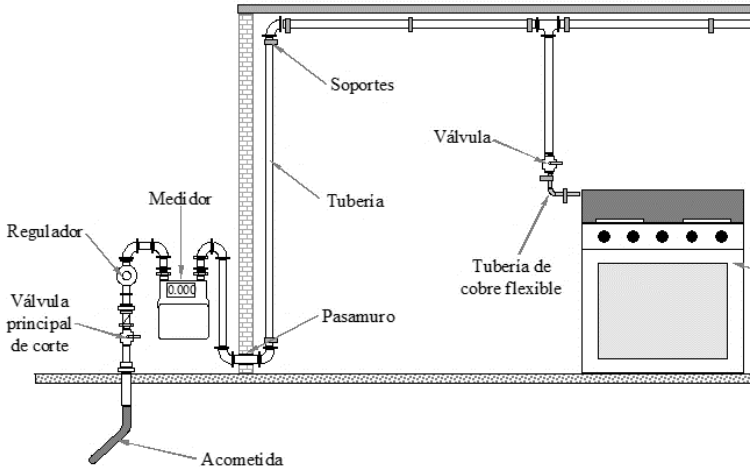


Figura 6. ***Esquema de instalación de red de suministro de gas en una vivienda.***

4 PUNTOS RELEVANTES DE LA NORMATIVA COLOMBIANA QUE SE DEBE TENER EN CUENTA PARA LA REALIZACIÓN DE DISEÑOS DE RED DE GAS NATURAL EN EDIFICACIONES

4.1 Instalación de tuberías en edificaciones residenciales y comerciales

Las tuberías que conducen gas no deben atravesar elementos estructurales, como vigas o columnas, ni pueden ser embebidas en las paredes de los fosos de ascensores. Cuando pasen por baños o dormitorios no deben tener uniones roscadas o, de lo contrario, deben ir encamisadas (excepto los artefactos tipo C y su respectiva válvula de corte).

Cada artefacto que opere con gas debe tener su propia válvula de corte, además de las válvulas correspondientes de los centros de medición y reguladores de presión.

Las tuberías de cobre no deben pasar por baños o zonas donde queden expuestas a la acción de compuestos amoniacales o aguas residuales.

Las tuberías para suministro de gas pueden instalarse por camisas o conductos, a la vista, embebidas o enterradas.

Cuando se requiera pasar por juntas de dilatación se deben prever juntas flexometálicas o, en su defecto, tubería flexible corrugada para absorber los efectos del desplazamiento de las edificaciones.

Tuberías por camisas o conductos. Son las que se instalan en el interior de tubos o canales cuando se requiere brindar protección mecánica, ya sea porque están expuestas a golpes, ataques químicos o por motivos estéticos.

Los conductos que transportan tuberías de gas deben tener ventilación en las partes inferior y superior en caso de que se generen fugas.

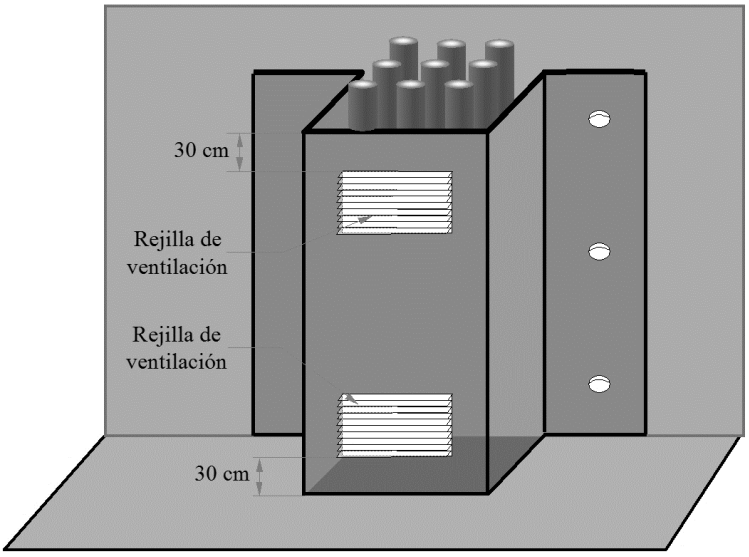


Figura 7. ***Tuberías por conductos (NTC 2505, cuarta actualización).***

Tuberías a la vista. Pueden ir en el interior o el exterior. Las tuberías aéreas deben apoyarse sobre elementos estables, rígidos y seguros de la edificación y quedar protegidas contra daños mecánicos y corrosión. Así mismo, la tubería que se encuentre expuesta y a un nivel del suelo relativamente bajo se debe proteger por lo menos un metro con una camisa metálica.

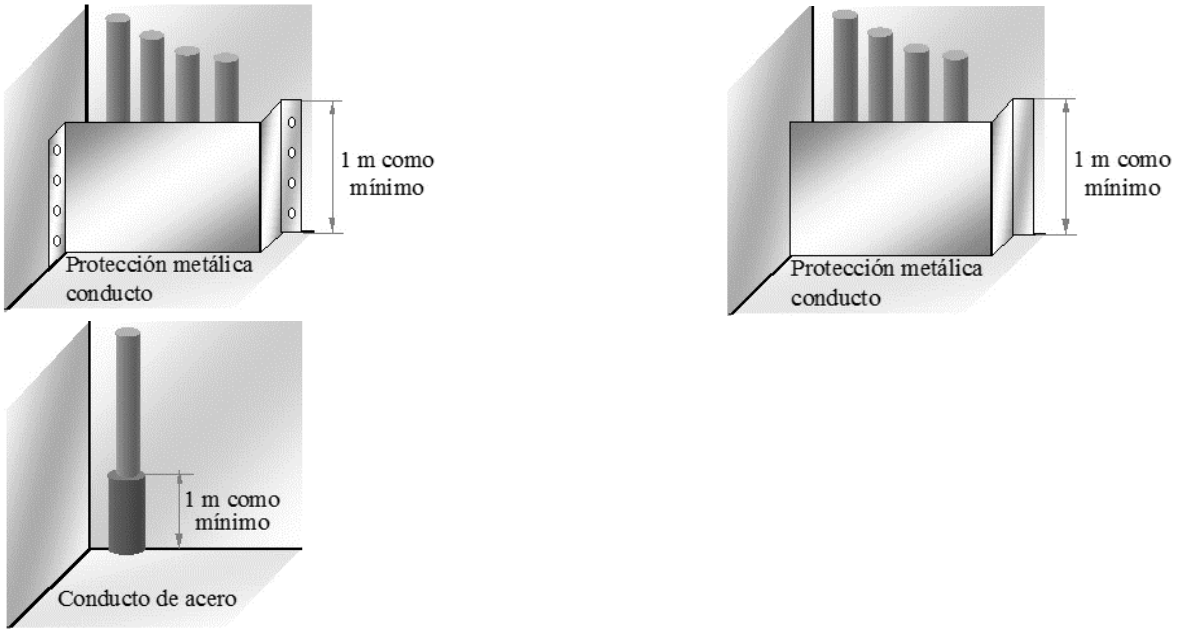


Figura 8. ***Protección mecánica de tuberías que conducen gas mediante camisas y conductos (NTC 2505, cuarta actualización).***

Tuberías embebidas. Las tuberías metálicas se pueden embeber en muros o pisos, excepto cuando la norma del producto lo prohíba. Las de cobre no se admiten embebidas, tampoco las tuberías flexibles, ya sean plásticas o metálicas.

Las tuberías embebidas en pisos deben tener un recubrimiento de mortero de 20 mm de espesor, como mínimo.

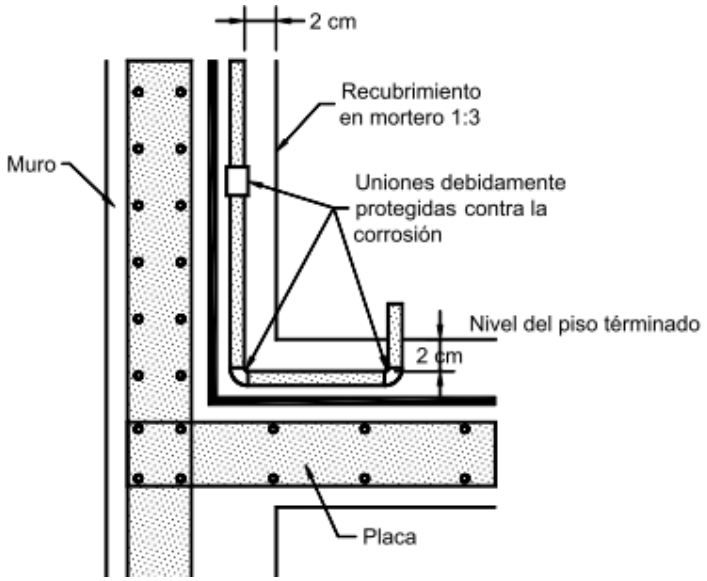


Figura 9. ***Detalle de la instalación de tuberías embebidas (NTC 2505, cuarta actualización).***

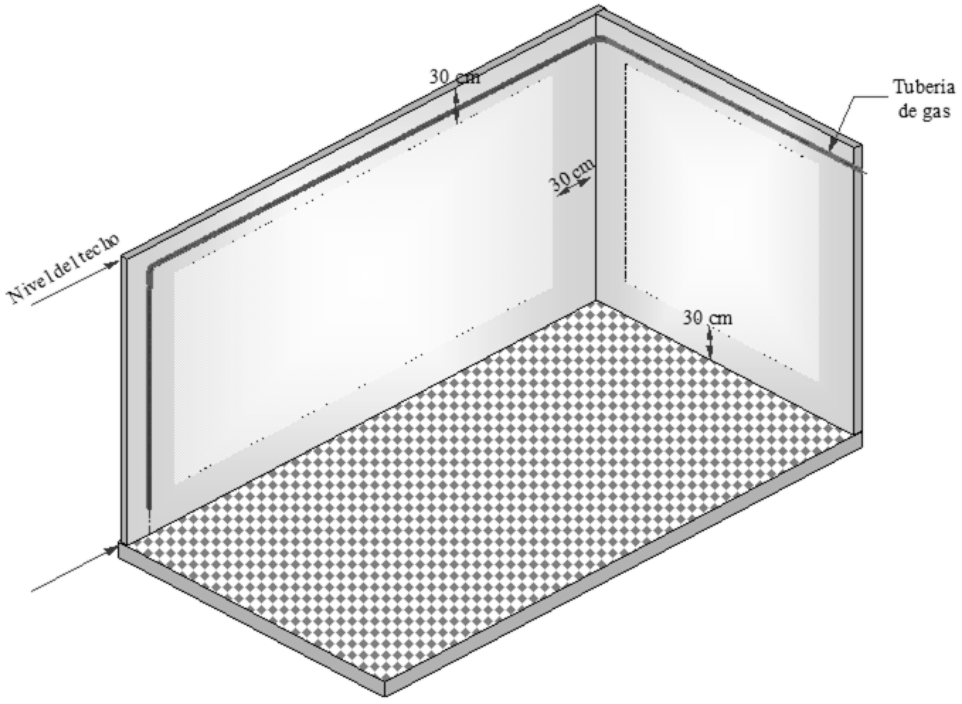


Figura 10. ***Zona de trazado de instalaciones de tuberías embebidas (NTC 2505, cuarta actualización).***

Por otra parte, se deben mantener unas distancias mínimas entre las tuberías de gas y las de otros servicios, como se ilustra en la Tabla 2. *Distancias para dispositivos de anclaje (tomado de la NTC 2505).*

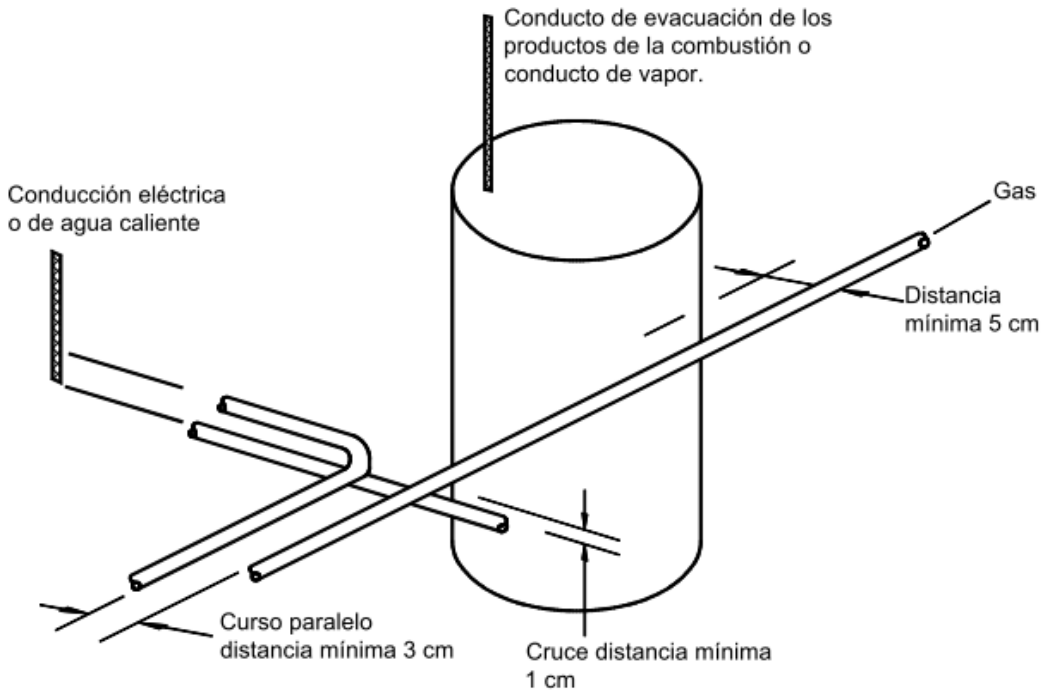


Figura 11. ***Distancias mínimas entre tuberías que conducen gas instaladas a la vista o embebidas y tuberías de otros servicios (NTC 2505, cuarta actualización).***

Tubería de otros servicios	Curso paralelo	Cruce
Conducción agua caliente	3 cm	1 cm
Conducción eléctrica	3 cm	1 cm
Conducción de vapor	5 cm	5 cm
Chimeneas	5 cm	5 cm

Tabla 2. ***Distancias para dispositivos de anclaje (tomado de la NTC 2505).***

Tuberías enterradas. Pueden ser plásticas o metálicas, debidamente protegidas contra la corrosión, y se deben instalar dentro de una zanja, por debajo del nivel del suelo, a una profundidad mínima de 46 cm en zonas expuestas a cargas por tráfico vehicular o similar y 30 cm en otras zonas.

No deben instalarse tuberías por debajo de cimientos, zapatas o placas de cimentación. Se debe hacer sobre un lecho de piedras sin aristas cortantes o sobre una capa de arena de 5 cm de espesor.
En los cruces de tuberías de gas con conducciones de otros servicios debe haber una distancia de 10 cm entre ellas y de 20 cm en recorridos paralelos.

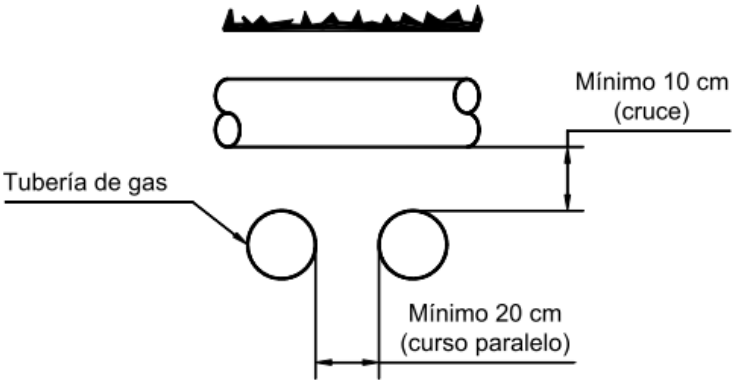


Figura 12. ***Distancias mínimas entre tuberías que conducen gas y de otros servicios cuando se instalan enterradas.***

Toda tubería que conduzca gas y se instale enterrada debe prever una cinta de señalización con un ancho mínimo de 10 cm, ubicada entre 20 y 30 cm por debajo del nivel del suelo.

Si la tubería es en polietileno se debe instalar serpenteada para facilitar los movimientos de contracción y dilatación. Si se entierra tubería metálica se debe soldar y proteger contra la corrosión. Por ningún motivo se deben hacer conexiones a tierra de redes ni conectar aparatos eléctricos a las tuberías metálicas.

4.1.1 Tuberías por cielorrasos

Cuando sea imprescindible instalar tuberías por encima de cielos falsos, éstas no pueden apoyarse en la estructura que la conforman. Adicionalmente, si la tubería no es soldada el cielorraso debe disponer de un área de ventilación.

El espacio entre el cielo falso y el techo debe ser suficientemente ventilado y contar con un área en cm² (S) equivalente o mayor a 10 veces el área en planta (A), expresada en m², del área del cielo falso.

$$S(cm^2) \geq 10\ A(m^2).$$

En caso de que el área del cielorraso no esté ventilando directamente al exterior sino a otro recinto, el área calculada en cm² (S) debe ser 50 veces el área en planta (A) expresada en metros cuadrados.

$$S(cm^2) \geq 50\ A(m^2).$$

4.1.2 Tubería por sótanos

En el exterior del sótano se debe instalar una válvula de corte de fácil acceso.
El sótano debe tener aberturas de entrada y salida de aire que comuniquen con el exterior. Sólo se permite instalar tuberías con sistema de gas en primer sótano y no en niveles inferiores.

El área de ventilación mínima requerida para sótanos, en cm², cuando se emplea tubería soldada, es 10 veces el área en planta de ésta, con una superficie mínima de 200 cm².

$$S(cm^2) \geq 10\ A(m^2).$$
$$S\ mín.\ 200cm^2$$

Cuando se utilice tubería con uniones mecánicas se debe contemplar el doble del área calculada en el punto anterior.

Lo anterior corresponde a instalación de redes con gas natural, ya que es menos denso que el aire y, por tanto, tiende a subir. Contrario a lo que sucede con el gas propano (GLP), que es más pesado que el aire y, ante cualquier escape, tiende a bajar, depositándose en el espacio que lo contiene. Por lo tanto, si se requiere instalar red de gas propano en sótano, la tubería se debe encamisar y sellar por uno de los extremos, dejando el otro abierto en el exterior, por lo menos a tres metros del acceso o de las ventas que dan hacia el sótano. En caso de que no se haga de esta manera la tubería se debe soldar.
Si no es posible suministrar ventilación natural al sótano se debe instalar un conducto cuya sección transversal sea igual al área calculada, afectándola por un factor que varía conforme la longitud del conducto, como se muestra a continuación.

Longitud (m)	Factor
$3 \leq L \leq 10$	1,5
$10 < L \leq 26$	2,0
$26 < L \leq 50$	2,5

4.1.3 Soportes

Las distancias máximas requeridas para soportar las tuberías de gas, de acuerdo con el tipo de tubería (rígida o flexible), se muestran en la Tabla 3. *Distancias para dispositivos de anclaje (tomado de la NTC 2505).* Es importante tener presente las distancias que recomienda el proveedor de la tubería.

Tamaño nominal de la tubería rígida (pulgadas)	Distancia entre soportes		Tamaño nominal de la tubería flexible (pulgadas)	Distancia entre soportes	
	m	pies		m	pies
1/2	1,85	6	1/2	1,25	4
3/4 o 1	2,45	8	5/8 o 3/4	1,85	6
1 1/4 o mayores (Horizontales)	3,0	10	7/8 o 1	2,45	8
1 1/4 o mayores (Verticales)	una en cada nivel o piso		1 o mayores (verticales)	una en cada nivel o piso	

Tabla 3. ***Distancias para dispositivos de anclaje (tomado de la NTC 2505).***

Además de lo anterior, se debe prever un dispositivo de anclaje cercano a la válvula de cada artefacto. En los sitios de cambios de dirección y en los extremos de las tuberías de cobre deben colocarse dispositivos de fijación adicionales (abrazaderas).

La separación entre la tubería y el muro, la placa u otra tubería de gas debe ser como mínimo el mismo diámetro del tubo, como se indica en la Tabla 4. *Distancias entre tuberías de gas, muro o placa (tomado de la NTC 2505).*

Diámetro tubería pulgadas	Distancia mínima (d) Techo-pared-otro tubo
1/2 - 3/4	15 mm
Mayor 3/4	Diámetro del tubo

Tabla 4. ***Distancias entre tuberías de gas, muro o placa (tomado de la NTC 2505).***

En el caso de tuberías metálicas se debe prever un material dieléctrico entre el tubo y la abrazadera, evitando así que haya contacto entre ellos.

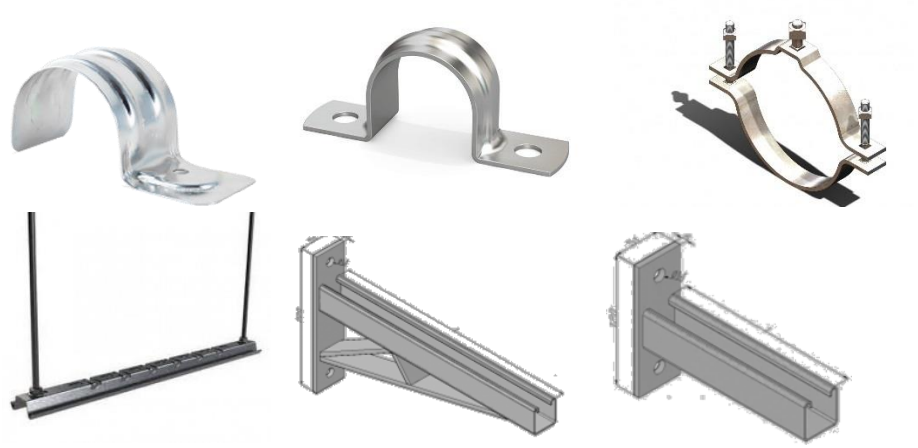


Figura 13. ***Soportes y abrazaderas utilizadas en los sistemas de gas (tomados de internet).***

4.1.4 Pases en muro placa

Cuando se trate de tuberías instaladas entre muros se debe prever un encamisado metálico que tenga 1 cm más de diámetro que la tubería que se va a cruzar, acompañado de sellos o aislantes en las bocas, con el fin de proteger contra daños mecánicos y evitar que posibles fugas de gas se desplacen de un espacio a otro.

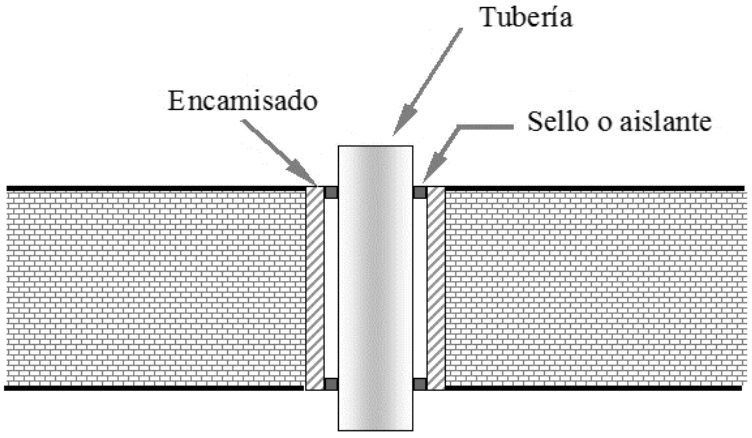


Figura 14. ***Ejemplo de pasamuros.***

4.1.5 Métodos de acoplamiento

La unión de las tuberías se realiza por métodos mecánicos o con soldadura. En el primer caso se puede hacer a través de rosca o por medio de empaques. En tuberías como polietileno se

utilizan métodos de termofusión y electrofusión. Estas uniones deben cumplir las normas vigentes en el país para su adecuada ejecución y prever posibles fugas.

4.1.6 Válvulas para gas

La función de las válvulas es controlar el suministro de gas a la red del sistema o a los artefactos. De acuerdo con su funcionamiento o ubicación tienen diferentes denominaciones:

Válvula automática. Consiste en una llave con un actuador que controla el suministro de gas a los quemadores durante la operación del artefacto. Este actuador se puede operar mediante la presión del gas sobre un diafragma o por medio de mecanismos eléctricos, mecánicos o de otra índole.

Válvula de corte automático del gas. Dispositivo para interrumpir automáticamente el suministro de gas y puede estar incorporado al mecanismo de corte o separado.

Válvula de corte (a los artefactos). Válvula que se utiliza para suspender el suministro a un aparato en particular.

Válvula de corte (general). Dispositivo que se instala entre el medidor o la fuente de suministro y el sistema de tuberías del usuario para aislarlos totalmente.

Válvula de alivio. Válvula de seguridad que alivia la presión, abriendo o cerrando un venteo, cuando se superan las condiciones establecidas para el sistema.

Además, se deben prever válvulas de corte en las acometidas, en la entrada a los centros de medición donde haya tres o más medidores, en cada medidor cuando se trata de centros de medición colectivos, antes de cada regulador y, en general, una válvula por punto de conexión de cada artefacto.

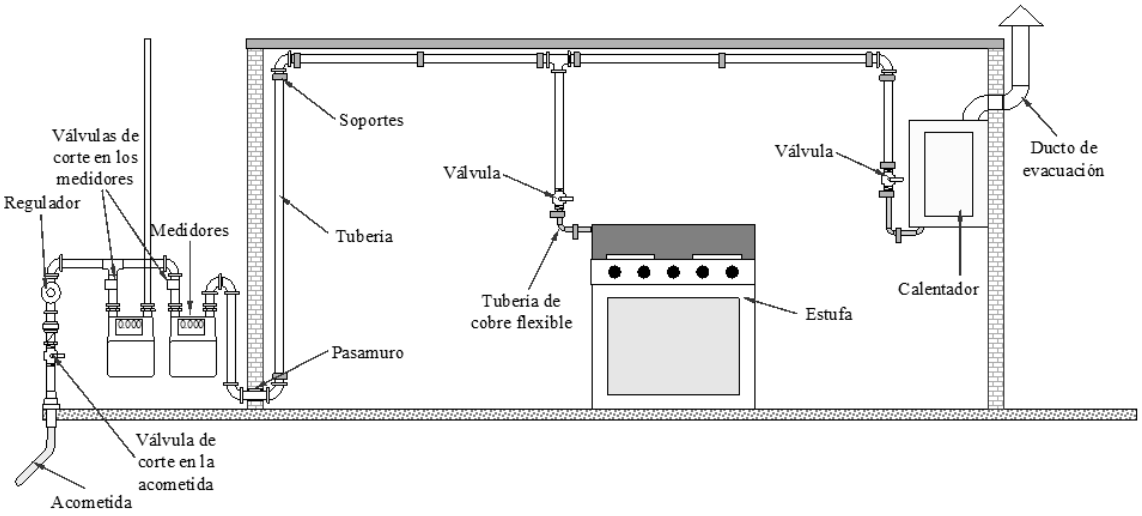


Figura 15. ***Ubicación de las válvulas de corte en instalaciones multifamiliares.***

4.1.7 Centros de medición

El sitio adecuado para ubicar los centros de medición debe ser el exterior de las viviendas o en áreas comunes ventiladas. Si se instalan en áreas comunes no ventiladas se debe contar con nichos herméticos hacia el área común y generar una ventilación de éstos hacia el exterior. El área de entrada y salida de aire debe ser mayor o igual a diez veces la superficie en planta del nicho (A) en m², con un área mínima 20 cm².

$$S(cm^2) \geq 10\ A(m^2), \geq 20\ cm^2$$

Si se requiere hacer un ducto para ventilar los nichos de medidores se debe emplear la fórmula anterior, afectándolo por un factor conforme su longitud, como se muestra a continuación.

Longitud (m)	Factor
$3 \leq L \leq 10$	1,5
$10 < L \leq 26$	2,0
$26 < L \leq 50$	2,5

En caso de que se requiera iluminación en los armarios de los medidores se deben colocar lámparas a prueba de explosión y el interruptor se debe instalarse fuera del cuarto.
Los medidores deben ubicarse sobre nivel del suelo, a una altura mínima de 5 cm.

En caso de que el gas que se va a utilizar sea más denso que el aire, como el GLP, no hay que instalar medidores en niveles inferiores al piso, como sótanos, ya que se puede generar su acumulación.

4.1.8 Reguladores

Conforme a su regulación, generalmente se pueden identificar cuatro tipos de instalaciones.

4.1.8.1 Regulación de única etapa

En este caso, la presión de la red de servicios se reduce 4 bar (60 psi) a la presión de suministro de los gasodomésticos; 18 mbar a los artefactos que trabajan con gas natural y 28 mbar a los que trabajan con GLP.

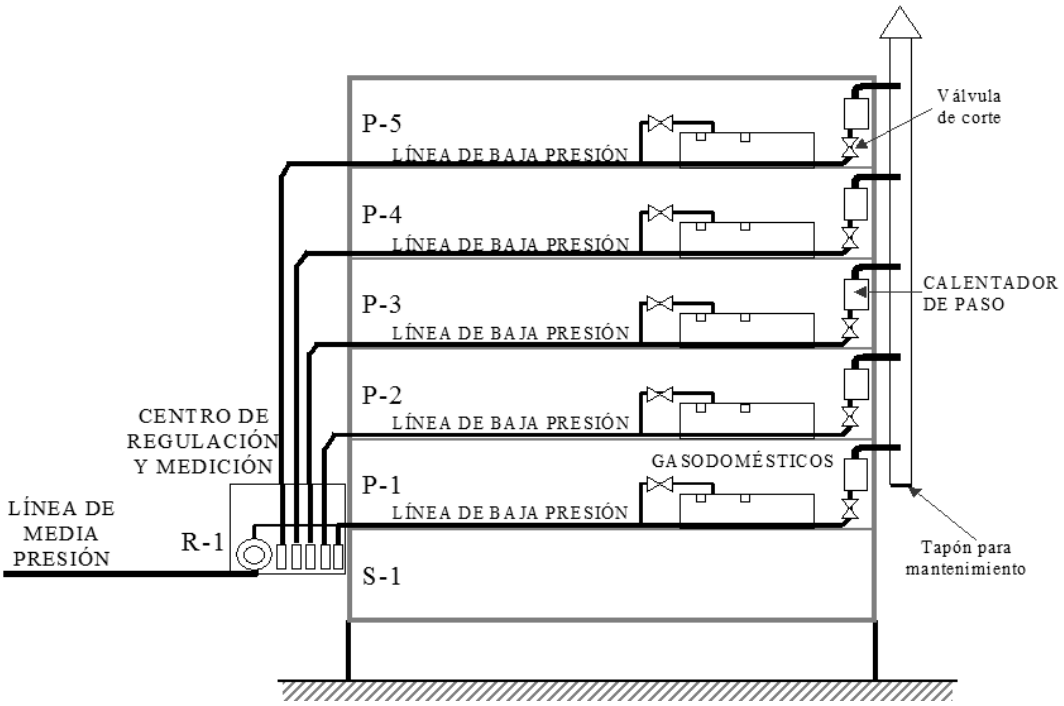


Figura 16. ***Esquema de un sistema de red de gas con regulación en única etapa.***

Cuando por condiciones especiales se requieren varias regulaciones, usualmente se dividen en tres etapas.

4.1.8.2 Regulación en primera etapa

Consiste en reducir la presión de la red de servicios de 60 a 5 psi, o 20 psi bajo condiciones especiales. A este tramo se le denomina línea matriz.

4.1.8.3 Regulación en segunda etapa

Se regula la línea matriz a una presión permisible para las líneas individuales (2 psi) o directamente a la presión a la que deben trabajar los artefactos (18 mbar).

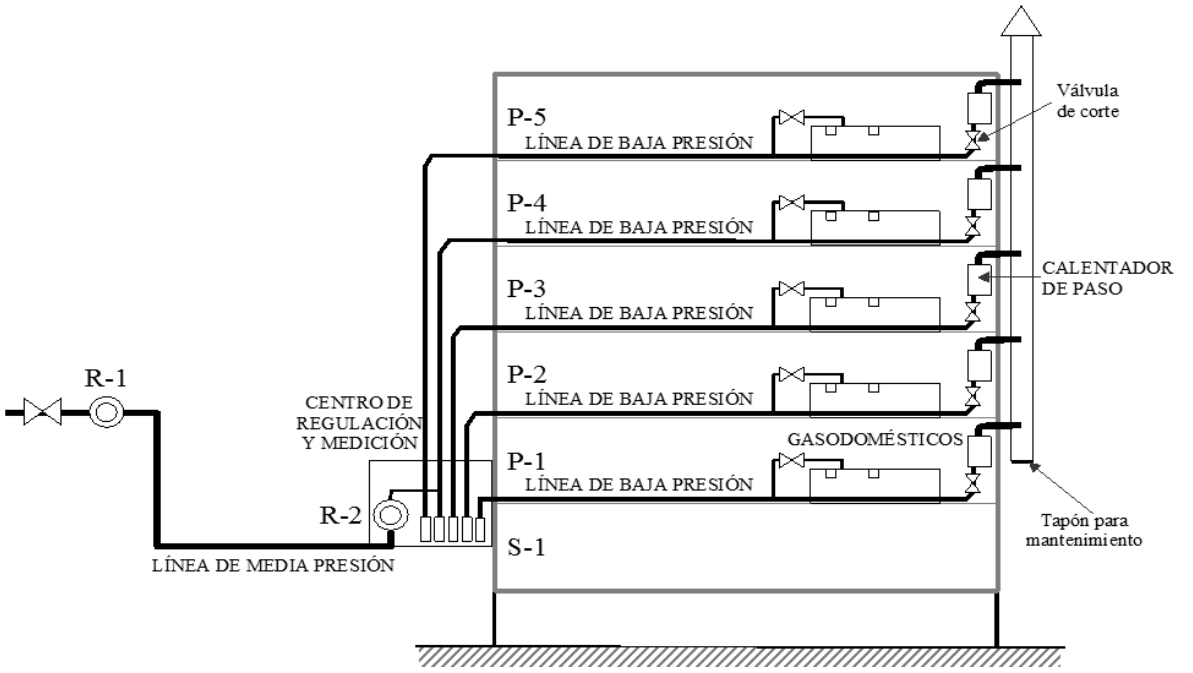


Figura 17. ***Esquema de un sistema de red de gas con regulación en dos etapas.***

4.1.8.4 Regulación en tercera etapa

Corresponde a los reguladores internos que reducen la presión de los gasodomésticos, también se conocen como reguladores asociados a los artefactos, los cuales deben cumplir con los requisitos de seguridad establecidos por la NTC 3293 para el alivio de sobrepresión de los reguladores instalados en recintos interiores.

Los reguladores se deben instalar con el venteo orientado hacia abajo para evitar el ingreso de insectos o agua.

Cuando se necesiten reguladores en sitios no ventilados, por seguridad se debe prever un venteo dirigido hacia el exterior por cada regulador. Dichos venteos no pueden entregar a ductos de ventilación del recinto y deben ir por tubería independiente.

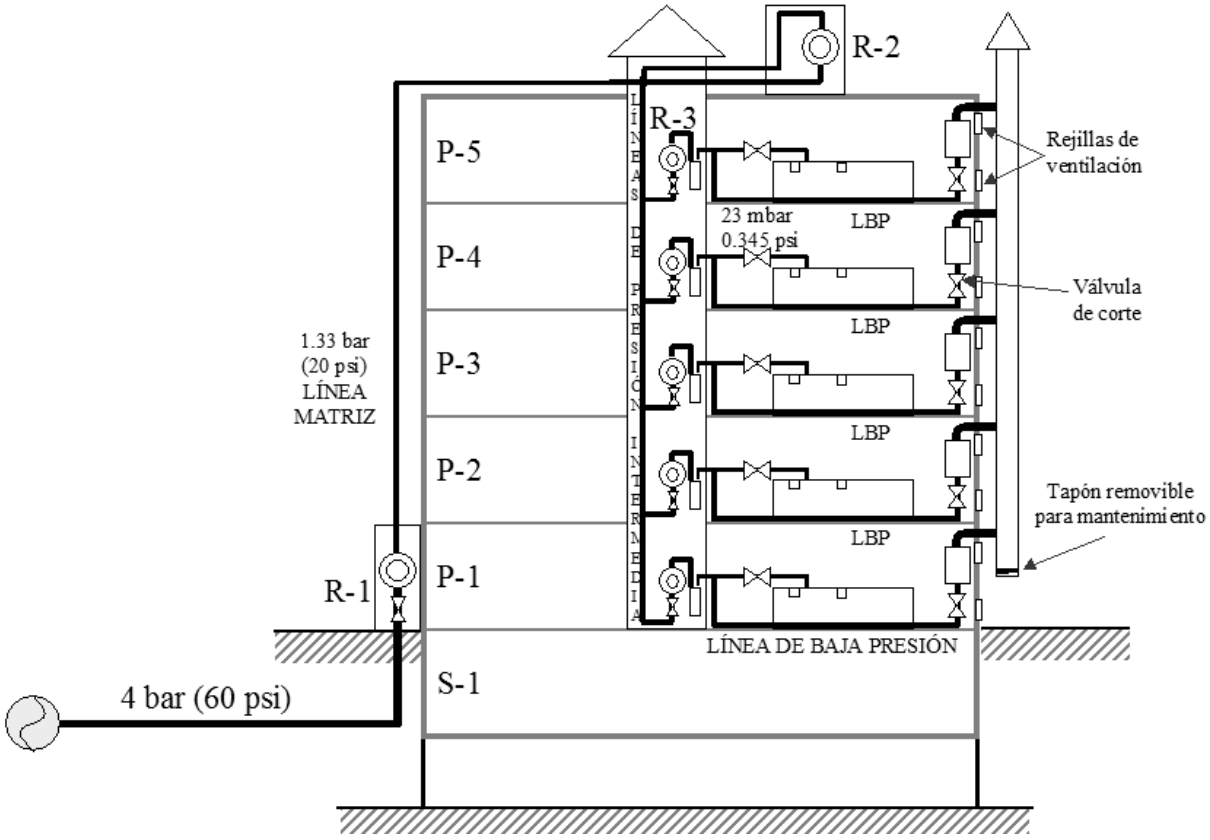


Figura 18. ***Esquema de un sistema de red de gas con regulación en tres etapas.***

Cuando se instale un regulador provisto de válvula de alivio en un recinto donde genere una situación de riesgo por alguna falla, se debe prever una tubería de venteo que expulse hacia el exterior el volumen de gas previsto. Si son varios reguladores cada uno debe disponer de un ducto de venteo independiente.

4.2 Instalación de tuberías en áreas industriales

En instalaciones industriales es común que se utilicen gases combustibles alternos como GLP o aire propanado, interconectados después del medidor o regulador por medio de válvulas de tres vías, las cuales evitan el contraflujo y permiten trabajar simultáneamente los gases alternos. En caso de que se utilicen combustibles líquidos para la operación de los artefactos, estas redes deben ser independientes de las que transportan los combustibles gaseosos.

Para establecer las dimensiones adecuadas de la tubería de gas se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Caída de presión permisible entre el punto de suministro y los artefactos a gas.
- Máxima cantidad de gas requerida.
- Longitud de la tubería y sus accesorios.
- Gravedad específica del gas.
- Factor de coincidencia.
- Demanda proyectada futura.
- Velocidad permisible de gas.

La velocidad permisible del gas medida en las tuberías y no en las válvulas o puntos de control debe corresponder con los datos de la Tabla 5. *Velocidad permisible del gas (tomado de la NTC 4282).*

Tamaño del filtro (micras)	Máxima velocidad del gas (m/s)
Máximo 250	40
Entre 250 y filtración mínima	La que se determine como apropiada
Sin filtración	20

Tabla 5. ***Velocidad permisible del gas (tomado de la NTC 4282).***

Estas velocidades evitan que se genere erosión excesiva en las tuberías. Sin embargo, con un buen criterio de diseño y sustentando la prevención de la erosión se puede trabajar con velocidades de hasta 75 m/s, aunque cabe resaltar que éstas pueden producir ruidos.

Al igual que para las edificaciones residenciales y comerciales los materiales para la tubería de suministro de gas en usos industriales pueden ser rígidos como acero, flexibles y corrugados como acero inoxidable, cobre, aluminio o plástico. Bajo ninguna circunstancia se debe emplear tubería de hierro fundido.

Los medidores de gas deben seleccionarse de acuerdo con la capacidad requerida para la máxima y mínima presión de operación previstas en el sistema y la máxima caída de presión permisible.
Entre estos medidores tenemos los siguientes: tipo diafragma, que deben cumplir las normas NTC 2826, NTC 2728, NTC3950 o NTC 4554; tipo rotatorio, los cuales deben cumplir la NTC 4136; los medidores tipo turbina, que deben cumplir con las recomendaciones AGA 4,

y los medidores tipo orificio, que deben acatar las recomendaciones AGA 3. En la sección 5.2 se define cada uno de ellos.

Los medidores se deben ubicar, como mínimo, a un metro de las fuentes de ignición. No deben colocarse en sitios como vías de tráfico vehicular, debajo o cerca de un escape de humo o exhostos, sobre pasadizos públicos, sitios de almacenamiento de material combustible o donde estén sujetos a una excesiva corrosión o vibración.

Para una adecuada selección de los reguladores se deben tener en cuenta las curvas de comportamiento y operación, la capacidad, la presión de operación y las presiones diferenciales de operación máximas y mínimas suministradas por el fabricante.

Las tuberías se deben diseñar de tal manera que tengan flexibilidad para absorber la transmisión de vibraciones, para prevenir la transmisión de esfuerzos, la expansión o contracción térmica, la flexión excesiva o las cargas en las juntas. Esta flexibilidad se logra utilizando curvas, espirales, acoples, juntas de expansión deslizantes o rígidas, entre otros.

Según la norma NTC-3458, Identificación de tuberías y servicios, la tubería para la instalación de la red de gas natural se debe identificar con color amarillo-ocre.

Las tuberías que se ubiquen en entretecho accesible deben ser del tipo soldado en sus uniones y no se permite la instalación de válvulas.

Cuando se prevea la formación de condensados en el gas, la tubería debe instalarse con una inclinación mínima de 0,7 cm por cada 4,6 m (15%). En estos casos se deben instalar acumuladores de líquido en el sistema, los cuales no se deben ubicar en sitios donde el condensado esté sujeto a congelamiento.

Si el sistema de gasodoméstico no tiene trampa de sedimentos, en el momento de la instalación se debe instalar una tan cerca como sea posible.

4.3 Ventilación de recintos donde se instalan artefactos a gas para uso doméstico, comercial e industrial

Todo recinto donde se empleen artefactos a gas debe contar con aire fresco y limpio para comodidad y aire requerido para una buena combustión en los gasodomésticos. Por esta razón se debe garantizar aire circulante para combustión, dilución y renovación.

- Aire circulante (destinado para enfriamiento, calefacción o ventilación del recinto para brindar comodidad).
- Aire de combustión (permite la inflamación completa del gas en el quemador de los artefactos).
- Aire de dilución (al entrar al cortatiros o regulador de tiro de un artefacto se mezcla con los productos de combustión del gas y diluye hasta niveles seguros las concentraciones de productos de combustión que no se han evacuado hacia la atmósfera exterior).
- Aire de renovación (se requiere para reponer el aire consumido por la combustión del gas del artefacto).

La combustión incompleta del gas en un artefacto produce monóxido de carbono (CO), el cual es perjudicial para el ser humano, ya que genera COHb en la sangre, que en porcentajes altos puede causar la muerte.

Según estudios, el nivel de concentración de COHb en la sangre puede traer las siguientes consecuencias:

[COHb] %	Principales síntomas
7	Ligero dolor de cabeza
12	Dolor de cabeza y mareo
25	Fuerte dolor de cabeza y mareo
45	Náuseas, vómitos, posible colapso
60	Coma
95	Muerte

Tabla 6. ***Síntomas causados por concentración de COHb en la sangre (tomado de "Evaluación de la contaminación por monóxido de carbono en Bogotá", de la Universidad Nacional de Colombia).***

A continuación, se mencionan los tipos de artefactos a gas que se pueden instalar en los diferentes lugares:

- Recintos destinados a dormitorios o baños no deben contener artefactos a gas de circuito abierto. Sólo pueden instalarse aparatos tipo estanca (tipo C). Para lugares mono-espaciales existen unas condiciones particulares, las cuales se mencionan más adelante.
- En ámbitos situados un nivel inferior al primer sótano de la edificación no se pueden instalar artefactos que operen con gas menos denso que el aire.

- En lugares situados en un nivel inferior al primer piso no se pueden instalar aparatos que operen con gas más denso que el aire.

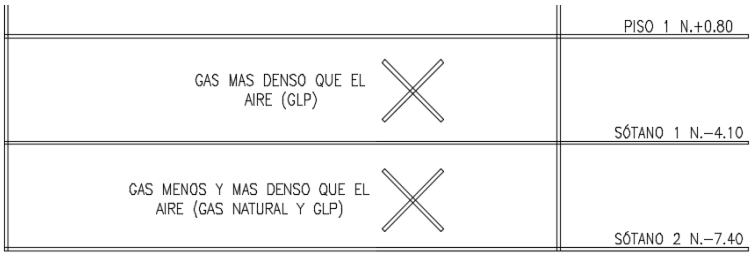


Figura 19. ***Instalación de artefactos a gas en sótanos.***

Un espacio se define como no confinado cuando existe un volumen de aire libre equivalente a 3,4 m³ por kW de potencia instalada y sólo aplica para artefactos tipo A y B. Cuando no cumple estas características se define como espacio confinado y requiere ventilación adicional en el recinto, la cual se calcula de acuerdo con las siguientes condiciones:

4.3.1 Aire proveniente del interior

- ***Combinación de espacios en el mismo piso.*** También llamada ventilación por arrastre. Consiste en prever rejillas de ventilación superior e inferior entre el lugar donde se encuentran los artefactos a gas y el recinto ventilado directamente hacia el exterior. Cada rejilla debe disponer de un área de ventilación equivalente a 22 cm² por cada kilovatio instalado o 645 cm², la que sea mayor.
  La rejilla inferior de entrada de aire debe iniciar máximo a 30 cm del nivel del piso y la superior de salida de aire debe iniciar mínimo a 180 cm del nivel del piso. La dimensión mínima de cada lado de la rejilla debe ser de 8 cm.

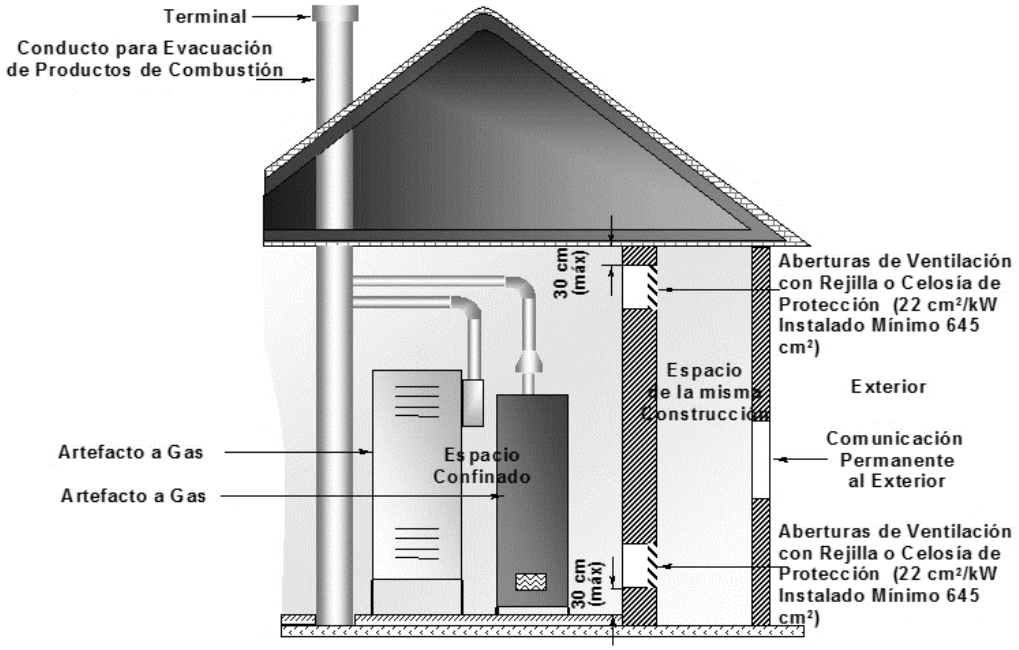


Figura 20. ***Ventilación de espacios confinados entre espacios internos.***

Combinación de espacios en pisos diferentes. Esta solución es posible siempre y cuando la abertura entre el recinto del piso donde se encuentra los artefactos a gas y el del otro piso que está comunicado con la planta inferior tiene un área de comunicación equivalente a 44 cm por cada kilovatio de potencia instalada.

4.3.2 Aire proveniente del exterior

Cuando el recinto donde se encuentran los artefactos a gas se clasifica como espacio confinado y está ubicado de tal manera que fuera de él ya es el exterior, hay dos métodos para su ventilación:

Método 1 (dos aberturas permanentes)

Instalar dos rejillas (superior e inferior) manteniendo las distancias con el suelo y las dimensiones mínimas que se mencionan en el numeral 4.3.1, Aire proveniente del interior.
El área para cada rejilla debe ser de 6 cm² por cada kilovatio de potencia instalado en el recinto y como mínimo de 100 cm² en cada una, la que sea mayor.

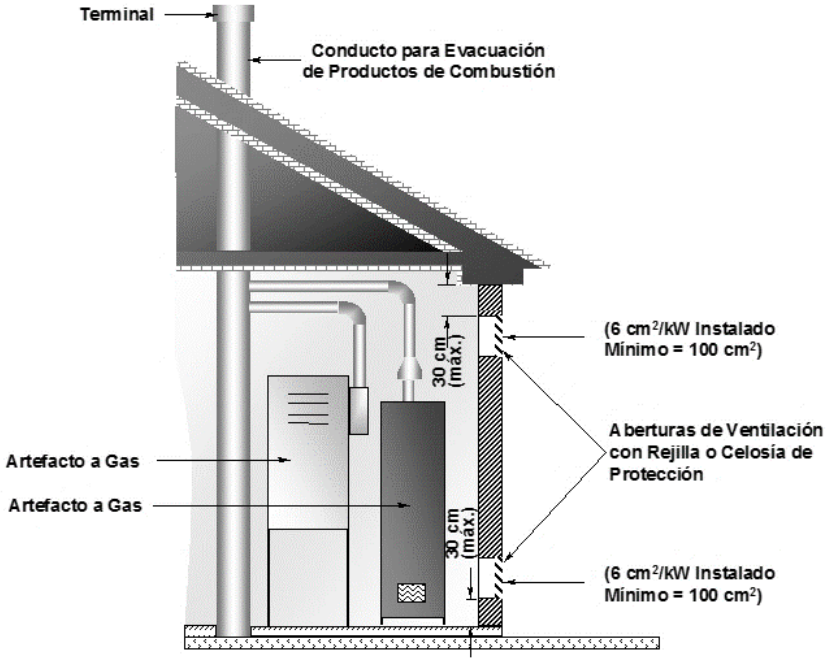


Figura 21. ***Ventilación de espacios confinados directamente desde el exterior.***

En caso de que no haya comunicación directa hacia el exterior de manera lateral pero sí la posibilidad de que sea vertical, se deben prever los mismos dimensionamientos del punto anterior.

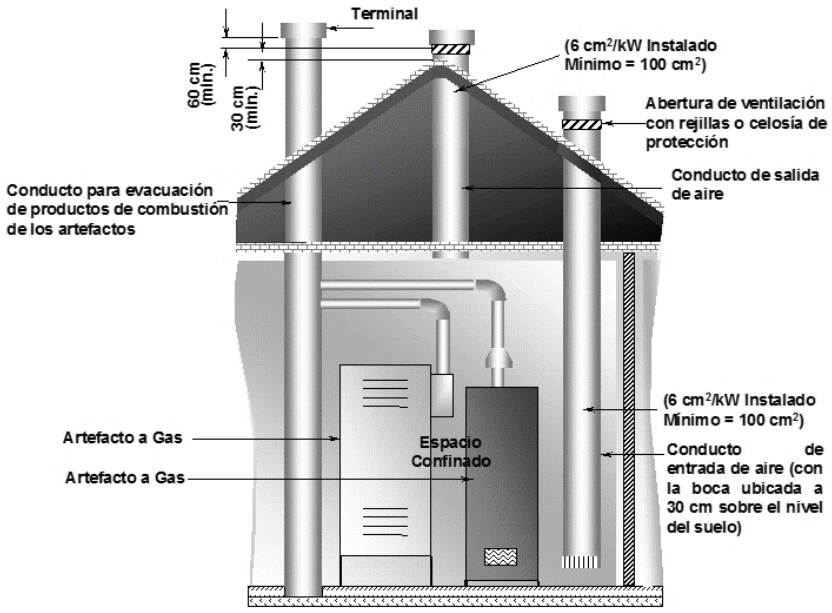


Figura 22. ***Ventilación al exterior de espacios confinados mediante ductos verticales.***

Cuando el recinto se comunica directamente con el área exterior por medio de conductos horizontales, su área debe ser como mínimo de 22 cm² por cada kilovatio de potencia instalada.

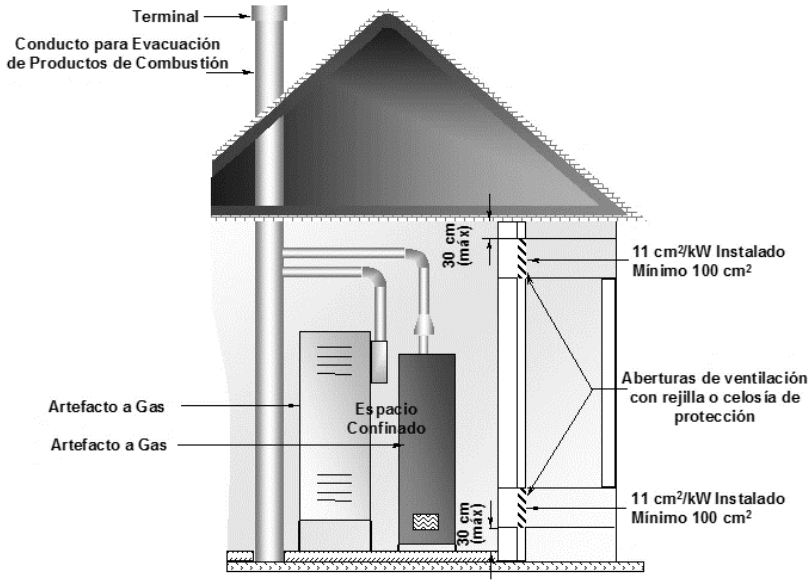


Figura 23. ***Ventilación de espacios confinados hacia el exterior mediante ductos horizontales.***

Los artefactos a gas que se instalan en diversos pisos se pueden ventilar mediante aberturas comunicadas por ductos colectivos, ubicados uno en la parte inferior del recinto para la entrada de aire y otro en la parte superior para la salida de aire.

Las rejillas de cada recinto deben dimensionarse para un área mínima de 11 cm² por cada kilovatio del lugar, en caso de que se contemple un ducto horizontal que conecte al ducto colectivo vertical, o 6 cm² por cada kilovatio del recinto si se conecta directamente al ducto colectivo vertical. Por su parte, el área del ducto vertical colectivo debe dimensionarse con una superficie mínima de 6 cm² por los kilovatios de potencia instalada de los recintos de todos los pisos.

Los conductos colectivos para el desalojo de aire viciado y los conductos colectivos para la admisión de aire de combustión, renovación y dilución deben contener una abertura permanente en los extremos inferior y superior, protegida con rejillas o celosías y su área libre debe ser igual a la superficie de la sección del ducto.

En ningún caso se puede tener un solo conducto colectivo vertical de ventilación para el desalojo del aire viciado y la admisión del aire de combustión, renovación y dilución.

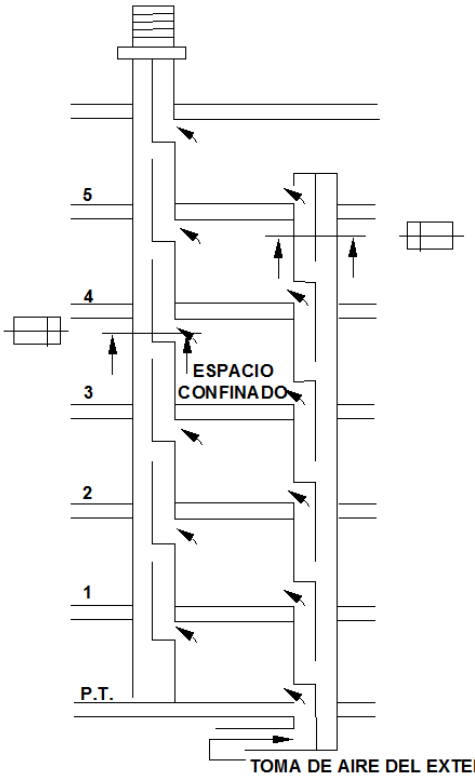


Figura 24. ***Ventilación de espacios confinados ubicados en diferentes pisos mediante ductos colectivos.***

Método 2 (una abertura permanente)

Consiste en una sola abertura permanente de ventilación, la cual debe iniciar a una distancia no menor de 180 cm del nivel del piso. Este método aplica si el recinto está comunicado directamente con el exterior y si la separación de los artefactos a gas es de 2,5 cm a los lados y en la parte superior, y de 16 cm en el frente. El área libre mínima de ventilación es equivalente a 11 cm^2 por cada kilovatio instalado en el recinto o la suma de las áreas de los conectores de todos los artefactos instalados, según sea aplicable, y la que sea mayor.

Para cualquiera de estos métodos se debe tener presente que las aberturas de las ventilaciones deben ser permanentes y no obstruirse con ningún objeto. De igual manera, es conveniente que exista una separación mínima de 40 cm entre la abertura y el punto de salida de los productos de la combustión.

4.3.3 Combinación del aire interno y externo

Para estos casos, el área mínima libre para las rejillas en el interior se calcula como se expuso en el numeral 4.3.1, Aire proveniente del interior, mientras que el área mínima libre para las rejillas que dan hacia el exterior se dimensiona de la siguiente manera: la relación de espacio interior disponible y el espacio requerido genera un factor de reducción al cual se le multiplica al área calculada por el método que se expuso en el numeral 4.3.2, Aire proveniente del exterior.

4.3.4 Suministro mecánico de aire

Cuando el aire para combustión proveniente del exterior se suministra por medios mecánicos se debe garantizar una tasa de aire mínima de 0,034 m^3/min por cada kilovatio instalado en el recinto. Así mismo, se debe disponer de dispositivos de seguridad que impidan el suministro de gas en caso de que los dispositivos mecánicos no operen de manera eficiente.
Si en el recinto se prevén extractores, los dispositivos de inyección de aire deben suministrar este aire adicional reemplazando el extraído.
En caso de que se use un sistema mecánico de ventilación para suministrar el aire de combustión, este sistema debe entregar el flujo de aire adicional al calculado de la ventilación de la edificación.

4.3.5 Ventilación en recintos mono-espaciales

Se define recinto mono-espacial la habitación de una sola planta o nivel que no tienen muros internos y las divisiones de los espacios son los muebles.

Para instalar artefactos a gas en espacios mono-espaciales se deben tener en cuenta las siguientes condiciones:

- No se deben instalar este tipo de artefactos en las áreas destinadas para dormitorio.
- Los aparatos tipo A deben estar, por lo menos, a 2 metros de distancia de las áreas destinadas para dormitorio.
- Las chimeneas y los calefactores deben acatar las sugerencias de ubicación que señala la norma NTC 5360.
- Los calentadores de paso deben atender las restricciones de ubicación que menciona la norma NTC 3632.
- Las secadoras de ropa deben atender las recomendaciones de ubicación que menciona la norma NTC 5256.

Así mismo, los mono-espacios tienen límites de instalación de artefactos a gas que está ligada a su potencia máxima permitida. Dicha potencia se calcula de la siguiente manera:

$$Pot\ (kW) = A\ (m^2) \times H\ (m) / 3{,}4\ (m^3/kW).$$

donde:

Pot (kW) = potencia máxima permitida de instalación.
A (m^2) = área en planta del mono-espacio en metros cuadrados.
H (m) = altura del mono-espacio en metros cuadrados.

Como se puede observar, el cálculo anterior garantiza que el mono-espacio no sea confinado. Sin embargo, se debe emplear un método de ventilación como el expuesto en el numeral 4.3.2, Aire proveniente del exterior. A continuación, se mencionan las ventilaciones de mono-espacios sobre vacíos internos.

4.3.6 Vacíos internos para ventilación

Vacío interno es el espacio vertical ubicado dentro de la edificación, que es continuo desde el nivel inferior hasta la cubierta y tiene comunicación directa con el medio exterior.

Para que el vacío interno de una edificación cumpla como sistema de ventilación debe tener las siguientes características físicas:

En caso de que esté techado debe dejar libre una superficie permanente de comunicación con el exterior del 25% de su sección en planta, con un mínimo de 4 m^2 para ventilación o evacuación y 6 m^2 para combinación, ventilación y evacuación.

El área en planta (A) del vacío debe estar o ser libre y permitir descontar todo elemento arquitectónico o estructural que pudiese reducir la continuidad del vacío interno.

Existen manejos de ventilación diferentes para edificios de 1 a 6 pisos y de 7 o más.

El vacío interno se puede utilizar para ventilación o evacuación o para ambas.

Vacío interno para ventilación en edificios de 1 a 6 pisos:

- El área en planta debe ser igual o mayor a 2 m^2.
- El menor lado debe ser como mínimo L = 1 m.

Vacío interno para evacuación en edificios de 1 a 6 pisos:

- El área en planta debe ser 0,20 veces el número total de artefactos tipo B2 o C, con un área mínima de 2,5 m².
- El menor lado debe ser como mínimo L = 1,5 m.

Vacío interno para ventilación - evacuación en edificios de 1 a 6 pisos:

- El área en planta debe ser 0,25 veces el número total de artefactos tipo B2 o C, con un área mínima de 3 m².
- El menor lado debe ser como mínimo L = 1,5 m.

Vacío interno para ventilación en edificios de 7 o más pisos:

- El área en planta debe ser igual o mayor a 3 m².
- Su menor lado debe ser como mínimo L = 1 m.

Vacío interno para evacuación en edificios de 7 o más pisos:

- El área en planta debe ser 0,25 veces el número total de artefactos tipo B2 o C, con un área mínima de 3,5 m².
- Su menor lado debe ser L = √(A/1,5), siendo como mínimo L = 1,5 m.

Vacío interno para ventilación - evacuación en edificios de 7 o más pisos:

- El área en planta debe ser 0,40 veces el número total de artefactos tipo B2 o C, con un área mínima de 4 m².
- Su menor lado debe ser L = √(A/1,5), siendo como mínimo L = 2,0 m.

Además, se requiere un área libre de ventilación en la base de los vacíos internos, que se puede suministrar desde los sótanos, por conductos horizontales o a nivel de primer piso.

4.3.6.1 Desarrollo bajo plataforma

En este caso el aire se aporta desde un nivel debajo de primero piso y el área requerida depende de la sumatoria de las potencias de los gasodomésticos que se van a ventilar por el factor 6, como se muestra a continuación:

$$A_V^* = \frac{\sum P(Kw) \text{ X } 6 \text{ cm}^2}{1 \text{ Kw}}$$

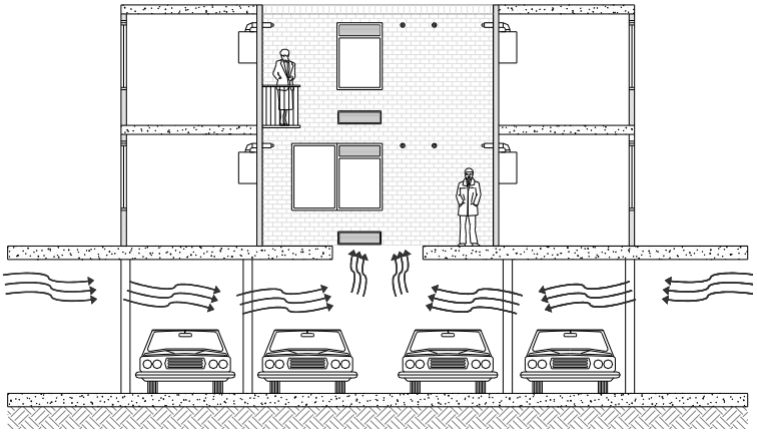


Figura 25. ***Condiciones mínimas de ventilación de los vacíos internos. Desarrollo bajo plataforma.***

4.3.6.2 Desarrollo por conducto horizontal

El aporte de aire en la base del vacío interno se realiza por un conducto horizontal y el área mínima libre corresponde a la sumatoria de las potencias de los artefactos a gas que se van a ventilar por el factor 11, como se muestra a continaución:

$$A_V^* = \frac{\sum P\ (Kw)\ X\ 11\ cm2}{1\ Kw}$$

El menor lado del conducto horizontal debe ser L = √(Av/1,5).

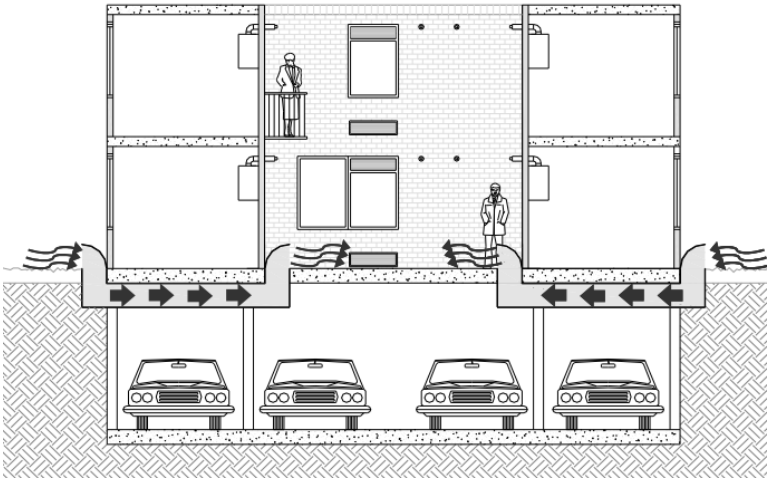


Figura 26. ***Condiciones mínimas de ventilación de los vacíos internos. Desarrollo por conducto horizontal.***

4.3.6.3 Desarrollo por primer piso

El aporte de aire al vacío interno se realiza por el primer piso de la edificación y el área mínima libre es la sumatoria de las potencias de los artefactos a gas que se van a ventilar por el factor 22, como se muestra a continuación:

$$A_V^* = \frac{\sum P(Kw) \text{ X } 22 \text{ cm}^2}{1 \text{ Kw}}$$

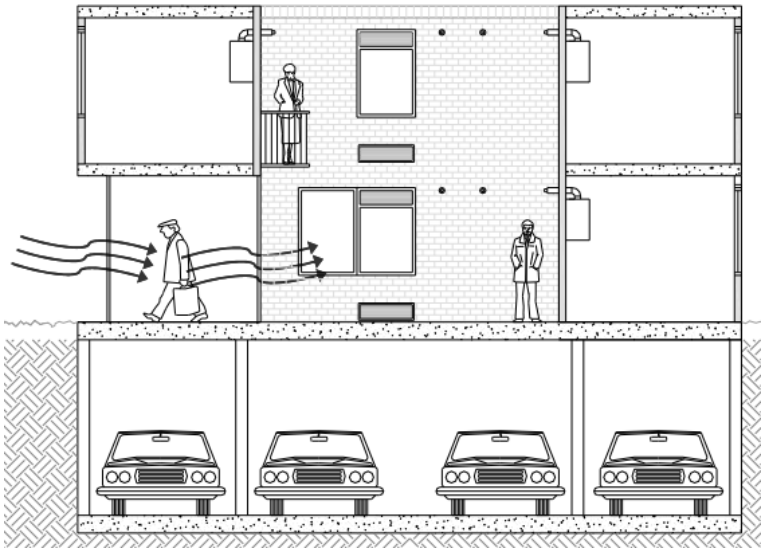


Figura 27. ***Condiciones mínimas de ventilación de los vacíos internos. Desarrollo por primer piso.***

4.3.6.4 Disposición de los conductos de evacuación de productos de combustión de artefactos tipos B2 y C sobre los vacíos internos

Entre los conductos de evacuación de los productos de combustión y los muros laterales, muros frontales, ventilaciones permanentes, cornisas, balcones u otros conductos de evacuación de los vacíos internos se deben mantener unas distancias prudentes. A continuación, se mencionan las distancias mínimas:

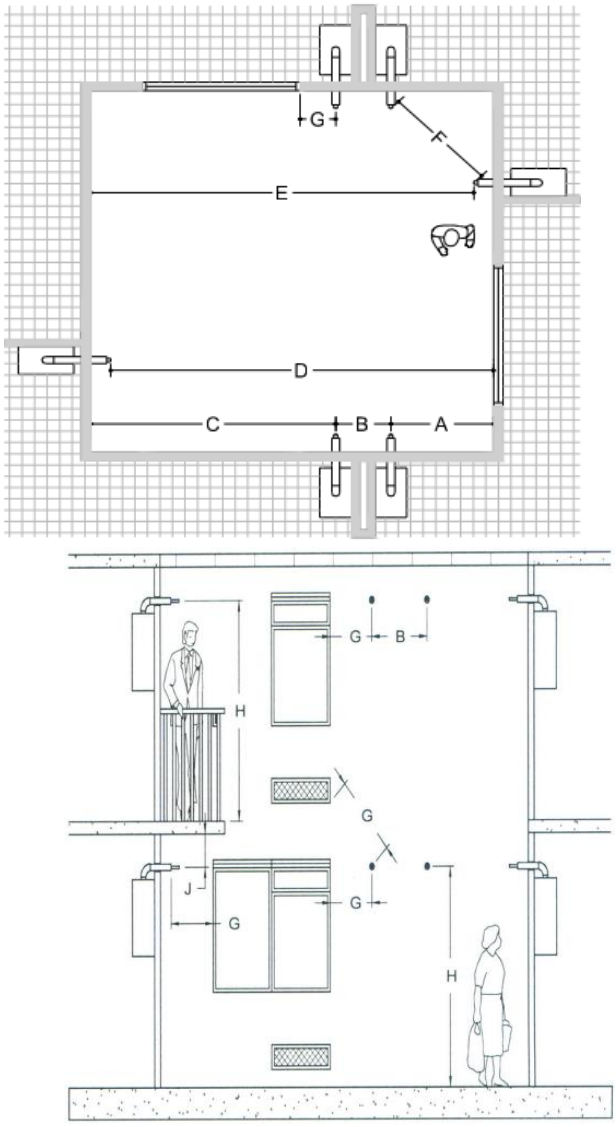


Figura 28. ***Distancias mínimas entre conductos de evacuación y muros o ventanas, en planta y corte.***

Distancia	Medida	Descripción
A	≥ 1 m	Con respecto a la pared lateral con ventanas o ventilaciones permanentes.
B	≥ 0,30 m	Entre dos conductos de evacuación situados al mismo nivel.
C	≥ 0,30 m	Con respecto a la pared lateral sin ventanas o ventilaciones permanentes.
D	≥ 1 m	Con respecto a la pared frontal con ventanas o ventilaciones permanentes.
E	≥ 1 m	Con respecto a la pared frontal sin ventanas o ventilaciones permanentes.
F	≥ 1 m	Con respecto a flujos convergentes de los productos de combustión de dos o más conductos.
G	≥ 0,40 m	Con respecto ventilaciones permanentes o ventanas móviles.
H	≥ 2,0 m	Con respecto al nivel del piso público o privado, con tránsito o permanencia de personas.
J	≥ 0,30 m	Bajo cornisa o balcón. (Si no puede respetarse esta distancia, el extremo del conducto se llevará hasta la rasante del saliente).

Tabla 7. ***Distancias mínimas entre conductos de evacuación y muros o ventanas.***

4.3.7 Alternativas de ventilación en recintos interiores ubicados a menos de 260 metros de altura respecto al nivel del mar

Una alternativa es instalar una abertura permanente por encima de un metro, con un área mínima de 150 cm² por cada kilovatio instalado en el recinto. La ventilación debe ser directa al exterior, ya sea por conducto horizontal o vertical.
Otra alternativa es abrir las puertas o ventanas que dan hacia el exterior.

4.4 Dimensionamiento de los sistemas para la evacuación de los productos de la combustión de los artefactos que funcionan a gas

Así como se requiere una correcta ventilación en los recintos que disponen de artefactos a gas es importante determinar una adecuada evacuación de los gases de su combustión. Para tal fin, es necesario conocer el tipo de artefacto y el método de evacuación que se puede emplear.

En primera instancia, cuando se instalen varios artefactos tipo A en un mismo sitio se debe tener en cuenta que la potencia nominal agregada o conjunta de dichos artefactos no puede exceder los 207 W por cada m³ de espacio disponible dentro del recinto. Si no se cumple lo anterior, hay que generar sistemas de evacuación para varios de estos artefactos hasta que la potencia de los aparatos que no están conectados no supere los 207 w por m³ del espacio disponible en el lugar.

Los sistemas de evacuación más utilizados son los conductos de sección circular; sin embargo, se pueden utilizar ductos cuadrados o rectangulares, siempre y cuando su sección interior se aumente en un 10% en relación con la sección circular interna calculada. En el caso de los ductos rectangulares, la relación entre los lados mayor y menor debe ser menor o igual a 1,5 veces.

El dimensionamiento de los sistemas de evacuación para los artefactos tipos B1 y B2 (tiro mecánico inducido) deben dimensionarse conforme a los requerimientos de las NTC 3833.

Los sistemas de evacuación para los artefactos tipo B2 (tiro forzado) y tipo C (cámara estanca) deben dimensionarse conforme a las instrucciones del fabricante de estos equipos.

Los siguientes son los componentes de un sistema de evacuación de humos:

- Dispositivo cortatiro.
- Conectores de venteo.
- Chimeneas y ductos de evacuación de humos.
- Sombreretes o terminales de protección para ductos.

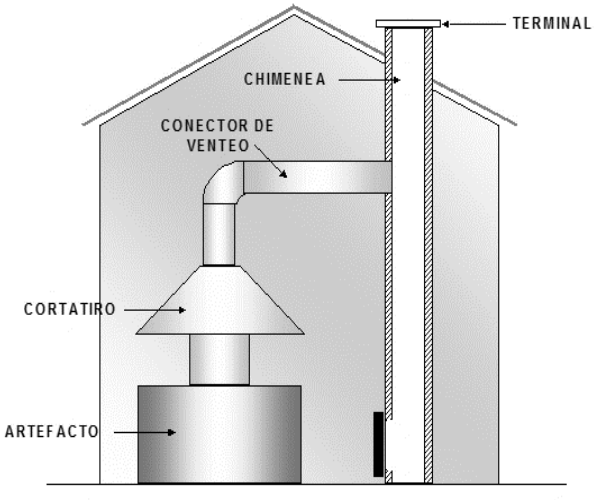


Figura 29. ***Componentes de un sistema de evacuación que descarga a chimenea.***

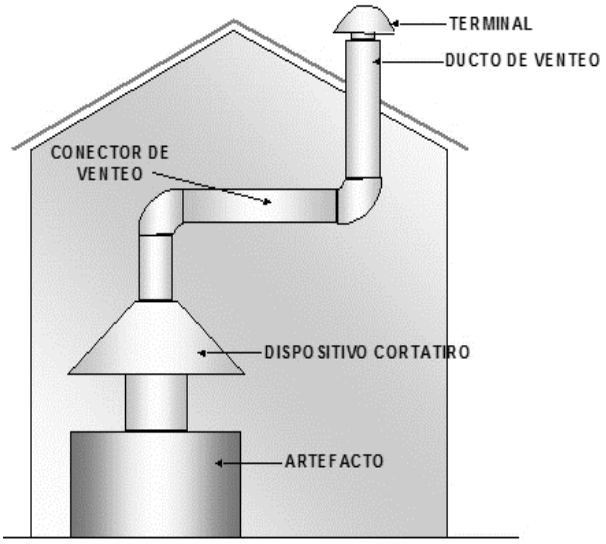


Figura 30. ***Componentes de un sistema de evacuación que descarga a un ducto de evacuación.***

Dispositivos cortatiros

Las funciones de estos dispositivos son las siguientes:

- Asegurar el tiro a los productos de combustión, ya que cuando el artefacto empieza a operar no se alcanzan las temperaturas que generan la fuerza necesaria para la adecuada renovación de aire.
- Garantizar el ingreso de aire del espacio circulante para disminuir la temperatura de los productos de la combustión, disminuyendo así el tiro. Esto es necesario cuando se presenta un exceso de tiro sobre los gases, por la generación de altas velocidades superiores a las requeridas para la combustión completa, acarreando un mal funcionamiento del aparato.
- Permitir la salida de los gases al ambiente exterior, sin que pasen por la cámara de combustión, evitando el riesgo de que se apague la llama o que se presente combustión incompleta, generando monóxido de carbono, entre otros contaminantes.

Los sistemas de evacuación para artefactos tipos B1 o B2 se pueden diseñar como chimeneas, que descargan a la atmósfera exterior, o de forma directa a través de la fachada. A continuación, se menciona algunos aspectos del primer método de diseño.

Conectores de venteo

Su función es conectar el artefacto a gas y el ducto de evacuación de gases o chimenea por medio del dispositivo corta-tiro. Algunos requisitos para los conectores son los siguientes:

- En cualquier punto del conector y para cualquier condición externa, la temperatura de los productos de combustión debe ser superior a la del punto de rocío para asegurar que no haya condensación.
- Debe ser resistente a la corrosión.
- Para los artefactos de descarga vertical u horizontal, el conector debe estar dotado de un tramo vertical ubicado a continuación del collarín del aparato, con una longitud no menor a dos diámetros.
- El tramo horizontal del conector debe tener una inclinación mínima del 3% hacia arriba.
- Los cambios de dirección que se generen no deben ser menores a 90°.
- La sección del conector, en toda su longitud, no debe ser menor que la correspondiente a la sección de salida del collarín del aparato.

Chimeneas y ductos de evacuación de humos

Son los conductos donde se genera el tiro para la elevación de los gases producto de la combustión, el exceso de aire y el aire de dilución. Estos elementos son muy importantes ya que su altura determina la potencia del tiro. Su extremo superior debe sobresalir por la cubierta exterior de la edificación.

Las chimeneas deben tener una cámara de recolección de materiales sólidos y eventuales condensados por debajo de la conexión del primer conector. Debe ser hermética y resistente a la corrosión. En el caso de ductos metálicos, debe ser resistente a la humedad, y si es en mampostería, debe ser impermeable y tener aislamiento térmico entre las partes interior y exterior.

Sombreretes o terminales de protección para ductos

Son los remates de las chimeneas y su función es prevenir el ingreso de agua, insectos u objetos extraños. Además, ayuda a que en presencia de vientos en cualquier dirección se genere un tiro negativo en el ducto, impidiendo la adecuada evacuación de los gases de la combustión.

La norma NTC 3567 sugiere tres tipos de ductos normalizados para las chimeneas.

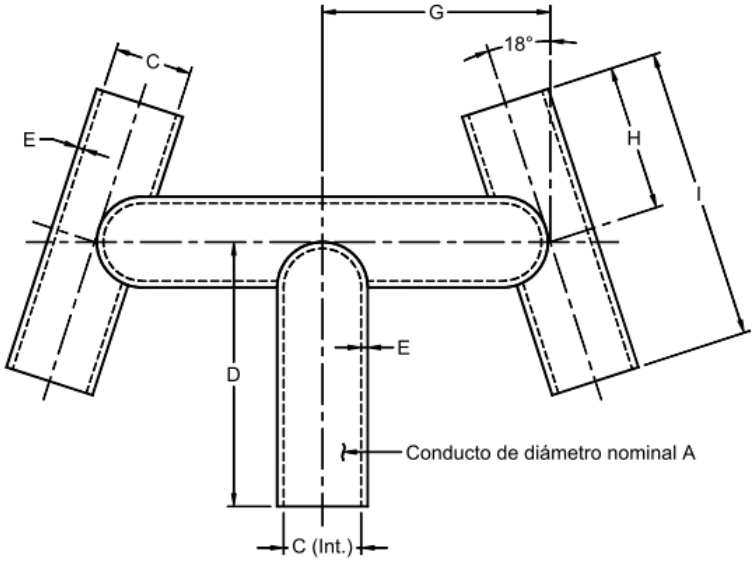


Figura 31. ***Sombrerete metálico tipo A.***

Diámetro nominal A		Diámetro acople C, mm	D mm	E(*), mm	G, mm	H, mm	I, mm
mm	Pulg						
76	3	77,2	76	0,864 (cal 20)	127	127	229
102	4	103,2	127		184	178	305
127	5	128,2	178		241	229	381
152	6	153,2	191		280	274	457
178	7	179,2	203		318	318	533
203	8	204,2	215		356	362	609

Tabla 8. ***Dimensiones estándar para sombreretes metálicos tipo A (tomado de la NTC 3567).***

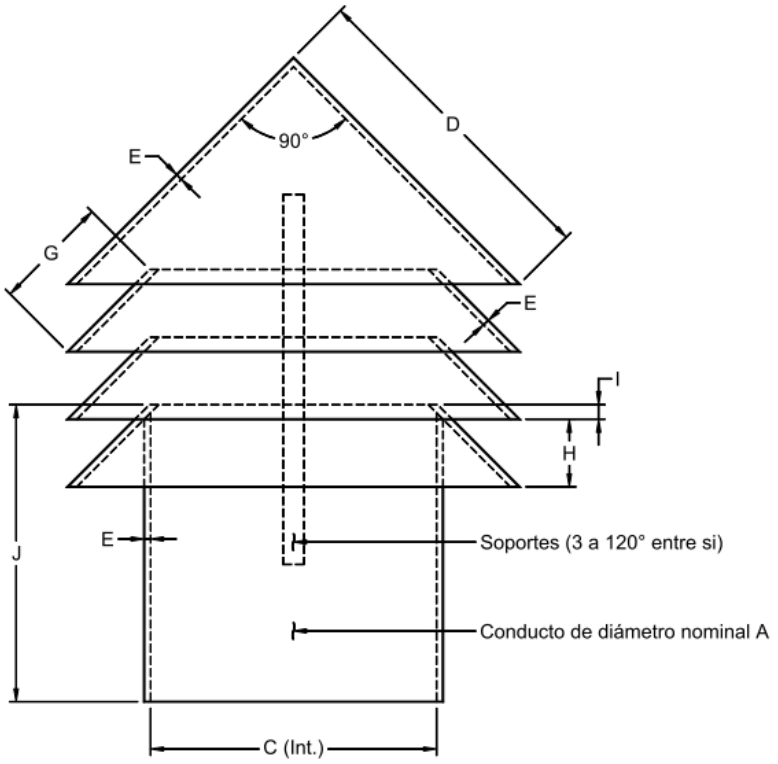


Figura 32. ***Sombrerete metálico tipo B.***

Diámetro nominal A		Diámetro acople C, mm	D, mm	E, mm	G, mm	H, mm	I, mm	J, mm
mm	pulg							
76	3	77,2	76	0,864 (cal 20)	127		127	229
102	4	103,2	102		184		178	305
127	5	128,2	127		241		229	381
152	6	153,2	152	1,422 (cal 16)	280		274	457
178	7	179,2	178		318		318	533
203	8	204,2	203		356		362	609
254	10	255,6	254					76
305	12	306,6	305					
356	14	358,0	356	1,702 (cal 14)	64	38	6	102
406	16	408,0	406		76	16	8	
				2,361 (cal 12)	89	53	9	
					102	61	10	128
					114	69	11	
					127	76	13	
457	10	459,8	457					
508	20	510,8	508					
559	22	562,6	559	3,124 (cal 10)	140	84	14	152
610	24	613,6	610		153	92	15	

Tabla 9. ***Dimensiones estándar para sombreretes metálicos tipo B (tomado de la NTC 3567).***

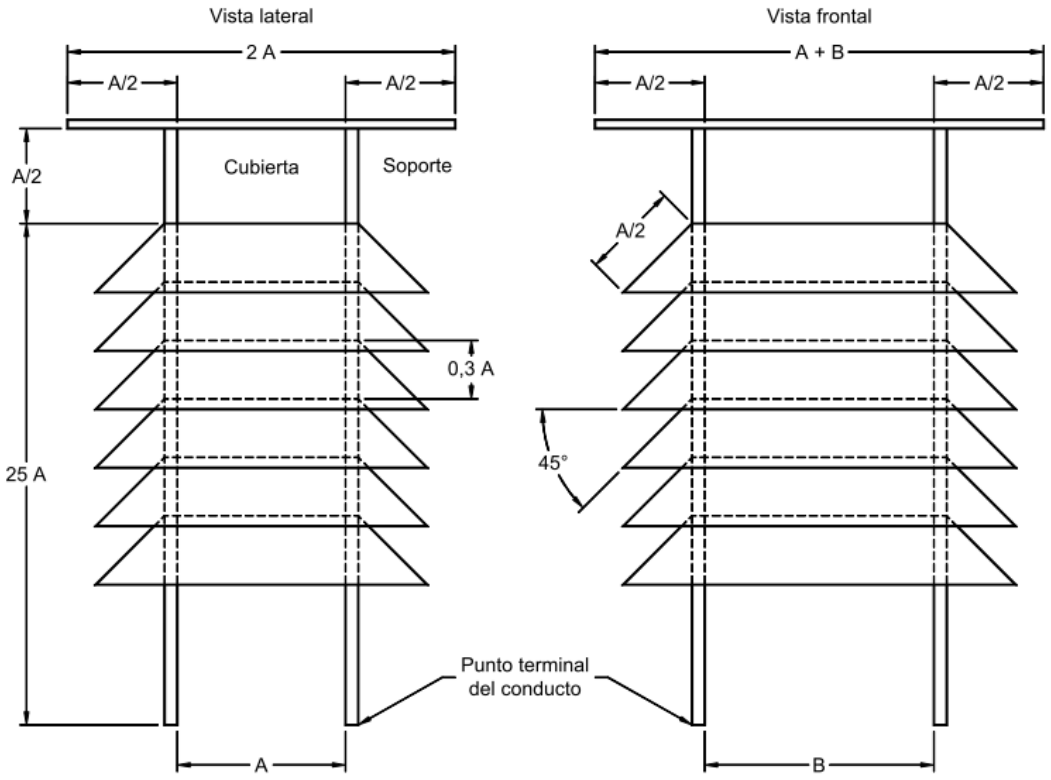


Figura 33. ***Sombrerete metálico tipo C.***

Las anteriores medidas están en función de la sección interna del ducto.

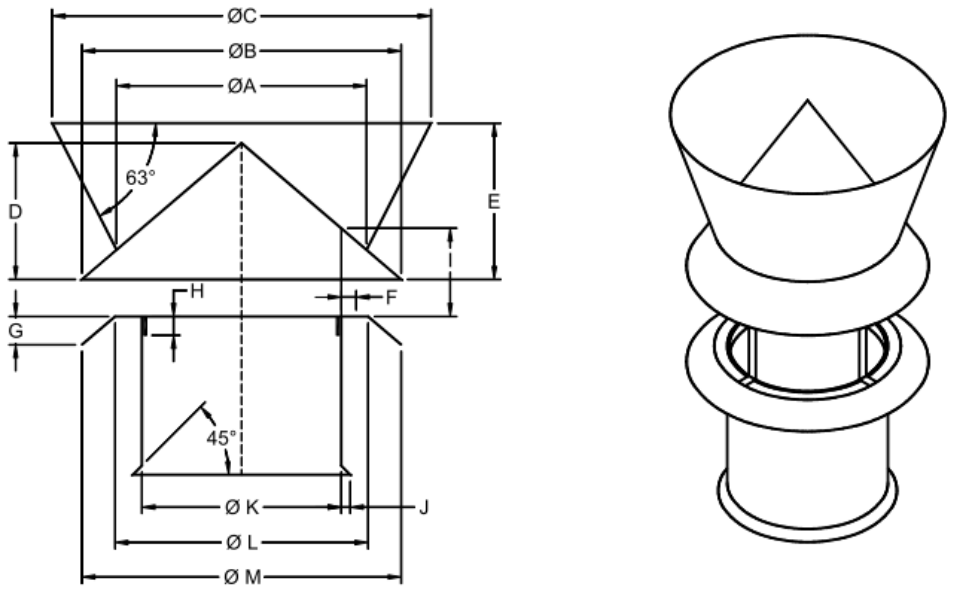


Figura 34. ***Sombrerete metálico tipo D.***

Dimensión en el deflector	Diámetro nominal mm (pulgadas)				
	102 (4)	114 (4,5)	127 (5)	140 (5,5)	152 (6)
A	129,2	145,4	159	177,7	193,9
B	162,6	182,9	200	223,5	243,8
C	195,1	219,5	240	268,2	292,6
D	69,3	77,9	85,2	95,2	103,9
E	79,6	89,6	97,99	109,5	119,5
F	8,1	9,1	10	11,2	12,2
G	12,2	13,7	15	16,8	18,3
H	8,9	10,1	11	12,3	13,4
I	45,1	50,7	55,5	62,0	67,7
J	3,7	4,1	4,5	5,0	5,5
K	101,6	114,3	125	139,7	152,4
L	130,0	146,3	160	178,8	195,1
M	154,4	173,7	190	212,3	231,6
NOTA Las dimensiones del deflector están dadas en mm. Para todas las dimensiones aplica una tolerancia de ± 1 mm					

Tabla 10. ***Dimensiones estándar para sombreretes metálicos tipo D (tomado de la NTC 3567).***

Los terminales de chimenea siempre deben acabar en cubierta, únicamente se permiten en fachada cuando se trata de artefactos tipo B2 por tiro forzado (bajo presión estática positiva) o tipo C.

4.4.1 Sistemas de evacuación de productos de la combustión por medio de chimeneas hasta la cubierta

Para realizar un adecuado dimensionamiento de los ductos de evacuación de los gases de la combustión hasta la cubierta de la edificación (chimeneas) es necesario identificar dos aspectos importantes: si los artefactos tipos B1 o B2 (tiro mecánico inducido) entregan a la chimenea en la misma planta o si varios artefactos de estos tipos entregan en diferentes niveles o plantas de la edificación.

Para la evacuación de gases de la combustión las chimeneas se pueden construir en material metálico, mampostería, fibra de vidrio o prefabricadas en asbesto-cemento. Cada una de ellas dispone de ciertos límites de los artefactos que se pueden instalar, lo cual depende de la potencia nominal conjunta instalada, de las distancias desde el collarín del primer artefacto hasta la salida de la chimenea a cubierta, de la altura desde el collarín del artefacto hasta el eje de conexión entre el conector y la chimenea y de la longitud del mismo conector. Para determinar el dimensionamiento adecuado de cada elemento se deben consultar las tablas de

la norma NTC 3833, donde se muestran las potencias máximas que se pueden instalar de acuerdo con el diámetro previsto (estas potencias se anexan al presente documento).

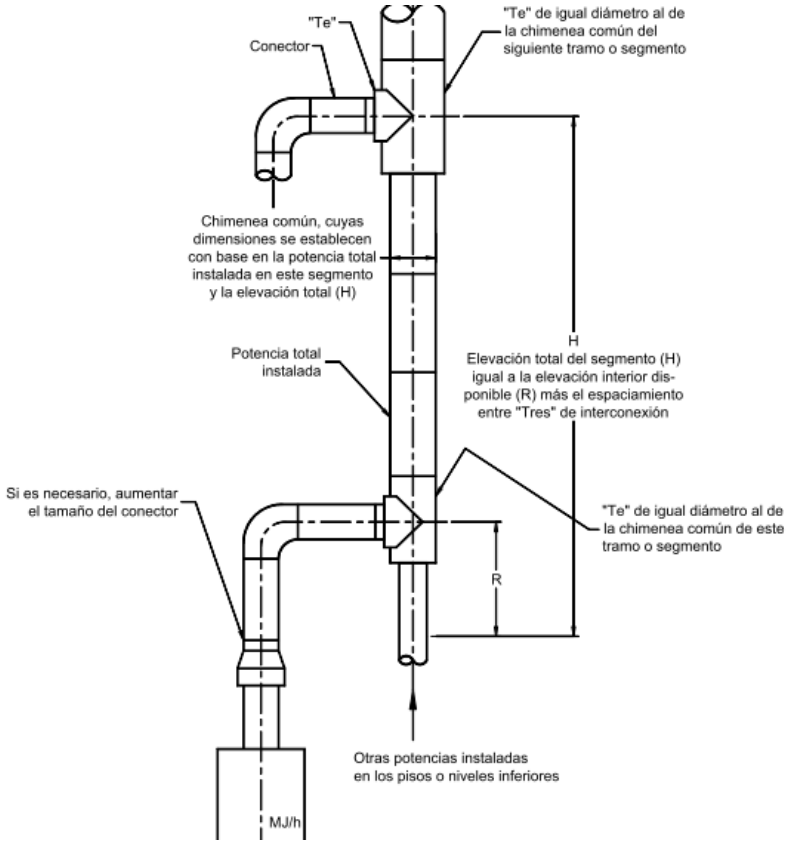


Figura 35. ***Artefactos a gas tipos B1 o B2 instalados en varias plantas entregando a chimenea metálica (tomado de la NTC 3833).***

Cuando se prevé una chimenea colectiva en mampostería para la evacuación de los productos de la combustión de varios artefactos tipo B1 instalados en varios niveles de una edificación puede emplearse la configuración que se muestra en la figura 35, siempre y cuando cumpla con las dimensiones del sistema estipuladas en la tabla A8 de la NTC3833. Sólo se pueden conectar dos artefactos del tipo B1 por planta y sus conectores no deben tener cambios de dirección mayores de 45°. Así mismo, al entrar los conectores a la chimenea deben extenderse en sentido vertical un metro dentro de la chimenea, la cual debe prever una ventilación inferior con un área mínima de 200 cm² y su extremo terminal debe prolongarse por encima del techo, como mínimo 1,80 m.

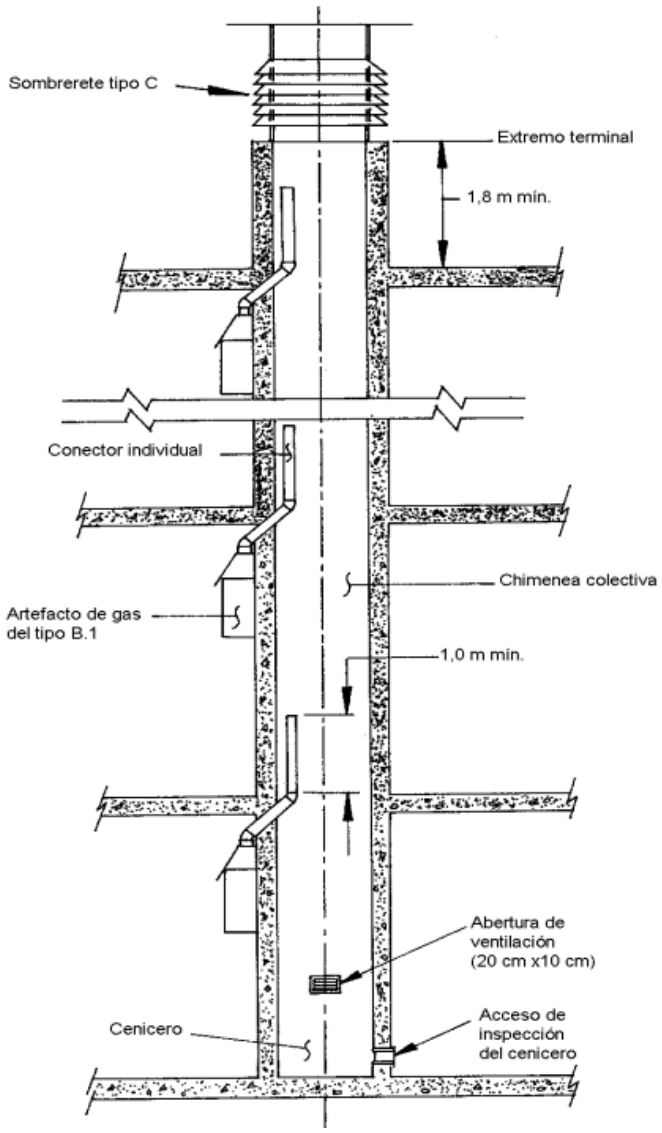


Figura 36. ***Artefactos a gas tipos B1 o B2 instalados en varias plantas entregando a chimenea en mampostería (tomado de la NTC 3833).***

En caso de que existan muros circundantes se debe prolongar, como mínimo, 40 cm por encima de un plano imaginario trazado a 45° a partir del extremo superior del muro de mayor altura (ver figura 37).

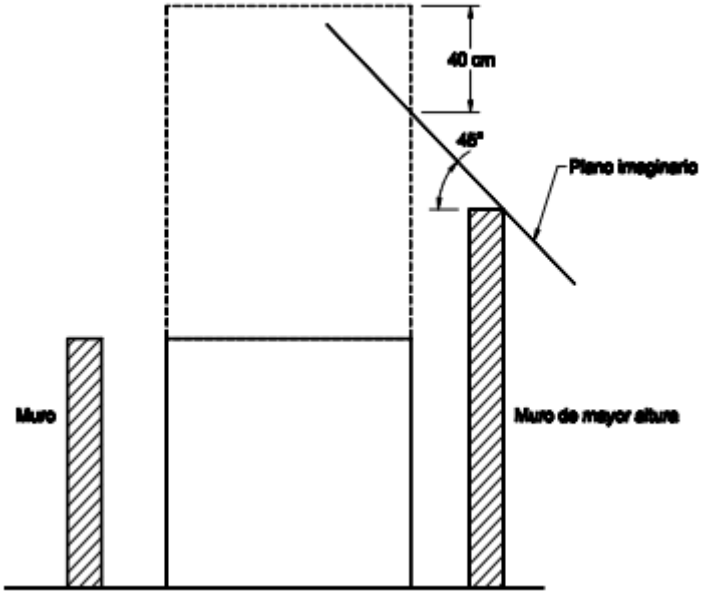


Figura 37. ***Extensión del extremo terminal de la chimenea colectiva por encima de un plano imaginario trazado a 45° a partir del extremo superior del muro circundante de mayor altura (tomado de la NTC 3833).***

La terminal de las chimeneas metálicas o de asbesto-cemento para uso doméstico debe ubicarse por lo menos un metro por encima del techo o cubierta de la edificación y, como mínimo, 60 cm por encima del muro circundante más alto que se encuentre dentro de un radio de 3 m de la chimenea.

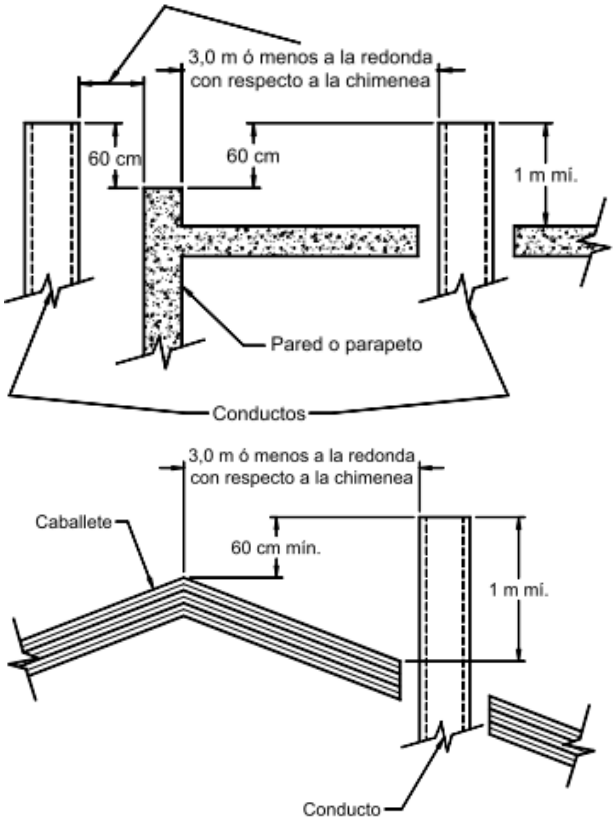


Figura 38. ***Localización típica de los extremos terminales de las chimeneas metálicas de pared sencilla para los artefactos de gas tipos B1 y B2 que operen por tiro mecánico inducido (tomado de la NTC 3833).***

4.4.2 Sistemas de evacuación de productos de la combustión a través de la fachada

En caso de que no se pueda efectuar la evacuación de los gases de la combustión de los artefactos tipo B1 se debe prever una solución hacia fachada, siempre y cuando se tenga presente la siguiente información:

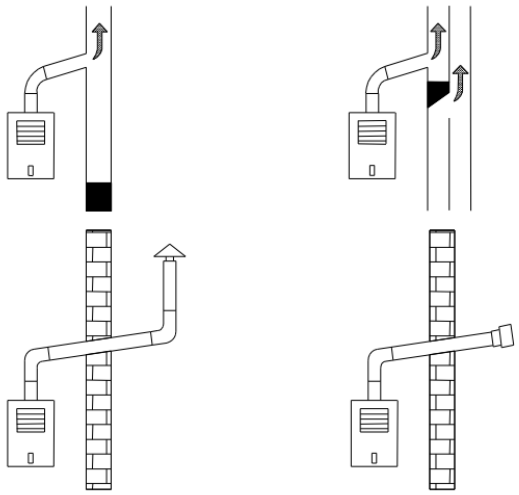


Figura 39. ***Comparativo de una descarga a chimenea y una descarga a través de fachada (tomado de la NTC 3833).***

El conector debe ser metálico y estar fabricado de acuerdo con la NTC 3567. Se debe verificar el diámetro mínimo conforme a la Tabla 11. *Diámetro interior mínimo del conector de evacuación directa a través de la fachada para artefactos del tipo B1 calculado para condiciones a nivel del mar (tomado de la NTC 3567).*.

Potencia nominal del artefacto	Diámetro interior mínimo del conector de evacuación a nivel del mar
P ≤ 11,5 kW	90 mm
11,6 kW ≤ P ≤ 17,5 kW	110 mm
17,6 kW ≤ P ≤ 24,0 kW	125 mm
24,1 kW ≤ P ≤ 31,5 kW	139 mm
31,5 kW ≤ P	175 mm

Tabla 11. ***Diámetro interior mínimo del conector de evacuación directa a través de la fachada para artefactos del tipo B1 calculado para condiciones a nivel del mar (tomado de la NTC 3567).***

Si se requieren calcular los diámetros para estos artefactos en ciudades que se encuentran a varios metros sobre el nivel del mar debe preverse una corrección, la cual se identifica de la siguiente manera:

$$\phi_2 = \phi_1 * \sqrt{\frac{P_1}{P_2}}$$

Donde ø es el diámetro del conector de evacuación (el subíndice 1 corresponde al nivel del mar y el subíndice 2 a condiciones de trabajo) y P es la presión atmosférica (el subíndice 1 corresponde a condiciones a nivel del mar y el subíndice 2 a condiciones de trabajo).

El conector siempre debe mantener una pendiente mayor o igual a 3% en todos sus tramos y esta descarga no se debe generar a recintos cerrados.

El sistema de evacuación debe dimensionarse de tal manera que la puntuación detallada que aparece en el anexo B de la norma NTC 3833, asignada para cada accesorio o tramo, presente un valor mayor o igual a la unidad.

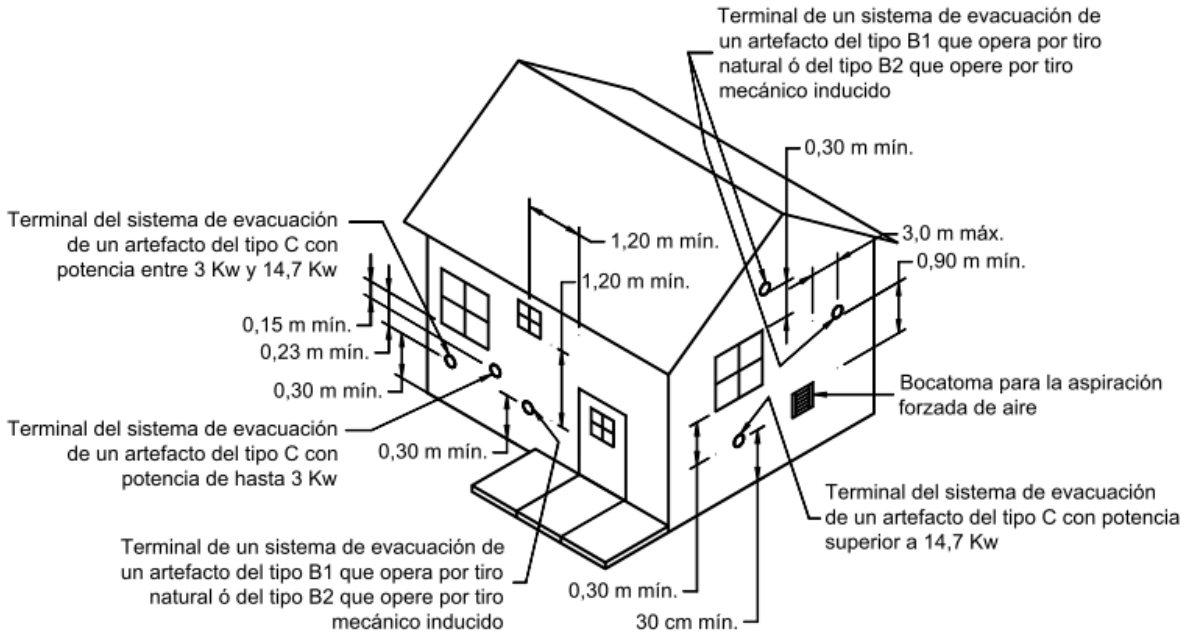


Figura 40. ***Distancias que se debe conservar entre los extremos terminales de los artefactos tipos B1 y B2, que operan por tiro mecánico inducido, y tipo C (cámara estanca) con respecto a ventanas, puertas y aberturas de ventilación (tomado de la NTC 3833).***

5 CRITERIOS Y ASPECTOS TÉCNICOS QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA DISEÑAR REDES DE GAS NATURAL EN EDIFICACIONES

Teniendo presente que en este documento se evalúan instalaciones de gas en edificaciones residenciales, comerciales e industriales, las cuales manejan redes en media y baja presión, se trabajará con las fórmulas empleadas para estos rangos de presiones; sin embargo, se mencionan las fórmulas que se emplean para el dimensionamiento de tuberías en el diseño de redes de gas a alta presión.

5.1 Fórmulas para el diseño de una red de gas a baja presión

5.1.1 Ecuación de Pole

$$Q = 3{,}04x10^{-3} * C * \left(\frac{h\,D^5}{G\,L}\right)^{0{,}5} \qquad D = \left[\left(\frac{Q}{0.00304 \times C}\right)^2 \times \left(\frac{G \times L}{H}\right)\right]^{0.2}$$

donde:

Q = caudal del gas (m³/h).
C = factor en función del diámetro (ver Tabla 12. *Factor "C" en función del diámetro para la fórmula de Pole en diseño de líneas a baja presión (tomado del documento "Instalaciones hidráulicas, sanitarias y de gas", de Rafael Pérez Carmona).*).
h = pérdida de presión (mbar).
D = diámetro de la tubería (mm).
L = longitud equivalente (m).
G = gravedad específica del gas (GN 0,67 y para GLP 1,52)

Diámetro Nominal, pulgadas	Diámetro, mm	Factor en función del diámetro, Valor "C"
3/8 a 1/2"	9.53 a 13.0	1.65
3/4" a 1"	19.05 a 25.4	1.80
1-1/4" a 1-1/2"	31.75 a 38.10	1.98
2"	50.80	2.16
3"	76.20	2.34
4"	101.6	2.42

Tabla 12. ***Factor "C" en función del diámetro para la fórmula de Pole en diseño de líneas a baja presión (tomado del documento "Instalaciones hidráulicas, sanitarias y de gas", de Rafael Pérez Carmona).***

5.1.2 Ecuación de Polyflo

$$Q = 0.004 \times D^{2.623} \times \left(\frac{H}{K \times L}\right)^{0.541} \qquad D = \left[\frac{Q}{0.00434} \times \left(\frac{K \times L}{H}\right)^{0.541}\right]^{0.3812}$$

donde:

Q = caudal del gas (m^3/h)
D = diámetro de la tubería (mm)
H = pérdida de presión (mbar)
K = 0,00325 (T + 273) * G
L = longitud equivalente (m)
T = temperatura (°C)
G = gravedad específica del gas (GN 0,67 y para GLP 1,52)

5.1.3 Ecuaciones de Spitzglass

Estas ecuaciones se expresan en el sistema de unidades de los Estados Unidos (USCS).

$$Q = 2313D^{2.623}\left(\frac{H}{KxL}\right)^{0.541} \qquad D = \left[\frac{Q}{2313} \times \left(\frac{K \times L}{H}\right)^{0.541}\right]^{0.3812}$$

donde:

Q = caudal del gas ($pies^3/h$)
D = diámetro de la tubería (pulg)
H = pérdida de presión (pulgada columna de agua)
K = factor de viscosidad, densidad y temperatura
L = longitud de la tubería (pies)

En la Tabla 13. *Factor de corrección de gravedad específica para tubería en acero "K" (tomado del Manual Gas Handbook by C. George Sepeler, Tony Cramer and K.R. Knapp).*, se relacionan los factores en relación con la gravedad específica del gas (Sp gr) para tubería en acero.

Sp gr	Factor	Sp gr	Factor	Sp gr	Factor
0.35	1.31	0.75	0.90	1.40	0.66
0.40	1.23	0.80	0.87	1.50	0.63
0.45	1.16	0.85	0.84	1.60	0.61
0.50	1.10	0.90	0.82	1.70	0.59
0.55	1.04	1.00	0.78	1.80	0.58
0.60	1.00	1.10	0.74	1.90	0.56
0.65	0.96	1.20	0.71	2.00	0.55
0.70	0.93	1.30	0.68	2.10	0.54

Tabla 13. ***Factor de corrección de gravedad específica para tubería en acero "K" (tomado del Manual Gas Handbook by C. George Sepeler, Tony Cramer and K.R. Knapp).***

5.1.4 Ecuación de Renouard

$$Q = \left(\frac{H \times D^{4.82}}{23200 \times G \times L} \right)^{0.5495} \qquad D = \left(\frac{23200 \times G \times L \times Q^{1.82}}{H} \right)^{0.2075}$$

donde:

Q = caudal del gas (m³/h)
D = diámetro de la tubería (mm)
H = pérdida de presión (mbar)
G = densidad relativa del gas (GN 0,67 y para GLP 1,52)
L = longitud total (longitud real tubería + longitud equivalente por accesorios) (m)

5.2 Fórmulas para el diseño de una red de gas a media presión

5.2.1 Ecuación de Müeller

$$Q = \left(\frac{461}{10^7 \times G^{0.425}} \right) \left(\frac{P_1^{\,2} - P_2^2}{L} \right)^{0.575} \times D^{2.725}$$

$$P_2 = \left[P_1^2 - \left(\frac{Q \times G^{0.425} \times 10^7}{D^{2.725} \times 461} \right)^{1.7391} \times L \right]^{1/2}$$

donde:

Q = caudal del gas (m³/h)

G = densidad relativa del gas (GN 0,67 y para GLP 1,52)
P_1 = presión absoluta a la entrada, saliendo del regulador de primera etapa (mbar)

- Presión atmosférica en Bogotá = 746,61 mbar.
- Presión atmosférica a nivel del mar = 1013,25 mbar.

P_2 = presión absoluta de salida, entrando al regulador de segunda etapa (mbar)
H = pérdida de presión (mbar)
D = diámetro de la tubería (mm)
L = longitud total (longitud real tubería + longitud equivalente por accesorios) (m)

5.3 Diseño de gasoductos a alta presión

Las dimensiones de un gasoducto donde el producto que se transporta es solamente gas (1 fase) se pueden calcular empleando las fórmulas de Weithmouth y Panhandle, pero cuando se manejan fluidos con gas condensado y agua (3 fases) se requieren fórmulas más complejas, que se realizan con programas de computador especializados.

A continuación, se muestran las fórmulas de Weithmouth y Panhandle.

- ***Ecuación de Weithmouth.***

$$Q = 1{,}6156 * \left[\frac{(P_1^2 - P_2^2) * D^5}{G * f * L * T}\right]^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{T_0}{P_0}\right) \quad , \quad f = \frac{0{,}008}{D^{\frac{1}{3}}}$$

donde:

Q=	caudal (pie³/h)	f=	factor de fricción
P_1=	presión a la entrada (psia)	L=	longitud de la tubería (milla)
P_2=	presión de salida (psia)	T=	temperatura promedio de la línea (°F)
D=	diámetro de la tubería (pulg.)	T_0=	temperatura con condiciones ambiente (°F)
G=	gravedad específica (lb/pie³)	P_0=	presión con condiciones ambiente (psia)

- ***Ecuación de Panhandle.***

$$Q = 737 * E * \left[\frac{(P_1^2 - e^5 * P_2^2) * D^5}{G^{0.961} * T_f * L_e * Z}\right]^{\frac{1}{2}} * \left(\frac{T_0}{P_0}\right)^{1{,}02} \quad , \quad F = 16{,}7 * E * \left(\frac{Q * G}{D}\right)^{0{,}01961}$$

donde:

Q=	caudal (pie³/h)	F=	factor de transmisión
E=	factor de eficiencia del ducto	T_f=	temperatura promedio de la línea (°F)
P_1=	presión a la entrada (psia)	Le=	longitud de la tubería (milla)
P_2=	presión de salida (psia)	Z=	factor de compresibilidad del gas
e=	rugosidad absoluta de tubería (°F)	T_0=	temperatura con condiciones ambiente
D=	diámetro de la tubería (pulg)	P_0=	presión con condiciones ambiente (psia)
G=	gravedad específica (lb/pie³)		

Estas fórmulas se deducen de la ecuación general de flujo de gas, en la cual a través de una tubería circular de longitud L y de diámetro D se expresan en función de la presión para poder integrar esa expresión diferencial, considerando los siguientes aspectos a lo largo de la tubería:

- El flujo es isotérmico, por tanto, la energía interna no cambia $\Delta U = 0$.
- Hay diferencia de nivel, por tanto, la energía potencial varía con la altura, debido al peso de la columna del fluido.
- Es despreciable la variación de energía cinética, siempre que la longitud de la tubería sea mucho mayor que su diámetro.
- Sólo se considera la variación de la energía de presión, la cual es única y balancea el trabajo de fricción realizado por el gas.

Así mismo, la ecuación general de flujo de gas se puede obtener a partir de la ecuación general de Bernoulli, tomando en cuenta los principios hidrodinámicos para un fluido que produce factor de fricción.

Describiendo el factor de fricción, despejando la variación de presiones, teniendo presente la ecuación de continuidad y resolviendo las ecuaciones diferenciales se obtiene la ecuación general de los gases.

- ***Ecuación general de los gases.***

$$Q = 38{,}744 * \left(\frac{T_0}{P_0}\right) * F * \left[\frac{P_1^2 - P_2^2 - 0{,}0375 * \frac{GE * P_m^2 * (H_2 - H_1)}{Z_m * T}}{G * E * L * T * Z_m}\right]^{\frac{1}{2}} * d^{2,5} * E$$

donde:

Qb= flujo de gas a condiciones de base (pcs/día)
Tb= temperatura base (R)
P_0= presión base (psia)
F= factor de transmisión
P_1= presión de entrada (psia)
P_2= presión de salida (psia)
P_m= presión promedio en la línea (psia)
GE= gravedad específica del gas
H_1= elevación con referencia al punto de entrada (ft)
H_2= elevación con referencia al punto de salida (ft)
Z_m= factor de compresibilidad del gas
T= temperatura promedio de la línea (R)
L= longitud de la línea (millas)
d= diámetro interno de la tubería (pulg)
E= factor de eficiencia del ducto

El presente documento se enfoca en redes de distribución de gas en media y baja presión para edificaciones residenciales, comerciales y de uso industrial.

5.4 Velocidad del gas dentro de las tuberías

Durante el diseño de las tuberías se debe verificar que la velocidad del gas dentro de las tuberías sea inferior a 20 m/s. Para el cálculo de la velocidad dentro de un tramo de tubería se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = \frac{354 \times Q}{D^2 \times P}$$

donde:

V = velocidad (m/s)
Q = caudal del gas (m^3/h)
D = diámetro de la tubería (mm)
P = presión (bar)

5.5 Caudal nominal de los gasodomésticos

Determinar el caudal que requieren los gasodomésticos para su funcionamiento implica conocer sus potencias, las cuales en algunos casos se muestran en BTU y otros en kW/h. En la Tabla 14. *Conversión de energía, trabajo y calor.* se ilustran los factores de conversión de estas unidades.

Así mismo, para el diseño eficiente de una red de gas se debe disponer de las fichas técnicas de los equipos que operan a gas para conocer su potencia de trabajo (consumo) y la presión requerida. Si no se dispone de esta información, inicialmente se pueden prever unos consumos de acuerdo con cada artefacto, como se muestra en la Tabla 15. *Consumo de aparatos domésticos (tomado del documento "Instalaciones hidráulicas, sanitarias y de gas en edificaciones", de Rafael Pérez Carmona.*

	Joule*, J	Kilojoule, KJ	Megajoule, MJ	Libra fuerza pie, lbf	British Thermal Unit, Btu	Therm	Kilovatio hora, kwh
1 Joule	1	0.001	10^{-6}	0.737	$9.48 * 10^{-4}$	$9.48 * 10^{-9}$	$2.78 * 10^{-7}$
1 KJ	1000	1	0.001	737.56	0.9478	$9.48 * 10^{-6}$	$2.78 * 10^{-4}$
1 MJ	10^{6}	1000	1	737.562	947.82	$9.48 * 10^{-3}$	0.2778
1 Lbf	1.356	$1.36 * 10^{-3}$	$1.36 * 10^{-6}$	1	$1.28 * 10^{-3}$	$1.28 * 10^{-8}$	$3.77 * 10^{-7}$
1 BTU	1055.1	1.0551	$1.05 * 10^{-3}$	778.17	1	10^{-5}	$2.931 * 10^{-4}$
1 Therm	$1.0551 * 10^{8}$	105510	105.51	$7.78 * 10^{7}$	100000	1	29.307
1 Kwh	$3.6 * 10^{6}$	3600	3.6	$2.65 * 10^{6}$	3412.1	0.03412	1

Tabla 14. ***Conversión de energía, trabajo y calor.***

Aparato	Consumo		
	m^3/h	W(j/h)	BTU/h
Estufa 4Q	0.6	$23.62x10^6$	22.400
Horno	0.3	$12.65x10^6$	12.000
Horno	0.5	$21.10x\ 10^6$	20.000
Calentador 20G	0.7	$26.39x10^6$	25.000
Calentador 30G	0.8	$31.64x10^6$	30.000
Calentador 50G	1.4	$52.74x10^6$	50.000
Calentador 120G	1.9	$73.87x10^6$	70.000
Secadora	1.0	$36.92x10^6$	35.000
Secadora	1.5	$55.37x10^6$	52.500
Aire Acondicionado	2.0	$73.84x10^6$	70.000

Tabla 15. ***Consumo de aparatos domésticos (tomado del documento "Instalaciones hidráulicas, sanitarias y de gas en edificaciones", de Rafael Pérez Carmona.***

Si se desea expresar el consumo de los artefactos en m³/h se debe dividir el gasto calorífico del artefacto sobre el poder calorífico superior.

$$Q_n = \frac{GC}{PCS}$$

donde:

Q_n = caudal nominal del artefacto a gas (m³(s)/h); (s) a condiciones estándar: 1,01325 bar y
15 °C.
GC = gasto calorífico del artefacto referido al PCS (kW o kcal/h)
PCS = poder calorífico superior del gas suministrado (kW/m³ o kcal/m³)

Para el diseño de redes de gas en edificaciones residenciales, donde una vivienda posee más de dos gasodomésticos, es poco probable que trabajen todos de manera simultánea, por lo que el caudal de diseño para cada vivienda se puede determinar de la siguiente manera:

$$Q = A + B + \frac{(C + D + ... + N)}{2}$$

donde:

Q = caudal máximo de simultaneidad (m³/h)
A y B = caudales de los dos aparatos de mayor consumo (m³/h)
C, D,…N = caudales de los otros gasodomésticos (m³/h)

Así mismo, el caudal de simultaneidad para unidades multifamiliares se determina con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{0.9687}{N^{0.1816}}$$

donde:

K = coeficiente de simultaneidad
N = número de usuarios

N	K	N	K	N	K
1	1,00	30	0,52	750	0,29
2	0,85	40	0,50	800	0,29
3	0,79	50	0,48	850	0,28
4	0,75	60	0,46	900	0,28
5	0,72	70	0,45	950	0,28
6	0,70	80	0,44	1000	0,28
7	0,68	90	0,43	1250	0,27
8	0,66	100	0,42	1500	0,26
9	0,65	150	0,39	1750	0,25
10	0,64	200	0,37	2000	0,24
11	0,63	250	0,36	2250	0,24
12	0,62	300	0,34	2500	0,23
13	0,61	350	0,33	2750	0,23
14	0,60	400	0,33	3000	0,23
15	0,59	450	0,32	3250	0,22
16	0,59	500	0,31	3500	0,22
17	0,58	550	0,31	3750	0,22
18	0,57	600	0,30	4000	0,21
19	0,57	650	0,30	4250	0,21
20	0,56	700	0,29	4500	0,21

Tabla 16. ***Coeficiente de simultaneidad en viviendas multifamiliares.***

5.6 Caída de presión permitida

Como se mencionó, los gasodomésticos por lo general tienen presiones de trabajo de 18 mbar cuando emplean gas natural y 28 mbar cuando trabajan con GLP. Sin embargo, se deben tener presentes las especificaciones de cada equipo para garantizar las presiones requeridas y asegurar su adecuado funcionamiento. Para el caso de Bogotá, la empresa que suministra el gas natural permite una pérdida de carga hasta 17 mbar a la entrada de los artefactos. Teniendo en cuenta que del regulador de segunda o única etapa, dependiendo de la situación, sale el gas con una presión de 23 mbar y luego pasa por el medidor, donde se genera una pérdida de 2 mbar, la red inicia con una presión de 21 mbar y llega a los artefactos con una presión mínima de 17 mbar, da como resultado una pérdida del 19%.

Para el uso industrial existen excepciones porque allí se requieren presiones mayores a 0,25 psi y se permiten pérdidas menores de presión (generalmente del 10%).

La asociación de gas de Canadá (Canadian Gas Association) y Corgi de Inglaterra consideran que para presiones por encima de 1 psig y menores de 60 la pérdida puede ser de 10%.

5.7 Ecuaciones más comunes para dimensionar las tuberías

De acuerdo con los numerales 4.2 y 4.3, existen varias fórmulas para calcular el tamaño de la tubería que transporta el gas, dependiendo si es de baja o media presión.
Es importante identificar el método que se emplea para una red de gas de baja presión, ya que algunas empresas como Gas Natural de Bogotá utilizan la fórmula de Renouard, mientras que EPM de Medellín emplea la de Pole.

Con estas fórmulas se obtiene el valor de los diámetros mínimos requeridos para las condiciones establecidas; no obstante, éstos no son comerciales, razón por la cual se deben ajustar con los que se encuentren en el mercado.

5.8 Longitud equivalente de los accesorios

Así como se calculan las pérdidas de presión por fricción en las tuberías, también se deben valorar las que generan los accesorios, que se pueden expresar como longitud equivalente en metros lineales. Existe información donde se expresan, en metros lineales, las pérdidas que generan los accesorios, de acuerdo con su material y diámetro (ver Tabla 17. *Longitudes equivalentes en metro de tubería recta (tomado de "Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones", 6ª. ed.*).
Una manera usual y válida para calcular la longitud equivalente en el dimensionamiento de redes de gas a baja presión es incrementar en 20% la longitud real. Para redes de gas a media presión es importante considerar las pérdidas por los accesorios instalados.

Para calcular las pérdidas de presión en un tramo de tubería se debe prever la longitud real de este más la longitud equivalente de los accesorios.

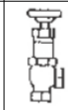
Longitudes equivalentes en metros de tubería recta Le = K1Ø - K2 Ø=milimetros														
Diámetro		Codos 45°			Codos 90° Relación radio de curvatura diámetro					Tees de paso		Válvulas		
ø (pulg.)	ø (mm)	Roscado	Soldado	Corto	Medio	R/d = 1	R/d = 1 1/2 = 8	R/d = 2 = 6	R/d = 4 Valv. Comp.	Directo	De lado y bilateral	Globo	Ángulo	Cheque
Ø														
	k1	0.0138	0.0617	0.0298	0.0248	0.0163	0.0123	0.0092	0.0072	0.0200	0.0598	0.3399	0.1700	0.0849
	k2	-0.0118	-0.1111	-0.0290	-0.0796	-0.0249	-0.0200	-0.0146	-0.0087	-0.0741	-0.2045	-0.5228	-0.2609	-0.1267
		Longitud Equivalente (m)												
3/8"	9.50	0.14	0.70	0.31	0.32	0.18	0.14	0.10	0.08	0.26	0.77	3.75	1.88	0.93
1/2"	16.40	0.24	1.12	0.52	0.49	0.29	0.22	0.17	0.13	0.40	1.19	6.10	3.05	1.52
3/4"	22.20	0.32	1.48	0.69	0.63	0.39	0.29	0.22	0.17	0.52	1.53	8.07	4.03	2.01
1"	27.70	0.39	1.82	0.85	0.77	0.48	0.36	0.27	0.21	0.63	1.86	9.94	4.97	2.48
1-1/4"	36.90	0.52	2.39	1.13	0.99	0.63	0.47	0.35	0.27	0.81	2.41	13.07	6.53	3.26
1-1/2"	42.50	0.60	2.73	1.30	1.13	0.72	0.54	0.41	0.31	0.92	2.75	14.97	7.49	3.73
2"	53.50	0.75	3.41	1.62	1.41	0.90	0.68	0.51	0.39	1.14	3.40	18.71	9.36	4.67
2-1/2"	60.24	0.84	3.83	1.82	1.57	1.01	0.76	0.57	0.44	1.28	3.81	21.00	10.50	5.24
3"	78.40	1.09	4.95	2.37	2.02	1.30	0.98	0.74	0.57	1.64	4.89	27.17	13.59	6.78
4"	102.30	1.42	6.42	3.08	2.62	1.69	1.28	0.96	0.75	2.12	6.32	35.29	17.65	8.81

Tabla 17. ***Longitudes equivalentes en metro de tubería recta (tomado de "Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones", 6ª. ed., de Rafael Pérez Carmona).***

6 CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DE MEDIDORES Y REGULADORES CONFORME AL USO DE LA EDIFICACIÓN

6.1 Reguladores

Con el fin de evitar presiones por encima de lo establecido por la norma, la red interna de las instalaciones de gas debe contar con un dispositivo que reduzca la presión de entrada y la regule uniformemente a la salida del sistema. Este dispositivo mecánico se conoce como regulador de presión.

6.1.1 Preliminares

- Los reguladores no pueden quedar adosados a la pared, deben poderse separar, de tal forma que se puedan desmontar con facilidad.
- Las universales se pueden utilizar como accesorio para desmontar en los reguladores, no se aceptan en la tubería de distribución.
- A la salida del regulador debe existir un tramo recto de por lo menos 10 diámetros de la tubería.
- Si la longitud de separación entre el manifold y el conector es mayor a un metro se requiere una válvula de corte cerca a los aparatos.
- Los reguladores con venteo se deben llevar al exterior y proyectarse con la boca de salida hacia abajo.
- Los reguladores deben estar separados de las fuentes de calor o ignición (por ejemplo, de las plantas eléctricas) por lo menos 5 m.

En general, los reguladores deben tener las siguientes características:

- Capacidad para reducir la presión en rangos adecuados de trabajo.
- A pesar de la existencia de variaciones en la presión de entrada al regulador, la presión de salida siempre debe estar en el rango establecido.
- Capacidad de respuesta a las variaciones de presión y caudal.
- Garantizar la hermeticidad en caso de que no se presente consumo aguas abajo del regulador o, en caso contrario, disponer de una válvula de seguridad debidamente calibrada.

6.1.2 Tipos de reguladores

Existen los siguientes tipos de reguladores:

- ✓ De acción directa
- ✓ De acción indirecta o piloteada
- ✓ De flujo axial
- ✓ De flujo radial

6.1.2.1 Reguladores de acción directa

Son aquellos en los cuales el gas que circula por su interior actúa directamente sobre las membranas que accionan el obturador que controla el paso del gas. Pueden ser de presión fija o regulable. Estos últimos permiten modificar la presión de trabajo entre los límites propios de cada regulador. Los reguladores de acción directa se fabrican para alta, media y baja presión.

La precisión de estos reguladores, dentro de un campo de caudales para los cuales han sido diseñados, es del orden de ±5% de la presión de trabajo recomendada por el fabricante. Una ventaja de estos reguladores es la rapidez de respuesta, la sencillez del mecanismo de regulación y su fácil reparación.

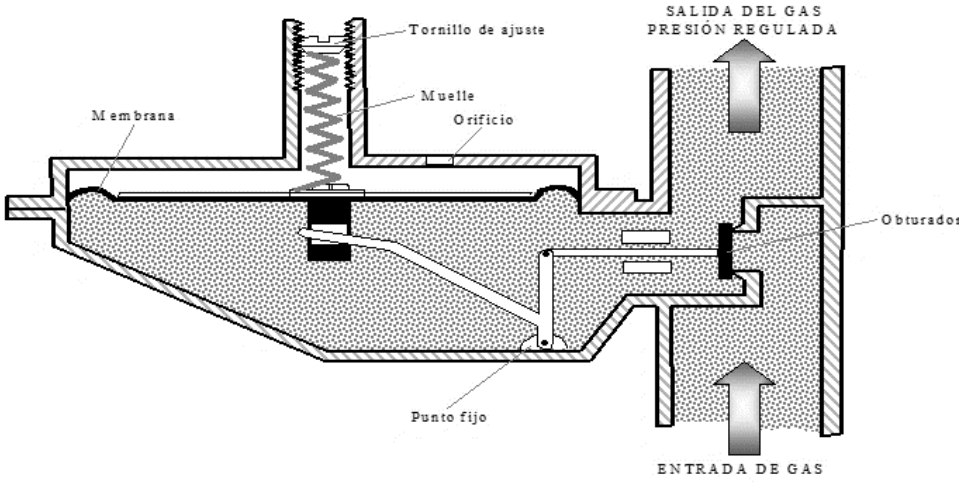


Figura 41. ***Regulador de acción directa.***

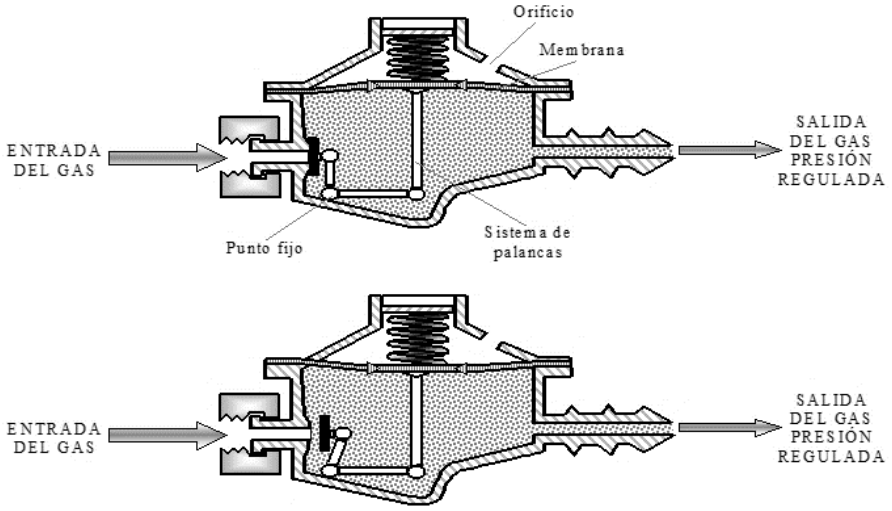


Figura 42. ***Funcionamiento de un regulador de acción directa.***

Cuando el gas ingresa en la cámara inferior y la presión es mayor que la de la cámara superior, la membrana sube, lo cual genera que una palanca, que lleva una junta en goma o nylon, cierre el paso del gas. Cuando la presión en la cámara inferior disminuye la membrana recupera su posición inicial, permitiendo de nuevo el paso del gas. Este ciclo se repite constantemente mientras exista consumo y haya presión a la entrada del regulador.

No es conveniente instalar este tipo de reguladores en recintos cerrados, ya que existe la posibilidad de que al haber una sobrepresión o rotura del diafragma el recinto se llene de gas.

Los reguladores de acción directa se utilizan bastante en líneas de baja presión, como instalaciones domiciliarias. Un regulador de alta presión, de diafragma grande, da un control preciso y uniforme, aún a bajas presiones de entrega.

6.1.2.2 Reguladores de acción indirecta o piloteada

La regulación la efectúa un obturador accionado por una membrana que recibe la energía necesaria para regular la presión de entrada que suministra un regulador piloto.

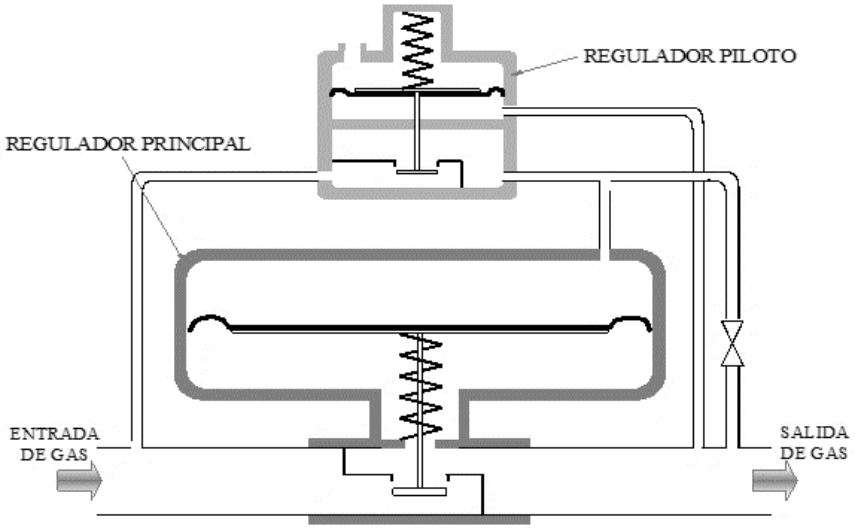


Figura 43. ***Regulador de acción indirecta o piloteada.***

La función del regulador piloto es proporcionar la presión de accionamiento adecuada, de tal manera que la presión de salida se mantenga regulada, independientemente de las variaciones de presión de entrada o de caudal que se puedan producir.

Estos reguladores tienen mayor precisión que los de acción directa, pero son más delicados y de respuesta más lenta.

La forma como trabaja este regulador es la siguiente: si la presión de salida aumenta en tal magnitud que la membrana del regulador piloto vence la resistencia del muelle, el obturador cierra el paso de gas hacia la membrana del regulador principal. Al disminuir la presión en el regulador principal el resorte se acciona y cierra el flujo hasta que la presión de salida disminuye.

En caso de que la presión de salida disminuya, el regulador piloto permite que el gas llegue hasta la cámara superior del regulador principal, haciendo que su membrana venza la presión del muelle de mando y el obturador se desplace permitiendo el paso del gas.

Este tipo de regulador se utiliza en líneas de media y alta presión, en sistemas que necesiten gran exactitud en el suministro de gas.

6.1.2.3 Reguladores de flujo axial

Son válvulas controladoras de presión y flujo que se emplean en los grandes gasoductos. Pueden servir como reguladoras de presión, alivio de sobrepresiones, reguladoras de flujo o como válvulas de corte (abierta o cerrada).

Su característica principal es que no poseen elementos mecánicos en la unidad controladora, en su defecto usan un elastómero que se expande o contrae, dependiendo del diferencial de presión sobre éste.

El tamaño de estos reguladores oscila entre 2 y 12" y pueden regular presiones desde una pulgada de agua hasta 600 psig. Su temperatura de operación oscila entre -15 y 150 °F. Los elementos que están en contacto directo con el producto son fabricados con materiales resistentes a la abrasión.

El accionamiento del regulador de flujo axial es pilotado, donde la presión de entrada se aplica en el interior del elastómero aguas arriba del regulador y la presión de control se hace al interior del elastómero. Como el diámetro del elastómero es más pequeño que el del deflector, si la presión de entrada y la presión de control son iguales el elastómero mantiene cerrado el regulador.

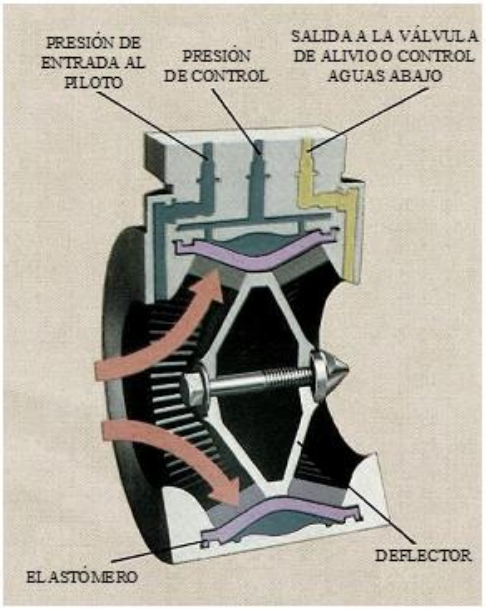


Figura 44. ***Regulador de flujo axial. Posición cerrada.***

Para efectuar la regulación, la presión de entrada vence la presión de control y abre el elastómero permitiendo el flujo de gas. Si las condiciones de presión aguas abajo son las adecuadas el equilibrio entre la presión de control y la presión de entrada se mantiene.

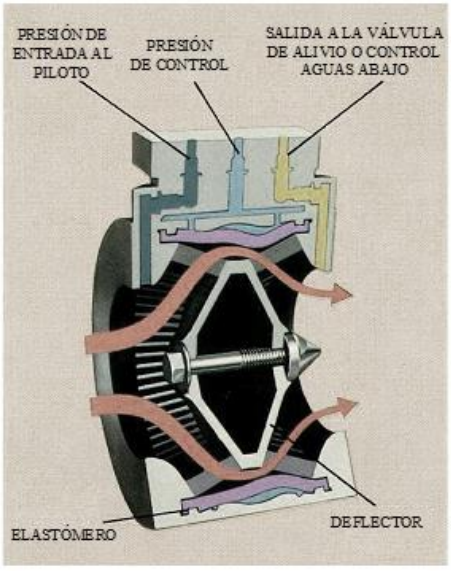


Figura 45. ***Regulador de flujo axial. Posición de regulación.***

Si el elastómero se encuentra totalmente expandido, se entiende que el regulador está totalmente abierto. Esto sucede cuando existen incrementos significativos de flujo, lo cual aumenta la presión de entrada y reduce el diferencial de presión entre aguas arriba y aguas abajo.

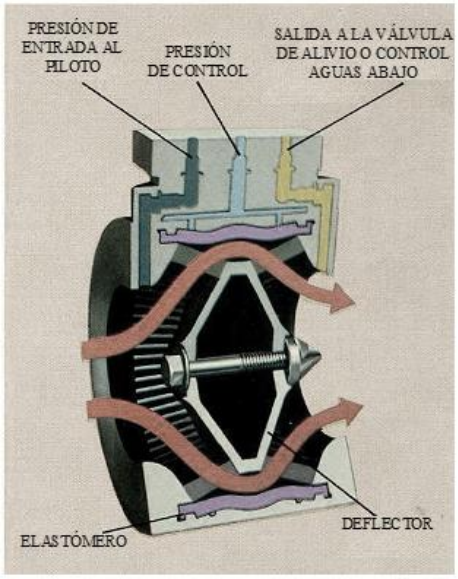


Figura 46. ***Regulador de flujo axial. Posición completamente abierta.***

6.1.2.4 Reguladores de flujo radial

Estos dispositivos se diseñan como controladoras de flujo, para alivio por sobrepresiones, como válvulas de corte (abierta o cerrada) y las opera un piloto.

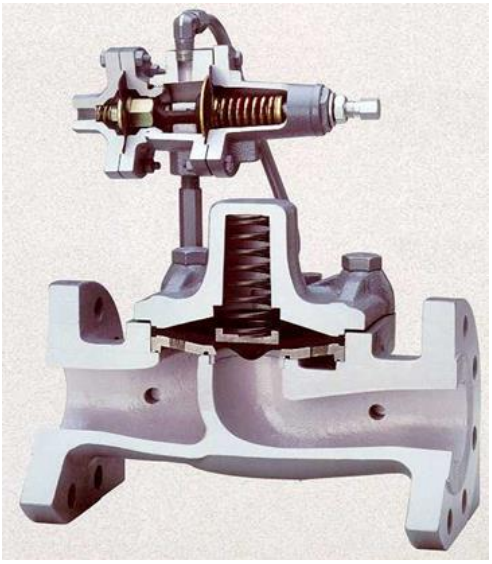


Figura 47. ***Regulador de flujo radial.***

Estos reguladores manejan grandes volúmenes de fluidos, su tamaño de fabricación oscila entre 2 y 4" y un ANSI entre 150 y 300 psig. Es ideal para operaciones a baja presión.

El funcionamiento de un regulador de flujo radial es muy similar al de los reguladores pilotados.

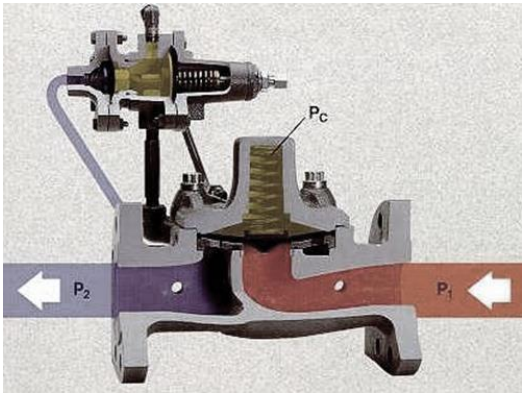


Figura 48. ***Funcionamiento de un regulador de flujo radial.***

Los reguladores poseen resortes en su mecanismo, los cuales se pintan de colores para facilitar la identificación del regulador en lo que se refiere a la presión de entrega.

PRESIÓN DE SALIDA	COLOR DEL RESORTE
3.5" a 7" C.A	AZUL CLARO
5" a 9" C.A	MORADO CLARO
9" a 15" C.A	GRIS CLARO
18" C.A a 2 psig	VERDE CLARO
2 a 4 psig	ROSADO
4 a 5 psig	TURQUESA

Tabla 18. ***Clasificación por colores de los resortes de los reguladores, de acuerdo con la presión de salida*.**

6.1.3 Selección de los reguladores

El regulador se selecciona de acuerdo con los catálogos de los fabricantes, los cuales suministran la curva de consumo y la pérdida de presión determinada en laboratorio.

Para iniciar el proceso de selección de un regulador se deben tener cuenta las siguientes condiciones:

- ✓ Consumo en BTU/hr, m^3/h o PCH
- ✓ Tipo de gas que se va a manejar (GN o GLP)
- ✓ Presión de entrada (psi, bar o mbar)
- ✓ Presión máxima o mínima (rango de trabajo)
- ✓ Presión de salida o de entrega

6.1.3.1 Ejemplo 1

Se requiere regular una línea de gas domiciliario a la entrada de una instalación multifamiliar, donde los gasodomésticos consumen un total de 550 pie^3/h y deben recibir una presión de 18 mbar (7" c.a.). El sistema va a trabajar con gas natural y no se deben presentar variaciones de presión mayores a +2" y –1" c.a. La presión en el anillo es de 60 psi y se quiere hacer una regulación en única etapa.

En los catálogos de los diferentes fabricantes se buscan reguladores que cumplan con las condiciones anteriormente anunciadas. A manera de ejemplo, se deben utilizar los datos que suministran los catálogos del American Meter.

Capacidad de un regulador tipo 1213b2 calibrado para una salida de 7", de columna de agua (CA) a 50 pies³ standard por hora (SCFH), para un gas con una gravedad específica de 0.60 a 60°f y 14.7 libras por pulg² absoluta (psia) con una variación en la salida que no exceda de +2" y -1" de columna de agua (CA) del punto de calibración trabajando en posición horizontal.					
PRESION DE ENTRADA PSIG	**TAMAÑO DEL ORIFICIO**				
	1/8"	**1/8" x 3/16"**	**3/16"**	**¼"**	**5/16"**
1			175	225	225
2			225	400	375
3	175	175	275	450	500
5	200	200	350	650	700
10	300	300	600	950	1100
15	325	350	800	1100	1400
25	475	475	1100	1400	1800
35	600	600	1400	2200	2500
50	700	800	1800	2200	
60	700	900	2100	2200	
75	750	1100	2200		
100	1100	1400	2200		
125	1100	1500			

Tabla 19. ***Capacidad de un regulador tipo 1213B2, tamaño ¾".***

Para empezar, se debe consultar la Tabla 19. *Capacidad de un regulador tipo 1213B2, tamaño ¾"*., establecer la presión de entrada (60 psi) y buscar el consumo (550 pie³/h) para determinar el diámetro del agujero de entrada del regulador.

Se obtiene un diámetro de 1/8" para el regulador 1213B2 con agujero de salida de ¾". Se observa que para 550 pie³/h de consumo no hay un valor exacto de diámetro, por lo tanto se debe escoger el mayor valor más aproximado al que se busca (700 pie³/h).

El fabricante también suministra una gráfica que muestra la sobrepresión a la que se dispara la válvula de alivio.

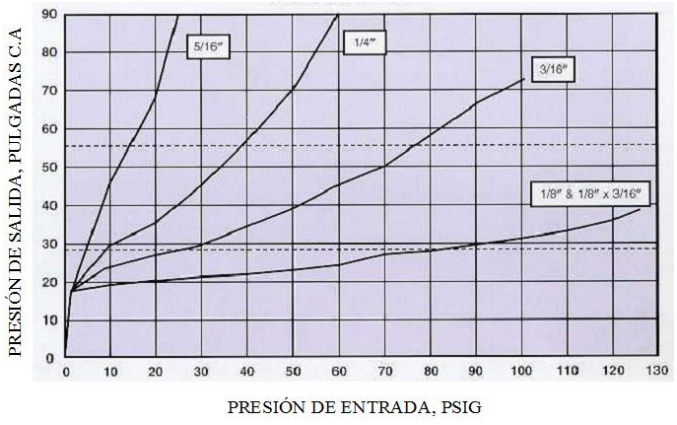


Figura 49. ***Presión de disparo de la válvula de alivio.***

En la figura 49 se busca la presión de entrada (60 psi), subiendo verticalmente se llega a la curva respectiva que señala el diámetro del orifico seleccionado (1/8”) y, luego, siguiendo horizontalmente se halla la presión de disparo de la válvula de alivio. En este ejemplo, la válvula de alivio se acciona a 24” c.a.

6.1.3.2 Ejemplo 2

Una instalación unifamiliar tiene una carga de 125000 BTU/h usando GLP de 2500 BTU/pie³. El gas se debe entregar a 10” c.a. en el punto más alto de consumo y se sabe que el tanque trabaja a una presión mínima de 10 psig. Esta regulación se quiere hacer en una etapa única.

Primero, para seleccionar el regulador idóneo para estos requerimientos se debe buscar entre los catálogos de fabricantes los que están diseñados para GLP.
En este caso, se toma la información que suministra Rego en su referencia 2403, que dispone de una gráfica para seleccionar este tipo de reguladores.

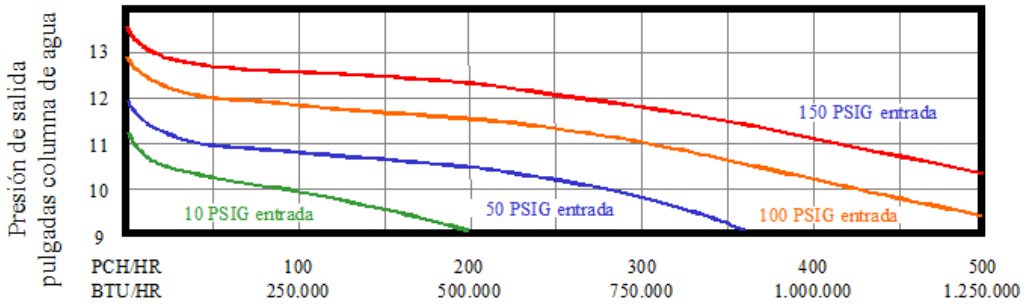


Figura 50. ***Presión de salida contra volumen de gas que se va a manejar (GLP).***

El proceso de selección se hace dibujando una línea vertical hacia arriba, desde el punto del valor correspondiente al consumo considerado (125000 BTU/h) hasta interceptar la curva que corresponde a la menor presión de funcionamiento del tanque (10 psig).

Desde esta intersección se continúa, en forma horizontal, hasta la presión de suministro, que aparece en el lado izquierdo de la figura. La presión de suministro es de 10,2” c.a. y como en el ejemplo es de 10” c.a. a su condición de máximo consumo y mínima presión en el tanque, el regulador tendrá un excelente funcionamiento.

6.2 Medidores

Las edificaciones que dispongan de abastecimiento de gas deben tener un instrumento de medición que registre el volumen que se suministra para consumo interno. Éstos se clasifican de acuerdo con su capacidad y su tipo de operación.

6.2.1 Clasificación de los medidores

Las normas internacionales establecen que los medidores deben denominarse con la letra G y un número que indique el caudal nominal.

Designación del medidor, G	Caudal máximo, m^3/h	Caudal mínimo, m^3/h (valor máximo)
0.6	1.0	0.016
1.0	1.6	0.016
1.6	2.5	0.016
2.5	4.0	0.025
4.0	6.0	0.040
6.0	10.0	0.060
10.0	16.0	0.100
16.0	25.0	0.160
25.0	40.0	0.250
40.0	65.0	0.400
65.0	100.0	0.650
100.0	160.0	1.000
160.0	250.0	1.600
250.0	400.0	2.500
400.0	650.0	4.000
650.0	1000.0	6.500

Tabla 20. ***Capacidad de los medidores de acuerdo con su denominación (tomado de la NTC 2728).***

6.2.2 Tipos de medidores

Los medidores se pueden clasificar en:

- ✓ De desplazamiento positivo
- ✓ Interfaciales o de caudal másico

6.2.2.1 Medidores de desplazamiento positivo

A su vez, estos medidores se dividen en:

- De diafragma o de paredes deformables
- Lobulares

6.2.2.1.1 Medidores de diafragma o de paredes deformables

Estos medidores trabajan tomando un volumen constante de gas a la entrada y depositándolo a la salida. Este ciclo se repite mientras halla consumo. Cada volumen desplazado (volumen cíclico) corresponde a una vuelta completa del mecanismo del medidor.

Este funcionamiento se basa en el desplazamiento de una placa soportada por una membrana que divide en dos la cámara de medición, como se ilustra en la figura 51.

El medidor contiene una corredera, en la cual la entrada de gas se comunica con un lado de la membrana, mientras que la otra lo hace con la salida. Por efecto de la presión del gas, la membrana se va desplazando en un movimiento alternativo, dejando pasar cada vez un volumen de gas igual al de la caja. Este movimiento alternativo se transforma en uno circular que acciona el totalizador de tambores, los cuales marcan el consumo de gas.

Este tipo de medidores tienen la ventaja de generar una pérdida de presión muy pequeña, aproximadamente de 5 a 6 mm de columna de agua, y contabilizar caudales muy bajos. Su precisión se mantiene entre el 100 y el 1% de su caudal nominal, que son los indicados para la medición del gas. Tienen gran aplicación en el campo doméstico y comercial.

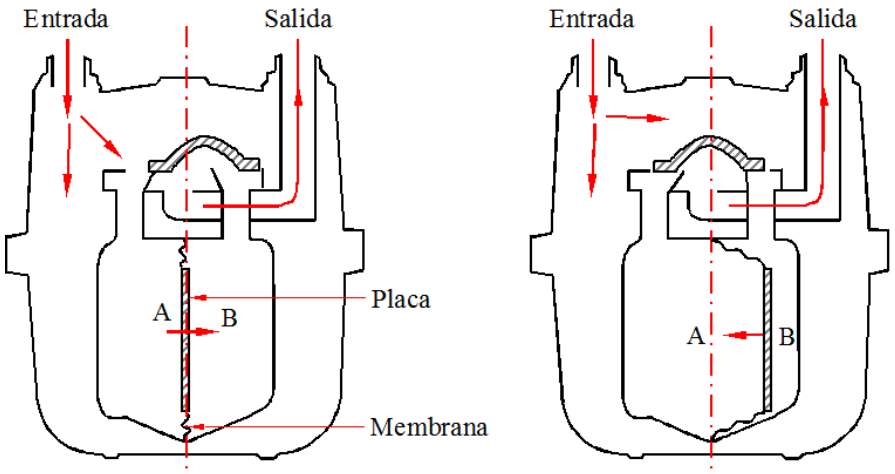


Figura 51. ***Medidor de diafragma o pared perforable.***

6.2.2.1.2 Medidores lobulares

Estos medidores están compuestos de dos rotores en forma de ocho que giran al pasar el gas, de manera que durante la rotación cada uno aísla un volumen fijo de gas, el cual se evacúa a través de la salida del medidor.

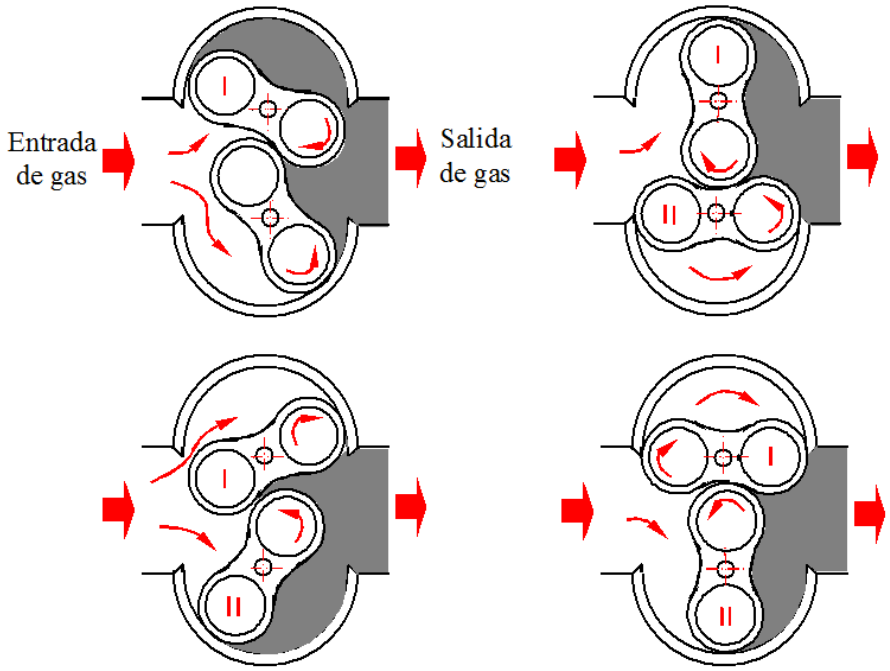


Figura 52. ***Medidores lobulares.***

El juego entre los rotores y el cuerpo del contador se reduce al mínimo para proporcionar una precisión máxima en el medidor. Cuando se pretenda emplear este tipo de dispositivos es importante disponer de un filtro previo al medidor.

Los medidores lobulares son muy robustos y mantienen su precisión en un amplio rango de caudales, entre el 100 y el 5% de su caudal nominal. Razón por la cual son ideales para controlar caudales importantes de gas, por ello su aplicación es de carácter industrial.

6.2.2.2 Medidores inferenciales o de caudales másicos

Se basan en la determinación del caudal volumétrico y su compensación con la medición de la temperatura y presión para obtener lecturas de caudal en unidades de peso. Estos medidores se clasifican en:

- De turbina
- De presión diferencial
- De Coriolis

6.2.2.2.1 Medidores de turbina

Su función es medir la velocidad del gas dentro del medidor. El giro de la turbina acciona un mecanismo integrador que da lugar a la medida del gas consumido en un totalizador. Este mecanismo puede ser mecánico, análogo o digital.

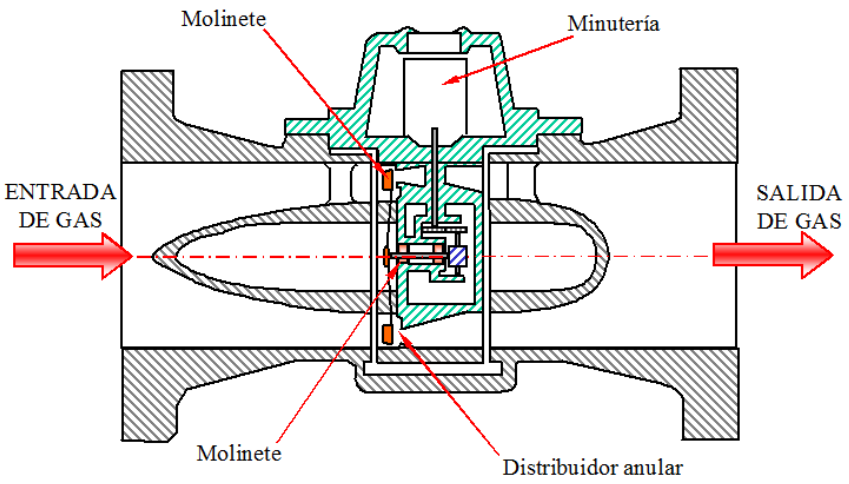


Figura 53. ***Medidores de turbina.***

Estos medidores contienen un cuerpo en forma de tubo con bridas en cada extremo para su acoplamiento a la conducción. En su interior llevan incorporado un rotor de diseño aerodinámico que gira al paso de la corriente del gas.

Estos dispositivos permiten medir grandes caudales y mantienen su precisión entre el 100 y el 10% de su caudal nominal. La ventaja de estos medidores es su tamaño reducido y el hecho de que, en caso de avería por parte del medidor, no interrumpen el paso de gas. Son ideales para las industrias donde el suministro del gas no se puede suspender.
Una desventaja que tienen es que las variaciones de presión afectan sucesivamente su precisión.

6.2.2.2.2 Medidores de presión diferencial

La medición por presión diferencial aplica el principio de la pérdida de presión del fluido al pasar por una restricción. La diferencia de presión causada por una platina determinada permite calcular el volumen del fluido que pasa a través de ella en la unidad de tiempo. Estos medidores se clasifican en:

- De placa de orificio
- Tipo tobera
- Tipo Venturi

Cada uno de ellos se diferencia por el elemento restrictor que se emplee. Este tipo de medidor tiene gran demanda en el sector petrolero debido a su bajo costo y su facilidad de instalación.

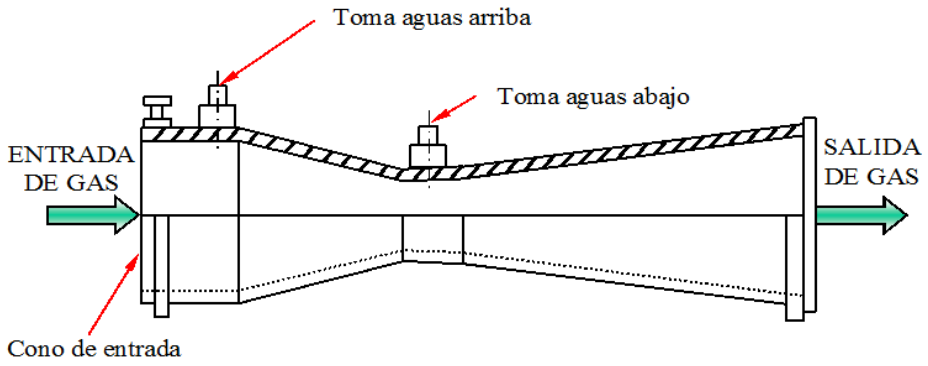


Figura 54. ***Medidor por presión diferencial.***

6.2.2.2.3 Medidor de Coriolis

Se basa en el principio de Coriolis, el cual establece que "un objeto de masa m se desplaza con una velocidad lineal V a través de una superficie giratoria, la cual gira con velocidad angular constante w, y experimenta una velocidad tangencial tanto mayor cuanto mayor sea el alejamiento del centro".

Figura 55. ***Medidor de Coriolis.***

El medidor de Coriolis se emplea para calcular grandes caudales con una presión de 0,5%, admite presiones hasta de 400 bar, resiste temperaturas de 200 °C, registra pérdidas de carga máxima de 0,3 bar y permite medir líquidos y gases. Se emplea principalmente en la industria petrolera.

6.3 Estaciones de regulación y medición

Conocidos los tipos de reguladores y medidores es importante establecer las dimensiones mínimas requeridas de los nichos o centros de medición que los contienen. De acuerdo con Gas Natural Fenosa, éstos se pueden clasificar de acuerdo con el consumo previsto para la edificación, ya sea residencial, comercial o industrial.

A continuación, se ilustran los tipos de estaciones de regulación y medición y las categorías mencionadas por Gas Natural Fenosa.

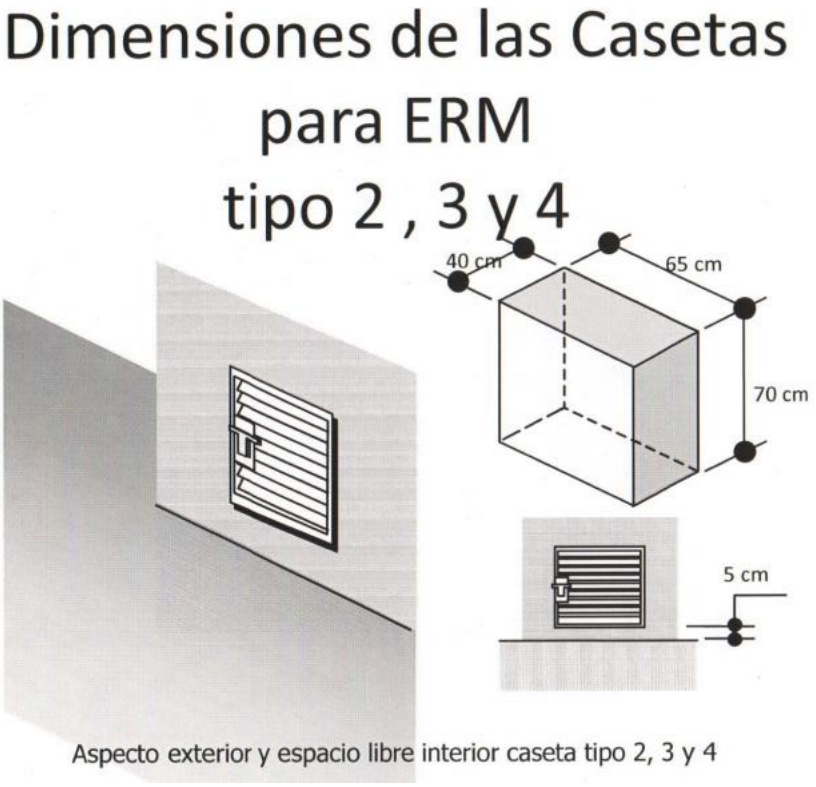


Figura 56. ***Estación de regulación y medición para caudales desde 6 hasta 50 m³/h.***

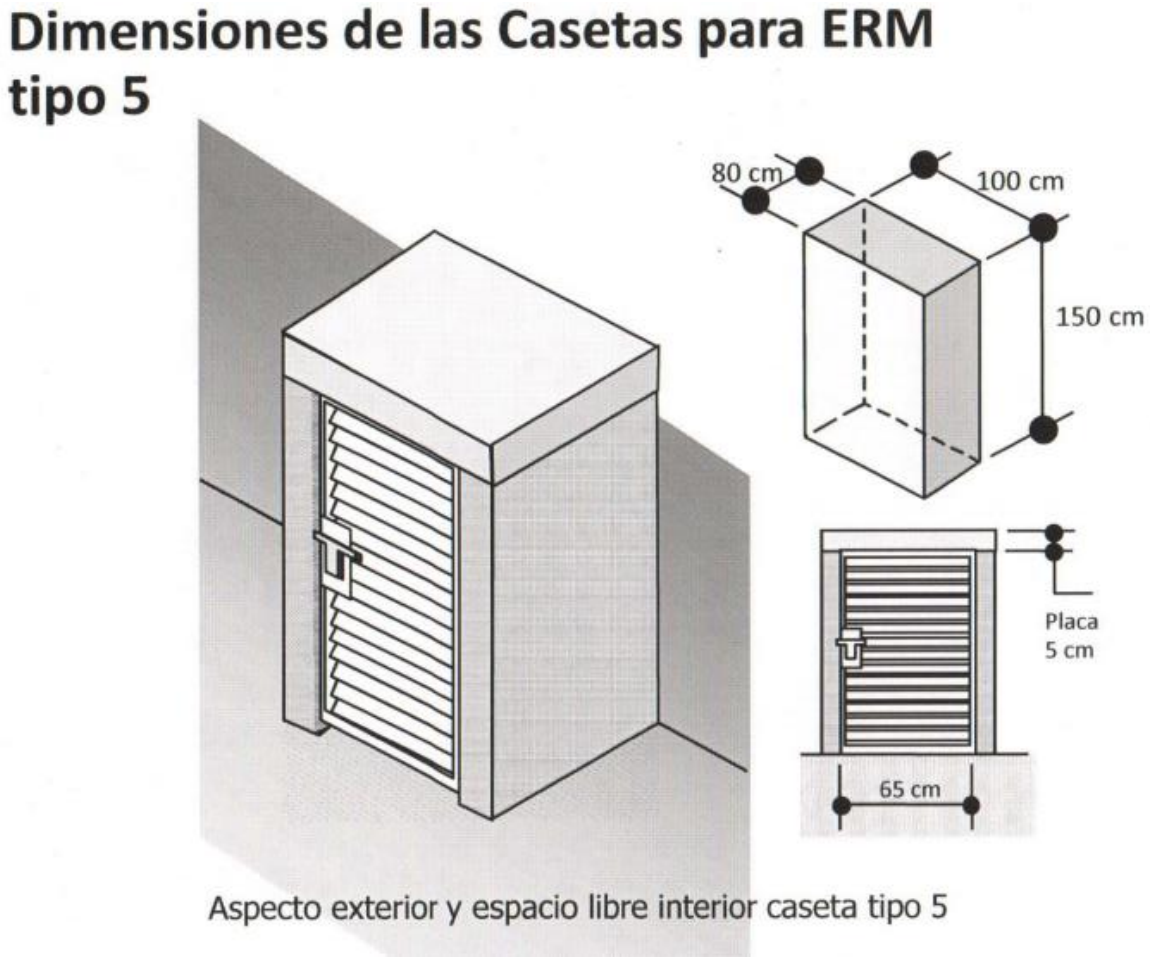


Figura 57. ***Estación de regulación y medición para caudales desde 51 hasta 100 m³/h.***

Estación de Regulación y Medición		Espacio libre interior (cm)			Espesor Pisos (cm) D	Ancho puerta (cm) E
Tipo	Caudal (m^3/h)	A	B	C		
6	101-200	110	200	200	10	105
7	201-450	180	250	270	12	125
8	451-600	180	250	270	12	125
9	601-750	200	300	270	12	125
10	751-1000	200	300	270	12	125
11	1001-3000	250	350	270	12	125
12	Más de 3001	250	350	270	12	125

Figura 58. ***Estación de regulación y medición para caudales mayores a 100 m³/h.***

Gas Natural Fenosa maneja las siguientes dimensiones para los nichos de medición:

Categoría	Altura (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
5	1.50	1.0	0.80
4	1.50	0.70	0.45
3 y 2	0.65	0.60	0.40
1	0.60	0.55	0.40

Tabla 21. ***Dimensiones de los nichos de regulación y medición, según su categoría en Bogotá.***

Estas categorías se definen de acuerdo con el consumo, como se muestra a continuación.

CATEGORIA	CONSUMO (m^3/h)
1	1-6
2	6 – 20
3	20 – 30
4	30 – 50
5	50 - 100

Tabla 22. ***Categorías según consumos de gas en Bogotá.***

7 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ACUERDO CON LOS CRÍTERIOS Y APECTOS MENCIONADOS PREVIAMENTE Y ALGUNAS RECOMENDACIONES DE EMPRESAS DE SERVICIOS PÚBLICOS

Para dimensionar una instalación para el suministro de gas se deben tener presentes los siguientes pasos:

1. Identificar la localización del proyecto y validar con la empresa prestadora del servicio de gas la factibilidad de redes existentes para la conexión del proyecto.

2. Conocer las características del gas que se va a suministrar a la instalación y la presión de operación.

3. Realizar el trazado de la instalación según las características de la edificación, definiendo la longitud de cada tramo.

4. Elegir el material con el que se construirá la instalación.

5. Determinar los caudales nominales de cada artefacto instalado o previsto en la edificación.

6. Establecer el caudal de diseño de cada vivienda.

7. Determinar el caudal máximo de simultaneidad de la línea matriz, considerando los caudales de diseño de todas las viviendas, estén conectadas al sistema o no.

8. Especificar la longitud equivalente de cada tramo de la instalación.

9. Conocer la distribución de la pérdida de carga y el diámetro mínimo en cada tramo de la instalación.

10. Realizar el proceso de cálculo dimensionando el diámetro mínimo requerido del primer tramo utilizando las fórmulas de Renouard, lineal o Pole para baja presión y la fórmula de Müeller para las redes de media presión.

11. Elegir el diámetro comercial del tubo igual o superior respecto al cálculo obtenido.

12. Determinar la pérdida de presión real del tramo, tomando como referencia el correspondiente al diámetro interno del tubo comercial.

13. Determinar la nueva pérdida de carga que se va a utilizar en el tramo siguiente (i+1), a partir de esta fórmula:

$$\Delta P_{i+1} = \left(\Delta P_{TOTAL} - \sum \Delta P_i^*\right) * \frac{L_{i+1}}{L_{TOTAL} - \sum L_i}$$

Debe utilizarse la pérdida de carga real calculada en el punto anterior.

14. Repetir el proceso descrito en los puntos 10 a 13 hasta llegar al tramo de la línea principal.

15. Seleccionar una línea secundaria y adoptar como pérdida de carga máxima admisible la correspondiente al nudo donde se enlaza con la línea principal.

16. Repetir el proceso descrito en los puntos 10 a 13.

17. Una vez se hayan determinado los diámetros de todos los tramos de la instalación se realiza un cuadro resumen del diseño, donde se deben incluir los siguientes datos, como mínimo:

- Identificación del tramo
- Caudal de diseño del tramo
- Longitud real del tramo
- Material de la tubería
- Diámetro comercial del tramo
- Presión inicial del tramo
- Pérdida de carga real del tramo
- Presión final del tramo
- Velocidad del gas en el tramo

18. Identificar si el espacio es confinado o no.

19. En caso de que sea confinado se identifica el tipo de ventilación que se va a realizar, si es directa al exterior, por conducto horizontal a un espacio ventilado o exterior o si va comunicada a otro espacio del recinto.

En caso de que se requiera manejar la ventilación por vacíos internos se deben acatar las recomendaciones mencionadas en la sección 4.3.6, Vacíos internos para ventilación.

20. Identificar los artefactos a gas que requieren ductos de evacuación y dimensionarlos con base en la norma NTC 3833.

8 EJEMPLOS PRÁCTICOS DE DISEÑO INTEGRAL DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL EN EDIFICACIONES

8.1 Ejemplo de diseño en edificaciones residenciales

Diseñar la red de gas natural para la torre 1 de la edificación que se muestra en la figura 59. Consta de 13 pisos, con cuatro apartamentos por piso, excepto en el primero. El cliente necesita que los medidores de los apartamentos estén ubicados por piso y, además, una caldera para calentar el agua.

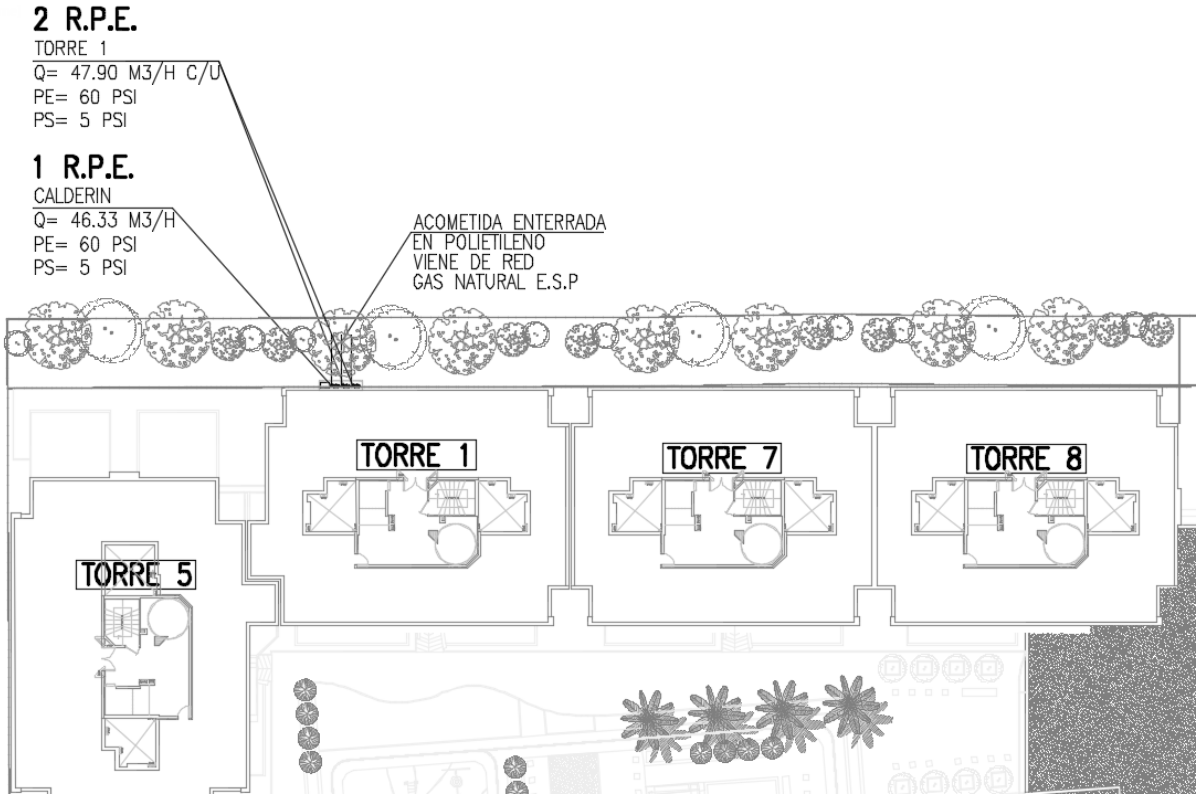


Figura 59. ***Localización del proyecto.***

Como la instalación se debe realizar en Bogotá, se solicita a la empresa distribuidora las características del gas y la presión de trabajo para tenerlas presentes en el proceso de diseño. Sin embargo, esta información se encuentra en este documento, en la sección 3.2, Clasificación de los gases, donde se mencionan las características del gas que se suministra en Bogotá, el cual contiene un poder calorífico superior a 11.38kW/m³ y una gravedad específica de 0,67.

Posteriormente se realiza el trazado de la red teniendo en cuenta las limitantes que se describen en el aparte 4.1, Instalación de tuberías en edificaciones residenciales y comerciales. A continuación, se muestra el isométrico de la red de la tubería de gas planteada para la torre 1.

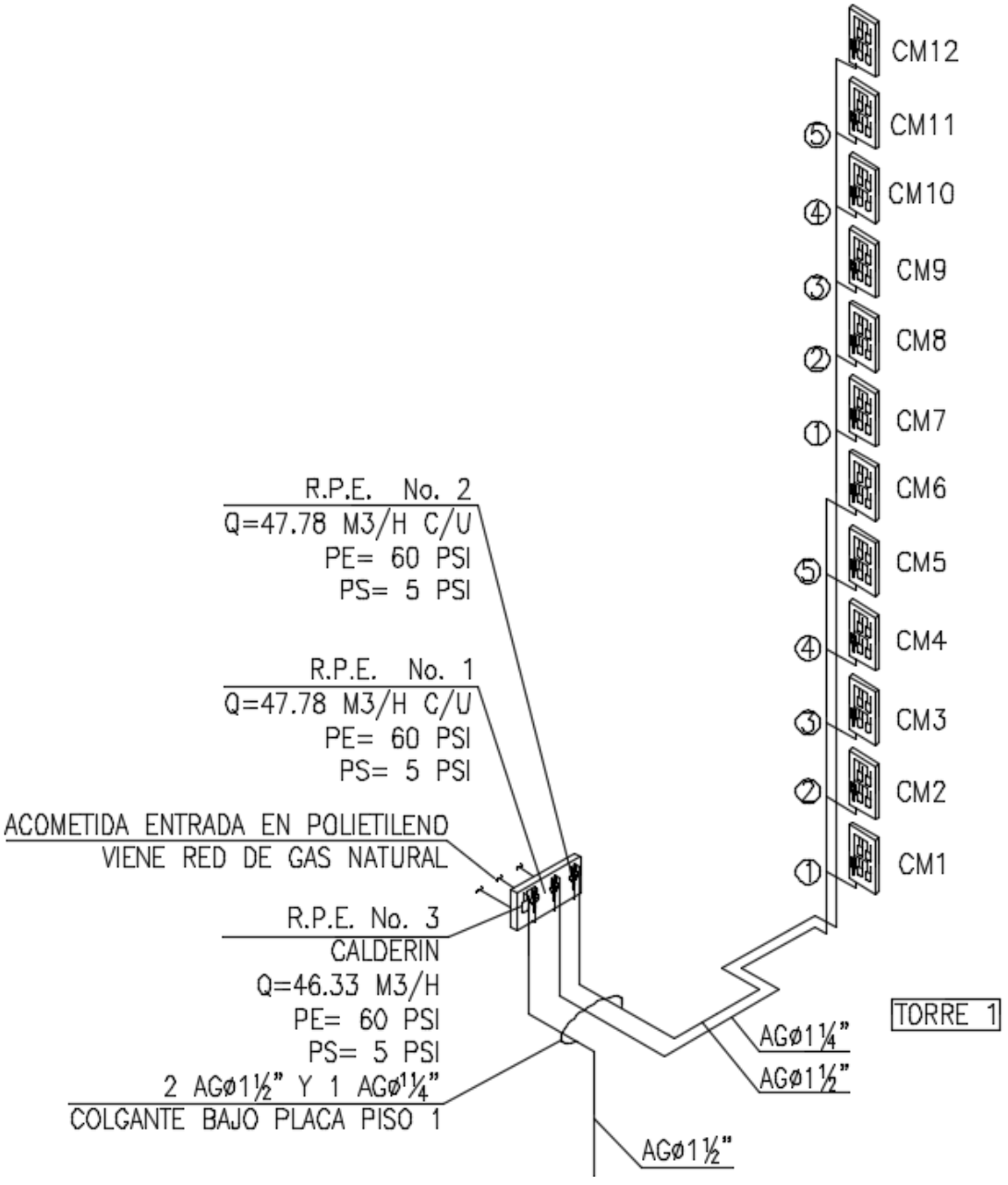


Figura 60. ***Isométrico de la red de gas con ubicación de los medidores por piso y la red de gas que va hacia la caldera.***

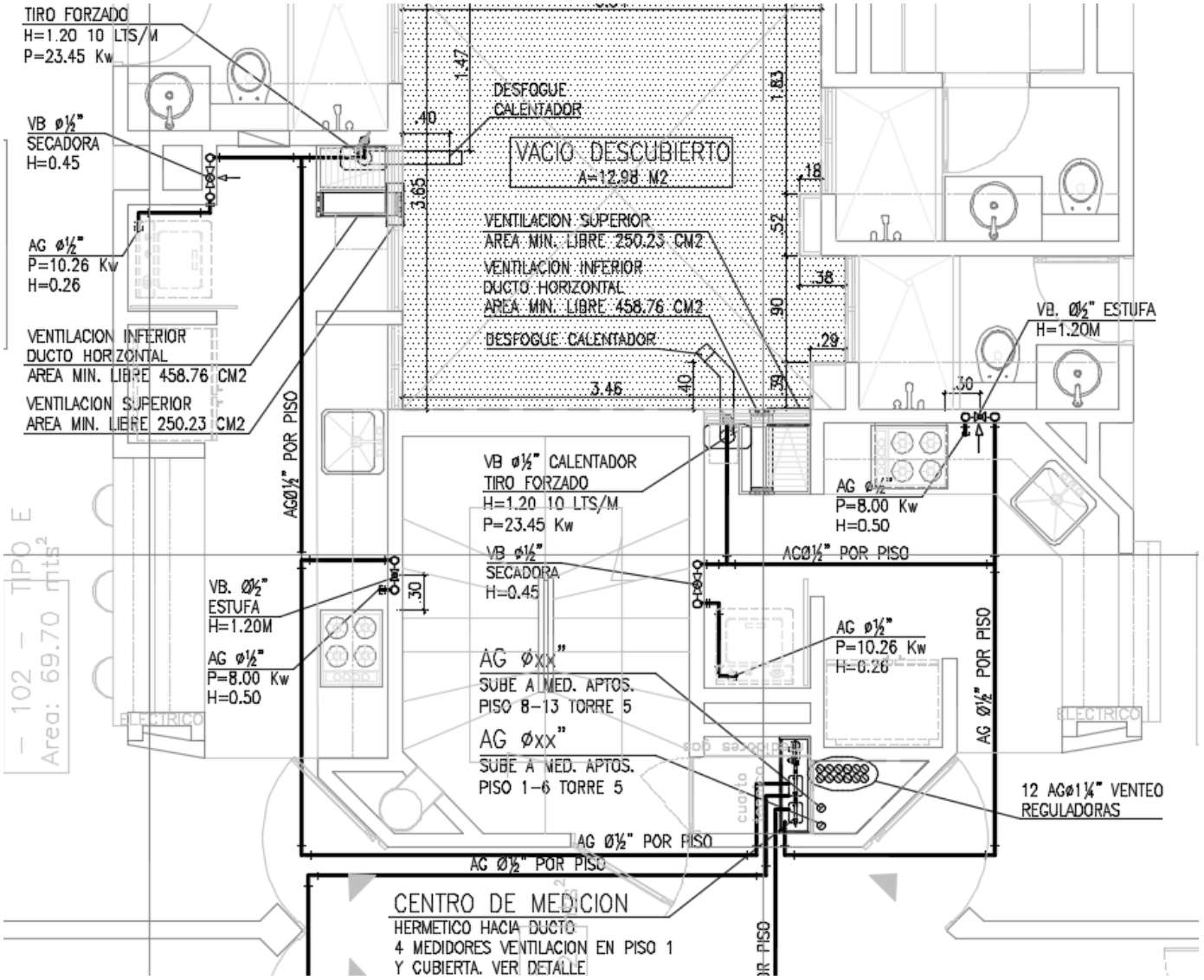


Figura 61. ***Planta con trazado para un apartamento tipo.***

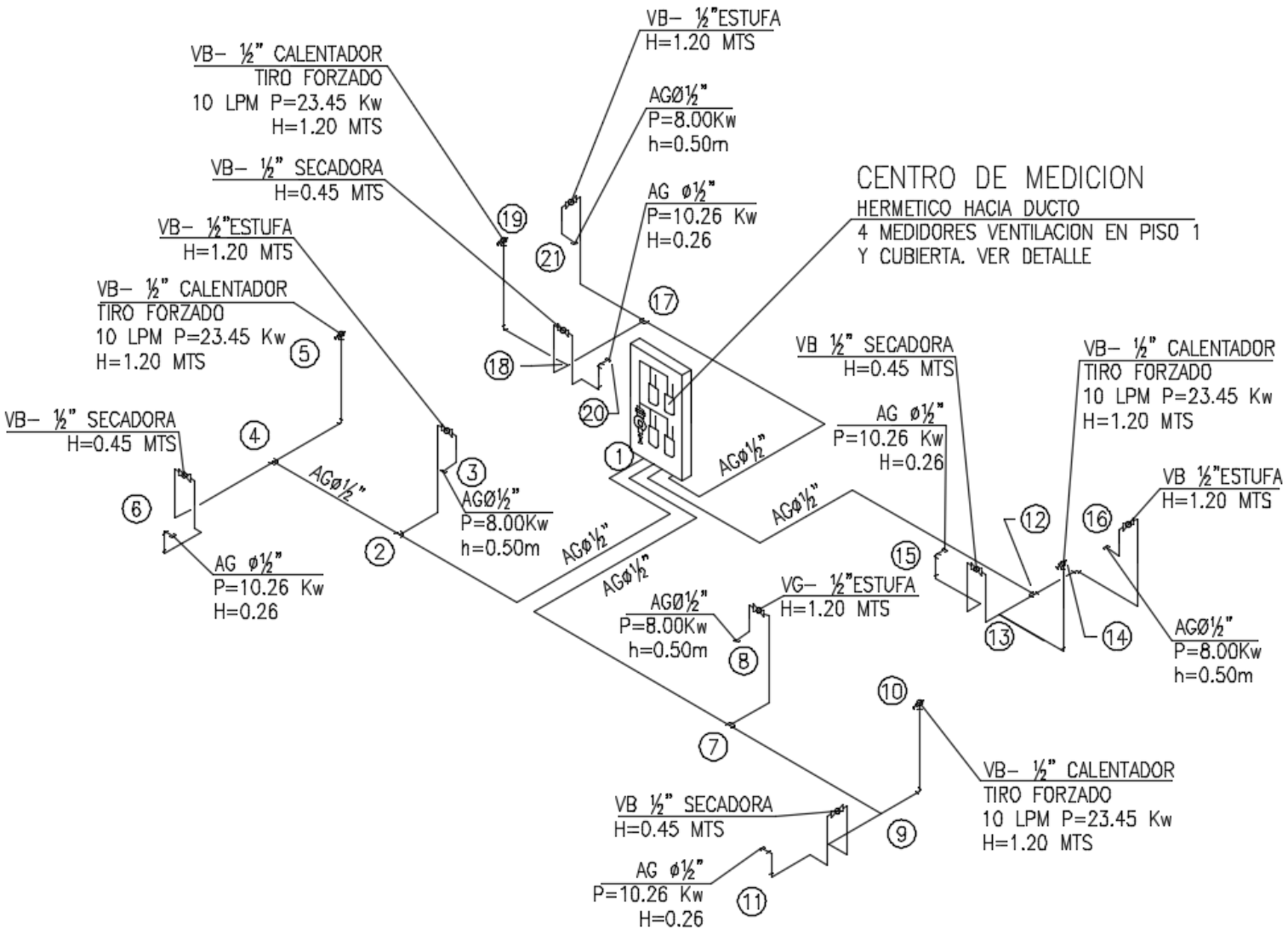


Figura 62. ***Isométrico de apartamentos para pisos tipo.***

Para este proyecto se consideran los siguientes datos de entrada:

- Material de tubería que se va a utilizar: acero galvanizado
- Potencia nominal de la estufa: 8kW
- Potencia nominal del calentador: 23,45 kW
- Potencia nominal de la secadora: 10,26 kW

Teniendo en cuenta que se prevé una estufa, un calentador y una secadora por apartamento y se conocen sus potencias, se determina el caudal total.

Para convertir de kW/h a m³/h se divide la cantidad en 11,38m³/h/kW. Para pasar de kW/h a BTU/h se multiplica la cantidad por 3412 BTU/h/kW.

Gasodomésticos por Apartamento	Consumo BTU/H	Consumo M3/H	Cantidad	CONSUMO TOTAL BTUS	CONSUMO TOTAL KW	CONSUMO M3/H TOTAL
ESTUFA	27300	0.70	1	27300.00	8.00	0.70
CALENTADOR 10 LT	80000	2.06	1	80000.00	23.45	2.06
SECADORA	35000	0.90	1	35000.00	10.26	0.90
CONSUMO TOTAL				**142300.00**	**41.71**	**3.66**

Gasodomésticos por Apartamento	Consumo BTU/H	Consumo M3/H	Cantidad	CONSUMO TOTAL BTUS	CONSUMO TOTAL KW	CONSUMO M3/H TOTAL
CALDERA	800009	20.59	1	800009.00	234.47	20.59
CONSUMO TOTAL				**800009.00**	**234.47**	**20.59**

Tabla 23. ***Consumo de gas por apartamento y consumo para la caldera.***

Como los artefactos de los apartamentos no trabajan de manera simultánea el caudal de la línea principal se afecta por el factor de coincidencia, como se describió en el capítulo 4.

Para el ejemplo tenemos un total de 48 apartamentos. Como el caudal recomendable para reguladoras de primera etapa es de 50 m³/h, ya que para reguladores con mayor capacidad se requiere mayor dimensión en los nichos, se divide la torre en dos sistemas, cada una integrado por 24 apartamentos.

El factor de coincidencia para 24 apartamentos es F.C. = 0,545

Los reguladores de primera etapa se dimensionan de la siguiente manera:

R.P.E. 1 = 24 aptos. x 3,66 m³/h x 0,545 = 47,87m³/h
R.P.E. 2 = 24 aptos. x 3,66 m³/h x 0,545 = 47,87m³/h

Esto quiere decir que los diámetros de las tuberías principales se deben calcular para un caudal corregido por el factor de coincidencia y las líneas secundarías a la salida de cada centro de medición se deben calcular con 3,66 m³/h.

Luego se enumeran los tramos, tanto de las redes principales como de las secundarias, como se ilustra en las figuras 60 y 62. Posteriormente se calculan las longitudes equivalentes de cada tramo, las cuales consisten en la longitud real + la longitud equivalente a tramo recto de tubería por pérdidas en accesorios. A continuación, se ilustran las longitudes reales y las longitudes equivalentes por accesorios en cada tramo.

TORRE Y Z. COMUN	TRAMO		LONG/REAL (Mt)	ACCESORIOS						
				ESPECIFICACIONES						Longitud Equiv.
				CANT.	CODOS	CANT.	TEES	CANT,	VALVULAS	Total (m)
Torre 1	RPE1	1	55.42	10	9.80	1	2.34	1	13.92	26.06
	1	CM1	0.50	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	1	2	2.50	0	0.00	1	1.45	0	0.00	1.45
	2	CM2	0.50	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	2	3	2.50	0	0.00	1	1.45	0	0.00	1.45
	3	CM3	0.50	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	3	4	2.50	0	0.00	1	1.45	0	0.00	1.45
	4	CM4	0.50	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	4	5	2.50	0	0.00	1	1.45	0	0.00	1.45
	5	CM5	0.50	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	5	CM6	3.00	2	0.94	0	0.00	1	7.02	7.96
Torre 1	RPE2	1	70.42	11	10.78	1	2.34	1	13.92	27.04
	1	CM7	0.50	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	1	2	2.50	0	0.00	1	2.00	0	0.00	2.00
	2	CM8	0.50	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	2	3	2.50	0	0.00	1	1.45	0	0.00	1.45
	3	CM9	0.50	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	3	4	2.50	0	0.00	1	1.45	0	0.00	1.45
	4	CM10	0.50	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	4	5	2.50	0	0.00	1	1.45	0	0.00	1.45
	5	CM11	0.50	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	5	CM12	3.00	2	0.94	0	0.00	1	7.02	7.96
Cuarto de Caldera	RPE3	1	62.64	10	6.10	0	0.00	1	8.89	14.99

Tabla 24. ***Longitudes reales y equivalentes por accesorios para los apartamentos de la torre 1.***

Para determinar las longitudes equivalentes de los accesorios se tuvo presente la siguiente tabla:

Accesorio	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
CODO	0.33	0.47	0.61	0.84	0.98	1.25	1.42	1.87	2.46
TEE	0.78	1.12	1.45	2	2.34	2.99	3.4	4.48	5.91
VALVULA	5.05	7.02	8.89	12.02	13.92	17.66	19.95	26.13	34.25

Tabla 25. ***Longitudes equivalentes de accesorios por diámetro.***

Luego de identificar las longitudes por tramo se calculan las pérdidas de presión por tramo, teniendo en cuenta que la presión inicial del nuevo tramo corresponde a la presión del tramo anterior.

Se debe considerar que el cálculo de las redes principales (red en media presión) debe cumplir con los requisitos mencionados en el capítulo 5 y en las redes secundarias (baja presión) la presión de llegada a los artefactos no debe ser menor a la que ellos requieren.

A continuación, se presenta un ejemplo para el cálculo de dos tramos, uno para red de media presión y otro de baja presión.

Red de media presión

De la acometida de Gas Natural se reduce la presión de 60 a 5 psig con la reguladora de primera etapa. De ésta sale la línea de media presión a los centros de medición, iniciando su primer tramo en 5 psig, equivalente a 344,75 mbar.

Los siguientes son los datos del tramo RPE1 – 1:

Caudal sin corregir:	87,84 m³/h
Número de viviendas:	24
Factor de coincidencia:	0,544
Caudal corregido:	47,78 m³/h
Tubería propuesta:	acero galvanizado
Longitud real:	55,42 m
Longitud equiv. accesorios:	26,06 m
Longitud total:	81,48 m
Presión inicial:	344,75 mbar
Presión local:	752 mbar (para Bogotá)

Se determina la presión al final del tramo y el porcentaje de pérdida de presión asignando un diámetro asumido de 1-1/2” en acero galvanizado con un diámetro interno de 40,89 mm.

Al aplicar la fórmula de Müeller se tiene:

$$P_2 = \left[P_1^2 - \left(\frac{Q \times G^{0.425} \times 10^7}{D^{2.725} \times 461} \right)^{1.7391} \times L \right]^{1/2}$$

$$P_2 = \left[(344{,}75 + 752)^2 - \left(\frac{74{,}78 * 0{,}67^{0{,}425} * 10^7}{40{,}89^{2{,}725} * 461}\right)^{1{,}7391} * 81{,}48\right]^{\frac{1}{2}}$$

P_2 =326,17 mbar

Por tanto, el porcentaje de pérdidas corresponde a:

$$\%Pérdidas = \frac{P_1 - P_2}{344{,}75\ mbar}$$

$$\%Pérdidas = \frac{344{,}75 - 326{,}17}{344{,}75\ mbar}$$

$$\%Pérdidas = 5{,}39\%$$

La velocidad en el tramo será:

$$V = \frac{354 \times Q}{D^2 \times P}$$

$$V = \frac{354 * 47.78}{40.89^2 * (\frac{752}{1000} + \frac{326.17}{1000})}$$

$$V = 9.38 m/s$$

Se observa que empleando un diámetro de 1-1/2" en acero galvanizado se genera una caída de presión en el tramo de 18,58 mbar, equivalente a un 5,39% de pérdida acumulada y una velocidad inferior a 20 m/s. Luego se procede a calcular el siguiente tramo.

Los siguientes son los datos del tramo 1 – CM1:

Caudal sin corregir:	14,64 m³/h
Número de viviendas:	4
Factor de coincidencia:	0,753
Caudal corregido:	11,02 m³/h
Tubería propuesta:	acero galvanizado
Longitud real:	1,00 m
Long. equiv. accesorios:	7,49m
Longitud total:	8,49m

Presión inicial: 326,17 mbar
Presión local: 752 mbar (para Bogotá)

Se establece la presión al final del tramo y el porcentaje de pérdida de presión asignando un diámetro asumido de ¾" en acero galvanizado con un diámetro interno de 20,93 mm.

Aplicando la fórmula de Müeller se tiene:

$$P_2 = \left[P_1^2 - \left(\frac{Q \times G^{0.425} \times 10^7}{D^{2.725} \times 461} \right)^{1.7391} \times L \right]^{1/2}$$

$$P_2 = \left[(326{,}17 + 752)^2 - \left(\frac{11{,}02 * 0{,}67^{0{,}425} * 10^7}{40{,}89^{2{,}725} * 461} \right)^{1{,}7391} * 8{,}49 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$P_2 = 322{,}52 \text{ mbar}$$

Por tanto, el porcentaje de pérdidas en el tramo corresponde a:

$$\%Pérdidas = \frac{P_1 - P_2}{344{,}75\ mbar}$$

$$\%Pérdidas = \frac{326{,}17 - 322{,}52}{344{,}75\ mbar}$$

$$\%Pérdidas = 1{,}06\%$$

La pérdida acumulada es el resultado de la pérdida en el tramo RPE1 – 1 más el tramo 1 – CM1:

$$\%Pérdidas\ acumulada = 5{,}39\% + 1{,}06\% = 6{,}45\%$$

La velocidad en el tramo será:

$$V = \frac{354 \times Q}{D^2 \times P}$$

$$V = \frac{354 * 11{,}13}{20{,}93^2 * (\frac{752}{1000} + \frac{322{,}52}{1000})}$$

$$V = 8{,}29\ m/s$$

Para todos los tramos se repiten los cálculos anteriores verificando que las pérdidas acumuladas no sean mayores al 10% y que las velocidades no superen los 20 m/s. En la Tabla 26. *Cálculo para la red de media presión con la fórmula de Müeller.*, se ilustra el cálculo de todos los tramos en media presión.

Red de baja presión

En los centros de medición de las reguladoras de segunda etapa se reduce la presión a 23 mbar, distribuyendo de los medidores para cada apartamento.

Los siguientes son los datos del apartamento 102, tramo 1 – 2:

Caudal por apartamento:	3,66 m³/h
Tubería propuesta:	acero galvanizado
Longitud real:	7,05 m
Long. equiv. accesorios:	1,41 m (para la red de baja presión se puede estimar el 20% de la longitud real).
Longitud total:	8,46 m
Presión inicial:	21 mbar (del regulador se reduce a 23 mbar, pero se generan 2 mbar de pérdidas en el medidor).

Se encuentra la presión al final del tramo asegurando que al llegar al último tramo de conexión al artefacto mantenga la presión mínima requerida para su adecuado funcionamiento y que la velocidad no supere los 20 m/s.

En el primer tramo se asigna un diámetro de ½" en acero galvanizado con un diámetro interno de 15,80 mm.

Aplicando la fórmula de Renouard y despejando H, se tiene:

$$D = \left(\frac{23200 \times G \times L \times Q^{1.82}}{H} \right)^{0.2075}$$

$$H = \frac{23200 * G * L * Q^{1,82}}{D^{\frac{1}{0,2075}}}$$

$$H = \frac{23200 * 0,67 * 8,46 * 3,66^{1,82}}{15,80^{4,82}}$$

$$H = 2,33\ mbar$$

Teniendo una presión al final del tramo de 21 mbar – 2,33 mbar = 18,67 mbar.

La velocidad en el tramo será:

$$V = \frac{354 \times Q}{D^2 \times P}$$

$$V = \frac{354 * 3,66}{15,80^2 * (\frac{752}{1000} + \frac{18,67}{1000})}$$

$$V = 6,74\ m/s$$

Se observa que empleando un diámetro de ½" en acero galvanizado se genera una caída de presión mínima y una velocidad inferior a 20 m/s, manteniendo aún la presión suficiente para los siguientes tramos hasta llegar a los artefactos. Siendo así se procede a calcular el siguiente tramo.

Los siguientes son los datos del apartamento 102, tramo 2 – 3 (correspondiente al tramo de la estufa):

Caudal de la estufa:	0,70 m³/h
Tubería propuesta:	acero galvanizado
Longitud real:	2,90 m
Long. equiv. accesorios:	0,58 m
Longitud total:	3,48 m
Presión inicial:	18,67 mbar
Presión local:	752 mbar (para Bogotá)

Se encuentra la presión al final del tramo y el porcentaje de pérdida de presión asignando un diámetro asumido de ½" en acero galvanizado con un diámetro interno de 15,80 mm.

Aplicando la fórmula de Renouard se tiene:

$$D = \left(\frac{23200 \times G \times L \times Q^{1.82}}{H} \right)^{0.2075}$$

$$H = \frac{23200 * G * L * Q^{1,82}}{D^{\frac{1}{0,2075}}}$$

$$H = \frac{23200 * 0,67 * 3,48 * 0,70^{1,82}}{15,80^{4,82}}$$

$$H = 0,05\ mbar$$

Se tiene una presión al final del tramo de 18,67 mbar – 0,05 mbar = 18,62 mbar.

La velocidad en el tramo será:

$$V = \frac{354 \times Q}{D^2 \times P}$$

$$V = \frac{354 * 0,70}{15,80^2 * (\frac{752}{1000} + \frac{18,62}{1000})}$$

$$V = 1,29\ m/s$$

Se repiten los cálculos anteriores para todos los tramos verificando que las pérdidas acumuladas no sean mayores al 10% y que las velocidades no sean superiores a 20 m/s. En la Tabla 27. *Cálculo para la red de baja presión con la fórmula de Renouard.*, se ilustra el cálculo de todos los tramos en baja presión.

Si en los tramos de llegada a los artefactos la presión final calculada es inferior a la requerida se debe corregir ampliando los diámetros desde los tramos iniciales hasta donde sea necesario, con el fin de obtener las presiones requeridas por los gasodomésticos en los tramos finales.

CÁLCULO RED DE MEDIA PRESIÓN																								
TORRE Y Z. COMUN	TRAMO		CONSUMO (Q) Sin Corregir (M3/H)	NO. DE VIVIENDAS	FACTOR DE COINCIDENCIA	CONSUMO (Q) Corregido (M3/H)	DIAM/NOM (")	DIAM. INTERNO (") ACERO GALV.	LONG. REAL (Mt)	LONG. EQUI. (Mt)	LONG TOTAL (Mt)	PRESION INICIAL (Mbar)	PRESION FINAL (Mbar)	VELOCIDAD M/sg	PERDIDAS(%)		ACCESORIOS						
															TRAMO	ACUMULADA	ESPECIFICACIONES						Longitud Equiv.
																	CANT.	CODOS	CANT.	TEES	CANT,	VALVULAS	Total (m)
Torre 1	RPE1	1	87.84	24	0.544	47.78	1 1/2	40.89	55.42	26.06	81.48	344.75	326.17	9.38	5.39	5.39	10	9.80	1	2.34	1	13.92	26.06
	1	CM1	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	1.00	7.49	8.49	326.17	322.52	8.29	1.06	6.45	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	1	2	73.20	4	0.753	55.12	1 1/4	35.05	2.50	2.00	4.50	326.17	323.41	14.77	0.80	6.19	0	0.00	1	2.00	0	0.00	2.00
	2	CM2	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	1.00	7.49	8.49	323.41	319.76	8.31	1.06	7.25	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	2	3	58.56	4	0.753	44.10	1 1/4	35.05	2.50	2.00	4.50	323.41	321.54	11.83	0.54	6.73	0	0.00	1	2.00	0	0.00	2.00
	3	CM3	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	1.00	7.49	8.49	321.54	317.87	8.33	1.06	7.80	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	3	4	43.92	4	0.753	33.07	1	26.64	2.50	1.45	3.95	321.54	317.87	15.41	1.06	7.80	0	0.00	1	1.45	0	0.00	1.45
	4	CM4	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	1.00	7.49	8.49	317.87	314.19	8.36	1.07	8.86	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	4	5	29.28	8	0.664	19.44	1	26.64	2.50	1.45	3.95	317.87	316.41	9.07	0.42	8.22	0	0.00	1	1.45	0	0.00	1.45
	5	CM5	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	1.00	7.49	8.49	316.41	312.73	8.37	1.07	9.29	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	5	CM6	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	3.50	7.96	11.46	316.41	311.43	8.38	1.44	9.66	2	0.94	0	0.00	1	7.02	7.96
Torre 1	RPE2	1	87.84	24	0.544	47.78	1 1/2	40.89	70.42	27.04	97.46	344.75	322.49	9.41	6.46	6.46	11	10.78	1	2.34	1	13.92	27.04
	1	CM7	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	0.50	7.49	7.99	322.49	319.04	8.32	1.00	7.46	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	1	2	73.2	4	0.753	55.12	1 1/4	35.05	2.50	2.00	4.50	322.49	319.72	14.82	0.80	7.26	0	0.00	1	2.00	0	0.00	2.00
	2	CM8	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	0.50	7.49	7.99	319.72	316.27	8.34	1.00	8.26	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	2	3	58.56	4	0.753	44.10	1 1/4	35.05	2.50	2.00	4.50	319.72	317.84	11.88	0.55	7.81	0	0.00	1	2.00	0	0.00	2.00
	3	CM9	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	0.50	7.49	7.99	317.84	314.38	8.35	1.00	8.81	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	3	4	43.92	4	0.753	33.07	1 1/4	35.05	2.50	2.00	4.50	317.84	316.70	8.92	0.33	8.14	0	0.00	1	2.00	0	0.00	2.00
	4	CM10	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	0.50	7.49	7.99	316.70	313.24	8.36	1.01	9.14	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	4	5	29.28	8	0.664	19.44	1	26.64	2.50	1.45	3.95	316.70	315.24	9.08	0.42	8.56	0	0.00	1	1.45	0	0.00	1.45
	5	CM11	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	0.50	7.49	7.99	315.24	311.77	8.37	1.01	9.57	1	0.47	0	0.00	1	7.02	7.49
	5	CM12	14.64	4	0.753	11.02	3/4	20.93	3.00	7.96	10.96	315.24	310.48	8.38	1.38	9.94	2	0.94	0	0.00	1	7.02	7.96
Cuarto de Caldera	RPE3	1	20.59	0	1	20.59	1	26.64	62.64	14.99	77.63	344.75	313.39	9.64	9.10	9.10	10	6.10	0	0.00	1	8.89	14.99

Tabla 26. ***Cálculo para la red de media presión con la fórmula de Müeller.***

CÁLCULO RED DE BAJA PRESIÓN																
TORRE TIPO	TRAMO		CAUDAL **Q** (m3/h)	DIAM./NOM. D (")	DIAM. INT mm (Ace.Gal.)	LONG./REAL **LR** (mt)	PERDIDAS TRAMO	PRESIÓN FINAL	VELOCIDAD (m/s)	**ACCESORIOS**					
										CODO	TEE	REDUCCION	UNION	TAPON	TOTAL
1--5 APTO 102	1	2	3.66	1/2	15.80	7.05	2.33	18.67	6.74	6	1	0	0	0	7
	2	3	0.70	1/2	15.80	2.90	0.05	18.62	1.29	4	0	0	0	1	5
	2	4	2.96	1/2	15.80	3.40	0.76	17.91	5.45	0	1	0	0	0	1
	4	5	2.06	1/2	15.80	1.85	0.21	17.69	3.79	1	0	0	0	1	2
	4	6	0.90	1/2	15.80	2.85	0.07	17.83	1.66	7	0	0	0	1	8
1--5 APTO 101	1	7	3.66	1/2	15.80	8.10	2.68	18.32	6.74	6	1	0	0	0	7
	7	8	0.70	1/2	15.80	2.90	0.05	18.28	1.29	4	0	0	0	1	5
	7	9	2.96	1/2	15.80	3.40	0.76	17.56	5.45	0	1	0	0	0	1
	9	10	2.06	1/2	15.80	1.85	0.21	17.35	3.80	1	0	0	0	1	2
	9	11	0.90	1/2	15.80	2.95	0.08	17.48	1.66	8	0	0	0	1	9
1--5 APTO 104	1	12	3.66	1/2	15.80	5.15	1.70	19.30	6.73	6	1	0	0	0	7
	12	13	2.96	1/2	15.80	2.25	0.51	18.79	5.45	4	0	0	0	1	5
	12	16	0.70	1/2	15.80	4.50	0.07	19.23	1.29	0	1	0	0	0	1
	13	14	2.06	1/2	15.80	1.20	0.14	18.65	3.79	1	0	0	0	1	2
	13	15	0.90	1/2	15.80	2.85	0.07	18.72	1.66	8	0	0	0	1	9
1--5 APTO 103	1	17	3.66	1/2	15.80	4.45	1.47	19.53	6.73	6	1	0	0	0	7
	17	18	2.96	1/2	15.80	2.25	0.51	19.02	5.44	4	0	0	0	1	5
	17	21	0.70	1/2	15.80	3.45	0.06	19.47	1.29	0	1	0	0	0	1
	18	19	2.06	1/2	15.80	1.20	0.14	18.89	3.79	1	0	0	0	1	2
	18	20	0.90	1/2	15.80	2.85	0.07	18.95	1.66	8	0	0	0	1	9

Tabla 27. ***Cálculo para la red de baja presión con la fórmula de Renouard.***

Después de realizar el trazado y su dimensionamiento se procede a revisar la ventilación del recinto. Lo primero es determinar si el espacio es confinado o no. Los apartamentos tienen 2,4 m de altura y el área desde donde se encuentran los artefactos a gas hasta donde se separan los espacios por puertas es de 34,50 m². El cuarto de calderas cuenta con un área de 20 m² y una altura útil de 2,4 m.

TIPO DE VENTILACION
1 ABERTURA DIRECTA AL EXTERIOR
2 DUCTOS HORIZONTALES AL EXTERIOR O VENT SUP UNICAMENTI
3 POR ARRASTRE DE RECINTOS INTERIORES

VENTILACION TORRE 1 (Tipo de Ventilación = 1)		
SECTOR	COCINA	
AREA SECTOR (M²)	ALTURA (M)	VOLUMEN REAL (M³)
34.50	2.4	57.96
((POTENCIA TOTAL (KW/h)	41.70	KW
VOLUMEN REQUERIDO	141.79	M^3
ESPACIO CONFINADO	VERDADERO	
ÁREA MÍNIMA LIBRE CALCULADA	250.22	CM^2

Tabla 28 ***Cálculo de las ventilaciones de la torre 1 (tipo de ventilación = 1).***

TIPO DE VENTILACION
1 ABERTURA DIRECTA AL EXTERIOR
2 DUCTOS HORIZONTALES AL EXTERIOR O VENT SUP UNICAMENTI
3 POR ARRASTRE DE RECINTOS INTERIORES

VENTILACION TORRE 1 (Tipo de Ventilación = 2)		
SECTOR	COCINA	
AREA SECTOR (M²)	ALTURA (M)	VOLUMEN REAL (M³)
34.50	2.4	57.96
((POTENCIA TOTAL (KW/h)	41.71	KW
VOLUMEN REQUERIDO	141.80	M^3
ESPACIO CONFINADO	VERDADERO	
ÁREA MÍNIMA LIBRE CALCULADA	458.76	CM^2

Tabla 29 ***Cálculo de las ventilaciones de la torre 1 (tipo de ventilación = 2).***

TIPO DE VENTILACION
1 ABERTURA DIRECTA AL EXTERIOR
2 DUCTOS HORIZONTALES AL EXTERIOR O VENT SUP UNICAMENTI
3 POR ARRASTRE DE RECINTOS INTERIORES

VENTILACION CUARTO CALDERA (Tipo de Ventilación = 1)		
SECTOR	COCINA	
AREA SECTOR (M²)	ALTURA (M)	VOLUMEN REAL (M³)
20.00	2.4	33.60
((POTENCIA TOTAL (KW/h)	234.5	KW
VOLUMEN REQUERIDO	797.16	M^3
ESPACIO CONFINADO	VERDADERO	
ÁREA MÍNIMA LIBRE CALCULADA	5158.11	CM^2

Tabla 30. ***Cálculo de las ventilaciones de la cocina (tipo de ventilación = 1).***

Con base en las tablas anteriores se concluye que los espacios son confinados, ya que el volumen disponible es menor al requerido, de acuerdo con la potencia instalada. En el capítulo 4 de este documento se dice que se requieren 3,4 m³ de volumen por cada kW de potencia instalada.

Como se muestra en la figura 63 se prevé ventilación encima y debajo del lavadero. Para solucionar el espacio requerido en la parte inferior del fregadero se dispone un poyo en concreto que garantice la sección para el ingreso de aire.

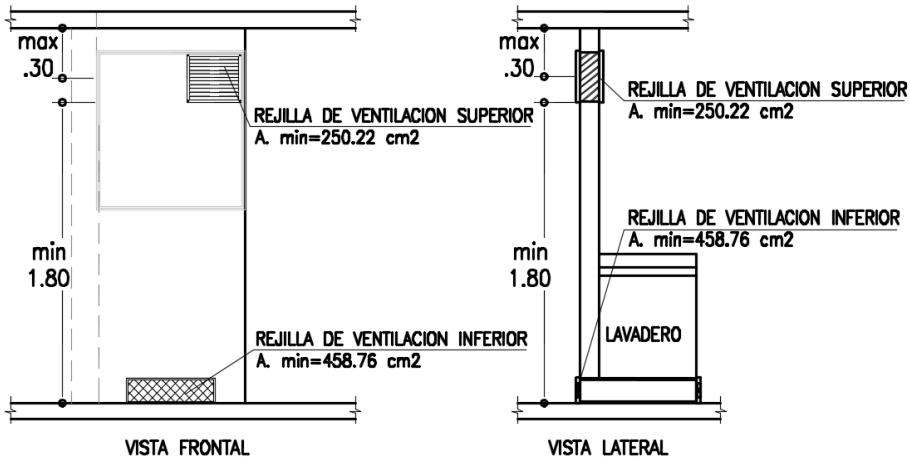


Figura 63. ***Detalle de ventilación en apartamentos.***

Debido a que los medidores están ubicados por piso y la circulación allí no es ventilada, se proponen nichos herméticos hacia el corredor con un ducto de ventilación en la parte posterior, ventilados hacia el exterior, como se muestra en la figura 64.

Teniendo en cuenta los aspectos normativos de ventilación para los nichos de medición, el área mínima requerida se debe expresar en cm², mínimo 10 veces el área en planta del nicho en m², y si se genera un ducto vertical, como es este caso, se debe afectar por un factor que depende de la altura total del ducto que ventila los nichos de todos los pisos. Para este caso la edificación tiene una altura de 35,50 m; por tanto, el valor calculado se afecta por un factor de 2,5.

Área del nicho:	0,73 m x 0,25 m = 0,1825 m²
Área mínima requerida:	10 x 0,1825 = 1,825 cm²; por tanto, se toma un mínimo de 20 cm²
Área afectada por longitud de ducto:	20 cm² x 2,5 = 50 cm²

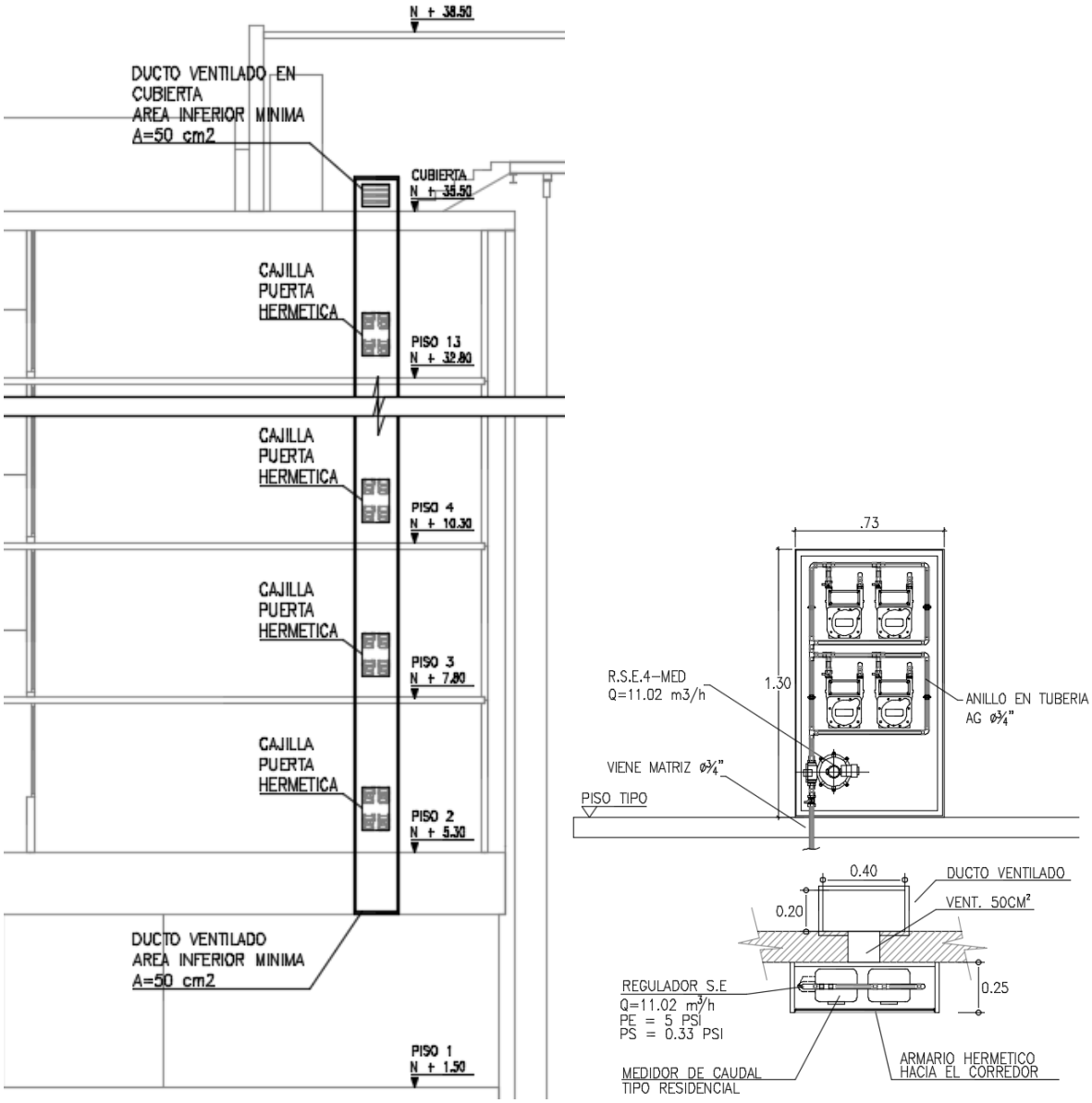


Figura 64. ***Detalle de los nichos de medición de apartamentos.***

Una vez resueltas las ventilaciones, se revisan los desfogues de los equipos tipos B1 o B2. En este caso se proyectan calentadores de tiro forzado (B2). De acuerdo con la figura 61, se planean los desfogues por fachada hacia vacío interno. Con base en la información de la sección 4.3.6, Vacíos internos para ventilación, se resuelve de la siguiente manera:

CALCULO DE VENTILACIONES VACIO INTERNO		
IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA	SISTEMAS DE VENTILACION Y EVACUACIÓN	
NÚMERO DE PISOS	12.00	UND
POTENCIA CAL TIRO FORZADO	23.45	KW
AREA VACIO TORRE TIPO	10.79	M2
N° DE CALENTADORES	24.00	UND
CASO 3 - DESARROLLO POR PRIMER PISO		
AREA MIN VENTILACION EN LA BASE	12,379.84	CM2
AREA MIN LIBRE POR PISO (7 + PISOS)	9.60	M2
$A = N^{*}0.4 > 4m2$	OK	
LONG.MINIMA >= 2m L=	2.53	M
LONG. MAS CORTA EN PLANTA L=	2.65	M
LONG. MAS CORTA ≥ LONG. MÍNIMA	OK	
VENTILACIÓN PARA TECHADO O DOMO	6.00	M2
AREA VACIO CUMPLE	CUMPLE	

Tabla 31. ***Cálculo de ventilaciones en vacío interno.***

De acuerdo con la figura 61, la ventilación de los recintos y la evacuación de los productos de la combustión de los calentadores se debe realizar por medio del vacío interno, el cual debe cumplir con el área mínima requerida en la cubierta del vacío y tener la longitud mínima de los lados. Debido a que el suministro del área al vacío se debe hacer por el primer piso, el espacio mínimo de ventilación de la base del vacío debe ser de 22 cm² por cada kilovatio instalado.

Para la chimenea de la caldera se debe tener presente el tipo de artefacto (en este caso es tipo B1 tiro natural), la longitud horizontal y la altura desde el conector de la caldera hasta el inicio del sombrerete. Con estos datos y, dependiendo del material (ducto metálico), se consultan las tablas de la NTC 3833, donde de acuerdo con la potencia instalada y la longitud de la chimenea se dimensiona el ducto.

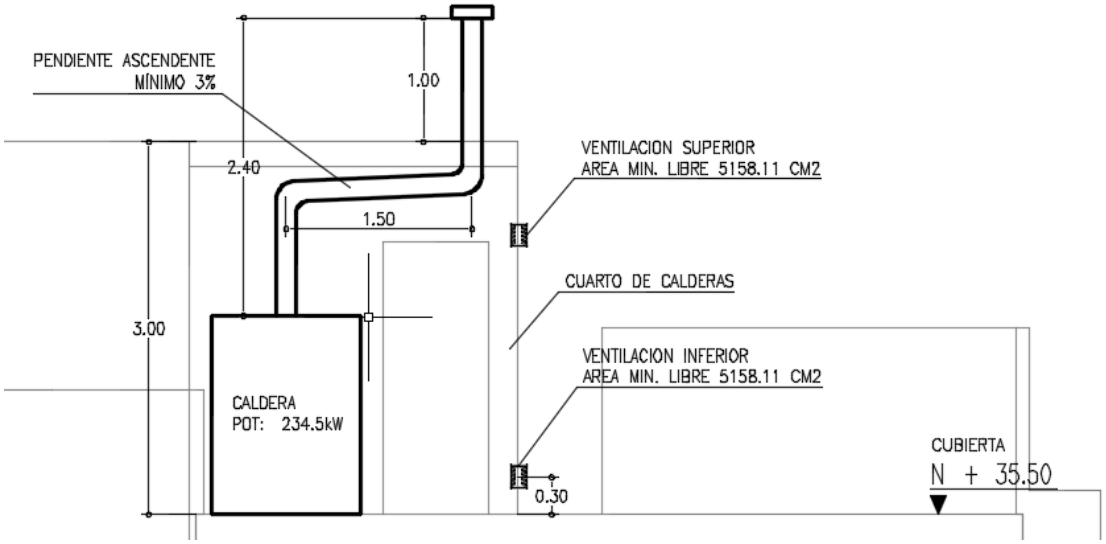


Figura 65. ***Detalle del cuarto de caldera en la cubierta de la torre 1.***

En la tabla A.1 de la norma NTC 3833, que trata sobre el dimensionamiento de conectores y chimeneas metálicas de pared sencilla, se localiza el H igual o superior al que se encuentra en el diseño, así como la longitud L de la chimenea. Posteriormente se busca el diámetro adecuado que supla la potencia igual o superior a la instalada.

En el caso del ejemplo, como se observa en la Tabla 32. *Dimensionamiento de ductos o chimeneas con pared metálica sencilla (tomado de la NTC 3833).*, se concluye que una chimenea con un diámetro de 356 mm (14") es ideal para la evacuación de los gases de combustión de la caldera propuesta.

H	L	Diámetro nominal D (mm)											
		254			305			356			406		
m	m	Potencia total											
		MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
		Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx
1,8	0,0	0	1183	601	0	1736	897	0	2392	1234	0	3147	1614
	0,6	79	712	480	109	1036	686	146	1420	939	188	1866	1234
	1,2	116	705	470	155	1029	675	202	1412	928	255	1858	1224
	1,8	135	697	459	180	1020	665	231	1403	918	291	1850	1213
2,4	0,0	0	1330	696	0	1960	1023	0	2713	1393	0	3586	1836
	0,6	75	812	543	103	1186	786	137	1628	1076	177	2142	1414
	1,5	121	800	531	162	1171	773	210	1612	1066	265	2124	1403
	2,4	145	787	517	190	1157	760	244	1597	1055	305	2110	1393

Tabla 32. ***Dimensionamiento de ductos o chimeneas con pared metálica sencilla (tomado de la NTC 3833).***

8.2 Ejemplo de diseño en edificaciones comerciales

Diseñar la red de gas natural para el restaurante Crepes & Waffles ubicado en un centro comercial de Bogotá. El centro comercial cuenta con una línea de gas natural proyectada para este local, con un diámetro de ø2", como se ilustra en la figura 66. Adicionalmente, tiene un medidor de 30 m³/h de capacidad.

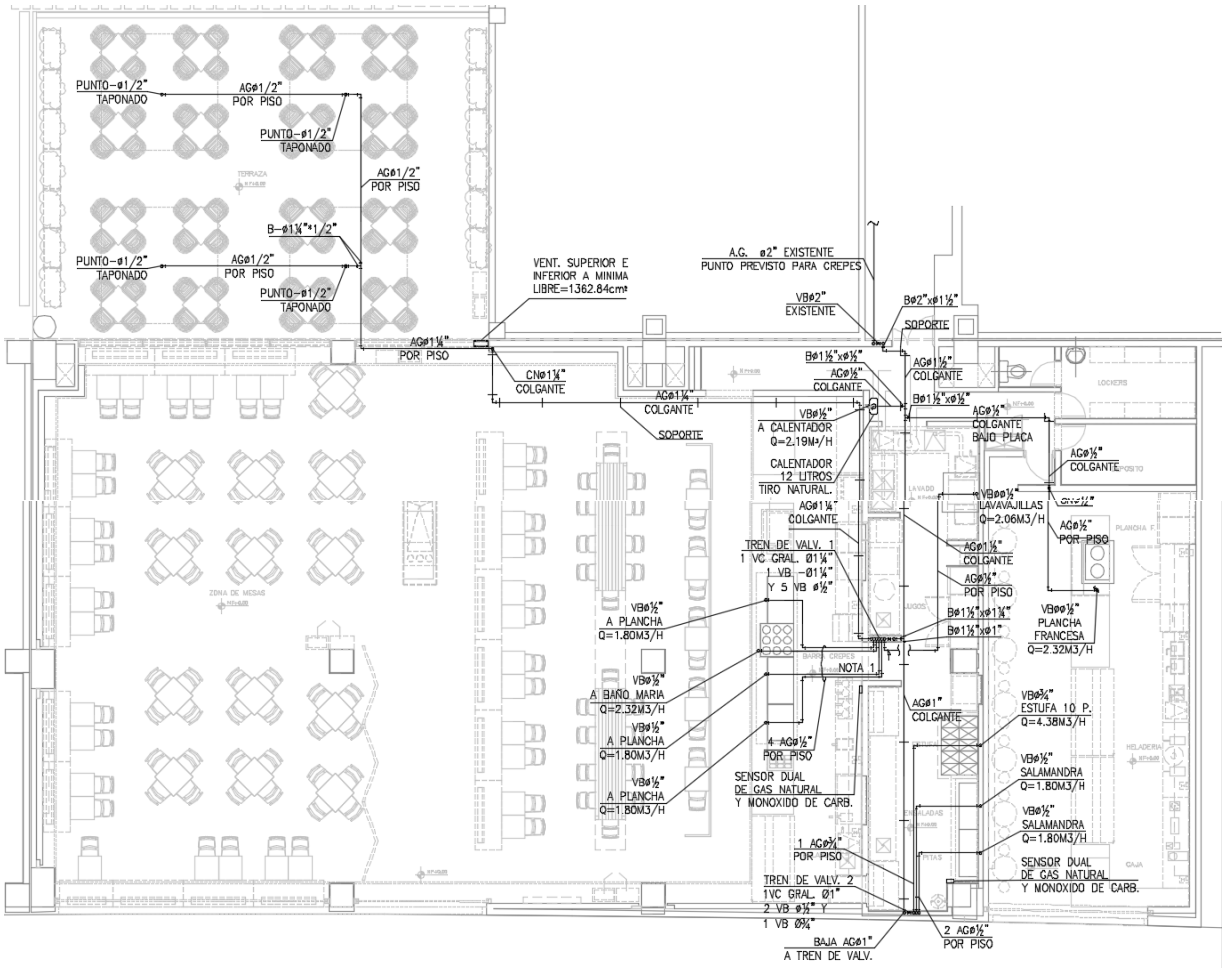


Figura 66. ***Planta con trazado para el restaurante Crepes & Waffles.***

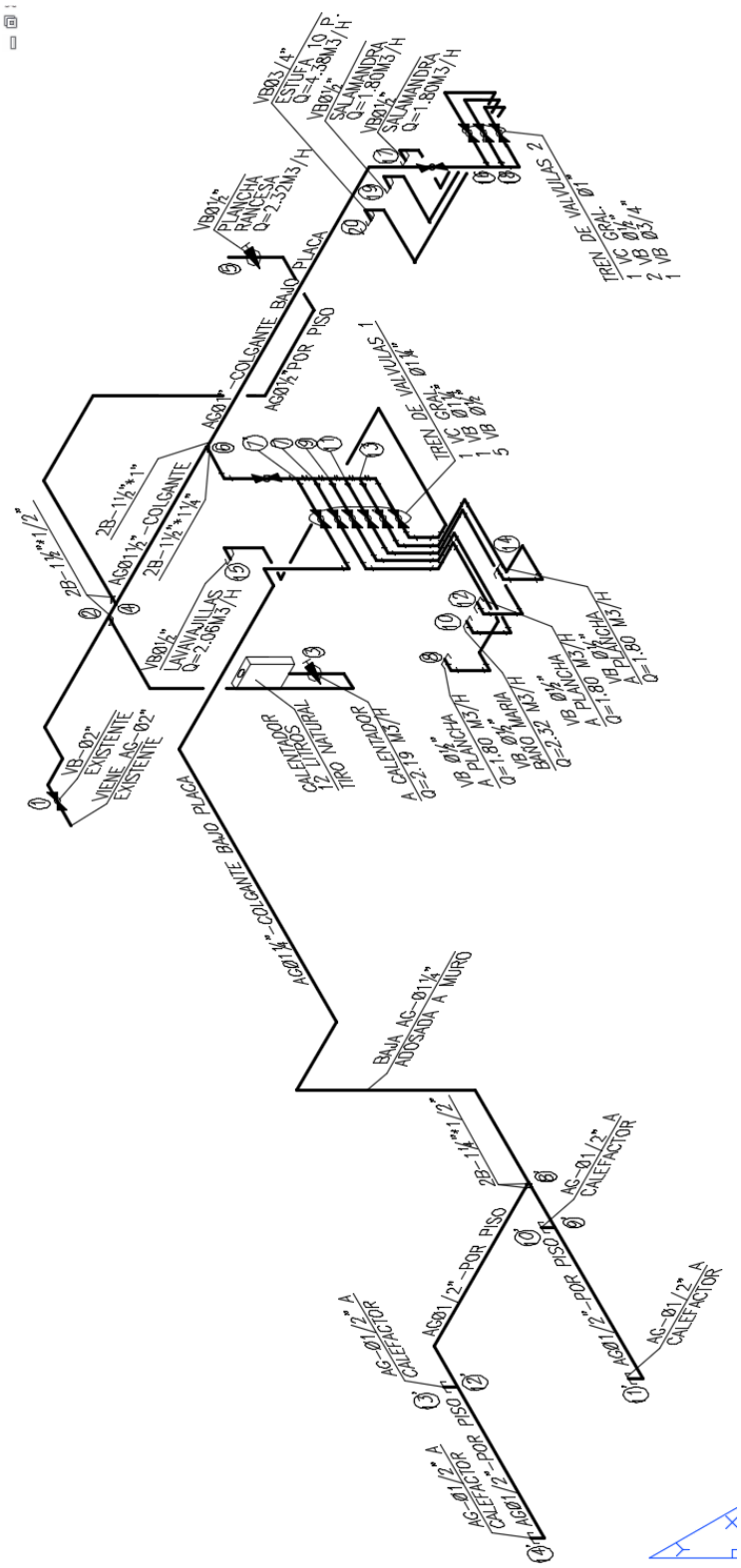


Figura 67. ***Isométrico del trazado para el restaurante Crepes & Waffles.***

Se consideran los siguientes datos de entrada:

- Material de la tubería: acero galvanizado
- La presión en el punto de conexión a la red existente se garantiza en 23 mbar
- Potencia nominal del calentador 12 lt tiro natural: 24,91 kW
- Potencia nominal de la plancha francesa: 26,38 kW
- Potencia nominal de la plancha: 20,52 kW
- Potencia nominal del baño de María: 26,38 kW
- Potencia nominal del lavavajillas: 23,45 kW
- Potencia nominal de la estufa de 10 quemadores: 49,82 kW
- Potencia nominal de la salamandra: 20,52 kW
- Potencia nominal del calefactor de ambiente: 18,76 kW

Conociendo la potencia de los equipos que se van a instalar se determina el caudal requerido para el local.

Para convertir de kW/h a m³/h se divide la cantidad en 11,38 m³/h/kW. Para pasar de kW/h a BTU/h se multiplica la cantidad por 3412 BTU/h/kW.

Artefactos a gas para Local Crepes&Waffles	CONSUMO BTU/H	CONSUMO M3/H	CANTIDAD	CONSUMO TOTAL BTUS	CONSUMO TOTAL KW	CONSUMO M3/H TOTAL
CALENTADOR 12 LT TIRO NAT.	85000	2.19	1	85000.00	24.91	2.19
PLANCHA FRANCESA	90000	2.32	1	90000.00	26.38	2.32
PLANCHA	70000	1.80	3	210000.00	61.55	5.40
BAÑO DE MARIA	90000	2.32	1	90000.00	26.38	2.32
LAVAVAJILLAS	80000	2.06	1	80000.00	23.45	2.06
ESTUFA 10 QUEMADORES	170000	4.38	1	170000.00	49.82	4.38
SALAMANDRA	70000	1.80	2	140000.00	41.03	3.60
CALEFACTOR DE AMBIENTE	64000	1.65	4	256000.00	75.03	6.59
CONSUMO TOTAL				**1121000.00**	**328.55**	**28.85**

Tabla 33. ***Consumos de los artefactos para el restaurante Crepes & Waffles.***

Se prevé que los artefactos a gas trabajen de manera simultánea, razón por la cual la línea principal se debe dimensionar con el consumo total sin factor de coincidencia.

De acuerdo con el consumo requerido de 28,85 m³/h y el medidor existente disponible de 30 m³/h, se valida que este medidor es apto para alimentar el restaurante sin ningún problema.

Se enumeran los tramos de las redes principales y secundarias, como se ilustra en la figura 67. Luego se calculan las longitudes equivalentes de cada tramo, las cuales corresponden a la longitud real + la longitud equivalente a tramo recto de tubería por pérdidas en accesorios. A continuación, se ilustran las longitudes reales y las equivalentes por accesorios en cada tramo.

TRAMO		LONG./REAL **LR** (mt)	ACCESORIOS					
			CODO	TEE	REDUCCION	UNION	TAPON	TOTAL
1	2	2.75	2	1				3
2	3	3.35	3		1		1	5
2	4	0.5		1	1			2
4	5	14.35	7	1	1		1	10
4	6	6.8		1				1
6	7'	2	1	1	2			4
7'	8'	28.8	1	1	2			4
8'	9'	0.4	1	1	2			4
9'	10'	0.1	1	1	2			4
9'	11'	4.8	1	1	2			4
8'	12'	4.8	1	1	2			4
12'	13'	0.1	1	1	2			4
12'	14'	4.8	1	1	2			4
7'	7	0.2	1	1	2			4
7	8	6.3	6				1	7
7	9	0.2		1	1			2
9	10	5.7	5				1	6
9	11	0.2		1	1			2
11	12	6.1	5		1		1	7
11	13	0.2		1				1
13	14	7.5	7				1	8
13	15	9.4	8				1	9
6	16	9.45	1	1	1		1	4
16	17	5.8	5				1	6
16	18	0.2		1	1			2
18	19	7	5	1			1	7
18	20	8.55	6				1	7

Tabla 34. ***Longitudes reales y equivalentes por accesorios para los tramos de la tubería en el local del restaurante.***

Para determinar las longitudes equivalentes de los accesorios se tiene en cuenta la siguiente tabla:

Accesorio	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
CODO	0.33	0.47	0.61	0.84	0.98	1.25	1.42	1.87	2.46
TEE	0.78	1.12	1.45	2	2.34	2.99	3.4	4.48	5.91
VALVULA	5.05	7.02	8.89	12.02	13.92	17.66	19.95	26.13	34.25

Tabla 35. ***Longitudes equivalentes de accesorios por diámetro.***

Después de identificar las longitudes por tramo se calculan las pérdidas de presión por tramo, teniendo presente que la presión inicial del nuevo tramo corresponde a la presión del tramo anterior.

Cabe aclarar que en las redes secundarias (baja presión) la presión de llegada a los artefactos no debe ser menor a la que éstos requieren.

A continuación, se presenta un ejemplo para el cálculo de dos tramos en una red de baja presión.

Red de baja presión

El procedimiento es igual que para las edificaciones residenciales. En el caso del local para el restaurante se inicia con el primer tramo, correspondiente a una tubería de 1-1/2" en acero galvanizado, que debe transportar 30 m³/h.

Los siguientes son los datos del primer tramo del local:

Caudal de entrada:	30,00 m³/h
Tubería propuesta:	acero galvanizado
Longitud real:	2,75 m
Long. equiv. accesorios:	0,55 m (para una red de baja presión se puede estimar el 20% de la longitud real)
Longitud total:	3,30 m
Presión inicial:	22,75 mbar

Se encuentra la presión al final del tramo asegurando que al llegar a la última parte de la conexión al artefacto mantenga la presión mínima requerida para su adecuado funcionamiento y que la velocidad no supere los 20 m/s.

En el primer tramo se asigna un diámetro de 1½" propuesto en acero galvanizado con un diámetro interno de 40,89 mm.

Aplicando la fórmula de Renouard y despejando H, se tiene:

$$D = \left(\frac{23200 \times G \times L \times Q^{1.82}}{H} \right)^{0.2075}$$

$$H = \frac{23200 * G * L * Q^{1,82}}{D^{\frac{1}{0,2075}}}$$

$$H = \frac{23200 * 0,67 * 3,30 * 30,0^{1,82}}{40,89^{4,82}}$$

$$H = 0,43\ mbar$$

Se tiene una presión al final del tramo de 22,75 mbar – 0,43 mbar = 22,33 mbar.

La velocidad en el tramo será:

$$V = \frac{354 \times Q}{D^2 \times P}$$

$$V = \frac{354 * 30,0}{40,89^2 * (\frac{752}{1000} + \frac{22,33}{1000})}$$

$$V = 8,77\ m/s$$

Se observa que al emplear un diámetro de ½" en acero galvanizado se genera una caída de presión mínima y una velocidad inferior a 20 m/s, manteniendo aún la presión suficiente para los siguientes tramos hasta llegar a los artefactos. Se procede a calcular el siguiente tramo.

Se repite el cálculo anterior para todos los tramos verificando que las presiones a la llegada de los artefactos no sean inferiores a las requeridas y que las velocidades no sean superiores a 20 m/s. En la Tabla 36. *Cálculo de la red de baja presión con la fórmula de Renouard.*, se muestra el cálculo de todos los tramos en baja presión.

En caso de que en los tramos de llegada a los artefactos la presión final calculada sea inferior a la requerida se debe corregir ampliando los diámetros desde los tramos iniciales hasta donde sea necesario, con el fin de obtener las presiones requeridas por los gasodomésticos en los tramos finales.

TRAMO		CAUDAL	DIAM./NOM.	DIAM. INT	LONG./REAL	PERDIDAS	PRESIÓN	VELOCIDAD	ACCESORIOS					
		Q (m3/h)	D (")	mm	**LR** (mt)	TRAMO	FINAL	(m/s)	CODO	TEE	REDUCCION	UNION	TAPON	TOTAL
1	2	30.00	1 1/2	40.89	2.75	0.43	22.33	8.77	2	1				3
2	3	2.19	1/2	15.80	3.35	0.43	21.89	4.28	3		1		1	5
2	4	27.81	1 1/2	40.89	0.5	0.07	22.26	8.13		1	1			2
4	5	2.32	1/2	15.80	14.35	2.06	20.20	4.52	7	1	1		1	10
4	6	25.50	1 1/2	40.89	6.8	0.78	21.47	7.45		1				1
6	7'	16.37	1 1/4	35.05	2	0.22	21.26	6.50	1	1	2			4
7'	8'	6.59	1 1/4	35.05	28.8	0.60	20.66	2.62	1	1	2			4
8'	9'	3.29	1/2	15.80	0.4	0.11	20.55	6.44	1	1	2			4
9'	10'	1.65	1/2	15.80	0.1	0.01	20.54	3.22	1	1	2			4
9'	11'	1.65	1/2	15.80	4.8	0.37	20.18	3.22	1	1	2			4
8'	12'	3.29	1/2	15.80	4.8	1.31	19.35	6.43	1	1	2			4
12'	13'	1.65	1/2	15.80	0.1	0.01	19.34	3.21	1	1	2			4
12'	14'	1.65	1/2	15.80	4.8	0.37	18.98	3.21	1	1	2			4
7'	7	9.78	1	26.64	0.2	0.03	21.22	6.73	1	1	2			4
7	8	1.80	1/2	15.80	6.3	0.57	20.65	3.52	6				1	7
7	9	7.98	1	26.64	0.2	0.02	21.20	5.49		1	1			2
9	10	2.32	1/2	15.80	5.7	0.82	20.38	4.53	5				1	6
9	11	5.66	1	26.64	0.2	0.01	21.19	3.89		1	1			2
11	12	1.80	1/2	15.80	6.1	0.55	20.64	3.52	5		1		1	7
11	13	3.86	1	26.64	0.2	0.01	21.19	2.65		1				1
13	14	1.80	1/2	15.80	7.5	0.68	20.50	3.52	7				1	8
13	15	2.06	1/2	15.80	9.4	1.09	20.10	4.02	8				1	9
6	16	9.13	1	26.64	9.45	1.33	20.15	6.27	1	1	1		1	4
16	17	1.80	1/2	15.80	5.8	0.53	19.62	3.52	5				1	6
16	18	7.33	3/4	20.93	0.2	0.06	20.09	8.15		1	1			2
18	19	1.80	1/2	15.80	7	0.64	19.45	3.52	5	1			1	7
18	20	4.38	3/4	20.93	8.55	1.01	19.08	4.86	6				1	7

Tabla 36. ***Cálculo de la red de baja presión con la fórmula de Renouard.***

Después de realizar el trazado y su dimensionamiento se procede a revisar la ventilación del recinto. Lo primero es determinar si el espacio es confinado o no. El local para el restaurante tiene 2,5 m de altura y se divide en dos áreas donde hay instalados artefactos a gas. La primera división corresponde al área de barra y cuenta con una plancha francesa, con un espacio de 57,7 m². La segunda división es el área de mesas y está comunicada con la cocina, donde se encuentran los demás artefactos sin incluir los calefactores, y tiene un área total de 321,6 m².

TIPO DE VENTILACIÓN
1 ABERTURA DIRECTA AL EXTERIOR
2 DUCTOS HORIZONTALES AL EXTERIOR O VENT SUP UNCAMENTE
3 POR ARRASTRE DE RECINTOS INTERIORES

VENTILACIÓN LOCAL CREPES&WAFFLES (Tipo de Ventilación = 1)		
SECTOR	**BARRA**	
AREA SECTOR	**ALTURA**	**VOL. REAL=VOL.TOTAL*0,7**
57.7	**2.5**	**100.975**
((POTENCIA TOTAL (KW/h)	**26.38**	**KW**
VOLUMEN REQUERIDO	**89.68**	**M^3**
ESPACIO CONFINADO	**FALSO**	

Tabla 37. Cálculo de ventilaciones en el sitio de la plancha francesa, local Crepes&Waffles.

TIPO DE VENTILACIÓN
1 ABERTURA DIRECTA AL EXTERIOR
2 DUCTOS HORIZONTALES AL EXTERIOR O VENT SUP UNCAMENTE
3 POR ARRASTRE DE RECINTOS INTERIORES

VENTILACIÓN LOCAL CREPES&WAFFLES (Tipo de Ventilación = 1)		
SECTOR	**BARRA CREPPES**	
AREA SECTOR	**ALTURA**	**VOL. REAL=VOL.TOTAL*0,7**
321.6	**2.5**	**562.8**
((POTENCIA TOTAL (KW/h)	**227.14**	**KW**
VOLUMEN REQUERIDO	**772.27**	**M^3**
ESPACIO CONFINADO	**VERDADERO**	
AREA MÍNIMA LIBRE CALCULADA	**1362.84**	**CM^2**

Tabla 38. Cálculo de ventilaciones en el sitio de la barra-cocina, local Crepes&Waffles.

Con base en estos cálculos, se concluye que el espacio donde se encuentra la plancha francesa no es confinado y, por lo tanto, no requiere ventilación, mientras que el área de barra es confinada y requiere una ventilación superior e inferior mínima de 1362,84 cm² y se debe ubicar hacia el exterior. Como se observa en el plano de la planta, se proyecta hacia la terraza, que está directamente comunicada con el exterior.

Como se mencionó en los datos de entrada, se prevé un calentador de 12 litros de tiro natural, por lo que se debe calcular un ducto de evacuación de gases de la combustión. Para esto se revisan las tablas de la NTC 3833, que contienen el diámetro requerido para este ducto, a

sabiendas de que será vertical y metálico de pared sencilla. En la figura 68 se ilustra el detalle de este calentador y su desfogue.

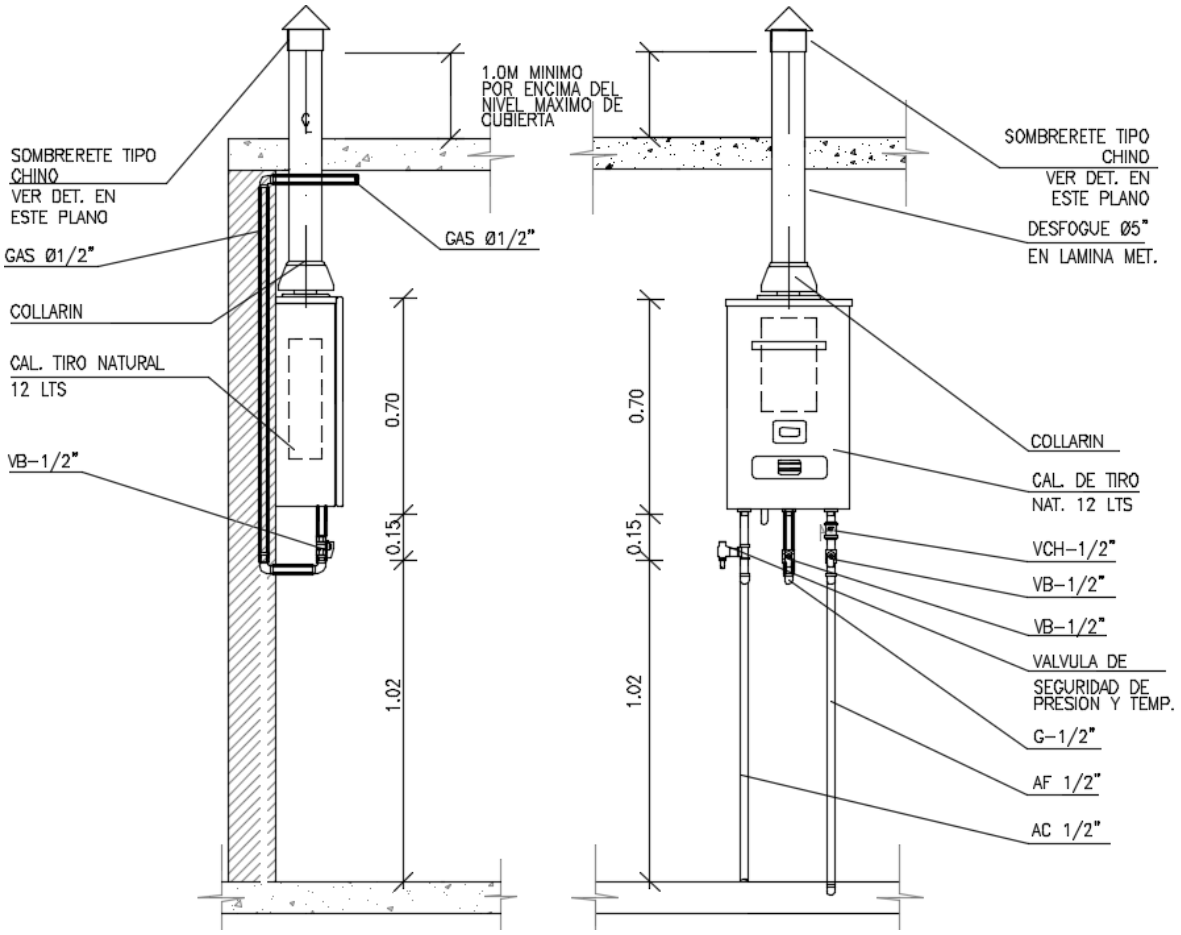


Figura 68 ***Detalle del calentador de 12 litros de tiro natural.***

En la tabla A.1 de la norma NTC 3833, correspondiente al dimensionamiento de conectores y chimeneas metálicas de pared sencilla, se localiza el H igual o superior al que se encuentra en diseño, así como la longitud L de la chimenea. Luego se busca el diámetro adecuado que supla la potencia igual o superior a la instalada.

Para este ejemplo, como se observa en la Tabla 39. *Dimensionamiento de ductos o chimeneas con pared metálica sencilla (tomado de la NTC 3833).*, se concluye que una chimenea con un diámetro de 102 mm (4”) es suficiente para evacuar los gases de combustión de la caldera propuesta. Sin embargo, como regla general, se debe mantener como mínimo el diámetro del collarín del artefacto, en este caso se toma el de 127 mm (5”).

H	L	Diámetro nominal D (mm)														
		76			102			127			152			178		
m	m	Potencia total instalada en MJ/h														
		MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
		Min	Máx	Máx	Min	Máx	Máx	Min	Máx	Máx	Min	Máx	Máx	Min	Máx	Máx
1,8	0,0	0	82	49	0	160	91	0	265	149	0	396	216	0	553	301
	0,6	14	54	38	19	102	71	28	166	111	34	245	166	46	339	229
	1,2	22	52	36	32	99	68	41	161	109	53	239	161	70	333	223
	1,8	26	49	34	38	96	64	50	157	106	62	235	157	82	327	216
2,4	0,0	0	89	53	0	174	99	0	291	164	0	438	248	0	615	338
	0,6	13	60	42	17	115	79	26	188	127	30	277	190	44	385	261
	1,5	24	56	40	34	109	75	44	180	121	56	269	183	74	376	250
	2,4	30	52	37	41	103	70	54	173	115	68	261	174	89	366	239

Tabla 39. ***Dimensionamiento de ductos o chimeneas con pared metálica sencilla (tomado de la NTC 3833).***

8.3 Ejemplo de diseño en edificaciones industriales

Se requiere diseñar la red de gas natural para una planta de fabricación de diversos tipos de adhesivos a base de poliacetato de vinilo, cloropreno, PVA de alta concentración, entre otras sustancias químicas. Para la producción de estos productos la empresa necesita varias calderas y un calderín con los siguientes requerimientos de entrada:

- Material de la tubería: Cobre tipo L y polietileno
- Presión de la red en el parque industrial: 60 PSI
- Potencia nominal de caldera 1: 2452,71 kW
- Potencia nominal de caldera 2: 398,53 kW
- Potencia nominal del calderín: 500,00 kW

Sabiendo qué equipos se van a instalar y sus potencias, se procede a determinar el caudal requerido para la planta.

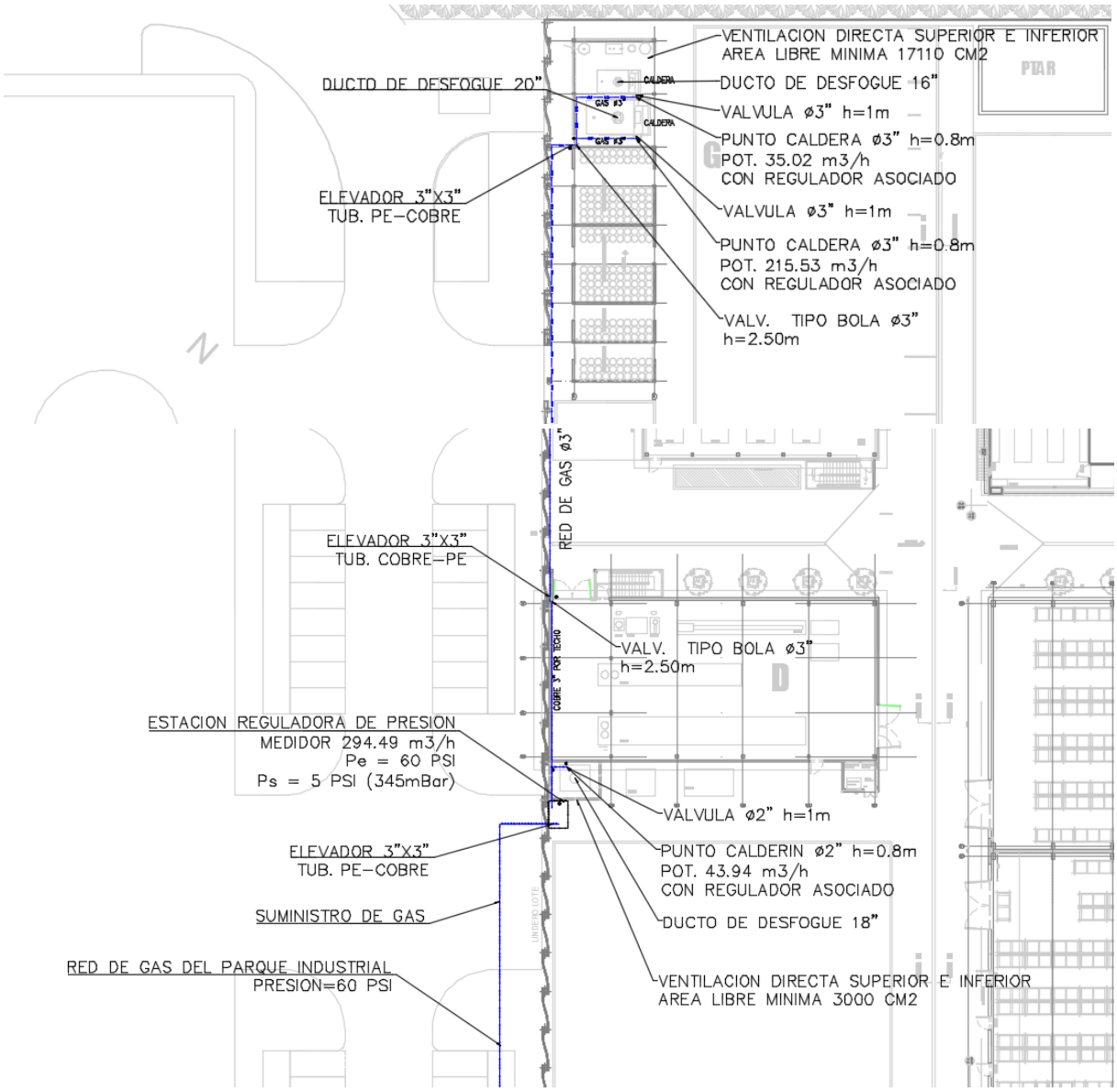


Figura 69. ***Red de gas en la planta de producción de pegantes.***

Para convertir de kW/h a m³/h se divide la cantidad en 11,38 m³/h/kW y de kW/h a BTU/h se multiplica por 3412 BTU/h/kW.

Tipo de Aparato	Cant.	Potencia (Kw)		Caudal m3/H
		Unit.	Total	
CALDERA 1	1	2,452.71	2,452.71	215.53
CALDERA 2	1	398.53	398.53	35.02
CALDERIN	1	500.00	500.00	43.94
Total Estimativo de Consumo			**3,351.24**	**294.49**

Tabla 40. ***Consumos de gas para la planta de producción de pegantes.***

Se prevé que los equipos a gas pueden trabajar de manera simultánea, razón por la cual la línea principal se debe dimensionar con el consumo total sin factor de coincidencia.

Posteriormente se enumeran los tramos de las redes principales y secundarias, como se ilustra en las figuras 70 y 71. Luego se calculan las longitudes equivalentes de cada tramo, las cuales consisten en la longitud real + la longitud equivalente a tramo recto de tubería por pérdidas en accesorios. A continuación, se ilustran las longitudes reales en cada tramo y las equivalentes por accesorios en los tramos.

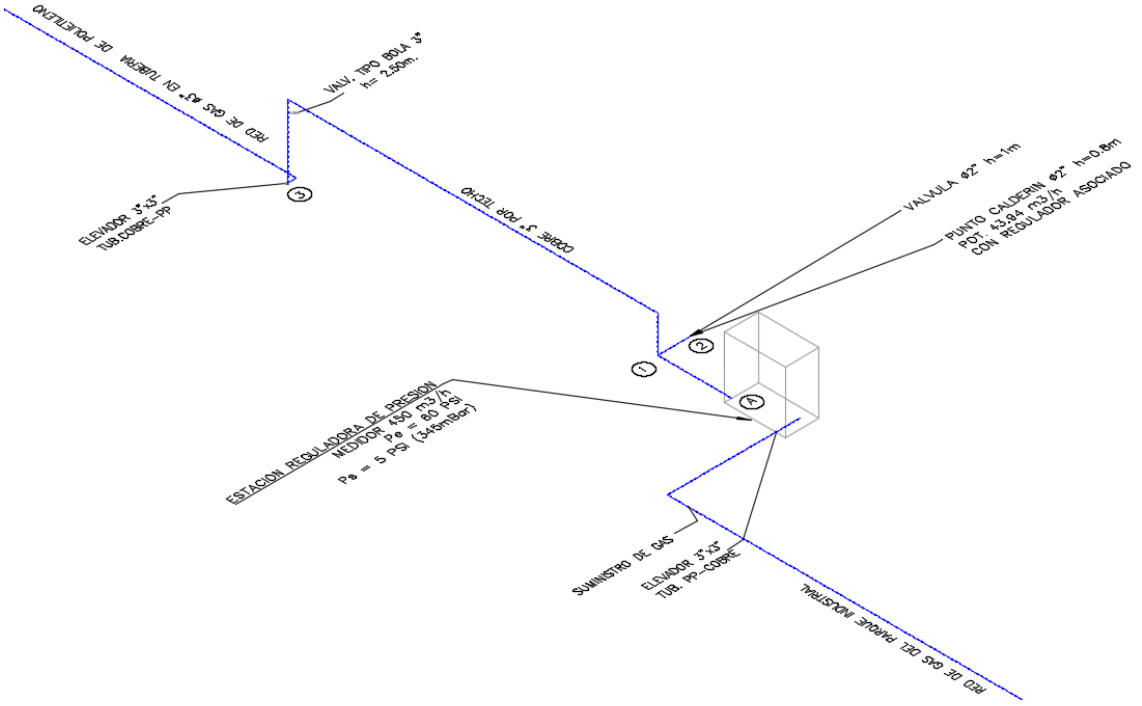


Figura 70. ***Isométrico de la red de gas en la planta de producción de pegantes con numeración en nodos. (1-2)***

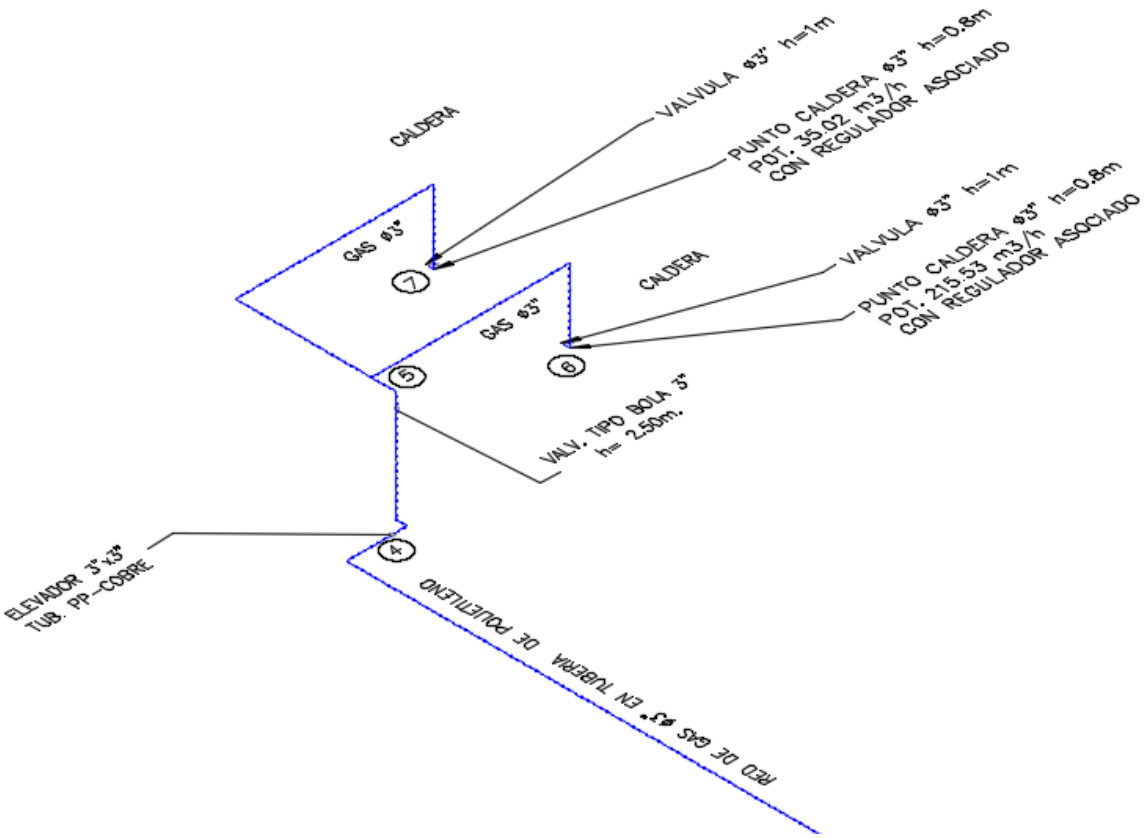


Figura 71. ***Isométrico de la red de gas en la planta de producción de pegantes con numeración en nodos.(2-2)***

TRAMO	LONGITUD	
	REAL	EQUIV.
	m	m
A - 1	3.05	3.66
1 - 2	2.00	2.40
2 - 3	20.60	24.72
3 - 4	101.50	121.80
4 - 5	4.50	5.40
5 - 6	7.70	9.24
5 - 7	11.50	13.80

Tabla 41. ***Longitudes reales más longitudes equivalentes de la red.***

Después de identificar las longitudes por tramo se calculan las pérdidas de presión por trecho, teniendo presente que la presión inicial del nuevo trecho corresponde a la presión del tramo anterior.

A continuación, se presenta como ejemplo el cálculo de un tramo para la red de media presión.

Red de media presión

De la acometida de Gas Natural se reduce la presión de 60 a 5 psig con la reguladora de primera etapa. De dicha acometida sale la línea de media presión hacia el centro de medición, iniciando el primer tramo en 5 psig, equivalente a 345 mbar.

Los siguientes son los datos del tramo A - 1:

Caudal sin corregir:	294,49 m³/h
Factor de coincidencia:	1,0
Tubería propuesta:	polietileno
Longitud real:	3,05 m
Long. equiv. accesorios:	0,61 m
Longitud total:	3,66 m
Presión inicial:	345 mbar
Presión local:	746 mbar

La presión al final del tramo y el porcentaje de pérdida de presión se establecen asignando un diámetro asumido de 3" en polietileno, con un diámetro interno de 74,80 mm.

Aplicando la fórmula de Müeller se tiene:

$$P_2 = \left[P_1^2 - \left(\frac{Q \times G^{0.425} \times 10^7}{D^{2.725} \times 461} \right)^{1.7391} \times L \right]^{1/2}$$

$$P_2 = \left[(345 + 746)^2 - \left(\frac{294{,}49 * 0{,}67^{0{,}425} * 10^7}{74{,}80^{2{,}725} * 461} \right)^{1{,}7391} * 3{,}66 \right]^{\frac{1}{2}}$$

P_2 = 343,88 mbar

Por tanto, el porcentaje de pérdidas corresponde a:

$$\%Pérdidas = \frac{P_1 - P_2}{344{,}75\ mbar}$$

$$\%Pérdidas = \frac{345 - 344{,}75}{345\ mbar}$$

$$\%Pérdidas = 0{,}33\%$$

La velocidad en el tramo debe ser:

$$V = \frac{354 \times Q}{D^2 \times P}$$

$$V = \frac{354 * 294{,}49}{74{,}80^2 * (\frac{746}{1000} + \frac{343{,}88}{1000})}$$

$$V = 17{,}09\ m/s$$

Se observa que con un diámetro de 3" en polietileno en el tramo se genera una caída de presión de 1,12 mbar, equivalente al 0,33% de pérdida acumulada, y una velocidad inferior a 20 m/s.

Este cálculo se repite para todos los tramos, verificando que las pérdidas acumuladas no sean mayores al 10% y que las velocidades no superen los 20 m/s. En la tabla 42 se presenta el cálculo de todos los tramos en media presión.

En caso de que en los tramos de llegada a los artefactos la presión final calculada sea inferior a la requerida se deben ampliar los diámetros desde los tramos iniciales hasta donde sea necesario, con el fin de obtener en los tramos finales las presiones requeridas por los gasodomésticos.

TRAMO	CAUDAL	Φ NOMINAL	Φ INTERNO	LONGITUD		P1	P2	PERDIDAS DE CARGA		V
				REAL	EQUIV.	MANOM.	MANOM.	TRAMO		
	m^3/h	pulg	mm	m	m	mbar	mbar	mbar	%	m/s
A - 1	294.49	3	74.80	3.05	3.66	345.00	343.88	1.12	0.33%	17.09
1 - 2	43.94	2	50.42	2.00	2.40	343.88	343.70	0.17	0.05%	5.61
2 - 3	250.55	3	74.80	20.60	24.72	343.70	337.95	5.75	1.67%	14.62
3 - 4	250.55	3	72.74	101.50	121.80	337.95	305.00	32.95	9.75%	15.95
4 - 5	250.55	3	74.80	4.50	5.40	305.00	303.70	1.30	0.43%	15.10
5 - 6	215.53	3	74.80	7.70	9.24	303.70	301.99	1.71	0.56%	13.01
5 - 7	35.02	3	74.80	11.50	13.80	303.70	303.59	0.11	0.04%	2.11

Tabla 42. ***Cálculos de la red de media presión con la fórmula de Müeller.***

Después de realizar el trazado y su dimensionamiento se revisa la ventilación de las áreas donde se encuentran ubicados los artefactos. Lo primero que se debe establecer es si el espacio es confinado o no. En este caso, el local es de 2,5 m de altura y cuenta con dos áreas donde hay instalados artefactos a gas. La primera corresponde a la barra y tiene una plancha francesa de 57,7 m². En la segunda área están las mesas, que a su vez se comunican con la cocina, allí se encuentran los otros artefactos sin incluir los calefactores, para un área total de 321,6 m².

TIPO DE VENTILACIÓN
1 ABERTURA DIRECTA AL EXTERIOR
2 DUCTOS HORIZONTALES AL EXTERIOR O VENT SUP UNCAMENTE
3 POR ARRASTRE DE RECINTOS INTERIORES

VENTILACIÓN ÁREA CALDERIN (Tipo de Ventilación = 1)		
SECTOR	**CUARTO CALDERIN**	
AREA SECTOR	**ALTURA**	**VOL. REAL=VOL.TOTAL*0,7**
66.3	**3.5**	**162.435**
((POTENCIA TOTAL (KW/h)	**2851.24**	**KW**
VOLUMEN REQUERIDO	**9694.22**	**M^3**
ESPACIO CONFINADO	**VERDADERO**	
AREA MÍNIMA LIBRE CALCULADA	**17107.44**	**CM^2**

Tabla 43. Cálculo de ventilaciones en el cuarto del calderín.

TIPO DE VENTILACIÓN
1 ABERTURA DIRECTA AL EXTERIOR
2 DUCTOS HORIZONTALES AL EXTERIOR O VENT SUP UNCAMENTE
3 POR ARRASTRE DE RECINTOS INTERIORES

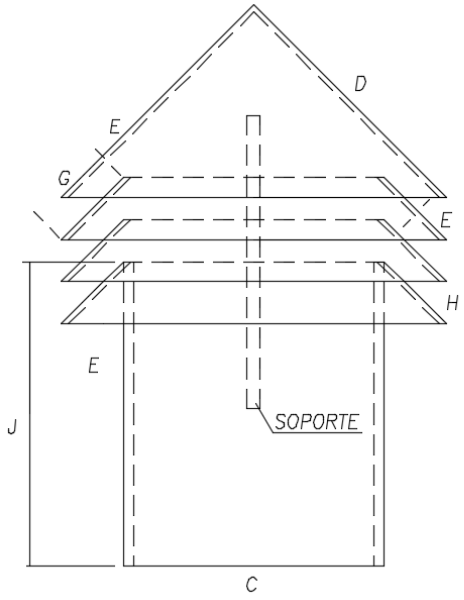
VENTILACIÓN ÁREA CALDERAS 1 Y 2 (Tipo de Ventilación = 1)		
SECTOR	**CUARTO CALDERAS**	
AREA SECTOR	**ALTURA**	**VOL. REAL=VOL.TOTAL*0,7**
66.3	**3.5**	**162.435**
((POTENCIA TOTAL (KW/h)	**2851.24**	**KW**
VOLUMEN REQUERIDO	**9694.22**	**M^3**
ESPACIO CONFINADO	**VERDADERO**	
AREA MÍNIMA LIBRE CALCULADA	**17107.44**	**CM^2**

Tabla 44. Cálculo de ventilaciones en el cuarto de calderas.

Con base en el cálculo de ventilaciones se concluye que el espacio donde se encuentran las calderas y el calderín es confinado y, por lo tanto, requiere ventilación superior e inferior, ubicada hacia el exterior.

Posteriormente, se calcula el ducto de evacuación de gases de la combustión para las calderas y el calderín, para lo cual se busca en las tablas de la NTC 3833 (dimensionamiento, construcción, montaje y evaluación de los productos de la combustión generados por los artefactos que funcionan con gas) y NTC 3567 (conductos metálicos para la evacuación por

tiro natural de los productos de la combustión del gas) el diámetro requerido para este ducto, teniendo presente que debe ser vertical y metálico de pared sencilla. En la figura 72 se ilustra el detalle de las dimensiones requeridas para los desfogues de las calderas y el calderín.



	ø16"	ø18"	ø20"
C=	408mm	459.8mm	510.8mm
D=	406mm	457mm	508mm
E=	0.864mm	1.422mm	1.422mm
G=	102mm	114mm	127mm
H=	61mm	69mm	76mm
I=	10mm	11mm	13mm
J=	128mm	128mm	128mm
	CALIBRE 20	CALIBRE 16	CALIBRE 16

	ø6"
A=	508mm
C=	510,8mm
D=	508mm
E=	2,362mmCal12
G=	127mm
H=	76mm
I=	13mm
J=	128mm

Figura 72. ***Detalle de los sombreretes y el diámetro de los ductos para las calderas y calderín que trabajan por tiro natural.***

En la tabla A.1 de la norma NTC 3833 (dimensionamiento de conectores y chimeneas metálicas de pared sencilla) se localiza el H igual o superior al que se encuentra en el diseño, así como la longitud L de la chimenea. Luego se busca el diámetro adecuado que supla la potencia igual o superior a la instalada.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Cada vez que se vaya a realizar un diseño de red de gas natural en edificaciones, se debe tener presente las normas técnicas de diseño vigentes, ya que los parámetros de diseño pueden variar.

- Es importante conocer las normas internas o condiciones de diseño de los proveedores de gas o empresas prestadoras de servicios de acuerdo a la ciudad, ya que cada una maneja unos lineamientos particulares para la instalación de estas redes.

- Como se puede observar en la norma NTC 3833, incluye unas tablas para cálculo de las dimensiones de los desfogues de artefactos tipo B.1 Tiro Natural y tipo B.2 Tiro mecánico inducido. Por tanto, para el caso de los artefactos tipo B.2 Tiro mecánico, se requiere consultar con el proveedor del equipo, como se debe tratar el ducto de desfogue de los gases de la combustión.

- Se debe tener en cuenta en los diseños, el espacio requerido para los nichos de regulación y medición, ya que se puede observar en el cuerpo del documento la gran diferencia entre nichos de categoría 1 y nichos de categoría 5.

- Se puede identificar que las ecuaciones utilizadas para el diseño de gas natural, en edificaciones residenciales, comerciales e industriales, son las mismas, pero debe tenerse en cuenta los requerimientos de cada uso, ya que la diferencia de consumos entre uno y el otro son considerables.

- Se debe tener un amplio conocimiento del tipo de reguladores y medidores de gas disponibles, para emplear el adecuado de acuerdo a los requerimientos y uso de la edificación.

10 BIBLIOGRAFÍA

- GTC98. Gasoductos. Odorización de gas.
- NTC2505. Instalaciones de suministro de gas combustible destinadas a uso residencial y comercial, 4ª. actualización.
- NTC2728. Medidores de gas tipo diafragma.
- NTC3458. Higiene y seguridad. Identificación de tuberías y servicios.
- NTC3527. Gases de ensayo, presiones de ensayo y categorías de los artefactos a gas, 2ª. actualización.
- NTC3567. Conductos metálicos para la evacuación por tiro natural de los productos de la combustión del gas, 1ª. actualización.
- NTC3631. Ventilación de recintos interiores donde se instalan artefactos que empleen gases combustibles para uso doméstico, comercial e industrial, 2ª. actualización.
- NTC3833. Dimensionamiento, construcción, montaje y evaluación de los sistemas para la evacuación de los productos de la combustión generados por los artefactos que funcionan a gas, 1ª. actualización.
- NTC3838. Gasoductos. Presiones de operación permisibles para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles, 3ª. actualización.
- NTC3950. Medidores de gas tipo diafragma. Características físicas.
- NTC4136. Medidores de gas tipo rotatorio.
- NTC4282. Instalaciones para suministro de gas destinadas a usos industriales, 1ª. actualización.
- http://yacimientosmineralescasanare.blogspot.com.co/2014/10/casanare.html, consultado el 4 de junio de 2017.
- www.bdigital.unal.edu.co/24409/1/21562-73740-1-PB.pdf, consultado el 4 de junio de 2017.
- Pérez Carmona, R. (2010). *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Sepeler, C.G., Cramer , T. & Knapp, K.R. *Manual Gas Handbook*.
- https://efrainpuerto.wordpress.com/2011/02/26/f1-2/, consultado el 4 de junio de 2017.
- Gas Natural EPM. Guía de diseño redes de gas.
- American Meter Company. Measurement Engineers.
- American Meter Company. Catálogo de medidores.
- Micro Motion. Catálogo.
- Ricoth. Catálogos de medidores.
- Yasaki. Catálogos de medidores.
- Canadian Meter. Canadá
- Sedigas (1997). Curso para instaladores autorizados de gas. España.
- Reguladores Sherwood.
- http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/gases/flujodegases.html, consultado el 25 de junio de 2017.

- http://www.en-fabinc.com/es/city_gates_stations.shtml, consultado el 25 de junio de 2017.
- http://www.wermac.org/fittings/olets_general.html, consultado el 25 de junio de 2017
- https://prezi.com/njwyz-x55ing/gas-natural-endulzamiento/
- http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/78.pdf, consultado el 25 de junio de 2017.
- http://www.upv.es/entidades/DTRA/infoweb/dtra/info/U0675363.pdf, consultado el 25 de junio de 2017

11 ANEXOS

11.1 Tablas de dimensionamiento de chimeneas y conectores, según NTC 3833

11.1.1 Chimeneas, accesorios y conectores metálicos de pared sencilla acoplados a un solo artefacto a gas del tipo B.1 (por tiro natural) o del tipo B.2, que operen por tiro mecánico inducido

H	L	Diámetro nominal D (mm)																				
		76			102			127			152			178			203			229		
m	m	Potencia total instalada en MJ/h																				
		MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
		Min	Máx	Máx	Min	Máx	Máx	Min	Máx	Máx	Min	Máx	Máx	Min	Máx	Máx	Min	Máx	Máx	Min	Máx	Máx
1,8	0,0	0	82	49	0	160	91	0	265	149	0	396	216	0	553	301	0	736	390	0	946	496
	0,6	14	54	38	19	102	71	28	166	111	34	245	166	46	339	229	56	448	301	66	573	390
	1,2	22	52	36	32	99	68	41	161	109	53	239	161	70	333	223	83	442	294	98	566	382
	1,8	26	49	34	38	96	64	50	157	106	62	235	157	82	327	216	98	436	288	116	559	373
2,4	0,0	0	89	53	0	174	99	0	291	164	0	438	248	0	615	338	0	823	438	0	1061	567
	0,6	13	60	42	17	115	79	26	188	127	30	277	190	44	385	261	53	510	340	63	653	441
	1,5	24	56	40	34	109	75	44	180	121	56	269	183	74	376	250	88	499	330	104	640	429
	2,4	30	52	37	41	103	70	54	173	115	68	261	174	89	366	239	104	488	320	123	629	418
3,0	0,0	0	93	56	0	185	106	0	311	175	0	472	269	0	666	364	0	894	475	0	1156	617
	0,6	13	64	44	18	124	85	24	205	136	27	305	206	42	424	288	51	562	375	60	722	482
	1,5	24	60	42	34	119	81	43	197	131	55	295	198	72	414	277	85	551	365	100	708	471
	3,0	32	54	38	43	110	74	57	186	121	71	282	185	93	397	258	110	532	348	129	687	451
4,6	0,0	0	99	61	0	202	118	0	345	197	0	530	301	0	755	411	0	1023	554	0	1333	720
	0,6	12	73	51	16	143	98	21	238	158	23	358	237	40	501	333	47	668	437	56	860	574
	1,5	23	69	47	32	137	92	41	231	150	52	348	229	68	488	317	80	654	425	95	844	558
	3,0	31	62	43	42	128	87	54	217	142	68	332	219	89	470	304	104	633	407	122	820	535
	4,6	37	56	39	51	118	80	64	206	135	80	318	209	103	453	290	121	612	394	141	797	518

H	L	Diámetro nominal D (mm)																				
		76			102			127			152			178			203			229		
m	m	Potencia total instalada en MJ/h																				
		MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
		Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx
6,1	0,0	0	102	64	0	213	126	0	368	213	0	570	324	0	819	454	0	1115	607	0	1460	793
	0,6	11	79	54	15	157	106	19	264	175	21	398	263	35	560	365	43	750	496	53	967	646
	1,5	22	75	51	31	151	101	40	255	169	50	387	254	65	548	356	77	735	485	91	952	632
	3,0	30	68	46	40	140	94	53	242	158	65	370	241	85	526	339	100	712	467	118	925	608
	4,6	36	61	42	49	131	89	62	229	150	77	356	229	99	507	325	117	690	451	136	900	588
	6,1	51	55	37	58	122	82	73	217	141	89	340	217	113	490	311	132	669	433	153	876	567
9,1	0,0	0	106	68	0	225	135	0	395	232	0	619	355	0	900	501	0	1238	686	0	1633	902
	0,6	9	85	59	14	175	118	15	299	195	19	456	295	28	647	416	35	871	564	44	1131	739
	1,5	22	81	57	30	169	114	38	290	186	47	444	288	61	633	406	73	856	553	87	1113	726
	3,0	28	74	53	39	158	108	51	276	180	62	427	275	81	612	391	96	831	535	113	1085	705
	4,6	35	68	NR	46	149	101	60	263	172	74	410	263	95	591	377	111	807	517	131	1057	684
	6,1	59	61	NR	56	139	95	70	250	162	84	395	250	108	572	362	126	784	499	147	1031	663
	9,1	NR	NR	NR	77	119	NR	93	226	NR	110	365	231	138	535	339	157	741	468	180	980	627
15,2	0,0	0	107	71	0	228	141	0	419	245	0	668	383	0	983	547	0	1368	747	0	1825	1004
	0,6	8	91	64	12	193	129	15	338	217	16	524	331	23	754	470	27	1029	649	35	1346	858
	1,5	21	87	NR	28	187	126	37	329	211	45	514	325	58	741	462	69	1013	638	81	1328	842
	3,0	27	80	NR	37	177	120	47	315	200	59	497	314	77	718	449	91	986	621	107	1298	816
	4,6	62	74	NR	44	167	NR	57	303	190	70	480	304	90	698	436	106	961	603	123	1269	788
	6,1	NR	NR	NR	53	157	NR	66	290	178	80	464	293	102	677	423	119	937	587	138	1241	762
	9,1	NR	NR	NR	73	138	NR	89	264	NR	104	433	273	130	638	397	149	890	551	170	1187	707

H	L	Diámetro nominal D (mm)																				
		76			102			127			152			178			203			229		
m	m	Potencia total instalada en MJ/h																				
		MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
		Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx
30,5	0,0	NR	NR	NR	0	230	NR	0	429	NR	0	702	422	0	1052	591	0	1489	812	0	2013	1097
	0,6	NR	NR	NR	11	205	NR	13	373	NR	14	597	396	19	877	538	22	1219	739	26	1621	986
	1,5	NR	NR	NR	27	199	NR	35	366	NR	42	588	389	55	865	532	63	1204	730	75	1603	977
	3,0	NR	NR	NR	35	192	NR	45	353	NR	56	572	381	72	845	520	84	1180	716	99	1574	960
	4,6	NR	NR	NR	42	184	NR	53	339	NR	65	557	372	84	825	509	98	1155	703	115	1546	944
	6,1	NR	NR	NR	50	175	NR	62	328	NR	75	541	363	95	805	497	111	1132	689	129	1517	928
	9,1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	82	306	NR	97	510	NR	121	766	474	138	1086	662	157	1463	896
	15,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	155	452	NR	190	687	427	208	996	607	229	1359	830

H	L	Diámetro nominal D (mm)																				
		254			305			356			406			457			506			559			610		
m	m	Potencia total instalada en MJ/h																						
		MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
		Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx
1,8	0,0	0	1183	601	0	1736	897	0	2392	1234	0	3147	1614	2	4011	2068	0	4981	2564	0	6053	3112	0	7230	3714
	0,6	79	712	480	109	1036	686	146	1420	939	188	1866	1234	237	2374	1561	101	2935	1952	380	3563	2342	449	4252	2817
	1,2	116	705	470	155	1029	675	202	1412	928	255	1858	1224	317	2365	1556	411	2927	1936	495	3556	2337	586	4245	2806
	1,8	135	697	459	180	1020	665	231	1403	918	291	1850	1213	360	2358	1551	461	2919	1920	552	3548	2332	652	4238	2796
2,4	0,0	0	1330	696	0	1960	1023	0	2713	1393	0	3586	1836	0	4572	2342	0	5684	2901	0	6916	3545	0	8270	4231
	0,6	75	812	543	103	1186	786	137	1628	1076	177	2142	1414	224	2726	1794	293	3372	2226	355	4096	2701	423	4889	3218
	1,5	121	800	531	162	1171	773	210	1612	1066	265	2124	1403	328	2704	1778	420	3355	2205	502	4076	2685	593	4866	3207
	2,4	145	787	517	190	1157	760	244	1597	1055	305	2110	1393	373	2693	1762	475	3337	2184	567	4062	2669	665	4855	3197

H	L	Diámetro nominal D (mm)																				
		254			305			356			406			457			506			559			610		
m	m	Potencia total instalada en MJ/h																						
		MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
		Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx
3,0	0,0	0	1453	760	0	2148	1118	0	2981	1530	0	3948	2031	0	5045	2585	0	6283	3218	0	7653	3914	0	9160	4273
	0,6	72	899	591	98	1312	897	131	1807	1192	170	2380	1561	213	3026	1994	279	3752	2469	337	4560	2996	399	5437	3577
	1,5	118	885	577	157	1297	875	203	1789	1166	256	2361	1541	317	3006	1974	403	3731	2446	483	4538	2973	570	5415	3557
	3,0	150	862	554	197	1270	839	251	1761	1139	314	2331	1509	384	2973	1941	484	3697	2406	576	4503	2933	676	5380	3524
4,6	0,0	0	1684	886	0	2511	1308	0	3506	1815	0	4667	2395	0	5991	3060	0	7490	3819	0	9142	4653	0	10965	5592
	0,6	66	1075	712	91	1577	1039	120	2176	1424	155	2869	1867	196	3658	2384	252	4541	2954	306	5520	3598	365	6595	4305
	1,5	111	1058	696	148	1557	1020	192	2153	1400	242	2844	1844	299	3632	2358	375	4514	2930	449	5491	3571	529	6565	4280
	3,0	142	1031	670	187	1526	988	239	2120	1360	299	2805	1806	365	3589	2314	456	4467	2890	538	5443	3527	632	6515	4240
	4,6	164	1005	644	213	1496	955	271	2085	1319	336	2767	1767	406	3548	2268	505	4423	2849	595	5397	3482	702	6466	4199
6,1	0,0	0	1853	981	0	2782	1424	0	3905	2005	0	5220	2659	0	6727	3429	0	8428	4284	0	10324	5254	0	12400	6330
	0,6	62	1213	797	85	1787	1161	113	2472	1604	147	3268	2110	185	4173	2712	232	5187	3376	284	6312	4125	339	7548	4959
	1,5	107	1195	779	142	1766	1138	184	2448	1580	231	3240	2087	285	4142	2684	356	5154	3349	425	6278	4094	501	7511	4919
	3,0	137	1166	749	181	1731	1103	232	2408	1540	288	3196	2047	352	4094	2638	436	5101	3302	516	6221	4041	605	7452	4853
	4,6	158	1137	726	206	1698	1074	262	2369	1503	323	3153	2015	392	4046	2601	484	5050	3260	571	6166	4004	666	7393	4827
	6,1	176	1110	702	229	1665	1045	288	2332	1467	353	3110	1984	426	4000	2564	522	4998	3218	617	6111	3967	727	7336	4801
9,1	0,0	0	2086	1118	0	3169	1635	0	4486	2289	0	6040	3081	0	7829	3978	0	9855	5012	0	12115	6172	0	14610	7449
	0,6	57	1425	913	78	2114	1382	103	2939	1899	134	3900	2511	168	4995	3218	210	6225	4020	254	7590	4906	301	9091	5908
	1,5	101	1405	898	134	2090	1360	173	2911	1873	217	3868	2479	266	4969	3186	329	6186	3991	394	7549	4876	463	9046	5858
	3,0	132	1373	875	173	2051	1323	221	2866	1828	273	3816	2427	333	4903	3134	407	6123	3945	481	7480	4826	564	8973	5772
	4,6	151	1342	851	197	2013	1287	250	2821	1785	308	3767	2374	373	4847	3081	455	6060	3898	535	7413	4776	622	8902	5688
	6,1	169	1311	827	218	1976	1250	274	2778	1741	337	3717	2321	405	4792	3028	493	5999	3851	578	7347	4727	674	8831	5602
	9,1	206	1254	786	260	1906	1192	322	2696	1672	389	3622	2247	464	4687	2938	570	5881	3761	670	7219	4616	780	8693	5513

H	L	Diámetro nominal D (mm)																							
		254			305			356			406			457			506			559			610		
m	m	Potencia total instalada en MJ/h																							
		MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
		Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx
15,2	0,0	0	2354	1261	0	3630	1925	0	5206	2690	0	7081	3629	0	9257	4706	0	11742	5945	0	14525	7322	0	17613	8894
	0,6	43	1709	1066	70	2565	1596	91	3597	2242	119	4805	2996	149	6187	3872	180	7743	4885	221	9474	6009	265	11382	7238
	1,5	95	1688	1051	124	2538	1577	159	3566	2218	202	4769	2968	247	6147	3839	299	7697	4850	355	9425	5965	416	11328	7193
	3,0	124	1653	1026	162	2496	1547	207	3515	2178	256	4710	2919	311	6080	3782	375	7622	4792	442	9343	5893	518	11238	7121
	4,6	143	1621	1000	187	2455	1516	234	3466	2138	289	4652	2871	348	6024	3729	418	7549	4759	491	9262	5851	572	11152	7079
	6,1	159	1588	975	206	2414	1486	257	3417	2096	317	4596	2822	381	5952	3673	457	7476	4726	534	9183	5809	618	11065	7037
	9,1	193	1526	924	245	2336	1423	303	3323	2015	366	4487	2776	435	5827	3620	521	7336	4664	609	9028	5744	709	10897	6967
30,5	0,0	0	2628	1382	0	4141	2163	0	6044	3112	0	8350	4273	0	11062	5592	0	14195	7069	0	17743	9074	0	21711	10867
	0,6	32	2084	1234	46	3194	1920	76	4550	2690	100	6155	3693	127	8009	4853	146	10104	6119	178	12453	7596	215	15049	9285
	1,5	87	2063	1223	113	3167	1902	143	4518	2670	181	6116	3666	219	7964	4817	258	10053	6087	309	12395	7556	360	14986	9238
	3,0	114	2029	1205	150	3124	1873	190	4464	2638	235	6053	3623	283	7890	4757	336	9967	6032	395	12300	7491	460	14882	9161
	4,6	133	1996	1186	172	3081	1843	217	4412	2605	266	5991	3579	321	7817	4696	378	9883	5977	441	12206	7424	514	14778	9084
	6,1	149	1963	1168	191	3039	1814	238	4361	2572	292	5928	3536	348	7745	4636	408	9800	5922	477	12114	7359	552	14676	9007
	9,1	179	1901	1130	227	2957	1755	280	4259	2506	337	5808	3447	399	7606	4515	471	9639	5812	542	11933	7227	625	14475	8853
	15,2	254	1781	1055	308	2803	1635	369	4068	2374	438	5580	3271	513	7339	4273	603	9328	5592	695	11584	6963	793	14089	8546

11.1.2 Chimeneas de mampostería con conectores metálicos de pared sencilla acopladas a un solo artefacto a gas del tipo B.1 (por tiro natural) o del tipo B.2, que operen por tiro mecánico inducido

H	L	Diámetro nominal D (mm)																							
		76			102			127			152			178			203			229			254			279		
m	m	Potencia total instalada en MJ/h																							
		MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
		Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx
1,8	0,6	NR	NR	30	NR	NR	55	NR	NR	91	NR	NR	137	NR	NR	190	NR	NR	261	NR	NR	338	NR	NR	423	NR	NR	613
	1,5	NR	NR	*26	NR	NR	52	NR	NR	87	NR	NR	123	NR	NR	174	NR	NR	244	NR	NR	314	NR	NR	397	NR	NR	592
2,4	0,6	NR	NR	31	NR	NR	58	NR	NR	98	NR	NR	153	NR	NR	209	NR	NR	281	89	622	369	106	768	471	147	1080	687
	1,5	NR	NR	*27	NR	NR	55	NR	NR	93	NR	NR	141	NR	NR	193	NR	NR	261	NR	NR	346	157	750	446	212	1062	675
	2,4	NR	NR	*25	NR	NR	*51	NR	NR	88	NR	NR	134	NR	NR	185	NR	NR	252	NR	NR	336	183	733	433	244	1045	657
3,0	0,6	NR	NR	33	NR	NR	64	NR	NR	109	NR	NR	171	NR	NR	233	72	548	314	87	691	409	103	855	518	143	1207	764
	1,5	NR	NR	*30	NR	NR	60	NR	NR	101	NR	NR	156	NR	NR	215	NR	NR	292	131	673	385	154	835	492	207	1186	751
	3,0	NR	NR	*26	NR	NR	*53	NR	NR	92	NR	NR	147	NR	NR	202	NR	NR	277	164	644	366	192	804	468	253	1153	705
4,6	0,6	NR	NR	*37	NR	NR	71	NR	NR	120	NR	NR	189	56	501	264	68	647	355	81	822	465	97	1021	593	134	1452	887
	1,5	NR	NR	*37	NR	NR	65	NR	NR	113	NR	NR	173	NR	NR	244	104	627	330	124	801	439	147	998	562	196	1426	874
	3,0	NR	NR	*30	NR	NR	*58	NR	NR	102	NR	NR	161	NR	NR	228	133	596	312	156	767	416	183	962	598	242	1387	820
	4,6	NR	NR	NR	NR	NR	51	NR	NR	*94	NR	NR	149	NR	NR	212	NR	NR	296	180	736	396	209	928	512	273	1350	783
6,1	0,6	NR	NR	*40	NR	NR	78	NR	NR	131	NR	NR	212	54	551	289	64	715	396	77	915	518	92	1143	662	128	1633	1005
	1,5	NR	NR	*38	NR	NR	*72	NR	NR	122	NR	NR	194	84	531	268	100	694	369	119	892	488	140	1117	630	189	1607	984
	3,0	NR	NR	NR	NR	NR	*63	NR	NR	*113	NR	NR	181	NR	NR	250	129	662	350	151	856	464	176	1078	597	233	1564	927
	4,6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	*102	NR	NR	168	NR	NR	232	NR	NR	331	174	823	441	202	1041	571	265	1522	886
	6,1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	*88	NR	NR	*156	NR	NR	217	NR	NR	312	196	791	419	226	1008	541	292	1483	851
9,1	0,6	NR	NR	*43	NR	NR	*87	NR	NR	145	NR	NR	228	50	613	320	60	804	444	72	1039	589	85	1308	756	117	1892	1173
	1,5	NR	NR	NR	NR	NR	*80	NR	NR	*135	NR	NR	209	79	592	296	95	782	415	112	1015	555	132	1283	721	178	1863	1154
	3,0	NR	NR	NR	NR	NR	*71	NR	NR	*121	NR	NR	*194	NR	NR	277	121	748	394	142	978	528	167	1241	684	222	1816	1081
	4,6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	*113	NR	NR	*180	NR	NR	*256	NR	NR	372	165	942	502	191	1202	655	252	1771	1035
	6,1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	*96	NR	NR	*168	NR	NR	*239	NR	NR	350	186	907	475	214	1164	625	279	1728	992
	9,1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	*198	NR	NR	*304	NR	NR	439	263	1092	586	336	1646	925

H	L	Diámetro nominal D (mm)																										
		76			102			127			152			178			203			229			254			279		
m	m	Potencia total instalada en MJ/h																										
		MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
		Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx
15,2	0,6	NR	NR	NR	NR	NR	*97	NR	NR	*170	NR	NR	*265	NR	NR	*370	54	886	503	64	1167	668	76	1491	857	104	2195	1311
	1,5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	*159	NR	NR	*243	NR	NR	*341	88	864	470	103	1143	629	122	1463	817	164	2165	1292
	3,0	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	*146	NR	NR	*227	NR	NR	*321	NR	NR	*447	133	1105	598	155	1421	773	206	2116	1210
	4,6	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	*134	NR	NR	*210	NR	NR	*298	NR	NR	*422	154	1066	*569	179	1379	741	234	2069	1160
	6,1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	*195	NR	NR	*279	NR	NR	*397	174	1031	*539	200	1339	706	260	2021	1108
	9,1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	*345	NR	NR	*494	246	1262	*657	311	1933	1038
Área potencial mínima de la Chimenea (m^2)		0,00774			0,01226			0,01806			0,02452			0,03226			0,04065			0,05032			0,06129			0,08516		
Área potencial mínima de la Chimenea (m^2)		0,03161			0,05677			0,08839			0,12774			0,17355			0,22710			0,28710			0,35484			0,51097		

11.1.3 Chimeneas y conectores de cemento asbesto acoplados a un solo artefacto a gas del tipo B.1 (no aplicable a los del tipo B.2)

H	L	Diámetro nominal D (mm)							
		76	102	127	152	178	203	254	305
m	m	Potencia total instalada (MJ/h)							
1,8	0,0	41	74	122	179	245	329	528	791
	0,6	33	58	99	149	205	274	438	654
	1,5	30	54	93	135	187	255	411	633
2,4	0,0	44	80	133	195	266	359	572	860
	0,6	34	64	108	162	222	300	476	717
	1,5	31	59	100	149	205	279	454	684
	3,0	*25	52	91	138	190	264	428	659
3,0	0,0	47	89	146	213	294	392	639	962
	0,6	37	71	117	177	246	328	533	802
	1,5	34	64	110	161	227	305	506	764
	3,0	*28	57	99	151	211	289	480	739
	4,6	NR	*49	89	137	196	272	456	703
4,6	0,0	52	96	159	235	329	443	722	1097
	0,6	41	76	129	196	274	369	601	913
	1,5	*37	71	116	179	253	343	570	870
	3,0	*32	*61	109	167	235	325	542	839
	4,6	NR	*53	*98	152	218	307	515	802
	6,1	NR	NR	*87	*139	206	288	492	766
6,1	0,0	*56	107	172	266	361	496	812	1256
	0,6	*44	84	143	222	302	414	676	1045
	1,5	*40	*78	130	203	279	384	644	997
	3,0	*34	*69	*121	188	260	364	602	960
	4,6	NR	*58	*110	172	241	344	580	918
	6,1	NR	NR	*96	*157	*226	323	554	878

H	L	Diámetro nominal D (mm)							
		76	102	127	152	178	203	254	305
m	m	Potencia total instalada (MJ/h)							
9,1	0,0	*59	*114	193	291	405	558	926	1445
	0,6	*46	*89	*156	243	338	465	770	1203
	1,5	NR	*82	*145	222	312	433	732	1139
	3,0	NR	*72	*132	*207	289	409	692	1108
	4,6	NR	NR	*119	*187	*272	386	659	1055
	6,1	NR	NR	*104	*172	*253	363	629	1013
	9,1	NR	NR	NR	NR	*203	*311	570	939
15,2	0,0	NR	*127	*222	*327	*467	622	1034	1635
	0,6	NR	*100	*180	*274	*390	519	865	1361
	1,5	NR	NR	*168	*247	*361	500	823	1298
	3,0	NR	NR	*154	*233	*336	*481	770	1256
	4,6	NR	NR	NR	*211	*308	*429	744	1192
	6,1	NR	NR	NR	*195	*291	*405	*707	1139
	9,1	NR	NR	NR	NR	*234	*348	*638	1066

11.1.4 Máxima longitud lateral de un conector en función de su diámetro potencial

Diámetro potencial del conector (mm)	Máxima longitud horizontal permisible (mm)
76	1 368
102	1 836
127	2 286
152	2 736
178	3 304
203	3 654
229	4 122
254	4 572
305	5 490
356	6 408
406	7 308
457	8 226
508	9 144
559	10 062
610	10 980

11.1.5 Chimeneas y conectores metálicos de pared sencilla acoplados a dos o más artefactos a gas de los tipos B.1 o B.2, que operen por tiro mecánico inducido (conectores)

		Diámetro nominal D (mm)																								
		76			102			127			152			178			203			229			254			
		Potencia total instalada en MJ/h																								
H	R	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
m	m	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx
1,8	0,3	23	39	27	37	70	49	49	112	76	61	173	110	81	237	150	97	312	195	115	397	250	135	492	305
	0,6	24	43	33	39	79	58	51	128	91	63	193	131	83	267	177	100	351	232	118	447	298	138	555	364
	0,9	25	46	37	40	85	65	52	139	101	65	210	147	87	290	199	102	383	262	120	488	334	141	607	407
2,4	0,3	23	42	28	37	76	51	52	120	80	68	186	115	89	256	156	106	338	205	124	430	262	146	535	320
	0,6	24	46	34	38	84	60	54	135	95	70	206	136	91	284	185	109	376	243	128	479	310	149	595	378
	0,9	25	50	38	39	92	675	56	147	107	71	222	153	93	306	209	111	405	272	130	519	348	151	646	424
3,0	0,3	23	45	30	36	82	53	52	130	82	69	199	119	94	271	162	112	360	211	132	460	271	154	572	331
	0,6	24	50	35	38	91	62	54	143	98	71	217	141	96	298	192	115	395	251	135	505	322	157	629	392
	0,9	25	53	39	39	97	71	55	154	110	73	232	158	99	320	216	117	424	283	138	543	361	160	677	440
4,6	0,3	22	53	32	35	94	56	50	150	88	68	232	127	93	314	172	116	410	226	141	520	288	171	643	351
	0,6	23	56	37	37	101	66	52	161	104	70	248	150	96	338	204	118	442	267	145	561	341	174	694	416
	0,9	25	58	42	38	108	75	54	172	117	72	262	169	98	358	230	121	470	302	148	596	385	176	739	468
6,1	0,3	22	57	33	35	104	59	49	166	92	65	260	132	91	352	180	113	460	236	138	582	301	167	718	366
	0,6	23	60	39	36	111	70	51	176	110	68	273	157	94	373	213	116	488	280	141	619	358	170	765	437
	0,9	24	63	44	37	116	78	53	186	122	70	286	177	96	391	241	119	513	317	145	652	404	173	806	492
9,1	0,3	21	65	35	33	119	62	47	191	98	63	304	141	88	413	192	109	540	251	132	685	322	159	846	392
	0,6	22	68	41	35	124	74	50	200	116	65	315	167	90	430	227	111	564	298	136	716	380	164	886	463
	0,9	23	70	46	36	130	83	51	209	131	68	326	188	93	446	255	114	586	334	139	745	427	167	922	521
15,2	0,3	20	75	38	32	140	68	45	228	107	60	368	153	82	503	208	102	662	271	127	841	348	152	1038	425
	0,6	22	77	45	34	145	80	47	235	126	62	378	181	85	517	247	106	681	323	130	865	414	156	1070	504
	0,9	23	79	51	35	149	91	49	242	141	64	386	205	88	530	277	109	697	362	133	888	465	159	1100	568
30,5	0,3	19	87	39	30	167	70	42	276	110	56	466	158	77	645	215	96	855	281	118	1095	360	142	1356	440
	0,6	20	88	46	32	170	83	44	282	130	58	472	188	79	653	255	99	867	333	121	1112	427	147	1378	521
	0,9	21	89	53	33	172	94	46	287	146	60	477	211	82	662	287	102	880	375	124	1128	480	150	1400	586

11.1.6 Chimeneas y conectores metálicos de pared sencilla acoplados a dos o más artefactos a gas de los tipos B.1 o B.2, que operen por tiro mecánico inducido (chimeneas colectivas)

	Diámetro nominal D (mm)																							
	102			127			152			178			203			229			254					
	Potencial nominal combinada (MJ/h)																							
H	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT			
m	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT			
1,8	97	85	69	148	122	109	215	170	155	326	262	211	426	331	274	577	458	353	709	549	433			
2,4	107	95	77	164	136	120	236	188	172	358	290	235	468	367	306	635	506	399	781	609	491			
3,0	116	102	83	178	149	131	256	205	188	387	315	255	503	398	332	685	551	427	844	662	522			
4,6	132	118	96	206	173	152	299	241	217	451	371	295	587	468	385	794	646	491	975	773	596			
6,1	143	130	108	227	193	169	331	269	242	501	416	327	655	526	427	888	726	552	1092	871	675			
9,1	160	146	124	257	222	195	381	313	281	577	484	380	760	617	496	1033	852	638	1276	1029	781			
15,2	176	161	141	294	257	226	444	372	327	676	577	446	901	745	580	1228	1031	744	1531	1253	907			
30,5	185	172	NR	328	292	NR	516	444	NR	792	694	505	1081	921	659	1486	1282	844	1882	1585	1029			

	Diámetro nominal D (mm)																				
	305			356			406			457			508			559			610		
	Potencial nominal combinada (MJ/h)																				
H	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT
m	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT
1,8	950	734	589	1355	1045	860	1831	1410	1124	2377	1827	1419	2994	2300	1751	3680	2824	2078	4438	3404	2522
2,4	1049	816	688	1501	1164	962	2033	1573	1256	2645	2043	1593	3336	2573	1962	4104	3163	2321	4954	3815	2828
3,0	1135	887	751	1627	1266	1050	2208	1714	1372	2877	2229	1736	3634	2812	2142	4475	3458	2532	5405	4175	3081
4,6	1316	1040	870	1893	1488	1222	2574	2015	1593	3359	2621	2015	4248	3306	2490	5245	4075	2944	6347	4927	3587
6,1	1482	1177	966	2116	1675	1361	2872	2265	1783	3757	2952	2258	4798	3748	2785	5880	4592	3292	7121	5551	4009
9,1	1749	1400	1081	2504	1996	1609	3397	2699	2100	4428	3509	2659	5595	4424	3281	6899	5441	3883	8377	6591	4727
15,2	2135	1730	1350	3071	2476	1966	4182	3358	2564	5469	4377	3244	6929	5529	4009	8563	6814	4748	10379	8243	5776
30,5	2710	2248	1762	3937	3245	2585	5407	4433	3376	7121	5812	4273	9070	7371	5275	11269	9124	6246	13720	11077	7596

11.1.7 Chimeneas de mampostería con conectores metálicos de pared sencilla acoplados a dos o más artefactos a gas de los tipos B.1 o B.2, que operen por tiro mecánico inducido (conectores)

		Diámetro nominal D (mm)																						
		76			102			127			152			178			203			229			254		
		Potencia total instalada en MJ/h																						
H	R	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT	MEC		NAT
m	m	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx
1,8	0,3	25	35	22	41	65	42	55	112	71	69	205	107	92	289	149	110	390	212	131	505	267	153	632	337
	0,6	27	45	30	43	83	55	56	140	90	71	243	131	94	342	183	113	460	245	134	593	317	156	732	399
	0,9	28	52	36	44	97	64	58	164	102	73	276	151	96	389	214	115	518	285	136	668	368	159	839	463
2,4	0,3	25	41	23	41	76	43	58	123	73	75	225	111	99	321	156	119	437	222	141	569	282	165	720	353
	0,6	27	50	31	42	92	56	60	148	91	77	260	134	102	369	189	122	499	253	145	649	328	169	819	416
	0,9	28	55	36	44	102	65	62	168	103	79	284	153	104	404	217	126	545	291	147	709	378	172	895	477
3,0	0,3	25	44	23	40	84	44	58	137	75	78	245	114	107	342	161	127	468	228	150	614	292	174	780	367
	0,6	27	53	31	42	98	57	60	161	92	80	275	136	109	386	194	130	525	261	153	688	339	177	870	429
	0,9	28	58	37	43	111	66	61	179	106	82	300	156	112	419	221	133	570	296	155	744	386	180	942	488
4,6	0,3	25	51	24	40	98	46	57	162	78	76	292	120	106	405	173	132	539	242	161	694	313	194	869	396
	0,6	26	58	33	41	111	58	59	184	94	78	315	141	109	442	203	135	589	274	165	758	358	197	950	456
	0,9	27	62	37	43	121	68	60	199	108	80	337	161	111	473	227	138	630	308	168	802	403	200	1013	513
6,1	0,3	25	55	25	39	108	49	56	181	81	75	330	126	103	461	183	130	616	252	158	793	329	190	995	419
	0,6	26	61	33	41	120	59	58	200	96	77	353	146	107	493	210	133	659	285	161	849	373	194	1067	477
	0,9	27	66	37	42	130	69	60	215	110	79	372	166	110	520	234	136	697	318	165	898	418	197	1126	533
9,1	0,3	25	57	26	39	117	51	55	203	87	73	377	134	101	532	197	126	717	269	153	932	356	185	1176	456
	0,6	26	63	34	40	129	61	57	219	100	76	397	153	104	560	221	129	754	303	157	979	399	189	1235	511
	0,9	27	68	38	42	138	70	59	233	113	78	414	172	107	585	246	132	787	334	160	1021	441	192	1287	564
15,2	0,3	24	54	26	38	122	54	54	221	94	71	427	151	97	614	225	121	842	310	148	1107	414	177	1407	534
	0,6	25	62	34	39	134	64	56	237	108	74	444	170	100	637	248	124	873	344	151	1145	457	181	1455	589
	0,9	27	68	38	41	142	73	58	250	121	76	459	190	103	658	274	128	901	377	155	1180	289	186	1499	645
30,5	0,3	24	49	25	37	114	53	52	219	97	69	452	164	93	675	250	115	957	352	141	1289	479	170	1676	629
	0,6	25	56	33	39	127	63	54	236	111	71	468	184	97	696	274	119	984	388	146	1322	524	174	1716	687
	0,9	26	62	37	40	137	72	56	250	124	73	483	204	99	716	301	122	1009	421	149	1353	570	178	1752	744

11.1.8 Chimeneas de mampostería con conectores metálicos de pared sencilla acoplados a dos o más artefactos a gas de los tipos B.1 o B.2, que operen por tiro mecánico inducido (chimeneas colectivas)

	Área interna mínima de la chimenea en metros cuadrados (pulgadas cuadradas)																							
	0,00774			0,01226			0,01806			0,02452			0,03226			0,04065			0,05032			0,07290		
	12			19			28			38			50			63			78			113		
	Potencial nominal combinada (MJ/h)																							
H	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT	MEC	MEC	NAT
m	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT	MEC	NAT	NAT
1,8	NR	78	26	NR	126	49	NR	188	75	NR	271	109	NR	370	151	NR	483	198	NR	614	260	1098	900	NR
2,4	NR	84	30	NR	137	56	NR	204	87	NR	294	126	NR	405	172	NR	529	230	764	671	293	1207	989	430
3,0	NR	89	33	NR	146	59	NR	218	95	NR	315	138	NR	432	187	639	568	249	819	724	319	1294	1066	479
4,6	NR	NR	38	NR	160	71	NR	246	112	NR	352	160	552	493	224	720	645	299	922	824	385	1450	1220	576
6,1	NR	NR	43	NR	NR	79	NR	264	129	NR	388	181	596	536	256	783	705	343	1008	905	442	1596	1357	684
9,1	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	285	145	NR	426	209	649	595	293	861	788	402	1120	1022	523	1796	1554	790
15,2	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	654	346	927	877	486	1229	1149	639	2010	1785	973
30,5	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	367	NR	NR	526	NR	NR	706	2166	2027	1116